



PROSIDING SENSAINTEK

Seminar Nasional Sains dan Teknologi

22-23
April 2015

*"Reorientasi Pengembangan Sains dan Teknologi Masyarakat Muslim Indonesia
bagi Peningkatan Daya Saing Bangsa dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)"*

ASTRONOMI	MATEMATIKA / PENDIDIKAN MATEMATIKA
TEKNIK ELEKTRO	FISIKA / PENDIDIKAN FISIKA
AGROTEKNOLOGI	KIMIA / PENDIDIKAN KIMIA
ARSITEKTUR	BIOLOGI / PENDIDIKAN BIOLOGI
PENDIDIKAN TEKNIK	TEKNIK INFORMATIKA / ILMU KOMPUTER

ISBN. 978-602-14960-1-5



PROSIDING SENSAINTEK

Seminar Nasional Sains dan Teknologi
22-23 April 2015

*"Reorientasi Pengembangan Sains dan Teknologi Masyarakat Muslim Indonesia
bagi Peningkatan Daya Saing Bangsa dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)"*



ASTRONOMI | MATEMATIKA / PENDIDIKAN MATEMATIKA
TEKNIK ELEKTRO | FISIKA / PENDIDIKAN FISIKA
AGROTEKNOLOGI | KIMIA / PENDIDIKAN KIMIA
ARSITEKTUR | BIOLOGI / PENDIDIKAN BIOLOGI
PENDIDIKAN TEKNIK | TEKNIK INFORMATIKA / ILMU KOMPUTER

ISBN. 978-602-14960-1-5



Dilarang memperbanyak dan mengedarkan sebagian apalagi seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, seperti dicetak, fotokopi, microfilm, CD-Rom, dan rekaman suara tanpa izin dari pemilik hak, kecuali untuk kepentingan penulisan buku atau artikel.

Sanksi Pelanggaran Pasal 72

Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (Satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah, atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Susunan Dewan Redaksi

- Pengarah : Prof. Dr. H. Mahmud
- Penanggung Jawab : Dr. H. Opik Taupik Kurahman
- Tim Reviewer : - Dr. H. Cecep Hidayat, MP.
- Dr. Asep Supriadin, M.Si
- Dr. Yani Suryani, M.Si
- H. Cecep Nurul Alam, MT
- Edi Mulyana, MT
- Dr. Elis Ratna Wulan, S.Si, MT
- Dr. Tri Cahyanto, M.Si
- Ir. Ahmad Taopik, M.Si
- Teti Sudiarti, M.Si
- Dr. Liberty Chaidir
- Ichsan Taufik, MT
- Siti Julaeha, M.Si
- Eko Prabowo, M.Si
- Astuti Kusumorini, M.Si
- Nanang Ismail, MT
- Dr. Yudha Satya P.
- Editor : Ida Kinasih, Ph.D, Dian Nuraiman, M.Si, M.Sc
- Desain Sampul : Nur Lukman, ST., R. Samsudin, ST

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, kami sebagai panitia sangat berbahagia atas terselenggaranya kegiatan Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SENSAINTEK) UIN Sunan Gunung Djati Bandung tahun 2015 dengan diikuti oleh para peneliti dan dosen di bidang akademik dari berbagai daerah di Indonesia. Terselenggaranya Seminar Nasional dengan tema "***Reorientasi Pengembangan Sains dan Teknologi Masyarakat Muslim Indonesia bagi Peningkatan Daya Saing Bangsa dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)***" ini, disamping dalam rangka menjalankan amanat Tri Dharma Perguruan Tinggi juga bertujuan untuk memberikan wadah/sarana komunikasi ilmiah bagi para peneliti, akademisi, professional, praktisi dan mahasiswa khususnya di bidang sains dan teknologi yang diharapkan dapat memberikan kontribusi mutu keilmuan bagi para peserta.

Adapun ruang lingkup dari kegiatan seminar ini mencakup aspek yang berkaitan pengembangan sains dan teknologi serta pendidikan di bidang Matematika/Pendidikan Matematika, Fisika/Pendidikan Fisika, Kimia/Pendidikan Kimia, Biologi/Pendidikan Biologi, Teknik Informatika/Illmu Komputer, Astronomi, Agroteknologi, Teknik Elektro, Arsitektur dan Pendidikan Teknik. Pada acara Seminar Nasional ini diikuti lebih dari 100 makalah yang disampaikan dalam sesi parallel dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia.

Terselenggaranya kegiatan Seminar Nasional ini berkat bantuan dari berbagai pihak yang telah meluangkan waktu dan tenaga sehingga kegiatan seminar nasional ini dapat terselenggara dengan baik dan lancar. Kami juga ingin menyampaikan apresiasi dan ucapan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada pembicara utama, para pemakalah, reviewer, panitia, mahasiswa dan semua pendukung acara kegiatan seminar nasional ini.

Akhir kata, kesuksesan kegiatan seminar nasional ini adalah berkat dukungan dan partisipasi dari Bapak/Ibu/Sdr. Selamat mengikuti seminar, semoga memperoleh ilmu yang bermanfaat, dan semoga Allah Swt meridloi kita semua. Amiiin.

Bandung, 25 Agustus 2015
Ketua Panitia

Dr. Elis Ratnawulan, S.Si., MT

DAFTAR ISI

Kata Pengantar	i
Daftar Isi	ii
Sambutan Ketua Panitia	x
Sambutan Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung	xiii
Informasi Umum	
Susunan Panitia	xv
Daftar Peserta	

MATEMATIKA DAN PENDIDIKAN MATEMATIKA (MA)

MA-01	Analisis Model Sistem Persamaan Diferensial Sederhana pada Penggunaan Bawang Putih untuk Mengurangi Kadar Glukosa dan Meningkatkan Stamina Tubuh Secara Alami	
	Arif Muchyidin	1
MA-02	Analisis Model Gelombang Berjalan pada Pertumbuhan Sel Prekursor yang Berinvasi	
	Leny Kety Wulansari, Diny Zulkarnaen, dan Esih Sukaesih	9
MA-03	Penjadwalan Karyawan Menggunakan Goal Programming: Studi Kasus Di Divisi Contact Center PLN	
	Syika Ayunda Putri, Farida Hanum, dan Toni Bakhtiar	17
MA-04	Pelabelan Total Tak Teratur Total Pada m Copy Dari Graf P₃ □ C₅	
	Evi Ervina Windarningsih	27
MA-05	Penentuan Solusi Laso dari Traveling Salesman Problem With Pick-Up and Delivery dengan Metode Heuristik	
	Atikah Nurbaiti,, Farida Hanum, dan Toni Bakhtiar	31
MA-06	Analisis Kestabilan dan Perbandingan Solusi Numerik Model Matematika Simbiosis Syn-eco Empat Spesies	
	Jani Rahmat Hidayat, Diny Zulkarnaen, dan Elis Ratna Wulan	39
MA-07	Analisis Kestabilan dan Chaos pada Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon Beddington-DeAngelis	
	Nuramalia Mursyidah, Diny Zulkarnaen, dan Elis Ratna Wulan	49
MA-08	Pengelompokan Risiko Pihak Ketiga Berdasarkan Pendekatan Regresi Logistik Politomus	
	Yulia Resti 1, a)	57
MA-10	Penjadwalan Pegawai SPBU Menggunakan Integer Programming: Studi Kasus di SPBU 34-16102 Bogor	
	Disti Pratiwi, Farida Hanum, danPrapto Tri Supriyo	63
MA-11	Disain Didaktis Bahan Ajar Matematika Smp Berbasis Learning Obstacle dan Learning Trajectory	
	Encum Sumiaty dan Endang Dedy	71
MA-12	Penentuan Tingkat Risiko Kematian Pada Asuransi Jiwa Dengan Operator Fuzzy	
	Endang Sri Kresnawati	79
MA-13	Kontrol Optimum Penyebaran Penyakit Kolera	
	Henny Iswandriani, Toni Bakhtiar, Ali Kusnanto	89
MA-20	Model EOQ dengan Holding Cost yang Bervariasi	
	Elis Ratna Wulan dan Ai Herdiani	99

MA-21	Struktur Subruang Lengkap pada Ruang Hilbert Separabel Sabarinsyah, Hanni Garminia, dan Pudji Astuti	107
MA-22	Klastering Menggunakan FCM dan DBSCAN pada Data Kriminal DKI Jakarta Tahun 2010 Qonita Ummi Safitri dan Arief Fatchul Huda	109
MA-24	Estimasi Confidence Interval Bootstrap Model Proses Geometrik Pada Analisis Data Masa Hidup Asep Solih A, Rini Cahyandar, Neng Ayu Astuti	119
MA-26	Pengembangan Bahan Ajar Aturan Pencacahan dengan Pendekatan Sainifik untuk Siswa SMA Leli Nur Lathifah	127
MA-27	Penggunaan Gestur Representasional oleh Siswa dalam Memecahkan Masalah Matematis secara Kelompok Nur Laili Achadiyah dan Abdussakir	135
MA-28	Pengembangan Bahan Ajar dengan Pendekatan Sainifik Pada Materi Lingkaran Di Kelas VIII SMP Rafiq Badjeber	141
MA-29	Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Dan Kreatif Matematis Mahasiswa Calon Guru melalui Pembelajaran Mathematical Habits of Mind Wati Susilawati	149
MA-30	Implementasi Brain Based Learning Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Siswa MTs Taufiqulloh Dahlan	157
MA-31	Pengembangan Model Pembelajaran Kalkulus II Berbasis Mobile LukiLuqmanul Hakim, Yuyu Laila Sulastri, dan Zubaedah Wiji Lestari	165
MA-33	Profil Berpikir Geometris Vanhiele Siswa Penghafal AL-Qur'an dalam Memahami Hubungan Antar Segiempat berdasarkan Gaya Belajar dan Tahap Perkembangan Kognitifpiaget Khoerul Umam	171
MA-34	Pengembangan Bahan Ajar Berbasis ICT Pada Materi Persamaan Garis Lurus dalam Pembelajaran Matematika kelas VIII Sekolah Menengah Pertama (SMP) Rika Dwi Yanti	179
MA-35	Pengaruh Kecerdasan Visual-Spasial Dan Kecerdasan Matematis-Logis Mahasiswa Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis Yuli Mulyasari, Rahayu Kariadinata, Iyon Maryono	185
MA-36	Pengembangan Bahan Ajar pada Materi Teorema Phytagoras dengan Pendekatan Ilmiah (ScientificApproach) pada Kelas VIII SMP Riki Effendi	195
MA-37	Implementasi Model Pembelajaran Project Based Learning untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Algoritma pada Materi Metode Simpleks pada Mahasiswa Ilmu Komputer Enjun Junaeti	203
MA-38	Pengaruh Penggunaan Model Pembelajaran <i>Quantum</i> terhadap Pemahaman Matematik Siswa Yosi Adiputra	213
MA-39	Validitas Model Pembelajaran Kalkulus Berbasis Kontekstual Nana Sepriyanti	219
MA-40	Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa pada Masa Transisi dari Sekolah Menengah ke Perguruan Tinggi Iyon Maryono, Yaya S. Kusumah, dan Dadang Juandi	227

BIOLOGI DAN PENDIDIKAN BIOLOGI (BI)		
BI-02	Kandungan Senyawa Kimia Beberapa Tumbuhan Familia Verbenaceae di Cagar Alam Pananjung Pangandaran Asep Zainal Mutaqin, Ruly Budiono, dan Firman Rezaldi	239
BI-03	Peningkatan Kemampuan Psikomotor Mahasiswa Melalui Pendekatan Sainifik Berbasis Peta Pikiran (Mind Mapping) pada Mata Kuliah Fisiologi Hewan di Universitas Tadulako Dewi Tureni	245
BI-04	Efektivitas Ekstrak Tangkai Daun Pepaya (<i>Carica papaya</i> [L.] c.v. Bangkok dan c.v. <i>Callina</i>) Sebagai Biorepellent Terhadap Nyamuk <i>Aedes aegypti</i>. Mohamad Nurzaman, Hikmat Kasmara, dan Nurina K. Atmono	251
BI-05	Pemanfaatan Ekstrak Sayuran Familia Brassicaceae untuk Menangkal Efek Mutagenik Timbal Asetat Madiah, Maya Fadhillah, dan Supartini Syarief	259
BI-06	Potensi Jamur Entomopatogen <i>Beauveria bassiana</i> Bals. dan Insektisida Nabati Mimba (<i>Azadirachta indica</i>) dalam Pengendalian Hama Kakao <i>Helopeltis antonii</i> Signoret. (Hemiptera: Miridae) yang Ramah Lingkungan Melanie, Hikmat Kasmara, Lisnawati, dan Mahrita Willis	267
BI-08	Keanekaragaman Flora dan Fauna di Pulau Biawak Indramayu Jawa Barat Nurullia Fitriani dan Budi Irawan	275
BI-10	Pembelajaran <i>Guided Inquiry</i> dalam Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Calon Guru pada Mata Kuliah Botani Phanerogamae Hadiansah	283
BI-11	Strategi Inkuiri Dipadu ARCS dalam Pembelajaran Biologi Dan Pengaruhnya Terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Lilies	291
BI-14	Mewujudkan Eko Kampus: Model Pengelolaan Sampah Terintegrasi Berbasis Masyarakat Kampus Teguh Husodo, Erri N. Megantara, M. Nurzaman, Nurullia Fitriani, dan M. Satori	299
BI-16	Pengaruh Strategi Pembelajaran <i>Think Talk Write</i> (TTW) Terhadap Kemampuan Berkomunikasi Siswa Pada Materi Pokok Sistem Ekskresi Manusia (Penelitian pada Siswa Kelas XI SMAN 1 Kawali Ciamis Tuti Kurniati, Tri Wahyu Agustina, dan Lina Rosmiati	309
BI-17	Bakteri Penghasil Listrik dari Limbah IPAL Bojongsoang dengan Menggunakan Teknologi <i>Microbial Fuel Cell</i> (MFC) Yani Suryani, Soni Setiadji, dan Melin Amalia	315
BI-20	Profil Kemampuan Calon Guru Membuat Pertanyaan pada Mata Kuliah Kapita Seleкта Biologi. Milla Listiawati	323
BI-22	Uji <i>Helicoverpa armigera</i> Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (HaNPV1) pada Larva Serangga Non Target : <i>Bombyx mori</i>, <i>Tenebrio molitor</i> dan <i>Galleria mellonella</i> Mia Miranti, Dwi Sari Mamonto Putri, Desy Efriyani Anggraini Nasution, dan Anasthasia Verhuliza Surbekti	331
BI-23	Identifikasi Miskonsepsi Mahasiswa Pendidikan Biologi dalam Memahami Pohon Filogenetika Sumiyati Sa'adah ¹ , Topik Hidayat ² , Fransisca Sudargo	337
BI-24	Pembelajaran Bioetika Islam di Program Studi Biologi Perguruan Tinggi Agama Islam Negeri (Ptain) Eko Budi Minarno	343

BI-27	Kadar Klorofil <i>Avicennia lanata</i> Ridl. dalam Kaitannya dengan Luas dan Jumlah Daun pada Kondisi Intensitas Cahaya Berbeda di Hutan Mangrove Segara Anak, Tn. Alas Purwo, Jawa Timur Tia Setiawati, Mohamad Nurzaman, dan Tiara Agustine	349
BI-28	Gambaran Histologis Hepar Tikus Putih (<i>Rattus Norvegicus</i>) Galur Wistar Setelah Perlakuan dengan Ekstrak Meniran Hijau (<i>Phyllanthus niruri</i> L.) Achmad Ramadhan	355
BI-30	Populasi Sel Leydig dan Sel Sertoli pada Testis Mencit (<i>Mus musculus</i> L.) Setelah Pemberian Ekstrak Etanol dan Spinasterol Daun Senggugu (<i>Clerodendron serratum</i> L.) Desak Made Malini	361
BI-31	Uji Aktivitas Antibakteri pada Ikan Laut dan Ikar Air Tawar terhadap <i>Bacillus cereus</i> dan <i>Escherichia coli</i> Ida Indrawati dan Isy'aini Rifqa Mayfi	367
BI-37	Pengaruh Timbal (Pb) terhadap Struktur Akar dan Pertumbuhan Tanaman Bunga Matahari (<i>Helianthus annuus</i> L.) yang Diinokulasi Endomikoriza Titin Supriatun, Nia Rossiana, dan Nur Rahmatika	383
BI-38	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Schistosomiasis di Dataran Tinggi Lindu dan Napu, Sulawesi Tengah Sutrisnawati	389
BI-39	Pengaruh Perlakuan Media terhadap Pertumbuhan dan Sintasan Belut Sawah (<i>Monopterus albus</i> Zuiew) Astuti Kusumorini, Sumiyati Sa'adah, dan Ahyar Hidayat	397

FISIKA DAN PENDIDIKAN FISIKA (FI)

FI-04	Rancang Bangun Reaktor <i>Spray Pyrolysis</i> untuk Sintesis Lapisan Tipis Oksida Logam Bebeh Wahid Nuryadina, Nurul Hikmah Fauziah, Evi Marlina, dan Ahmad Ridwan Sidiq.	409
FI-06	Analisis Sikap Ilmiah dan Kemampuan Penalaran Konsep Fisika Dasar II Mahasiswa Prodi Fisika UIN SGD Bandung melalui Penerapan Pendekatan Keterampilan Proses Endah Kurnia Yuningsih	413
FI-08	Efektifitas Penerapan Pembelajaran Konseptual Interaktif untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Siswa Nurul Ashri ¹ , Selly Feranie, dan Setiya Utari	423
FI-10	Pengembangan Komik Sebagai Media Pembelajaran Ipa Pada Topik: Gelombang Bunyi Hanna Nurul Husna	431
FI-12	Menentukan Peluang dan Periode Ulang Gempa Dengan Magnitude Tertentu Berdasarkan Model <i>Guttenberg - Richter</i> Tati Zera	441

TEKNIK INFORMATIKA (IF)

IF-01	Rancangan Purwarupa Dasar Perangkat untuk Akuisisi Data Rute Jelajah Belanja Pelanggan Supermarket Swalayan Memanfaatkan RFID Markus Tanubrata	447
IF-02	News <i>Web Crawler</i> Dengan Metode <i>Xpath</i> Ichsan Taufik, Jumadi, dan Fajri Abdillah	453

IF-03	Rekomendasi Kotter's Model Untuk Mengimplementasikan Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung Menuju <i>Research University</i> Dalam Menyongsong Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA) 2015 Ade Rahmat Iskandar	461
IF-04	Klasifikasi Emosi dengan <i>Rule Based</i> menggunakan Algoritma Synesketch Aldy Rialdy Atmadja	475
IF-05	Perancangan Aplikasi Android untuk Pembelajaran Tahsin Tilawah Kelas Iqra Alim Hardiansyah, Ravie Kurnia Laday, dan Abdul Hadi	481
IF-07	Data Vs Sistem Informasi (Analisis Penerapan Sistem Informasi. Studi kasus : Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut) Galih Abdul Fatah Maulani	491
IF-08	Sistem Informasi untuk <i>Petshop</i> Hendry Wong dan Yosep Purnama2	501
IF-10	Pemanfaatan <i>Enterprise Resource Planning (ERP)</i> di Lingkungan Para Wirausahawan Muhammad Prakarsa	509
IF-11	Model ICT dalam Implementasi <i>Knowledge Management</i> di Perguruan Tinggi Nizar Alam Hamdani	517
IF-12	Analisis Keamanan Data Aplikasi Enkripsi dan Dekripsi dengan Menggunakan Metode Algoritma DES (<i>Data Encryption Standard</i>) Entik Insanudin dan Cecep Nurul Alam	523
IF-13	Simulasi Dan Analisis Alat Ukur Untuk Penentuan Kualitas Air Kolam Renang Berbasis Logika Fuzzy Unang Sunarya	533
IF-14	Implementasi Algoritma <i>Brute Force String Matching</i> untuk Klasifikasi Flora dan Fauna Langka Berbasis Android Wisnu Uriawan	541
IF-15	Audit Sistem Informasi Akademik Menggunakan Framework (COBIT) Versi 5 (Studi Kasus: Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung) Nur Lukman, Djajasukma Tjahjadi, Budi Maryanto	547
IF-17	Aplikasi e-Masjid : Peran Perguruan Tinggi Islam dalam Menciptakan Aplikasi Diseminasi Informasi dan Manajemen Pengetahuan Masjid Ima Dwitawati	555

KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA (KI)

KI-01	Studi Potensi Ekstrak Rimpang Kunyit (<i>Curcuma domestica</i> Val.) Dan Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.) Sebagai Indikator Titrasi Alkalimetri Neng Nur Sri Syaripaha dan Dede Suhendar	563
KI-02	Sintesis Silika Gel dari Abu Ampas Tebu Sebagai Adsorben ion Mg^{2+} Eko Prabowo Hadisantoso dan Iskandar Berlian	571
KI-03	Pengaruh Asam Pada Penentuan Antimoni (Sb(III) dan Sb(V)) Menggunakan Teknik Pembangkit Hidrida - Spektrofotometri Serapan Atom (HG-AAS) Herlinawati, M. Bachri Amran, dan Buchari	581
KI-04	Prakonsentrasi dan Analisis Renik Cd(II) Berbasis <i>Flow Injection Analysis</i> Menggunakan <i>Ion Imprinted Polymers (IIPs)</i> Martina Asti Rahayu, Rusnadi, dan M.Bachri Amran	587
KI-05	Studi Termodinamika Adsorpsi <i>Congo Red</i> Oleh Kitosan Oom Komalasari, Tety Sudiarti, dan Nila Tanyela Berghuis	595

KI-06	Studi Termodinamika dan Kinetika Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau Putri Ayuningtyas, Tety Sudiarti, dan Meyliana Wulandari	611
KI-07	Studi Adsorpsi Ion Logam Tembaga(II) Menggunakan Kulit Biji Bunga Matahari dengan Spektrometri Serapan Atom Yuni Martiani Fitria, Tety Sudiarti, dan Meyliana Wulandari	621
KI-08	Analisis Soal-Soal International Junior Science Olympiad (IJSO) Bidang Kimia Berdasarkan Dimensi Proses Kognitif Dan Pengetahuan Yunita	631
KI-09	Penerapan Pembelajaran Learning Cycle 5-E Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Konsep Sifat Koligatif Larutan Cucu Zenab Subarkah, Ratih Pitasari, dan Siti Tihamah	641
KI-10	Pengembangan Prototype Reaktor Dan Prosedur Eksperimen Pembuatan Biogas Skala Rumah Tangga Dari Sampah Organik Untuk Pembelajaran Kimia Ida Farida Ch, Imelda Helsy, dan Miya Nurmelati	649
KI-11	Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dan Karakterisasinya Risa Rahmawati S, Yunita, dan Taufik Hidayat	657
KI-12	Adsorpsi Kromium (VI) Menggunakan Bentonit Termodifikasi Cetyl Trimetil Amonium Bromida Sitti Aminah, M.B.Amran, dan Buchari	665
KI-13	Studi Kesetimbangan Adsorpsi Asam Humus Air Gambut Pada Nanopartikel Magnetit Fe₃O₄ Termodifikasi Kitosan Sonita Afrita Purba Siboro ¹ , M. Ali Zulfikar, dan Deana Wahyuningrum	671
KI-14	Pengaruh Penambahan Nitrogen Terhadap Kadar Biomolekul dan Kadar Biopigmen Pada Mikroalga <i>Chlorella vulgaris</i> Shella Maulidiana Wardani, Eko Prabowo Hadisantoso, dan Tina Dewi Rosahdi	679
KI-15	Prakonsentrasi dan Analisis Ion Kadmium Berbasis <i>Flow Injection Analysis</i> Uswatun Hasanah, Rusnadi, dan M. Bachri Amran	687
KI-16	Pemisahan Serium(IV) dari Pasir Monasit Bangka Melalui Teknik Membran Cair Berpendukung Tubular Membran Vina Amalia dan Aminudin Sulaeman	695
KI-17	Studi Elektropolimerasi Pirol Menggunakan Teknik Voltametri Siklik dengan Elektroda Kerja Kasa Baja Yulia Sukmawardani dan Buchari	703
KI-18	Studi TD-DFT Senyawa Dopamin dan Dopamin-Ti(OH)₂ Menggunakan Firefly Soni Setiadji, Atthar Luqman, dan Bio Insan Akbar	711
KI-19	Analisis Kimia Dan Peranannya Menjamin Kehalalan Produk Akibat Adanya Program Masyarakat Ekonomi Asean Begum Fauziyah	721
KI-20	Karakterisasi Ekstrak Kulit Batang dan Ranting <i>Aglaia cucullata</i> Serta Bioaktivitasnya Terhadap Larva Udang (<i>Artemia salina</i> Leach) dengan Metode <i>Brine Shrimp Lethality Test</i> (BSLT) Gina Fitri Lutfiana, Baiq Vera El Viera, dan Asep Supriadin	725
KI-21	Potensi Sari Kacang Merah (<i>Phaseolus vulgaris</i> L), Kacang Hujai (<i>Phaseolus radiatus</i> L) dan Kedelai Hitam (<i>Glycine soja</i> Sleb) Sebagai Pangan Fungsional Nunung Kurniasih, Lia Satya Rama, Tina Windyastuti Suryana, dan Nunik Rahmawati Rahman	737
KI-23	Pengaruh Ekstrak Etanol Daun Sirsak (<i>Annona muricata</i> L) terhadap Kadar Enzim Transaminase (Sgpt dan Sgot) pada Mencit (<i>Mus musculus</i>) yang Diinduksi dengan 7,12-Dimetilbenz (a) Antrasen (DMBA) secara <i>In Vivo</i> Bayyinatul Muchtaromah dan Nur Ariyanti	743

KI-25	Analisis Kualitas Tepung Sukun Hasil Fermentasi dan Aplikasinya sebagai Mie Basah Anna Muawanah, Intan Mauli Iwari, dan Sandra Hermanto	749
--------------	---	-----

TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNIK ARSITEKTUR (EL)

EL-01	Perancangan Subsistem Komunikasi Menggunakan Cc1000 Pada Frekuensi 437.33 MHz Untuk Tel-USAT Zulfikar Fajar M. Ramli, Edwar, Budi Syihabuddin, dan Heroe Wijanto	759
EL-02	Perbandingan Metode <i>Adaptive Thresholding</i> dan <i>Global Thresholding</i> Pada Deteksi Penyakit Kanker Serviks Rita Magdalena ¹ , Ledy Novamizanti, dan Eggi Intan Putri	765
EL-03	Perbandingan Hasil Perhitungan LUEC PLTN dengan Menggunakan Model Legecost, Mini G4Econs dan Nest Mochamad Nasrullah	775
EL-04	Pemetaan Dan Penyiapan SDM PLTN Tahap Pengoperasian Dan Perawatan Di Indonesia Didasarkan Pada Kualifikasi <i>Soft Competency</i> Moch. Djoko Birmano dan Imam Bastori	785
EL-05	Pengaruh Skala Ekonomi pada Perhitungan Biaya Pembangkitan Listrik PLTN Nuryanti, Mochamad Nasrullah, dan Suparman	795
EL-06	Pengaruh Kebijakan Import Listrik Sesco Terhadap Kedaulatan Energi dan Keandalan Sistem Kelistrikan Kalbar Rizki Firmansyah Setya Budi dan Citra Candranurani	803
EL-07	Konsep Islam dan Konsep “Sustainable Architecture” pada Rumoh Aceh: Sebuah Kearifan Lokal Arsitektur Vernakular Nusantara Nurul Fakriah	813
EL-08	Pengaruh Hibridisasi Area Hijau Alamiah Pertanian di Bangunan Perkotaan Guna Menunjang Ketahanan Pangan Terhadap Cara Pandang Ruang dalam Arsitektur Aldrin Yusuf Firmansyah	821
EL-10	Perbandingan Algoritma Heuristik dengan Algoritma Konvensional Pada Traveling Salesman Problem Eki Ahmad Zaki Hamidi	831
EL-11	Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Lampu Menggunakan Metode Pengenalan Suara Berbasis Arduino Adam Faroqi, Riyan Nugraha, dan Mada Sanjaya	837
EL-12	Rancang Bangun Sistem Kemanan Kendaraan Roda Empat Menggunakan Keylock Password Berbasis Mikronkontroler Atmega16 Alfi Sahri, Rina Mardiaty, dan Ferlin Ashadi	845
EL-13	Desain dan Aplikasi Lampu Cerdas Berbasis Sensor Gerak dan Android Lia Kamelia dan Firmansyah Pratama	853
EL-14	Analisis Penerapan Integrated Service QoS Model Untuk Paket Data Suara Berbasis Skema Layanan Blackberry Messenger Nanang Ismail, Irfan Nurhardiansyah, dan Innel Lindra	859

AGROTEKNOLOGI (AG)

AG-02	I_hM Pembinaan Penangkaran Benih Bawang Putih Erni Suminar, Rani Andriani Budi Kusumo, dan Anni Yuniarti	867
AG-04	Pengaruh Konsentrasi Zat Pengatur Tumbuh BAP (<i>6-Benzyl Amino Purine</i>) dan NAA (<i>1-Naphtalen Acetid Acid</i>) Terhadap Perbanyakan Tanaman <i>Stevia rebaudiana</i> Bertoni Secara <i>In Vitro</i> Agung Rahmadi, Suryaman Birnadi, Windhy Chandria	879

AG-05	I_bM Kelompok Tani Stroberi	
	Rani Andriani Budi Kusumo, Erni Suminar, Murgayanti, dan Syariful Mubarak	885
AG-06	Aplikasi Kompos Daun Gamal (<i>Gliricidia sepium</i>) Dan Jenis Mulsa Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tanaman Sawi Hijau (<i>Brassica juncea</i> L.) Varietas Tosakan	
	Yati Setiati, Ahmad Taofik, dan Fidril Syamsudin	897
AG-07	Efek Penambahan <i>Whey Protein Concentrate</i> Terhadap Beberapa Karakteristik Fisik dan Organoleptik Yogurt Susu Skim	
	Syamsul Huda	903
AG-08	Penampilan Hasil 30 Genotip Harapan Kacang Bambara (<i>Vigna subterranea</i> L.) Asal Jawa Barat	
	Enceng Sobari, Meddy Rachmadi, dan Nolahdi Wicaksana	911
AG-17	Peranan FMA dan Mychorriza Helper Bacteria (MHB) dengan Pupuk Organik terhadap C-organik Tanah dan Diameter Tunas Tanaman Buah Naga (<i>Hylocereus costaricensis</i> L.) pada Tanah Pasir Bekas Tambang	
	Kiki Zakiah	917
AG-26	Uji Kesukaan Mayonais yang Menggunakan <i>Emulsifier</i> dari Berbagai Jenis Kuning Telur	
	Obin Rachmawan, Eka Wulandari, Nono Sarwono	925
AG - 32	Pengembangan EM-10 (Effective Microorganism-10) Sebagai Bahan Baku Penghancur Sampah Organik dan Pupuk Cair Potensial	
	Elpawati	931

SAMBUTAN KETUA PANITIA

Bismillaahirrahmaanirrahiim

1. Yang saya hormati Direktur Pendidikan Tinggi Islam, Bapak Prof. Dr. Amshal Bachtiar;
2. Yang saya hormati Pgs Rektor UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bapak Prof. Dr. Mochtar Solihin, M.Ag.;
3. Yang saya hormati Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bapak Dr. Taufik Kurahman;
4. Yang saya hormati para Dekan di lingkungan UIN Sunan Gunung Djati Bandung;
5. Yang saya hormati para peserta Seminar Nasional Sains dan Teknologi; dan
6. Yang saya banggakan para Panitia Seminar Nasional Saintek.

Assalamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Kita panjatkan puji dan syukur ke khadirat Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya sehingga kita dapat berkumpul di majelis yang mulia ini dalam rangka mengikuti Seminar Nasional Sains dan Teknologi tahun 2015. Pada kesempatan yang berbahagia ini, saya akan melaporkan beberapa hal mengenai seminar ini.

Transformasi IAIN menjadi UIN memiliki makna penting yang bertujuan memenuhi tuntutan masyarakat dengan cara memperluas dan mengembangkan bidang-bidang keilmuan umum. Setelah mengalami transformasi kelembagaan, UIN kemudian mengembangkan program-program studi: Sains dan Teknologi seperti Teknik Informatika, Fisika, Kimia, Biologi, Matematika, Farmasi, Teknik Elektro, Teknik Arsitektur, Agroteknologi bahkan Kedokteran dan Kesehatan Masyarakat.

Perkembangan mutakhir ini sesungguhnya merupakan ikhtiar Perguruan Tinggi Islam untuk merespons tantangan kemodernan, yang menuntut tersedianya sarjana-sarjana yang menguasai ilmu pengetahuan, teknologi, dan ketrampilan teknis. Dengan mengembangkan sains dan teknologi, Perguruan Tinggi Islam sejatinya sedang berikhtiar untuk menemukan kembali jangkar keilmuan yang pernah menandai masa keemasan Islam pada abad-abad yang silam.

Sejarah mencatat, abad ke-8 dan ke-14 dunia Islam berhasil mengukir prestasi gemilang dalam pengembangan sains, teknologi, dan filsafat, yang kemudian membawa pengaruh besar pada munculnya zaman pencerahan di Eropa. Melalui dunia Islam, mereka mendapat akses untuk mendalami dan mengembangkan ilmu pengetahuan modern. Tak mengherankan bila kita menjumpai banyak ilmuwan muslim yang berpengaruh besar pada perkembangan dan kemajuan ilmu pengetahuan di abad pertengahan seperti

AlRazi (kedokteran), Al-Haitham (teknik), Abdul Abbas (botani), Omar Khayyam dan Al-Biruni (astronomi), atau Al-Khawarizmi (matematika). Bahkan istilah algoritma atau aljabar diambil dari buku terkenal karangan Al-Khawarizmi berjudul *Al Jabr wa al-Muqabilah*.

Dalam konteks inilah, kami Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung menyelenggarakan “Seminar Nasional dan Pertemuan Penyelenggara PTAI Bidan MIPA dan Teknik se-Indonesia” sebagai bukti ikut bertanggung jawab untuk menemukan kembali spirit pencarian dan pengembangan ilmu pengetahuan, serta memelihara, menyebar, dan menumbuhkembangkan warisan intelektual berupa karya-karya ilmiah dari para ilmuwan muslim terdahulu, sehingga bisa unggul dan kompetitif.

Kegiatan yang dilaksanakan tanggal 22-23 April 2015 ini mengambil tema “Reorientasi Pengembangan Sains dan Teknologi Masyarakat Muslim Indonesia bagi Peningkatan Daya Saing Bangsa dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)”.

Adapun peserta paper sebanyak 170 orang dan peserta poster sebanyak 20 orang yang merupakan utusan dari hampir semua Perguruan Tinggi Islam se-Indonesia diantaranya UIN Jakarta, UIN Malang, UIN Banda Aceh, IAIN Cirebon, Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal, Universitas Islam 45, UNINUS, UHAMKA, dan beberapa di luar Perguruan Tinggi Islam diantaranya teman-teman dari Unpad, ITB, UPI, UI, IPB, Uniga, Universitas Sriwijaya, Universitas Majalengka, Universitas Kristen Maranatha, SMPN Satu Atap Lesanpuro Kota Malang, dan masih banyak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Sedangkan tujuan dari Seminar Nasional ini adalah diharapkan dapat mendorong terjadinya pertukaran informasi, pengetahuan dan pengalaman dalam penerapan sains dan teknologi untuk pemecahan permasalahan di masyarakat.

Untuk mencapai tujuan tersebut, kami menghadirkan para pembicara yang sangat releva dan kompeten di bidangnya, yaitu:

1. Prof. Dr. Amsal Bachtiar, sebagai Direktur Pendidikan Tinggi Islam, akan menyampaikan “Keynote Speech”
2. Prof. Dr. Azyumardi Azra, Rektor UIN tahun 1998-2006.
3. Dr. (HC) Achmad Heryawn, Lc., M.Si. sebagai Gubernur Provinsi Jawa Barat.
4. Prof. Dr. Ir. Thomas Zamaludin, sebagai Ketua Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN) RI.
5. Dr. Ing. Ilham Akbar Habibie, MBA., sebagai Ketua Presidium Ikatan Cendekiawan Muslim se-Indonesia (ICMI).
6. Prof. Dr. Eng. Teuku Abdullah Sanny, sebagai Guru Besar ITB.

Selain itu, agenda penting lainnya adalah pembentukan Asosiasi Fakultas Sains dan Teknologi dan Jaringan Jurnal PTAI se-Indonesia sebagai wadah perhimpunan untuk

melakukan konsolidasi dan evaluasi kegiatan akademik, serta terumuskannya respon atas kebijakan pemerintah di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi.

Kami sampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang mendukung acara ini. Akhirnya kami mohon maaf bila ada hal-hal yang kurang berkenan dalam kegiatan ini. Semoga Allah meridhai kegiatan kita dan mencatatnya sebagai amal shaleh serta memberikan limpahan barokah ilmu dan rizki kepada kita semua.

Billahittaufiq Walhidayah

Wassalamu'alaikum Warohmatullahi Wabarakaatuh.

Bandung, 22 April 2015

Ketua Panitia

Dr. Elis Ratna Wulan, S.Si,
MT

SAMBUTAN DEKAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG

Yth. Bapak Direktur Pendidikan Tinggi Islam Kemenag RI
Bapak Pgs. Rektor UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Para Dekan FST/FTK/FTIK Perguruan Tinggi Keagamaan
Para Wakil Rektor di Lingkungan UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Para Dekan dan Wakil Dekan di Lingkungan UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Para Pembicara Undangan
Para Pemakalah (Oral/Poster Presenters)
Para Undangan dan Hadirin Sekalian

Pertama kita bersyukur kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya kegiatan Seminar Sains dan Teknologi atau yang disingkat Sensaintek 2015 dapat dilakukan. Kegiatan ini merupakan bagian dari rangkaian kegiatan Pekan Raya Sainstek yang diselenggarakan dari mulai tanggal 21-25 April 2015.

Sensaintek 2015 dilaksanakan pada tanggal 22-23 April 2015 sebagai bagian dari kegiatan ilmiah yang dilaksanakan di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Kegiatan seminar ini mengangkat tema: "Reorientasi Pengembangan Sains dan Teknologi Masyarakat Muslim Indonesia bagi Peningkatan Daya Saing Bangsa dalam Masyarakat Ekonomi ASEAN (MEA)". Dalam kegiatan seminar dihadirkan narasumber yang kompeten di bidangnya, selain dari mempresentasikan hasil-hasil penelitian maupun kegiatan ilmiah lainnya. Selain kegiatan seminar, diselenggarakan pertemuan Dekan/Ketua Jurusan/Ketua Program Studi Sains dan Teknologi/Pendidikan MIPA di lingkungan Pendidikan Tinggi Islam Kementerian Agama RI dengan tujuan terbentuknya silaturahmi antar perguruan tinggi khususnya di lingkungan Kemenag RI yang dipertegas dengan pembentukan Asosiasi Dosen Sains dan Teknologi PTAI Indonesia dan Pembentukan Jaringan Jurnal PTAI Indonesia.

Sejarah mencatat bahwa peradaban Islam telah melahirkan warisan keilmuan dalam bidang pengembangan Sains dan Teknologi. Oleh karena itu, dogma dikotomi ilmu agama dan ilmu umum dipandang tidak relevan dalam dewasa ini. Penemuan sains dan teknologi baik melalui observasi, eksperimen dan sebagainya merupakan mediasi jiwa untuk mentafakuri keagungan Allah SWT sebagai Maha Pencipta. Proses tersebut harus terinternalisasi dalam rangka keimanan dan ketaqwaan yang seharusnya semakin mendalam bagi peneliti/ilmuwan untuk mentafakuri semesta alam. Hal tersebut dipertegas oleh Einstein bahwa ilmu tanpa agama buta, begitu juga sebaliknya.

Fakta sekarang memperlihatkan bagaimana dunia muslim sebagai penganut agama terbesar kedua di dunia jauh tertinggal dalam mengembangkan sains dan teknologi. Kita

ketahui, sains dan teknologi merupakan bagian penting dari peradaban manusia. Semua dibuat serba mudah karena teknologi telah menghadirkan kepraktisan bagi manusia. Hal tersebut tidaklah salah karena merupakan keniscayaan yang perlu dipersiapkan khususnya masyarakat muslim. Oleh karena itu, diseminasi hasil riset yang dilakukan pada masyarakat muslim perlu diekspos dengan segala keunggulannya untuk kemudian diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi pertumbuhan dan perkembangan bangsa yang terus berupaya menjadi bangsa yang unggul dan kompetitif dalam menghadapi segala persaingan yang dihadapi dalam rentang waktu dan ruang lingkup apapun.

Selanjutnya diharapkan Seminar Sains dan Teknologi ini dapat memberi manfaat bagi perkembangan sains dan teknologi di Indonesia secara umum dan khususnya di lingkungan PTAI Kemenag RI. Sebagai pimpinan Fakultas, saya menghaturkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkenan hadir dalam kegiatan ini dan kami sampaikan permohonan maaf jika ada yang tidak berkenan dalam pelayanan yang diberikan.

Penghargaan dan ucapan terima kasih saya sampaikan kepada pihak-pihak yang telah berpartisipasi dalam seminar ini.

Dekan Fakultas Sains dan
Teknologi
UIN Sunan Gunung Djati
Bandung

Dr. H. Opik Taupik Kurahman

SUSUNAN ACARA SENSAINTEK 2015

Hari ke-1: “Paradigma Baru PTAI dalam Pengembangan Keilmuan Sains dan Teknologi”

Waktu	Kegiatan
08.00 – 08.30	Registrasi peserta Bersamaan dengan Upacara Adat (lengser)
08.30 – 10.00	Pembukaan <ul style="list-style-type: none"> - Sambutan oleh <i>keynote speaker</i> - Menyanyikan lagu Indonesia Raya - Hymne UIN - Mars UIN - Pembacaan ayat suci Al-Quran - Laporan Ketua Panitia (Dr. Elis Ratna Wulan) - Sambutan Dekan FST (Dr. H. Opik Taupik Kurahman) - Sambutan dan Pembukaan oleh PGS Rektor (Prof. Dr. H. Muchtar Sholihin, M.Ag) - <i>Opening speech</i> (Dr. (HC). Ahmad Heryawan, Lc., M.Si.) - Pembacaan Do'a Penutup
10.00 – 10.30	<i>Coffee Break</i>
10.30 – 11.00	Pemateri 1 – Prof. Dr. Amsal Bachtiar
11.00 – 11.30	Pemateri 2 – Prof. Dr. Azyumardi Azra
11.30 – 12.00	Pemateri 3 – Prof. Dr. Thomas Djamaludin
12.00 – 13.00	ISHOMA
13.00 – 15.00	Seminar Paralel Sesi-1 & <i>Poster Session</i> Bersamaan dengan: Pembentukan Asosiasi FST PTAI se-Indonesia
15.00 – 15.30	<i>Coffee Break</i>
15.30 – 16.00	Penandatanganan MoU Asosiasi FST se-Indonesia
16.00 – 16.30	Pembentukan Jaringan Jurnal PTAI dan Penandatanganan MoU Asosiasi FST PTAI se-Indonesia
16.30 – 17.00	Pengumuman dan Penutupan

Hari ke-2: “Gagasan Islam dan Green Technology di Indonesia”

Waktu	Kegiatan
08.30 – 08.45	Pembukaan Tari Saman
08.45 – 09.30	Pemateri 1 – Dr. Ing. Ilham Akbar Habibie, MBA
09.30 – 10.00	Pemateri 2 – Prof. Dr. Eng. Teuku Abdullah Sanny
10.00 – 10.30	<i>Coffee Break</i>
10.30 – 11.30	Seminar Paralel Sesi-2
11.30 – 13.00	ISHOMA
13.00 – 14.00	Seminar Paralel Sesi-3
14.00 – 14.30	<i>Coffee Break</i>
14.30 – 15.30	Pengumuman dan Penutupan

MA-01

Analisis Model Sistem Persamaan Diferensial Sederhana pada Penggunaan Bawang Putih untuk Mengurangi Kadar Glukosa dan Meningkatkan Stamina Tubuh Secara Alami

Arif Muchyidin^{1, a)}

¹Tadris Matematika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, IAIN Syekh Nurjati Cirebon

^{a)}penulis yang berkorespondensi : wak_badjra@yahoo.com

Abstrak

Bawang putih sudah dikenal masyarakat sejak ribuan tahun lalu dan sudah dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan seperti memasak, pengobatan, dan dipercaya dapat meningkatkan stamina tubuh secara alami. Bawang putih mengandung bahan-bahan aktif seperti Alil Propil Disulfida (APDS) dan diallyl disulphide oksida (allicin). Allicin dapat digabungkan dengan vitamin B1 (tiamin) untuk merangsang pankreas melepaskan insulin dan apabila dikombinasikan dengan flavonoid maka akan memainkan peran penting dalam menurunkan kadar glukosa. Untuk memperoleh stamina yang optimal, besar faktor peningkatan konsentrasi insulin karena konsumsi bawang putih γ perlu dikontrol. Pada sistem persamaan diferensial (SPD) yang diperoleh, nilai γ berkaitan erat dengan faktor lainnya, seperti konsentrasi glukosa p , laju penguraian glukosa menjadi energi q , laju sekresi insulin oleh pankreas r , dan laju degradasi insulin s . Kestabilan sistem glukosa – insulin dalam darah dapat dianalisa dari nilai eigen untuk tiap titik kritis yang diperoleh. Titik kritis yang diperoleh dari SPD ada 2, yaitu $0,0$ dan $\frac{r+\gamma-s}{q}, \frac{p}{q}$. Dengan nilai eigen dari masing – masing titik kritis adalah $r_1 = p$ dan $r_2 = r + \gamma - s$ dan $r_{3,4} = \pm \sqrt{p(r + \gamma - s)}$. Dari nilai eigen inilah kestabilan sistem terlihat. Karena nilai $p, q, r, \gamma, s \geq 0$, maka titik kritis $0,0$ tidak stabil. Akan tetapi, untuk titik kritis $\frac{r+\gamma-s}{q}, \frac{p}{q}$ akan stabil jika $\gamma < s - r$.

Kata kunci: SPD, kestabilan glukosa – insulin, titik kritis

Pendahuluan

a. Latar Belakang

Siapa yang tidak kenal dengan bawang putih? Dalam kehidupan sehari – hari bawang putih biasa digunakan sebagai bumbu agar masakan terasa lebih nikmat. Keberadaan bawang putih sudah dikenal berabad – abad yang lampau. Dari beberapa sumber, awal pemanfaatan bawang putih diperkirakan berasal dari Asia Tengah[1]. Hal ini didasarkan pada temuan sebuah catatan medis yang berusia sekitar 5000 tahun yang lalu (3000 SM). Secara sah, bawang putih sudah dikenal sejak zaman Nabi Musa sebagaimana tercantum dalam Al Qur'an [2]surat Al Baqarah ayat 61 sebagai berikut [3]:

وَإِذْ قُلْتُمْ يَا مُوسَىٰ لَنْ نَصْبِرَ عَلَىٰ طَعَامٍ وَحَدِيدٍ فَاذْعُ لَنَا رَبُّكَ مُخْرِجًا لَنَا مِمَّا تُثْمِتُ الْأَرْضُ مِنْ بَقْلِهَا وَقِثَّائِهَا وَفُومِهَا
وَعَدَسِهَا وَبَصِلَهَا ۗ قَالَ ... ﴿٦١﴾

Dan (ingatlah), ketika kamu berkata: “Hai Musa, kami tidak bisa sabar (tahan) dengan satu macam makanan saja. Sebab itu mohonkanlah untuk kami kepada Tuhanmu, agar Dia mengeluarkan bagi kami dari apa yang ditumbuhkan bumi, yaitu : sayur – mayurnya, ketimunnya, bawang putihnya, kacang adasnya, dan bawang merahnya”. (QS Al – Baqarah : 61)

Berdasarkan ayat di atas, Bani Israil sudah mengenal bawang putih dan menjadi salah satu komoditi yang dimohon untuk ditumbuhkan oleh Allah. Terlepas dari tafsir ayat tersebut[4] dan alasan mengapa Bani Israil meminta beberapa komoditi di atas, ternyata bangsa Mesir Kuno, dalam Codex Ebers (1550 SM), mengenal bawang putih sebagai bahan ramuan untuk mempertahankan stamina tubuh para pekerja dan olahragawan[1]. Sampai sekarang pun penggunaan bawang putih sebagai peningkat stamina alami (herbal) masih dilakukan bukan hanya oleh pekerja dan oleh olahragawan, tetapi juga oleh sebagian masyarakat yang menginginkan stamina lebih dengan ramuan alami dan sederhana. Namun, penggunaan bawang putih untuk meningkatkan stamina perlu juga dilakukan kontrol. Kadar insulin yang berlebih di dalam tubuh juga akan berakibat fatal. Karena jika kadar insulin tinggi maka kadar glukosa menjadi sangat rendah. Kondisi ini yang dinamakan dengan hiperinsulin [5].

Kestabilan glukosa – insulin dalam tubuh sangat perlu dijaga sehingga berada pada kondisi normal. Karena saat konsentrasi glukosa dalam darah tinggi, maka akan diawatirkan menderita diabetes. Akan tetapi ketika konsentrasi insulin meningkat, akan menyebabkan konsentrasi glukosa dalam darah akan menurun drastis dan akan menyebabkan kejang serta jika terjadi dalam jangka waktu yang lama akan menyebabkan kerusakan pada otak secara permanen [5]. Konsentrasi glukosa dan insulin dalam tubuh dapat dikatakan sebuah sistem karena satu sama lain saling berhubungan.

Atas dasar itulah, pada makalah ini peneliti akan membawa fenomena sistem glukosa – insulin ini ke dalam sebuah sistem persamaan diferensial sederhana untuk menganalisa efek penggunaan bawang putih untuk mengurangi kadar glukosa dan meningkatkan stamina tubuh secara alami.

b. Hasil Studi Literatur

Sudah banyak penelitian yang telah membahas terkait dengan insulin ataupun kadar gula darah, diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian yang dilakukan oleh Nicole Marheineke dkk [7], pada penelitian ini menjelaskan bahwa model berasal dari masalah medis yang dibantu dengan simulasi komputer. Pada model ini dilakukan kontrol keseimbangan kadar glukosa pada pasien ICU (intensive care unit) dengan memberikan nutrisi dan insulin. Dasar dari ivestigasi ini adalah model bio-medis Glucosafe oleh Pielmeier dkk yang menggambarkan perubahan sementara dari gula darah dan insulin pada tubuh manusia dengan bantuan sistem dinamik nonlinier dari persamaan difrensial biasa orde satu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa secara teori dan perlakuan dalam membangun masalah kontrol optimal. Hasil dari demonstrasi secara numerik untuk mengontrol dan mengaplikasikan model tersebut.

2. Penelitian yang dilakukan oleh Kennet W Sulston dkk [8], pada penelitian ini membahas model sistem dinamik dari konsentrasi plasma glukosa dan aturan perbandingan insulin dan glukosa yang berhubungan dengan diabetes tipe 1 dan tipe 2. Kasus *hyperglycemic* (kondisi kadar gula darah tidak normal) hanya bergantung dengan konsentrasi insulin, padahal pada kasus *hyperglycemic* sangat membutuhkan konsentrasi insulin dan glukagon. Aturan sehat untuk sel α adalah dengan menjaga keseimbangan antara glukosa dan hormon yang berkaitan.
 3. Penelitian yang dilakukan oleh Ame Setiawan dkk [9], pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan kombinasi ekstrak bulbus bawang putih (*Allium sativum* Linn.) dan rimpang kunyit (*Curcuma domestica* Val.) dapat digunakan sebagai obat antidiabetes oral pada penderita diabetes melitus (DM) tipe 2, dan secara klinis telah terbukti dapat menurunkan kadar glukosa darah dengan dosis 2,4 g/hari. Penelitian klinis dilakukan untuk melihat efek antidiabetes kombinasi ekstrak dibandingkan dengan antidiabetik oral, glibenklamid. Kombinasi ekstrak tidak mempengaruhi fungsi hati, ginjal, dan profil hematologi.
- c. Tujuan Penelitian
- Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dinamika yang terjadi pada kestabilan glukosa – insulin yang distimulasi oleh penggunaan bawang putih. Diharapkan, dengan memasukkan parameter dari bawang putih kedalam sistem glukosa – insulin ini tidak merusak sistem yang telah terbentuk, namun dapat berefek positif dengan adanya peningkatan insulin yang dibarengi adanya peningkatan stamina tubuh.

Teori dan Model Matematika

a. Landasan Teori

i. Glukosa dan Insulin

Glukosa sangat diperlukan oleh tubuh sebagai sumber energi. Sumber glukosa dalam darah berasal dari asupan makanan yang dikonsumsi dan juga berasal dari dalam tubuh dalam bentuk glikogen. Meskipun dibutuhkan sebagai sumber energi, glukosa dalam jumlah yang berlebih akan menimbulkan beberapa masalah bagi tubuh. Dalam kondisi normal, kadar glukosa dalam darah akan dipertahankan dalam rentang 70 – 110 mg/dl setelah berpuasa selama 8 jam. Sesaat setelah makan, kadar glukosa akan meningkat hingga mencapai 200 mg/dl, dan ketika kadar glukosa tinggi biasanya tubuh akan dihindangi rasa mengantuk yang tak tertahankan. Kondisi ini dapat menyerang siapa saja, baik sedang di kantor ataupun ketika sedang berkendara.

Dikutip dari laman FK UNAIR [10] bahwa kondisi mengantuk setelah makan dikatakan tidak normal, karena setelah makan seharusnya tubuh menghasilkan energi yang membuatnya segar. Tapi jika selalu mengantuk sehabis makan itu pertanda ada yang salah dalam makanannya, enzimnya atau kondisi kadar gula darahnya. Masih dalam laman yang sama [10], salah satu penyebabnya adalah meningkatnya kadar gula darah yang mengakibatkan kerja dari neuron orexin dihambat. Akibatnya seseorang akan merasa mengantuk karena kinerja neuron orexin yang bertanggung jawab untuk mengontrol seseorang agar tetap terjaga dihambat. Salah satu obat herbal/tradisional yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar gula darah (glukosa) adalah bawang putih [11].

Secara turun – temurun, bawang putih biasa digunakan oleh masyarakat sebagai bumbu penyedap masakan. Selain itu bawang putih juga digunakan sebagai obat alami

mulai dari untuk mengobati flu ringan, badan pegal, penambah stamina, pencegah rasa kantuk, dan dipercaya dapat mencegah penyakit kanker. Seiring dengan perkembangan zaman, banyak peneliti yang tertarik meneliti manfaat dari bawang putih. Bawang putih memiliki bahan-bahan aktif seperti alil propil disulfida (APDS) dan diallyl disulfide oksida (allicin). Apabila dikombinasikan dengan flavonoid maka akan memainkan peran penting dalam menurunkan kadar glukosa. Allicin dapat digabungkan dengan vitamin B1 (tiamin) untuk merangsang pankreas melepaskan insulin [11]. Insulin berfungsi untuk menyerap gula atau glukosa dalam aliran darah, dan mensirkulasikannya ke sel-sel tubuh untuk digunakan sebagai energi. Selain itu makanan yang masuk ke dalam tubuh akan diubah menjadi glukosa oleh sistem pencernaan, dan pankreas melepas insulin untuk mengantarkan glukosa ke sel-sel dalam tubuh. Dengan cara ini, insulin akan menjaga kadar gula dalam darah tetap pada level yang normal [12].

II. Sistem Autonomous dan Kestabilan Sistem

Misalkan terdapat sistem yang terdiri dari dua buah persamaan diferensial sebagai berikut [13]:

1

$$\frac{dx}{dt} = F(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = G(x, y)$$

dengan asumsi bahwa fungsi F dan G kontinu dan mempunyai turunan parsial pada domain D pada bidang xy dan dapat ditulis dalam bentuk berikut :

2

$$x' = f(x)$$

Jika $f(x) = 0$ dinamakan titik kritis dari sistem pada persamaan 2. Titik dari $x' = 0$ merupakan titik kritis yang berkaitan dengan kesetimbangan atau solusi dari sistem persamaan diferensial. Dengan matriks Jacobian dari persamaan 1 adalah sebagai berikut :

3

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_x(x_0, y_0) & F_y(x_0, y_0) \\ G_x(x_0, y_0) & G_y(x_0, y_0) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

Persamaan 3 merupakan metode umum dan sederhana untuk menemukan sistem linier yang berkorespondensi dengan sistem linier disekitar titik kritis.

teorema 1

Misalkan terdapat sistem persamaan diferensial

4

$$x' = Ax$$

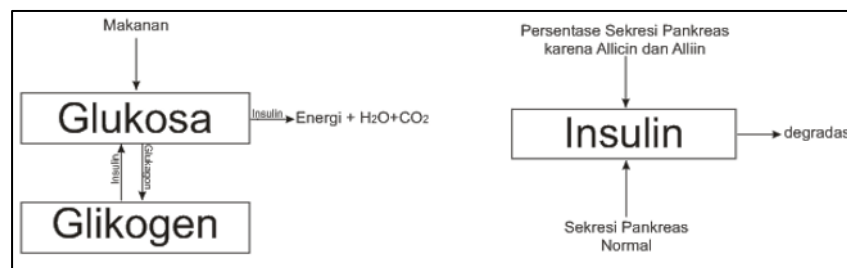
Titik kritis $x = 0$ dari sistem persamaan 4 stabil asimtotik jika nilai eigen r_1, r_2 real dan negatif; stabil tetapi tidak asimtotik stabil jika r_1 dan r_2 imajiner murni; tidak stabil jika r_1 dan r_2 real dan keduanya positif.

b. Model Matematika

Untuk membuat model dari sistem glukosa – insulin ini perlu digunakan beberapa asumsi, yaitu :

- i. Seseorang berada pada kondisi sehat, tidak mengidap penyakit diabetes ataupun hiperinsulin
- ii. Pada kondisi normal, peningkatan dan penurunan glukosa dipengaruhi oleh :
 1. Salah satu sumber glukosa berasal dari asupan makanan
 2. Ketika kadar gula dalam darah tinggi, secara alami tubuh akan bereaksi dengan menyimpan kelebihan glukosa dalam hati dan dalam otot dalam bentuk glikogen [8]
 3. Ketika kadar gula dalam darah rendah, hati akan mengubah glikogen kembali menjadi glukosa [8]
 4. Ketika glukosa tinggi, pankreas mengeluarkan insulin untuk menurunkan glukosa. Dan ketika glukosa rendah, pankreas mengeluarkan glukagon untuk meningkatkan glukosa dalam darah [8]
- iii. Pada kondisi normal, peningkatan insulin dipegaruhi oleh :
 1. Sekresi pankreas
 2. Mengonsumsi bawang putih, karena senyawa yang terkandung didalamnya yakni allisin dan Alliin merangsang pankreas mengeluarkan insulin lebih banyak [1]

Berdasarkan asumsi – asum di atas, maka diperoleh diagram seperti berikut :



Gambar 1
diagram model glukosa – insulin dalam tubuh

Berdasarkan diagram alur pada gambar 1 di atas dan dengan asumsi bahwa pada individu yang normal (tidak menderita diabetes atau hiperinsulin) konsentrasi glukosa dalam darah stabil dalam rentang 70 – 110 mg/dl, sehingga diperoleh model sistem persamaan diferensial sebagai berikut :

5

$$\frac{dG(t)}{dt} = pG t - qG t I(t)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = r + \gamma I t - qG t I t - sI(t)$$

Keterangan :

- p : laju penambahan glukosa dalam darah (mg/dl.min)
 q : laju penguraian glukosa menjadi energi (mg/dl.min)
 r : laju sekresi insulin oleh pankreas secara normal $\mu U/dl.min$
 γ : laju sekresi insulin karena pengaruh Allisin dan Allin $\mu U/dl.min$
 s : laju degradasi insulin, ambil $s = 0.03846$ (sebesar 0.001 – 0.07 $\mu U/dl.min$ [6])
 $p, q, r, \gamma, s \geq 0$

Titik kritis dari sistem persamaan 5 di atas diperoleh pada ketika $\frac{dG(t)}{dt} = 0$ dan $\frac{dI(t)}{dt} = 0$.

Sehingga diperoleh :

6

$$\begin{aligned} 0 &= pG - qI \\ 0 &= r + \gamma I + qG - sI \end{aligned}$$

Dari persamaan 6 didapatkan dua buah titik kritis, yakni $(0,0)$ dan $(\frac{r+\gamma-s}{q}, \frac{p}{q})$ dengan matriks

Jacobian sebagai berikut :

7

$$J = \begin{pmatrix} p - qI & -qG \\ -qI & r + \gamma - qG - s \end{pmatrix}$$

Untuk mengetahui dinamika kestabilan pada sistem persamaan diferensial di atas, terlebih dahulu akan dianalisa kestabilan disekitar titik kritisnya, yaitu :

a. Untuk titik kritis $(0,0)$ diperoleh matriks Jacobian sebagai berikut :

$$J = \begin{pmatrix} p & 0 \\ 0 & r + \gamma - s \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh nilai eigen $r_1 = p$ dan $r_2 = r + \gamma - s$. Karena $p, q, r, \gamma, s \geq 0$ maka titik kritis $(0,0)$ tidak stabil.

b. Untuk titik kritis $(\frac{r+\gamma-s}{q}, \frac{p}{q})$ diperoleh matriks Jacobian sebagai berikut :

$$J = \begin{pmatrix} 0 & -r - \gamma + s \\ -p & 0 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh nilai eigen $r_{3,4} = \pm \sqrt{p(r + \gamma - s)}$. Karena nilai eigen yang diperoleh bilangan kompleks, maka di sekitar titik kritis $(\frac{r+\gamma-s}{q}, \frac{p}{q})$ akan stabil jika $\gamma < s - r$

Hasil dan Diskusi

Dari persamaan 5 terlihat bahwa parameter γ merupakan laju sekresi insulin karena pengaruh Allicin dan Allin. Dengan kata lain parameter γ mewakili efek penggunaan bawang putih terhadap kadar glukosa dalam darah. Kondisi kestabilan glukosa – insulin dipengaruhi oleh parameter – parameter p, r, s dan γ . Pada seseorang yang tidak mengkonsumsi bawang putih, kestabilan sistem glukosa – insulin dalam tubuh akan terjadi jika $r < s$. Akan tetapi, pada sistem dengan adanya penambahan parameter γ , kondisi sistem glukosa – insulin stabil untuk $\gamma < s - r$. Dengan kata lain laju penambahan insulin karena penggunaan bawang putih lebih kecil dari selisih laju insulin yang tersekresi oleh pankreas dan laju insulin yang terdegradasi. Kondisi selain di atas merupakan kondisi yang tak stabil. Artinya dalam tubuh akan terjadi kondisi glukosa yang terlalu banyak (diabetes) atau insulin yang terlalu banyak (hiperinsulin).

Untuk melihat efek konsumsi bawang putih, perhatikan grafik di bawah ini :



Gambar 2
Simulasi efek penggunaan bawang putih

Pada grafik di atas dapat terlihat perbedaan dari efek penggunaan bawang putih terhadap kadar glukosa dalam darah. Pada bagian kiri merupakan simulasi untuk kondisi tanpa ada konsumsi bawang putih (dengan mengambil nilai parameter $\gamma = 0$) sedangkan pada bagian kanan merupakan simulasi nilai parameter $\gamma \neq 0$ (ada konsumsi bawang putih). Meskipun diberikan jumlah glukosa yang sama, namun efek dari penggunaan bawang putih jelas terlihat terutama dalam hal kecepatan penurunan glukosa menuju kondisi normal dan jumlah akhir dari insulin.

Pada kondisi setelah makan, meningkatnya kadar glukosa akan menghambat kinerja neuron orexin sehingga seringkali akan menyebabkan rasa kantuk yang tak tertahankan untuk beberapa saat sampai kadar gula berkurang. Pada seseorang yang mengkonsumsi bawang putih setelah makan, penambahan glukosa tidak terlalu berpengaruh terhadap rasa kantuk. Karena hanya dibutuhkan beberapa saat saja untuk menunggu penurunan kadar glukosa dari kondisi sesaat setelah makan, sehingga terhindar dari rasa kantuk. Kondisi ini sangat bagus dilakukan bagi seseorang yang sering berkendara terutama berkendara jarak menengah ataupun jarak jauh.

Selain ada pengaruh pada penurunan kadar glukosa dalam darah, penggunaan (konsumsi) bawang putih juga mempengaruhi kadar insulin dalam darah. Telah dijelaskan sebelumnya bahwa bawang putih dapat merangsang pankreas untuk melepaskan insulin. Dari grafik di atas terlihat bahwa penggunaan bawang putih dapat meningkatkan kadar insulin beberapa persen dari kondisi normal. Saat insulin berada pada kondisi maksimum, kadar glukosa sudah jauh turun terserap dan teredarkan keseluruh tubuh dalam bentuk energi. Kondisi inilah yang digunakan oleh olahragawan untuk dapat meningkatkan stamina secara cepat dan alami. Namun, penggunaan (konsumsi) bawang putih tidak boleh terlalu berlebihan (banyak). Pada grafik 1 di atas diambil nilai $\gamma = 0.01$, namun perbedaan (selisih) antara jumlah insulin pada seseorang yang tidak mengkonsumsi bawang putih dan pada seseorang yang mengkonsumsi bawang putih cukup signifikan. Dengan kata lain, jika ada penambahan sekresi insulin karena adanya konsumsi bawang putih secara berlebihan (nilai $\gamma > 0.01$), maka jumlah insulin dalam darah akan melonjak secara drastis. Efek yang akan terjadi adalah kadar glukosa dalam darah akan menurun secara drastis sehingga tubuh akan lemas dan jika hal ini terjadi dalam waktu yang lama akan terjadi kerusakan otak secara permanen.

Kesimpulan

Bawang putih sudah dikenal dan digunakan sejak lama. Salah satunya adalah digunakan untuk menurunkan kadar gula dalam darah. Meskipun berguna dalam menurunkan kadar gula, namun penggunaan bawang putih tidak serta merta bebas begitu saja. Kestabilan sistem glukosa – insulin perlu juga diperhatikan. Sistem glukosa – insulin dalam tubuh akan stabil jika $r < s$ (untuk seseorang tanpa mengkonsumsi bawang putih) dan $\gamma < s - r$ untuk seseorang yang mengkonsumsi bawang putih. Selain dari kondisi tersebut, sistem tidak stabil. Seandainya sistem tidak stabil, maka yang akan terjadi adalah kadar glukosa akan tinggi atau kadar insulin yang tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada keluarga besar IAIN Syeh Nurjati Cirebon, khususnya Tadris Matematika atas segala bantuan, perhatian dan masukan yang diberikan kepada penulis sehingga makalah ini dapat selesai tepat pada waktunya.

Referensi

- [1] U. E. K. O. Hernawan and A. D. W. I. Setyawan, "REVIEW : Senyawa Organosulfur Bawang Putih (*Allium sativum* L.) dan Aktivitas Biologinya," *Biofarmasi*, vol. 1, no. 2, pp. 65–76, 2003.
- [2] A. Purwanto, *Ayat - Ayat Semesta : Sisi - Sisi Al - Quran yang Terlupakan*. Bandung: Mizan, 2008.
- [3] K. A. S. Kementerian Urusan Agama Islam Wakaf Dakwah dan Bimbingan Islam, *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Madinah: Muja'mma' Al Malik Fahd Li Thiba'at Al Mush-Haf, 1431.
- [4] Redaksi, "Jangan Salah Pilih Makanan Seperti Bani Israil," *Eramuslim*, 2015. [Online]. Available: <http://www.eramuslim.com/konsultasi/thibbun-nabawi/jangan-salah-pilih-makanan-seperti-bani-israil.htm#.VS1tHxAtFsw>. [Accessed: 14-Apr-2015].
- [5] V. F. Bararah, "Kelebihan Insulin, Penyakit Kebalikan dari Diabetes," *detikHealth*, 2010. [Online]. Available: <http://health.detik.com/read/2010/07/06/104542/1393705/763/kelebihan-insulin-penyakit-kebalikan-dari-diabetes>. [Accessed: 14-Apr-2015].
- [6] J. Li, "The Dynamics of Glucose - Insulin Endocrine Metabolic Regulatory System," Arizona State University, 2004.
- [7] N. Marheineke, T. Cibis, S. Schiessl, and U. Pielmeier, "Optimal control of glucose balance in ICU patients based on GlucoSafe model," *J. Math. Ind.*, vol. 4, p. 3, 2014.
- [8] K. W. Sulston, W. P. Ireland, and J. C. Praught, "Hormonal Effects on Glucose Regulation," *Atlantic*, vol. 1, no. 1, pp. 31–46, 2006.
- [9] A. S. Setiawan, E. Yulinah, I. K. Adnyana, H. Permana, and P. Sudjana, "Efek Antidiabetes Kombinasi Ekstrak Bawang Putih (*Allium sativum* Linn.) dan Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) dengan Pembanding Glibenklamid pada Penderita Diabetes Melitus Tipe 2," *MKB*, vol. 43 No.1, pp. 26–34, 2011.
- [10] Redaksi, "Kenapa Habis Makan Terus Ngantuk?," *unair*, 2015. [Online]. Available: <http://www.fk.unair.ac.id/news/kilasan/kenapa-habis-makan-terus-ngantuk-.html>. [Accessed: 12-Mar-2015].
- [11] B. Mikail, "11 Makanan Pengontrol Gula Darah," *Kompas.com*, 2011. [Online]. Available: <http://health.kompas.com/read/2011/09/30/13271555/11.Makanan.Pengontrol.Gula.Darah>. [Accessed: 14-Mar-2015].
- [12] Redaksi, "Insulin dan Resistensi Insulin," *webkesehatan.com*. [Online]. Available: <http://webkesehatan.com/insulin-dan-resistensi-insulin/#>. [Accessed: 14-Mar-2015].
- [13] W. E. Boyce and R. C. DiPrima, *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*, 7th ed. New York: Jhon Wiley & Sons, Inc., 2000.

MA-02

Analisis Model Gelombang Berjalan pada Pertumbuhan Sel Prekursor yang Berinvasi

Leny Kety Wulansari^{1, a)}, Diny Zulkarnaen^{2, a)} dan Esih Sukaesih^{2, b)}

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: leniecahy@gmail.com

^{b)}dinyzul@gmail.com

Abstrak

Bagian terkecil yang menyusun tubuh makhluk hidup adalah sel. Salah satu jenis sel yang ada diorgan tubuh manusia yaitu sel prekursor. Sel Prekursor terletak di bagian sekitar saluran pencernaan. Beberapa sistem dalam biologi menyatakan bahwa salah satu aktifitas dari sel khususnya sel prekursor adalah melakukan invasi. Sel-sel yang berinvasi dapat melakukan aktifitas-aktifitas sel sebagaimana mestinya seperti berkembang biak, tumbuh dan bermigrasi. Proliferasi dan diferensiasi adalah salah satu proses pertumbuhan sel. Proses diferensiasi menghasilkan jenis sel Neuron. Neuron dapat membentuk Sistem Saraf Enterik, yang berfungsi mengontrol gerakan fisiologis dari usus. Dalam paper ini disajikan sebuah model gelombang berjalan yang melibatkan dua populasi pada proses invasi sel, yang kemudian dibahas mengenai keberadaan solusi gelombang berjalan (*Traveling Wave Solutions*) dari pengaruh nilai parameter, serta pengaruh kondisi awal terhadap kecepatan gelombang. Kemudian diakurasikan dengan menggunakan metode perturbasi deret asimtotik dan metode numerik. Metode perturbasi memberikan batas interval nilai parameter terhadap keberadaan solusi gelombang berjalan.

Kata Kunci: Proliferasi, Diferensiasi, Traveling Wave Solutions, Perturbasi, Invasi sel.

Pendahuluan

Bagian terkecil yang menyusun tubuh makhluk hidup adalah sel. Sel Prekursor adalah salah satu jenis sel yang ada diorgan tubuh makhluk hidup. Sel prekursor dapat melakukan invasi disekitaran saluran pencernaan. Sel-sel yang sedang berinvasi dapat melakukan aktifitas-aktifitas sel sebagaimana mestinya, seperti berkembang biak, tumbuh dan bermigrasi. Proses pertumbuhan sel dibedakan atas dua jenis yaitu diferensiasi dan proliferasi. Diferensiasi adalah suatu perubahan sel dimana sel yang telah mencapai volume pertumbuhan akhir menjadi terspesialisasi sesuai fungsinya menghasilkan jenis jaringan, organ atau organisme baru[1]. Sedangkan proliferasi adalah fase sel saat mengalami pengulangan siklus sel tanpa hambatan. Proliferasi sel menghasilkan dua sel yang berasal dari satu sel[2].

Dalam sistem biologi, model matematika berperan penting. Model matematika memberikan pengetahuan/wawasan mengenai hal-hal yang berhubungan dengan pertumbuhan sel, seperti proliferasi dan diferensiasi. Model matematika yang digunakan pada proses invasi sel adalah model gelombang berjalan. Dengan model matematika, berupa model gelombang berjalan (*Traveling Wave Model*), kecepatan sel saat berinvasi dapat diketahui. Selain itu juga dengan model tersebut dapat diketahui keberadaan solusi gelombang berjalan (*Traveling wave Solution*). Dengan adanya solusi

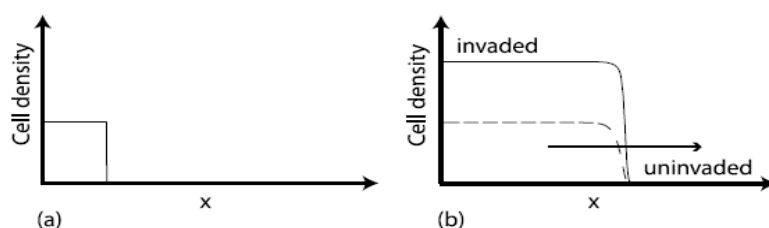
gelombang berjalan, kepadatan populasi sel akan selalu seimbang tidak akan mencapai *over growth*. Oleh karena itu perlu dicari keberadaan solusi gelombang berjalan (*Traveling wave Solution*).

Rasio perbandingan sel saat diferensiasi dan proliferasi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi keberadaan solusi gelombang berjalan. Rasio perbandingan proliferasi dan diferensiasi perlu diamati seberapa besar pengaruhnya dengan atau tanpa menggunakan metode perturbasi. Metode perturbasi dilakukan untuk mendapatkan perkiraan solusi pada masalah nonlinier sehingga didapatkan keakuratan solusi dari sebuah sistem persamaan.

Teori

1. MODEL GELOMBANG BERJALAN PADA PERTUMBUHAN SEL PREKURSOR YANG BERINVASI

Pertumbuhan sel prekursor dapat dimodelkan kedalam bentuk model matematika. Model matematika memberikan pengetahuan/wawasan mengenai hal-hal yang berhubungan pada sistem biologi, seperti pada kasus invasi sel. Model yang digunakan berupa model gelombang berjalan, yang kemudian dicari keberadaan solusi gelombang berjalan. Model tersebut digunakan untuk melihat perilaku sel saat berinvasi. Invasi yang dimaksud adalah penjelajahan disaluran pencernaan. Berikut adalah ilustrasi proses invasi sel.



Gambar 1.1 Ilustrasi Proses Invasi.

Model pertumbuhan sel prekursor saat berinvasi yaitu sebagai berikut:

$$\frac{\partial c'}{\partial t'} = D \frac{\partial^2 c'}{\partial (x')^2} + \alpha c' \left(1 - \frac{c' + \gamma n'}{k_1}\right) - \beta c' \left(1 - \frac{n'}{k_2}\right) \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial n'}{\partial t'} = \beta c' \left(1 - \frac{n'}{k_2}\right)$$

dengan :

c' = populasi sel prekursor

n' = populasi sel yang berdiferensiasi

k_1 = kapasitas maksimum sel yang berproliferasi

k_2 = kapasitas maksimum sel yang berdiferensiasi

α = tingkat proliferasi

β = tingkat diferensiasi

γ = waktu peluruhan

($\gamma = 0$ (sel yang berdiferensiasi tidak memberikan kontribusi saat mencapai kapasitas maksimum))

($\gamma = 1$ (sel prekursor dan sel yang berdiferensiasi memberikan kontribusi yang sama saat mencapai kapasitas maksimum))

D = konstanta difusi

t' = skala waktu

x' = jarak

Untuk menyederhanakan model (1.1) digunakan variabel tak berdimensi agar mengurangi jumlah parameter atau disebut non-dimensionalisasi, sehingga model menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} &= \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + c(1-c) - \gamma n - \lambda c(1-Kn) \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= \lambda c(1-Kn) \end{aligned} \quad (1.2)$$

dengan :

- c = populasi sel prekursor
- n = populasi sel yang berdiferensiasi
- K = kapasitas Maksimum (*carrying capacity*)
- λ = rasio perbandingan tingkat proliferasi dan tingkat diferensiasi
- t = skala waktu

2. TITIK TETAP DAN KESTABILAN

Untuk mendapatkan titik tetap mula-mula model (1.2) harus dikonversikan dulu ke bentuk persamaan diferensial biasa[3]:

$$z = x - st \quad c(x,t) = C(z) \quad n(x,t) = N(z)$$

dimana s adalah kecepatan gelombang berjalan. Asumsikan ($s > 0$) sehingga menghasilkan persamaan diferensial biasa orde 2:

$$\begin{aligned} -sC' &= C'' + C(1-C-\gamma N) - \lambda C(1-KN) \\ -sN' &= \lambda C(1-KN) \end{aligned} \quad (1.3)$$

Asumsikan $C' = V$ agar diperoleh persamaan diferensial biasa orde 1. Persamaan menjadi:

$$\begin{aligned} C' &= V \\ N' &= -\frac{\lambda}{s} C(1-KN) \end{aligned}$$

$$V' = -sV - C(1-C-\gamma N) + \lambda C(1-KN)$$

Maka diperoleh 2 titik tetap yaitu $E_1 = (1 - \frac{\gamma}{K}, \frac{1}{K}, 0)$, yaitu keadaan saat sel prekursor melakukan invasi. Keadaan ini disebut *invaded state* dan $E_2 = (0, N, 0)$. Titik tetap E_2 nilai N dipengaruhi oleh nilai γ . $\gamma = 0$ artinya kepadatan populasi sel yang berdiferensiasi (n) tidak mempengaruhi kepadatan populasi sel prekursor (c). Sedangkan $\gamma = 1$ kepadatan populasi sel yang berdiferensiasi (n) mempengaruhi kepadatan populasi sel prekursor (c). Titik E_2 memberikan jumlah yang tidak terbatas dengan titik tetap $(c, n) = (0, N)$. Ini berarti tidak ada sel prekursor pada daerah E_2 atau keadaan seperti ini disebut *uninvaded state*. Diasumsikan ($N = 0$) agar sesuai dengan sistem biologi yang relevan. Dalam hal ini perlu dibatasi, yaitu titik tetap pada daerah *uninvaded* yaitu $(0,0)$ dengan mempertimbangkan $0 \leq N \leq \frac{1}{K}$.

Selanjutnya lakukan analisis kestabilan dengan menggunakan Jacobi.

$$J = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ -\frac{\lambda}{s}(1-KN) & \frac{K\lambda}{s}C & 0 \\ -1 + 2C + \gamma N + \lambda(1-KN) & \gamma C - \lambda KC & -s \end{pmatrix}$$

2.1 Invaded state ($E_1 = (1 - \frac{\gamma}{K}, \frac{1}{K}, 0)$)

$$\mu_1 = \frac{(K-\gamma)\lambda}{s} \quad \text{dan} \quad \mu_{2,3} = \frac{-s \pm \sqrt{s^2 - 4(1 - \frac{\gamma}{K})}}{2}$$

$$= \frac{-s \pm \sqrt{s^2 - \frac{4\gamma}{K}}}{2}$$

Ketika $\gamma = 1$ dan $K > 1$ didapatkan nilai eigen yang real dengan $\mu_1 > 0$, $\mu_2 > 0$, $\mu_3 < 0$ begitupun ketika $\gamma = 0$. Sehingga pada daerah menginvasi (*invaded state*) kestabilannya *saddle*.

2.2 Uninvaded state ($E_2 = (0, N, 0)$)

$$\mu_1 = 0 \quad \text{dan} \quad \mu_{2,3} = \frac{-s \pm \sqrt{s^2 - 4(1-\delta)}}{2}$$

dengan $\delta = \gamma N + \lambda(1 - KN)$

Kestabilan pada keadaan *uninvaded state* akan bergantung dengan nilai δ . Ketika $\delta > 1$ semua nilai eigen akan berupa bilangan real dengan $\mu_1 = 0$, $\mu_2 > 0$, dan $\mu_3 < 0$ sehingga kestabilan berupa *saddle*. Sedangkan ketika $\delta < 1$ nilai eigen bisa berupa bilangan real atau kompleks. Jika nilai eigen berupa bilangan kompleks kestabilan akan berbentuk spiral, hal ini tidak sesuai dengan sistem biologi yang ada. Sehingga agar sistem sesuai, dan diperoleh keadaan yang stabil, perlu diasumsikan nilai eigen adalah bilangan real dengan syarat kondisi kecepatan :

$$s^2 \geq s_{min}^2 = 4(1 - \delta)$$

Sebelumnya, telah didapatkan syarat stabil yang bergantung pada kecepatan (s). Untuk mengetahui keberadaan solusi gelombang berjalan, terlebih dahulu harus mengetahui kecepatan minimum sel prekursor dalam berinvasi. Agar kecepatan mencapai minimum, diperlukan kondisi awal yang tepat[3]. Dengan mengacu pada persamaan fisher didapatkan Kecepatan yang bergantung pada kondisi awal sebagai berikut:

$$s^* = \begin{cases} a + \frac{1}{a} & 0 < a \leq 1 \\ 2 & a \geq 1 \end{cases}$$

Analisis yang sama dilakukan pada penelitian ini. Kecepatan gelombang bergantung pada kondisi awal dibawah ini:

$$s = \begin{cases} a + \frac{1-\delta}{a} & 0 < a \leq \frac{1}{1-\delta} \\ 2 & a > \frac{1}{1-\delta} \end{cases} \quad (1.4)$$

Sehingga kecepatan minimum didapatkan ketika $2 \frac{1}{1-\delta}$ untuk memverifikasinya digunakan syarat awal sebagai berikut:

$$c(x, 0) = \begin{cases} 1 - \frac{\gamma}{K} & x \leq 20 \\ 1 - \frac{\gamma}{K} e^{-a(x-20)} & x > 20 \end{cases} \quad (1.5)$$

Kecepatan yang minimum didapatkan dengan menggunakan persamaan (1.5). Ini berarti kondisi awal (1.5) tepat sehingga dapat menghasilkan solusi gelombang berjalan. Namun hal ini hanya berlaku untuk $\delta = \lambda < 1$ ketika ($N = 0$). Akan tetapi ketika $\delta > 1$, akan dihasilkan akar negatif sehingga menghasilkan bilangan kompleks dan ini tidak sesuai. Sehingga kondisi awal (3.22) akan menghasilkan solusi gelombang berjalan ketika $\delta < 1$ saja.

3. Analisis Perturbasi

Analisis perturbasi dilakukan untuk memeriksa sebuah keakuratan solusi dari sebuah sistem persamaan. Metode perturbasi bertujuan untuk menentukan solusi secara analitis sebuah solusi dari persamaan nonlinier[4].

3.1 Kasus $\beta < \alpha$ (Nilai λ kecil, $\lambda \ll 1$)

Dengan menggunakan bantuan deret asimtotik berikut:

$$C(\xi) = C_0(\xi) + \epsilon C_1(\xi) + \epsilon^2 C_2(\xi) + \dots,$$

$$N(\xi) = N_0(\xi) + \epsilon N_1(\xi) + \epsilon^2 N_2(\xi) + \dots,$$

Persaman (1.2) menjadi :

$$C'_0 = -C_0(1 - C_0 - \gamma N_0) + \lambda C_0(1 - KN_0) \tag{1.6}$$

$$N'_0 = -\lambda C_0(1 - KN_0)$$

Didapatkan solusi eksak Untuk nilai $\gamma = 0$, yang artinya populasi sel yang berdiferensiasi tidak berpengaruh pada kepadatan populasi sel prekursor[5].

$$\frac{1 - KN_0}{1 - KN} = \frac{1 - K\lambda \frac{1 - C_0 - \lambda(1 - KN_0)}{1 - K\lambda - \lambda(1 - KN)} K\lambda}{1 - K\lambda - \lambda(1 - KN)} \tag{1.7}$$

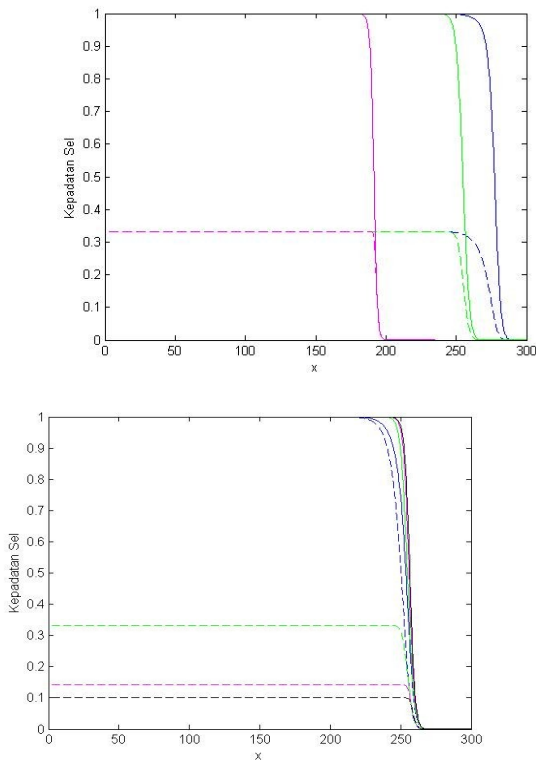
sedangkan untuk nilai $\gamma = 1$, yang artinya populasi sel yang berdiferensiasi berpengaruh pada kepadatan populasi sel prekursor. Solusinya menjadi[5]:

$$\frac{1 - KN_0}{1 - KN} = \frac{1 - C_0 - N_0}{1 - N} K\lambda \tag{1.8}$$

Hasil dan Diskusi

Dengan menggunakan model (1.2) secara numerik didapatkan hasil sebagai berikut:

1. $\gamma = 0$



Gambar 1.2 Grafik populasi sel prekursor ($c(x, 100)$) dan sel yang berdiferensiasi ($n(x, 100)$) dengan $\gamma = 0$ $K = 3$

Keterangan gambar 1.2:
 Sel prekursor (c)
 Biru $\lambda=0,1$ Hijau $\lambda=0,3$ ungu $\lambda=1$
 ----- Sel yang berdiferensiasi(n)
 Biru $\lambda=0,1$ Hijau $\lambda=0,3$ ungu $\lambda=1$

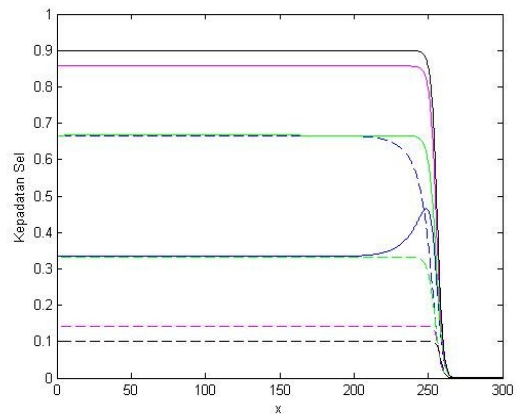
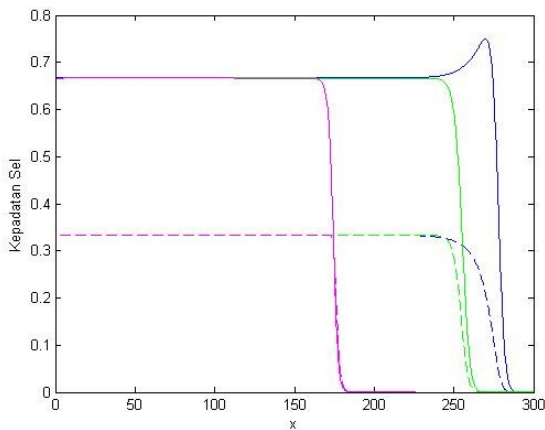
Gambar 1.3 Grafik populasi sel prekursor ($c(x, 100)$) dan sel yang berdiferensiasi ($n(x, 100)$) dengan $\gamma = 0$ $\lambda = 0,3$

Keterangan gambar 1.3:
 Sel prekursor (c)
 Biru $K=1$ Hijau $K=3$ ungu $K=7$ Hitam
 $K=10$
 ----- Sel yang berdiferensiasi(n)
 Biru $K=1$ Hijau $K=3$ ungu $K=7$ Hitam
 $K=10$

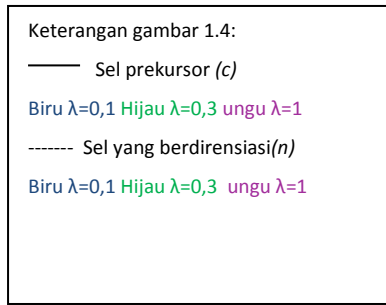
Pada gambar 1.2 dapat dilihat bahwa ketika $\gamma = 0$, artinya populasi sel yang berdiferensiasi tidak mempengaruhi populasi sel prekursor sehingga kepadatan sel populasi sel prekursor mencapai kapasitas maksimum di satu. Lain halnya dengan kepadatan populasi sel yang berdiferensiasi, hanya bisa mencapai maksimum di $\frac{1}{K}$, karena nilai K yang digunakan $K = 3$ sehingga populasi sel yang berdiferensiasi (n) maksimum pada $\frac{1}{K} \approx 0,3$. Dapat dilihat juga bahwa nilai λ yang berbeda untuk kasus $\gamma = 0$, tidak mempengaruhi kepadatan populasi kedua jenis sel. Nilai λ yang berbeda hanya berpengaruh pada jarak masing-masing dari populasi mencapai kepadatan minimum. Semakin kecil nilai λ kedua jenis sel dapat mencapai kepadatan minimum dengan jarak yang semakin jauh, artinya semakin kecil nilai λ setiap sel dapat menginvasi lebih jauh dengan kecepatan gelombang yang meningkat.

Gambar 1.3 memberikan hasil yang berbeda dengan gambar 1.4. Nilai K yang berbeda-beda mempengaruhi kepadatan sel yang berdiferensiasi tapi tidak mempengaruhi kepadatan sel prekursor. Kepadatan sel prekursor untuk semua nilai K yang diberikan, akan tetap maksimum di satu. Lain halnya dengan sel yang berdiferensiasi, semakin besar nilai K kepadatan selnya semakin menurun. Ini sesuai dengan asumsi awal bahwa untuk nilai $\gamma = 0$ kedua populasi sel tidak saling mempengaruhi jumlah kepadatan sel masing-masing. Nilai K tidak mempengaruhi jarak sel saat mencapai kepadatan minimum, sehingga K tidak mempengaruhi kecepatan gelombang.

2. $\gamma = 1$



Gambar 1.4 Grafik populasi sel prekursor ($c(x, 100)$) dan sel yang berdiferensiasi ($n(x, 100)$) dengan $\gamma = 1$ $K = 3$



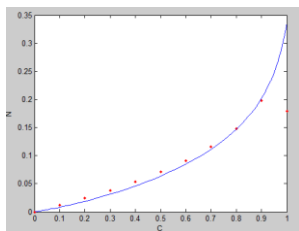
Gambar 1.5 Grafik populasi sel prekursor ($c(x, 100)$) dan sel yang berdiferensiasi ($n(x, 100)$) dengan $\gamma = 01$ $\lambda = 0,3$



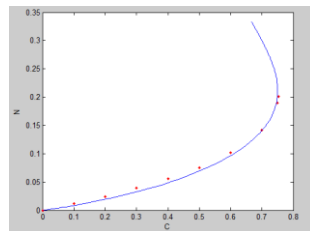
Ketika $\gamma = 1$, semakin kecil nilai λ kedua jenis sel dapat mencapai kepadatan minimum semakin jauh, artinya semakin kecil nilai λ setiap sel dapat menginvasi lebih jauh, dengan kecepatan gelombang yang meningkat. Namun untuk kepadatan populasinya tidak mengalami perubahan, terkecuali lihat gambar 1.4, pada saat $\lambda = 0,1$ populasi sel prekursor tumbuh melebihi kepadatan maksimumnya. Artinya pada posisi ini jumlah sel prekursor akan lebih banyak dengan jumlah sel yang berdiferensiasi. Sehingga saat $\gamma = 1$ dan $\lambda = 0,1$ tidak terdapat solusi gelombang berjalan.

Gambar 1.5 memberikan hasil yang berbeda dengan gambar 1.4. Nilai K yang berbeda-beda mempengaruhi kepadatan sel yang berdiferensiasi juga kepadatan sel prekursor. Kepadatan sel prekursor untuk nilai K semakin besar, maka kepadatan selnya semakin besar juga. Sebaliknya dengan sel yang berdiferensiasi, semakin besar nilai K kepadatan selnya semakin menurun.

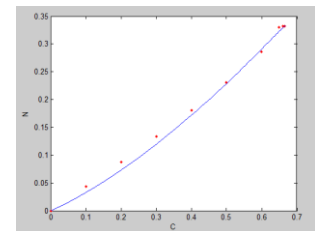
Pada subbab sebelumnya telah disinggung soal metode perturbasi yang digunakan untuk mencari solusi eksak dari sistem persamaan nonlinier. Solusi eksak pada persamaan (1.7) dan (1.8) akan dibandingkan dengan solusi numerik. Berikut hasilnya:



Gambar 1.6 $\gamma = 0$ $\lambda = 0,1$



Gambar 1.7 $\gamma = 1$ $\lambda = 0,1$



Gambar 1.8 $\gamma = 1$ $\lambda = 0,3$

Keterangan:

..... Solusi Analitik

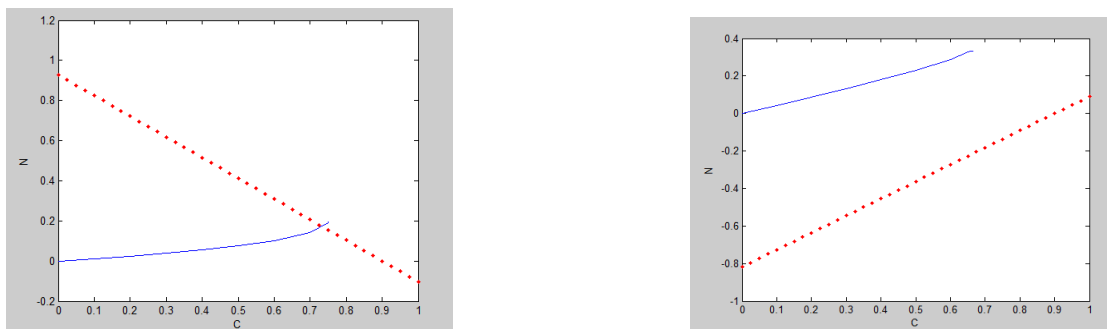
———— Solusi Numerik

Gambar 1.6 dan 1.7 menunjukkan dinamika populasi kedua sel. Gambar 1.7 menunjukkan ketika $\lambda = 0.1$ $\gamma = 1$ kepadatan populasi sel prekursor melebihi kapasitas maksimumnya, sedangkan kepadatan populasi sel yang berdiferensiasi belum mencapai kapasitas maksimum. Namun saat $\lambda = 0.3$, kedua populasi kepadatannya seimbang tidak ada populasi yang kepadatannya melebihi kapasitas maksimum masing-masing populasi.

3. Kemonotonan pada Gelombang

Persamaan (1.6) menghasilkan titik tetap berupa *nullclines*. Keberadaan *nullclines* diamati untuk mengantisipasi perpotongan dengan grafik C_0 dan N_0 . *Nullclines* yang dihasilkan sebagai berikut.

$$C_0 = 0 \quad \text{dan} \quad N_0 = \frac{1-\lambda-C_0}{1-\lambda K}, \quad \text{dan berikut grafiknya:}$$



Gambar 1.9 Dinamika Populasi dengan Keberadaan *Nullclines*
 (a) $\lambda K < 1$ (b) $\lambda K > 1$

Gambar (1.9.a) menunjukkan perpotongan *nullclines* pada grafik C_0 dan N_0 , yang disebabkan karena kepadatan populasi C_0 melebihi kapasitas maksimumnya sedangkan N_0 belum mencapai kapasitas maksimum. Perpotongan yang terjadi ketika nilai $\lambda K < 1$ dan menyebabkan gelombang nonmonotonik seperti pada gambar 1.4 (garis biru). Garis gelombang yang nonmonotonik, artinya tidak ada keberadaan solusi gelombang berjalan. Lain halnya pada gambar (1.9.b), ketika $\lambda K > 1$ tidak ada perpotongan *nullclines* pada grafik C_0 dan N_0 , Kepadatan populasi C_0 akan konstan tidak akan melebihi kapasitas maksimumnya begitu juga dengan N_0 Keadaan seperti ini tidak akan mengakibatkan populasi mengalami *over growth*. Sehingga kepadatannya akan terus monoton pada $1 - \frac{1}{K}$. Bentuk garis gelombang akan monoton turun seperti pada 1.4 (garis hijau dan ungu). Keadaan gelombang yang monoton turun, artinya pada saat $\lambda K > 1$ dan $\lambda > \frac{1}{K}$ dengan $\frac{1}{K} \approx 0,3$ terdapat keberadaan solusi gelombang berjalan untuk $\gamma = 1$.

Kesimpulan

1. Solusi Gelombang berjalan untuk kasus $\gamma = 0$ ada untuk nilai $0 < \lambda < 1$
2. Sebelum dilakukan analisis perturbasi, solusi gelombang berjalan untuk kasus $\gamma = 1$ ada untuk nilai $\lambda < 1$
3. Setelah dilakukan analisis perturbasi, solusi gelombang berjalan untuk kasus $\gamma = 1$ ada untuk nilai $\frac{1}{K} < \lambda < 1$. Maka dapat dikatakan metode perturbasi deret asimtotik cukup baik sebagai pelengkap dan mengakurasi hasil numerik yang ada.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang ikut berperan serta dalam penelitian ini, kepada pihak Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah memfasilitasi buku-buku sebagai bahan referensi dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] <http://www.biologipedia.org/diferensiasi-sel.html> (Diakses tanggal 11 Oktober 2013)
- [2] <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/35054/4/> (Diakses tanggal 11 Oktober 2013)
- [3] Murray, J. D., *Mathematical Biology : An Introduction, Third Edition*, Springer, 1993.
- [4] Nayfeh, Ali Hasan., *Introduction To Perturbation Technique*, John Wiley & Sons, New York, 1993.
- [5] Treweek, A.J., Landman, A.K., A Travelling Wave Model for Invasion by Precursor and Differentiated Cells. *Bulletin of Mathematical Biology*. **71**: 291-317, 2009.

MA-03

Penjadwalan Karyawan Menggunakan *Goal Programming*: Studi Kasus Di Divisi *Contact Center* PLN

Syika Ayunda Putri^{1, a)} Farida Hanum^{2, b)} dan Toni Bakhtiar^{3, c)}

¹Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

³Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

^{a)} syika.ayundaputri@yahoo.co.id

^{b)} faridahhanum00@yahoo.com

^{c)} tbakhtiar@ipb.ac.id

Abstrak

Masalah penjadwalan karyawan merupakan masalah praktis yang muncul di suatu instansi. Karyawan perlu diberikan jadwal kerja yang jelas dan terperinci. Selama ini penjadwalan kerja karyawan masih banyak yang dilakukan secara manual (metode konvensional). Akibatnya penjadwalan membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Penjadwalan yang tidak tepat dapat menyebabkan karyawan kelelahan dan berdampak buruk pada pekerjaan. Hal tersebut juga dapat menimbulkan kerugian bagi instansi. Oleh karena itu, penjadwalan kerja secara efisien menjadi sangatlah penting. Permasalahan penjadwalan ini dapat dimodelkan sebagai masalah *nonpreemptive goal programming*. Fungsi objektifnya yaitu meminimumkan total kekurangan dan/atau kelebihan (deviasi) terhadap sasaran yang ingin dicapai. Sasaran tersebut berupa peraturan-peraturan yang sebenarnya diinginkan oleh karyawan.

Kata kunci: penjadwalan, *goal programming*, *nonpreemptive goal programming*

Pendahuluan

Penyusunan jadwal kerja bagi karyawan dalam suatu instansi merupakan suatu pekerjaan yang cukup rumit karena harus mengombinasikan antara banyak pekerja, ketersediaan waktu pekerja, tempat, peralatan kerja, dan dilengkapi dengan sejumlah aturan yang harus dilaksanakan. Selama ini penjadwalan *shift* kerja karyawan masih banyak yang dilakukan secara manual (metode konvensional). Akibatnya penjadwalan membutuhkan waktu yang relatif lebih lama. Selain itu, penjadwalan secara manual juga dapat menyebabkan adanya ketidakseimbangan jadwal antar-karyawan, seperti adanya karyawan yang lebih banyak mendapatkan *shift* malam dibandingkan dengan karyawan lain dan ketidakpastian jumlah hari libur. Penjadwalan yang tidak tepat dapat menyebabkan karyawan kelelahan dan berdampak buruk pada pekerjaan.

Oleh karena itu, penjadwalan kerja secara efisien menjadi sangat penting. Pada penelitian ini, akan dibahas permasalahan penjadwalan karyawan yang dimodelkan sebagai masalah *nonpreemptive goal programming*. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan masalah penjadwalan karyawan ke dalam bentuk *goal programming*, dan menyelesaikannya menggunakan *nonpreemptive goal programming*.

Teori

Goal Programming

Goal programming adalah salah satu teknik yang dapat digunakan oleh pembuat keputusan untuk menyelesaikan masalah optimasi dengan tujuan lebih dari satu [1]. Model *goal programming* merupakan perluasan dari pemrograman linear. Model *goal programming* mampu menyelesaikan kasus-kasus pemrograman linear yang memiliki lebih dari satu sasaran yang ingin dicapai. Perbedaannya hanya terletak pada adanya sepasang variabel deviasi yang muncul di fungsi tujuan dan fungsi-fungsi kendala. Sepasang variabel deviasi tersebut adalah d_i^- dan d_i^+ yang taknegatif.

Variabel deviasi berfungsi menampung penyimpangan atau deviasi yang akan terjadi pada nilai ruas kiri suatu kendala terhadap nilai ruas kanannya. Variabel deviasi dibedakan menjadi dua, yaitu variabel d_i^- yang berfungsi menampung deviasi yang berada di bawah sasaran yang dikehendaki dan variabel d_i^+ yang berfungsi menampung deviasi yang berada di atas sasaran yang diinginkan.

Nonpreemptive Goal Programming

Secara umum, sebuah model *goal programming* memiliki n tujuan dan tujuan ke- i diberikan sebagai berikut:

$$\min G_i, i = 1, 2, \dots, n.$$

Pada metode ini setiap koefisien pada fungsi tujuan dapat diberikan bobot yang berbeda-beda sesuai dengan kepentingan. Kombinasi fungsi objektif yang menggunakan bobot didefinisikan sebagai:

$$\min z = w_1 G_1 + w_2 G_2 + \dots + w_n G_n.$$

Parameter w_i dengan $i=1,2,\dots,n$ menunjukkan bobot positif yang mencerminkan pandangan pembuat keputusan mengenai besar kepentingan untuk setiap tujuan. Sebagai contoh, $w_i = 1$, untuk semua i , menandakan bahwa semua tujuan mempunyai bobot yang sama. Semakin besar bobotnya, maka semakin besar kepentingan pada tujuan tersebut. Penentuan nilai dari setiap bobot bersifat subjektif [1].

Model Matematika

Himpunan, Indeks dan Parameter

Model penjadwalan pada penelitian ini menggunakan beberapa himpunan, indeks dan parameter sebagai penyusun jadwal. Himpunan, indeks dan parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Himpunan, Indeks dan Parameter

Himpunan, Indeks dan Parameter	Keterangan	Nilai
$K_p = 1, 2, \dots, m_0$	Himpunan karyawan wanita dan karyawan baru	
$K_L = m_0 + 1, \dots, m$	Himpunan semua karyawan laki-laki	
$K = K_p \cup K_L$	Himpunan semua karyawan	
i	Indeks untuk karyawan	
j	Indeks untuk hari	
a	Indeks untuk tujuan (<i>goal</i>)	
m	Banyaknya karyawan yang tersedia	60 karyawan
m_0	Banyaknya karyawan wanita dan karyawan baru	28 karyawan
n	Banyaknya hari dalam satu periode	28 hari
o	Banyaknya tujuan (<i>goal</i>) yang ingin dicapai	2 tujuan (<i>goal</i>)
P	Karyawan yang dibutuhkan pada <i>shift</i> pagi	20 karyawan
S	Karyawan yang dibutuhkan pada <i>shift</i> siang	15 karyawan
M	Karyawan yang dibutuhkan pada <i>shift</i> malam	6 karyawan
A	Jumlah hari libur karyawan	6 hari
BP	Jumlah hari maksimal mendapat jadwal <i>shift</i> pagi untuk karyawan wanita dan karyawan baru	11 hari
BS	Jumlah hari maksimal mendapat jadwal <i>shift</i> siang untuk karyawan wanita dan karyawan baru	11 hari
DP	Jumlah hari maksimal mendapat jadwal <i>shift</i> pagi untuk karyawan laki-laki	8 hari
DS	Jumlah hari maksimal mendapat jadwal <i>shift</i> siang untuk karyawan laki-laki	8 hari
DM	Jumlah hari maksimal mendapat jadwal <i>shift</i> malam	8 hari

Variabel Keputusan

Variabel keputusan yang digunakan dalam model penjadwalan karyawan ini ialah:

$$\begin{aligned}
 XP_{i,j} &= 1; \text{ jika karyawan } i \text{ bekerja pada } \textit{shift} \text{ pagi di hari } j \\
 &= 0; \text{ jika karyawan } i \text{ tidak bekerja pada } \textit{shift} \text{ pagi di hari } j \\
 XS_{i,j} &= 1; \text{ jika karyawan } i \text{ bekerja pada } \textit{shift} \text{ siang di hari } j \\
 &= 0; \text{ jika karyawan } i \text{ tidak bekerja pada } \textit{shift} \text{ siang di hari } j \\
 XM_{i,j} &= 1; \text{ jika karyawan } i \text{ bekerja pada } \textit{shift} \text{ malam di hari } j \\
 &= 0; \text{ jika karyawan } i \text{ tidak bekerja pada } \textit{shift} \text{ malam di hari } j \\
 XL_{i,j} &= 1; \text{ jika karyawan } i \text{ mendapat libur di hari } j \\
 &= 0; \text{ jika karyawan } i \text{ tidak mendapat libur di hari } j
 \end{aligned}$$

Fungsi objektif pada masalah penjadwalan karyawan yaitu meminimumkan total kekurangan dan/atau kelebihan (deviasi) terhadap sasaran yang ingin dicapai. Fungsi objektif pada masalah ini adalah:

$$\min z = \sum_{a=1}^o w_a d_a$$

dengan w_a merupakan bobot pada tujuan ke- a dengan $a = 1, 2, \dots, o$, dan d_a dapat berupa $d_{a,i}^+$, $d_{a,i}^-$, $d_{a,i,j}^+$, dan $d_{a,i,j}^-$ untuk $i = 1, 2, \dots, m$ dan $j = 1, 2, \dots, n$.

Kendala dalam masalah ini terdiri atas kendala utama (*hard constraint*) dan kendala tambahan (*soft constraint*). Kendala utama merupakan kendala yang terdiri dari aturan-aturan yang tidak boleh dilanggar. Dalam model ini, ada 10 kendala yang termasuk ke dalam kendala utama, yaitu:

1. Minimal ada sebanyak P karyawan pada *shift* pagi, S karyawan pada *shift* siang, dan M karyawan pada *shift* malam di setiap harinya

$$XP_{i,j} \geq P, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$XS_{i,j} \geq S, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$XM_{i,j} \geq M, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

2. Karyawan wanita dan karyawan baru tidak mendapat *shift* malam

$$XM_{i,j} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, m_0, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

3. Dalam satu hari, karyawan hanya mendapat satu *shift* kerja atau libur

$$XP_{i,j} + XS_{i,j} + XM_{i,j} + XL_{i,j} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

4. Karyawan yang sudah bertugas pada *shift* malam, tidak boleh mendapat *shift* pagi di hari berikutnya

$$XM_{i,j} + XP_{i,j+1} \leq 1, \quad i = m_0 + 1, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n-1.$$

5. Karyawan yang sudah bertugas pada *shift* malam, tidak boleh mendapat *shift* siang di hari berikutnya

$$XM_{i,j} + XS_{i,j+1} \leq 1, \quad i = m_0 + 1, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n-1.$$

6. Karyawan hanya mendapat *shift* pagi, siang, dan malam maksimal dua hari berturut-turut

$$XP_{i,j} + XP_{i,j+1} + XP_{i,j+2} \leq 2, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n-2.$$

$$XS_{i,j} + XS_{i,j+1} + XS_{i,j+2} \leq 2, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n-2.$$

$$XM_{i,j} + XM_{i,j+1} + XM_{i,j+2} \leq 2, \quad i = m_0 + 1, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n-2.$$

7. Setiap karyawan mendapat jumlah libur yang sama yaitu A hari libur dalam satu periode

$$XL_{i,j} = A, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

8. Karyawan wanita dan karyawan baru, mendapat *shift* pagi maksimal BP hari dan *shift* siang maksimal BS hari

$$XP_{i,j} \leq BP, \quad i = 1, 2, \dots, m_0,$$

$$XS_{i,j} \leq BS, \quad i = 1, 2, \dots, m_0.$$

9. Karyawan laki-laki, mendapat *shift* pagi maksimal DP hari, *shift* siang maksimal DS hari, dan *shift* malam maksimal DM hari

$$XP_{i,j} \leq DP, \quad i = m_0 + 1, \dots, m,$$

$$XS_{i,j} \leq DS, \quad i = m_0 + 1, \dots, m,$$

$$XM_{i,j} \leq DM, \quad i = m_0 + 1, \dots, m.$$

10. Karyawan wanita dan karyawan baru bekerja maksimal 6 hari berturut-turut

$$XP_{i,j} + XS_{i,j} + XP_{i,j+1} + XS_{i,j+1} + XP_{i,j+2} + XS_{i,j+2} + XP_{i,j+3} + XS_{i,j+3} + XP_{i,j+4} + XS_{i,j+4} + XP_{i,j+5} + XS_{i,j+5} + XP_{i,j+6} + XS_{i,j+6} + XP_{i,j+7} + XS_{i,j+7} \leq 6 \quad i=1,2,\dots,m_0, \quad j=1,2,\dots,n-7.$$

Kendala tambahan berupa aturan atau keinginan karyawan yang sifatnya boleh dilanggar, tapi akan lebih baik bila kendala tersebut juga dipenuhi agar memuaskan segala pihak. Ada 2 batasan yang termasuk ke dalam kendala tambahan, yaitu:

1. Karyawan diharapkan tidak mendapat pola penjadwalan libur-masuk-libur

$$XL_{i,j} + XP_{i,j+1} + XS_{i,j+1} + XM_{i,j+1} + XL_{i,j+2} \leq 2, \\ i = 1,2,\dots,m, \quad j = 1,2,\dots,n-2.$$

2. Karyawan yang mendapat *shift* malam bekerja maksimal 6 hari berturut-turut

$$XP_{i,j} + XS_{i,j} + XM_{i,j} + XP_{i,j+1} + XS_{i,j+1} + XM_{i,j+1} + XP_{i,j+2} + XS_{i,j+2} + XM_{i,j+2} + XP_{i,j+3} + XS_{i,j+3} + XM_{i,j+3} + XP_{i,j+4} + XS_{i,j+4} + XM_{i,j+4} + XP_{i,j+5} + XS_{i,j+5} + XM_{i,j+5} + XP_{i,j+6} + XS_{i,j+6} + XM_{i,j+6} + XP_{i,j+7} + XS_{i,j+7} + XM_{i,j+7} \leq 6 \\ i = m_0 + 1, \dots, m, \quad j = 1,2,\dots,n-7.$$

Kendala tambahan sebelum diberi variabel deviasi berbentuk pertaksamaan lebih kecil atau sama dengan, maka variabel deviasi yang diminumkan ialah variabel yang menyatakan besarnya nilai kelebihan dari tujuan tersebut. Setelah diberi variabel deviasi, kendalanya menjadi:

1. Karyawan diharapkan tidak mendapat pola penjadwalan libur-masuk-libur

$$XL_{i,j} + XP_{i,j+1} + XS_{i,j+1} + XM_{i,j+1} + XL_{i,j+2} + d_{1,i,j}^- - d_{1,i,j}^+ = 2, \\ i = 1,2,\dots,m, \quad j = 1,2,\dots,n-2.$$

2. Karyawan bekerja maksimal 6 hari berturut-turut untuk karyawan yang mendapat *shift* malam

$$XP_{i,j} + XS_{i,j} + XM_{i,j} + XP_{i,j+1} + XS_{i,j+1} + XM_{i,j+1} + XP_{i,j+2} + XS_{i,j+2} + XM_{i,j+2} + XP_{i,j+3} + XS_{i,j+3} + XM_{i,j+3} + XP_{i,j+4} + XS_{i,j+4} + XM_{i,j+4} + XP_{i,j+5} + XS_{i,j+5} + XM_{i,j+5} + XP_{i,j+6} + XS_{i,j+6} + XM_{i,j+6} + XP_{i,j+7} + XS_{i,j+7} + XM_{i,j+7} + d_{2,i,j}^- - d_{2,i,j}^+ = 6 \\ i = m_0 + 1, \dots, m, \quad j = 1,2,\dots,n-7.$$

Hasil dan Pembahasan

Penyelesaian masalah penjadwalan karyawan ini dilakukan dengan bantuan *software* LINGO 11.0 menggunakan metode *nonpreemptive goal programming*. Hasil penjadwalan dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2 Hasil penjadwalan karyawan menggunakan *nonpreemptive goal programming* (lanjutan)

Karyawan	Hari																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
50	S	S	M	L	S	P	S	P	L	M	M	L	P	P	M	M	L	M	M	L	P	P	S	P	L	S	S	P
51	P	S	M	L	P	P	S	S	L	P	S	L	P	P	S	S	L	M	M	L	P	S	M	M	L	P	S	M
52	S	P	P	M	L	S	P	P	L	P	M	M	L	S	S	P	L	S	S	M	L	P	P	S	L	S	M	M
53	S	P	M	L	S	M	M	L	P	S	P	M	M	L	M	L	M	L	P	L	P	S	S	P	P	S	S	P
54	P	S	S	L	P	S	P	M	M	L	S	M	M	L	M	M	L	P	S	L	S	S	P	P	L	P	P	M
55	P	M	L	S	M	M	L	P	S	M	L	P	P	S	L	P	M	M	L	P	M	M	L	S	P	S	P	S
56	S	M	M	L	P	P	S	M	M	L	S	L	L	P	S	P	S	P	P	L	S	P	P	M	M	L	M	M
57	S	P	P	M	M	L	M	L	P	S	S	L	P	S	P	M	M	L	P	L	P	S	P	L	S	S	M	M
58	S	M	M	L	P	P	S	S	L	P	P	L	S	S	P	P	L	M	M	L	S	P	P	M	L	S	S	M
59	P	S	M	L	P	M	L	P	S	P	M	L	P	M	L	S	S	M	M	L	P	S	L	S	P	S	P	M
60	P	M	M	L	P	S	P	P	M	L	S	L	S	P	S	P	S	L	S	P	P	M	M	L	S	M	M	L
P	20	20	20	20	21	20	20	20	20	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
S	34	27	19	15	15	15	15	15	17	23	22	17	15	15	17	15	16	26	23	15	15	15	17	15	19	31	26	23
M	6	12	15	6	6	6	6	6	7	12	10	6	6	6	6	6	6	11	11	6	6	6	6	8	7	6	8	16

Keterangan: P = *shift* pagi S = *shift* siang M = *shift* malam L = libur

Pada Tabel 2, dapat dilihat bahwa semua kendala utama terpenuhi. Semua kebutuhan karyawan pada *shift* pagi, siang, dan malam terpenuhi. Daftar banyaknya karyawan yang mendapat *shift* kerja, *shift* libur, dan pola penjadwalan libur-masuk-libur dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Daftar banyaknya karyawan yang mendapat *shift* kerja, *shift* libur, dan pola penjadwalan libur-masuk-libur

Karyawan	<i>Shift</i> Pagi	<i>Shift</i> Siang	<i>Shift</i> Malam	Libur	L-M-L	Maksimum bekerja secara berturut-turut
1	11	11	-	6	-	6
2	11	11	-	6	-	6
3	11	11	-	6	3	6
4	11	11	-	6	1	6
5	11	11	-	6	-	6
6	11	11	-	6	-	6
7	11	11	-	6	3	6
8	11	11	-	6	2	6
9	11	11	-	6	-	6
10	11	11	-	6	-	6
11	11	11	-	6	3	6
12	11	11	-	6	-	6
13	11	11	-	6	3	6
14	11	11	-	6	-	6
15	11	11	-	6	-	6
16	11	11	-	6	-	6
17	11	11	-	6	3	6
18	11	11	-	6	3	6
19	11	11	-	6	-	6
20	11	11	-	6	1	6
21	11	11	-	6	-	6
22	11	11	-	6	-	6

Tabel 3 Daftar banyaknya karyawan yang mendapat *shift* kerja, *shift* libur, dan pola penjadwalan libur-masuk-libur (lanjutan)

Karyawan	<i>Shift</i> Pagi	<i>Shift</i> Siang	<i>Shift</i> Malam	Libur	L-M-L	Maksimum bekerja secara berturut-turut
23	11	11	-	6	2	6
24	11	11	-	6	-	6
25	11	11	-	6	-	6
26	11	11	-	6	-	6
27	11	11	-	6	-	6
28	11	11	-	6	3	6
29	8	8	6	6	2	6
30	8	7	7	6	-	6
31	8	8	6	6	-	6
32	8	8	5	6	-	6
33	8	8	6	6	1	6
34	8	6	8	6	1	6
35	8	7	7	6	-	6
36	8	8	6	6	-	6
37	8	6	8	6	-	6
38	8	8	6	6	1	7
39	8	6	8	6	-	7
40	8	8	6	6	1	8
41	8	6	8	6	-	6
42	8	7	7	6	-	6
43	8	7	7	6	-	6
44	8	8	6	6	1	6
45	7	7	8	6	-	6
46	8	7	7	6	-	6
47	8	7	7	6	1	6
48	8	8	6	6	-	6
49	8	6	8	6	-	8
50	8	7	7	6	-	6
51	8	8	6	6	-	6
52	8	8	6	6	-	6
53	8	7	7	6	3	8
54	8	7	7	6	-	6
55	8	6	8	6	-	6
56	8	6	8	6	1	6
57	8	7	7	6	2	6
58	8	8	6	6	-	6
59	8	7	7	6	-	6
60	8	7	7	6	1	6

Keterangan : L-M-L = Libur-Masuk-Libur

Dari Tabel 3, seluruh karyawan memiliki jumlah hari libur yang sama yaitu 6 hari libur dalam satu periode penjadwalan. Hal ini sesuai dengan kendala utama. Untuk karyawan yang tidak mendapat *shift* malam, memiliki jumlah hari kerja pada *shift* pagi dan *shift* siang masing-masing adalah 11 hari, sedangkan untuk karyawan yang mendapat *shift* malam memiliki jumlah hari kerja

yang berbeda pada setiap *shift*. Namun hal tersebut tidak menjadi masalah dikarenakan jumlahnya masih memenuhi kendala utama yaitu maksimal 8 hari untuk setiap *shift* dalam satu periode penjadwalan. Dapat dilihat juga bahwa ada karyawan yang mendapat pola penjadwalan libur-masuk-libur. Dengan demikian, kendala tambahan untuk pola penjadwalan tersebut tidak terpenuhi. Begitu pula dengan kendala tambahan kedua, ada karyawan yang tidak memenuhi yaitu karyawan ke-38, 39, 40, 49, dan ke-53. Karyawan tersebut mendapatkan jadwal kerja yang lebih dari 6 hari berturut-turut. Hal ini tidak menjadi masalah, karena kendala tambahan bersifat boleh dipenuhi boleh tidak. Namun, akan lebih baik jika dipenuhi.

Kesimpulan

- Masalah penjadwalan karyawan di divisi *contact center* PLN dapat dimodelkan ke dalam model *nonpreemptive goal programming*
- Semua kendala utama pada masalah penjadwalan ini terpenuhi, sedangkan kendala tambahan tidak terpenuhi

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dra. Farida Hanum, M.Si dan Bapak Dr. Toni Bakhtiar, M.Sc selaku dosen pembimbing, kemudian terima kasih kepada Departemen Matematika Institut Pertanian Bogor yang telah memfasilitasi penulis untuk mengikuti Seminar Sains dan Teknologi Tahun 2015 di UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Referensi

- [1] Winston. WL. 2004. *Operations Research: Applications and Algorithms* 4thed. New York (US): Duxbury.
- [2] Taha HA. 2007. *Operations Research an Introduction* 8thed. New Jersey (US): Pearson Education.

MA-04

Pelabelan Total Tak Teratur Total Pada m Copy Dari Graf $P_3 \square C_5$

Evi Ervina Windarningsih^{1,a)}, Rismawati Ramdani^{1,b)}, Siti Julaeha^{1,c)}

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}eviervina11@gmail.com, ^{b)}rismawatiramdani@uinsgd.ac.id, ^{c)}sitijulaeha83@unsgd.ac.id

Abstrak

Misalkan $G = (V, E)$ adalah suatu graf. Suatu pelabelan total $f: V \cup E \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ disebut pelabelan- k total tak teratur total dari G jika setiap dua titik x dan y yang berbeda di $V \cup E$ memenuhi $\omega_f(x) \neq \omega_f(y)$, dan setiap dua sisi berbeda x_1x_2 dan y_1y_2 di E memenuhi $\omega_f(x_1x_2) \neq \omega_f(y_1y_2)$, dimana $\omega_f(x) = f(x) + \sum_{xy \in E} f(xy)$ dan $\omega_f(x_1x_2) = f(x_1) + f(x_2) + f(x_1x_2)$. Nilai k minimum sehingga suatu graf G memiliki pelabelan- k total tak teratur total disebut nilai total ketakteraturan total (*the total irregularity strength*) dari graf G , yang dinotasikan dengan $ts(G)$. Misalkan diberikan dua graf $G_1 = (V_1, E_1)$ dan $G_2 = (V_2, E_2)$. Graf hasil kali kartesius G_1 dengan G_2 adalah suatu graf dengan $V_{G_1 \times G_2} = V_1 \times V_2 = \{u_i \times v_j \mid u_i \in V_1, v_j \in V_2\}$, dan $E_{G_1 \times G_2} = \{u_i v_j, u_k v_l \mid u_i = u_k \text{ dan } v_j v_l \in E_{G_2} \text{ atau } v_j = v_l \text{ dan } u_i u_k \in E_{G_1}\}$. Pada skripsi ini akan ditentukan nilai $ts(G)$ pada m copy dari graf $P_3 \square C_5$. Adapun hasil nilai total ketakteraturan total dari m copy pada graf $P_3 \square C_5 = 8m + \frac{m+2}{3}$.

Kata kunci: graf $P_3 \square C_5$, nilai total takteratursisi, nilai total takteraturtitik, nilai total takteratur total.

Pendahuluan

Tahun 1736, teori graf pertama kali diperkenalkan oleh seorang matematikawan Swiss, L.Euler. Teori graf adalah bagian dari matematika diskrit yang banyak digunakan sebagai alat bantu untuk menggambarkan atau menyatakan suatu persoalan agar lebih mudah dimengerti dan diselesaikan [1].

Kajian-kajian dalam teori graf tersebut diantaranya adalah pelabelan. Menurut Wallis (2001), pelabelan suatu graf yang telah diperkenalkan Rosa (1967) adalah pemetaan yang membawa elemen-elemen graf ke bilangan-bilangan bulat positif atau non-negatif. Dengan kata lain, pelabelan adalah pemetaan unsur-unsur graf pada bilangan bulat. Berdasarkan domainnya, pelabelan dibagi menjadi tiga, yaitu pelabelan titik, pelabelan sisi, dan pelabelan total [2].

Pada tahun 2007, Bača dkk [3] telah memperkenalkan dua jenis pelabelan total tak teratur, yaitu pelabelan- k total tak teratur sisi dan pelabelan- k total tak teratur titik. Selanjutnya oleh Marzuki dkk, dalam makalahnya yang berjudul *On the total irregularity strength on cycles and paths* mengkombinasikan dua jenis pelabelan tersebut ke dalam sebuah pelabelan baru yang disebut pelabelan total tak teratur total. Pelabelan- k total tak teratur total pada G adalah pemetaan $f: V \cup E \rightarrow \{1, 2, \dots, k\}$ yang memenuhi $\omega_f(xy) = f(x) + f(xy) + f(y)$ berbeda untuk setiap $xy \in E(G)$ dan $\omega_f(x) = f(x) + \sum_{xy \in E(G)} f(xy)$ berbeda untuk setiap $x \in V \cup E$. Nilai minimum k sehingga G memiliki pelabelan- k total tak teratur total, dinotasikan dengan $ts(G)$, disebut nilai total ketakteraturan total dari G [4].

Misalkan diberikan dua graf $G_1 = (V_{G_1}, E_{G_1})$ dan $G_2 = (V_{G_2}, E_{G_2})$. Graf hasil kali kartesius G_1 dengan G_2 adalah suatu graf dengan $V_{G_1 \times G_2} = V_{G_1} \times V_{G_2} = \{u_i \times v_j \mid u_i \in V_{G_1}, v_j \in V_{G_2}\}$, dan $E_{G_1 \times G_2} = \{u_i \times v_j, u_k \times v_l \mid u_i = u_k \text{ dan } v_j, v_l \in E_{G_2} \text{ atau } v_j = v_l \text{ dan } u_i, u_k \in E_{G_1}\}$ [4]. Graf hasil kali kartesius G_1 dengan G_2 , dinotasikan dengan $G_1 \square G_2$,

Sehingga graf $P_3 \square C_5$ merupakan graf hasil kali kartesius antara graf lintasan P_3 dengan graf lingkaran C_5 . Tujuan dari skripsi ini adalah menentukan nilai total ketakteraturan total dari m copy pada graf $P_3 \square C_5$.

Teori

Graf merupakan salah satu bidang matematika yang diperkenalkan pertama kali oleh ahli matematika dari Swiss, Leonardo Euler, pada tahun 1763. Ide besarnya muncul sebagai upaya menyelesaikan masalah jembatan Konisberg. Dari permasalahan itu, akhirnya Euler mengembangkan beberapa konsep mengenai teori graf.

Definisi 1 Suatu graf G adalah suatu triple terurut (V_G, E_G, ψ_G) yang terdiri dari sebuah himpunan tak kosong V_G dari titik, sebuah himpunan E_G dari sisi-sisi, dan sebuah fungsi insidensi ψ_G yang menghubungkan setiap sisi dari G dengan titik-titik di G . Jika e adalah sisi, u dan v adalah titik-titik pada G sehingga $\psi_G(e) = uv$, maka e dikatakan menghubungkan u dan v [2].

Definisi 2 Misalkan $G_1 = (V_1, E_1)$ dan $G_2 = (V_2, E_2)$ adalah dua graf yang saling lepas. Gabungan saling lepas dari G_1 dan G_2 , dinotasikan dengan $G_1 \cup G_2$, adalah suatu graf dengan himpunan titik $V_1 \cup V_2$ dan himpunan sisi $E_1 \cup E_2$ dan $V_1 \cap V_2 = \emptyset$ [2].

Teorema 1 [3] Misalkan $G = (V, E)$ suatu graf dengan derajat terkecil δ dan derajat terbesar Δ , maka

$$\frac{V_G + \delta G}{\Delta G + 1} \leq tvs G \leq V_G + \Delta G - 2\delta G + 1.$$

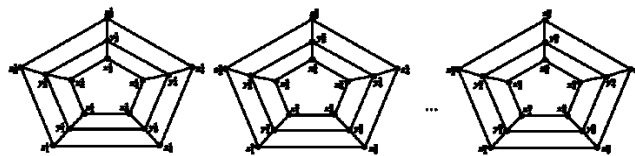
Teorema 2 [9] misalkan $G = (V, E)$ suatu graf dengan jumlah sisi E , maka

$$\frac{E_G + 2}{3} \leq tes G \leq E_G.$$

Teorema 3 [2] Untuk sebarang graf G ,

$$ts G \geq \max \{tes G, tvs G\}.$$

Definisi 3 Graf $m P_3 \square C_5$ adalah graf gabungan saling lepas dari sebanyak m buah graf hasil kartesius antara graf lintasan tiga titik dan graf lingkaran lima titik.



Gambar 1 Graf $m P_3 \square C_5$

Teorema 4 Misalkan graf $m P_3 \square C_5$ adalah m copy dari graf $P_3 \square C_5$, maka

$$ts m P_3 \square C_5 = 8m + \frac{m+2}{3}$$

Bukti

Terdapat dua langkah untuk membuktikan Teorema 4, yaitu akan ditentukan bahwa batas bawah pada $m P_3 \square C_5$ yaitu $ts m P_3 \square C_5 \geq 8m + \frac{m+2}{3}$ dan batas atas pada $m P_3 \square C_5$ yaitu $ts m P_3 \square C_5 \leq 8m + \frac{m+2}{3}$. Dan pembuktiannya adalah sebagai berikut:

1. Menentukan batas bawah dari $ts \ m \ P_3 \square C_5$

Akan ditunjukkan $ts \ m \ P_3 \square C_5 \geq 8m + \frac{m+2}{3}$. Graf $P_3 \square C_5$ memiliki $15m$ titik atau $V \ m \ P_3 \square C_5 = 15m$ dan $25m$ sisi atau $E \ m \ P_3 \square C_5 = 25m$, derajat terkecil dari graf $P_3 \square C_5$ adalah $\delta \ P_3 \square C_5 = 3$ dan derajat terbesar dari graf $P_3 \square C_5$ adalah $\Delta \ P_3 \square C_5 = 4$.

Berdasarkan Teorema 1, diperoleh $tv_s \ m \ P_3 \square C_5 \geq 3m + 1$.

Berdasarkan Teorema 2, diperoleh $tes \ m \ P_3 \square C_5 \geq 8m + \frac{m+2}{3}$.

Selanjutnya, berdasarkan Teorema 3, diperoleh $ts \ m \ P_3 \square C_5 \geq 8m + \frac{m+2}{3}$.

2. Menentukan batas atas $m \ P_3 \square C_5$.

Batas atas $m \ P_3 \square C_5$ diperoleh dengan mengkontruksi suatu pelabelan total tak teratur total pada $m \ copy$ dari graf $P_3 \square C_5$. Disini akan dikonstruksi pelabelan- $8m + \frac{m+2}{3}$ total tak teratur total pada graf $m \ P_3 \square C_5$. Adapun pelabelannya akan dibagi menjadi 2 kasus, yaitu untuk $m = 1$ dan untuk $m > 1$.

Karena $m = 1$, maka $8m + \frac{m+2}{3} = 9$. Adapun konstruksi pelabelan-9 total tak teratur total untuk graf $P_3 \square C_5$ diperoleh bobot sisi dan bobot titik adalah sebagai berikut:

Bobot sisi

$\omega_1 \ x_0^1 x_1^1 = 7$	$\omega_1 \ y_0^1 y_1^1 = 23$	$\omega_1 \ z_0^1 z_1^1 = 11$
$\omega_1 \ x_1^1 x_2^1 = 6$	$\omega_1 \ y_1^1 y_2^1 = 24$	$\omega_1 \ z_1^1 z_2^1 = 10$
$\omega_1 \ x_2^1 x_3^1 = 5$	$\omega_1 \ y_2^1 y_3^1 = 25$	$\omega_1 \ z_2^1 z_3^1 = 9$
$\omega_1 \ x_3^1 x_4^1 = 4$	$\omega_1 \ y_3^1 y_4^1 = 26$	$\omega_1 \ z_3^1 z_4^1 = 8$
$\omega_1 \ x_4^1 x_0^1 = 3$	$\omega_1 \ y_4^1 y_0^1 = 27$	$\omega_1 \ z_4^1 z_0^1 = 12$
$\omega_1 \ x_0^1 y_0^1 = 13$	$\omega_1 \ y_0^1 z_0^1 = 22$	
$\omega_1 \ x_1^1 y_1^1 = 14$	$\omega_1 \ y_1^1 z_1^1 = 21$	
$\omega_1 \ x_2^1 y_2^1 = 15$	$\omega_1 \ y_2^1 z_2^1 = 20$	
$\omega_1 \ x_3^1 y_3^1 = 16$	$\omega_1 \ y_3^1 z_3^1 = 19$	
$\omega_1 \ x_4^1 y_4^1 = 17$	$\omega_1 \ y_4^1 z_4^1 = 18$	

Bobot titik

$\omega_1 \ x_0^1 = 10$	$\omega_1 \ y_0^1 = 34$	$\omega_1 \ z_0^1 = 21$
$\omega_1 \ x_1^1 = 14$	$\omega_1 \ y_1^1 = 32$	$\omega_1 \ z_1^1 = 17$
$\omega_1 \ x_2^1 = 13$	$\omega_1 \ y_2^1 = 35$	$\omega_1 \ z_2^1 = 18$
$\omega_1 \ x_3^1 = 12$	$\omega_1 \ y_3^1 = 38$	$\omega_1 \ z_3^1 = 19$
$\omega_1 \ x_4^1 = 11$	$\omega_1 \ y_4^1 = 41$	$\omega_1 \ z_4^1 = 20$

Untuk kasus $m > 1$, pelabelan graf $m \ P_3 \square C_5$ akan dibagi menjadi tiga subkasus, yaitu untuk subkasus $m \equiv 2 \pmod{3}$, subkasus $m \equiv 0 \pmod{3}$, dan subkasus $m \equiv 1 \pmod{3}$. Untuk ketiga subkasus ini, notasikan $r_j = 8j + \frac{j+2}{3}$ dan misalkan $1 \leq j \leq m$. Dimana m adalah banyaknya kopian, j adalah kopian ke- j dimana $1 \leq j \leq m$ dan i adalah index label dimana $0 \leq i \leq 4$.

Kesimpulan

Setelah ditentukan bahwa batas bawah pada $m P_3 \square C_5$ yaitu $ts m P_3 \square C_5 \geq 8m + \frac{m+2}{3}$ dan batas atas pada $m P_3 \square C_5$ yaitu $ts m P_3 \square C_5 \leq 8m + \frac{m+2}{3}$, maka dapat disimpulkan bahwa

$$ts m P_3 \square C_5 = 8m + \frac{m+2}{3} .$$

Referensi

- [1] Slames, S. *Pengantar Teori Graf*. Universitas Indonesia: Jakarta. (1998).
- [2] Bondy, J. A. & U. S. R. Murty. *Graph Theory with Application*. The Macmillan Press Ltd. New York. (1976).
- [3] M. Baca, S. Jendrol, M. Miller & J. Ryan. *On irregular total labellings*. *Discrete Mathematics* **307**. (2007).
- [4] C. C. Marzuki, A. N. M. Salman dan M. Miller. *On The Total irregularity Strength on Cycles and Path*. Diterima untuk dipublikasikan di *Far East Journal of Mathematical Sciences*.
- [5] Ramdani, R. *Bilangan kromatik dari beberapa graf hasil kali kartesius*, Tesis. Institut Teknologi Bandung: Bandung. (2009).
- [6] Wilson, R. J. & J. J. Watkins. *Graphs: An Introductory Approach*. Simultaneously. Canada. (1990).

MA-05

Penentuan Solusi Laso dari *Traveling Salesman Problem With Pick-Up and Delivery* dengan Metode Heuristik

Atikah Nurbaiti^{1,a)}, Farida Hanum^{2,b)}, dan Toni Bakhtiar^{3,c)}

¹Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

³Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

^{a)}penulis yang berkorespondensi: atikahnurbaiti@gmail.com

^{b)}faridahanum00@yahoo.com

^{c)}tonibakhtiar@yahoo.com

Abstrak

Pendistribusian barang atau jasa merupakan salah satu bagian penting dalam sebuah perusahaan atau instansi. Masalah optimasi pendistribusian barang dapat diselesaikan secara matematis menggunakan formulasi *Traveling Salesman Problem* (TSP). Pembahasan karya ilmiah ini difokuskan pada salah satu variasi TSP yaitu *Traveling Salesman Problem with Pick-up and Delivery* (TSPPD) dengan permintaan pengambilan (*pick-up*) dan permintaan pengiriman (*delivery*) sebagai bagian masalah terpenting. Jika TSP murni memiliki aturan bahwa kendaraan hanya dapat mengunjungi setiap tempat satu kali, maka dalam TSPPD ini kendaraan dimungkinkan mengunjungi beberapa tempat lebih dari satu kali agar semua kendala terpenuhi. Penyelesaian TSPPD ini berbentuk laso yang terdiri dari *loop* yang cukup besar, *spoke*, *junction*, dan depot berada diujungnya menggunakan metode heuristik. Tujuan karya ilmiah ini yaitu menentukan solusi laso dari *traveling salesman problem with pick-up and delivery* dengan metode heuristik dan mengimplementasikan model untuk masalah permintaan pengambilan dan pengiriman dalam botol isi ulang.

Kata kunci: metode heuristik, solusi laso, *pick-up and delivery*, TSP, TSPPD.

Pendahuluan

TSP merupakan masalah optimasi kombinatorial dengan banyak aplikasi praktis. TSP secara umum sulit dipecahkan ketika permasalahan cukup besar. TSP dapat diselesaikan dengan metode klasik heuristik atau diformulasikan ke dalam pemrograman tertentu seperti *Integer Programming*, *Dynamic Programming*, dan sebagainya. Dalam perkembangannya, TSP mengalami berbagai variasi, yaitu *Traveling Salesman Problem with Time Windows* (TSPTW), *m-Traveling Salesman Problem* (*m-TSP*), *Traveling Salesman Problem with Pick-Up and Delivery* (TSPPD), *Backhauls Traveling Salesman Problem* (TSPB), dan *Distance Constrained Traveling Salesman Problem* (DCTSP).[1]

Dalam penelitian ini dibahas salah satu variasi TSP yaitu TSPPD dengan permintaan pengambilan (*pick-up*) dan permintaan pengiriman (*delivery*) sebagai bagian masalah terpenting dan penyelesaiannya menggunakan metode heuristik. Masalah permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman pada kasus ini harus terpenuhi secara keseluruhan dalam suatu rute perjalanan. Jika TSP murni memiliki aturan bahwa kendaraan hanya dapat mengunjungi setiap tempat satu kali, maka

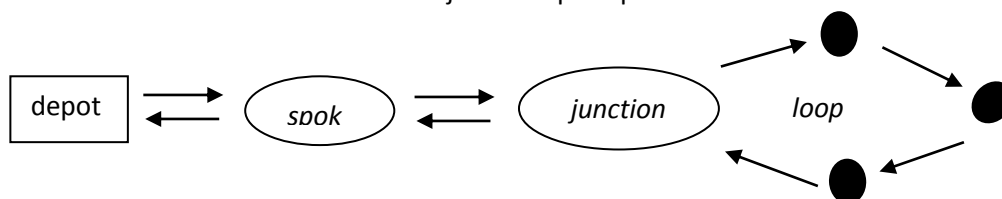
dalam masalah TSPPD kendaraan dimungkinkan untuk mengunjungi beberapa tempat lebih dari satu kali agar semua kendala terpenuhi. Kunjungan pertama ke tempat pertama hanya melayani permintaan pengiriman saja. Selanjutnya beberapa tempat lain dikunjungi secara berurutan dalam suatu rute tertentu dan melakukan pelayanan permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman. Setelah semua tempat dikunjungi, kendaraan kembali ke tempat pertama untuk melayani permintaan pengambilan lalu kembali ke depot. Uraian singkat tersebut merupakan cara untuk menentukan rute perjalanan dari masalah TSPPD yang terdiri dari *loop* yang cukup besar, *spoke* dan depot berada di ujungnya sehingga membentuk laso. Penyelesaian TSPPD berbentuk laso selanjutnya akan menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini.

Teori

Solusi Laso

Solusi laso terbentuk saat kapasitas angkut kendaraan tidak mampu melayani permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman secara bersamaan. Hal tersebut terjadi jika beberapa pelanggan mempunyai permintaan pengambilan lebih besar daripada permintaan pengiriman. Rute perjalanan kendaraan dari solusi laso dimulai dari tempat pertama yang hanya melayani permintaan pengiriman saja agar kapasitas angkut kendaraan tidak berlebih. Selanjutnya beberapa tempat lain dikunjungi secara berurutan dalam suatu rute tertentu dan melakukan pelayanan permintaan. Setelah semua tempat dikunjungi, kendaraan kembali ke tempat pertama untuk melayani permintaan pengambilan lalu kembali ke depot [2].

Solusi laso merupakan salah satu bentuk penentuan solusi dari *traveling salesman problem with pick-up and delivery*. Solusi laso terdiri dari *loop* yang cukup besar dan dihubungkan dengan *junction* (permulaan *loop*) pada *spoke* dan depot berada di ujungnya. *Spoke* merupakan simpul-simpul yang berada di antara depot dan *loop* yang dikunjungi lebih dari satu kali. *Spoke* dapat terdiri atas satu simpul atau lebih. Bentuk solusi laso ditunjukkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Bentuk solusi laso

Metode Heuristik untuk TSPPD dengan Satu Kendaraan

Semua prosedur metode heuristik untuk TSP murni menghasilkan solusi rute *delivery/pick-up* dalam bentuk *cycle* Hamilton, yaitu rute yang melewati semua simpul tepat satu kali dan kembali ke simpul awal. Tahapan metode heuristik dalam menentukan solusi laso dilakukan dengan dua pendekatan yang berbeda yaitu penentuan solusi laso secara langsung dan penentuan solusi laso menggunakan solusi TSP yang telah terbentuk.

Misalkan terdapat 1 depot dan $n-1$ simpul yang harus dikunjungi. Misalkan $i_0 = 1$ sebagai depot dan i_k menyatakan simpul yang dikunjungi ke- k dan i_{k+1} sebagai simpul yang dikunjungi ke- $(k+1)$. $L(i_k)$ menyatakan besarnya beban setelah meninggalkan simpul yang dikunjungi ke- k , serta K_v menyatakan kapasitas angkut kendaraan v . Berikut merupakan tahapan metode heuristik untuk menentukan solusi laso:

Prosedur Penentuan Solusi Laso

Langkah 1: Jalur (*path*) dibuat dengan metode *nearest neighbour heuristic* sehingga i_k dan i_{k+1} memenuhi pertaksamaan $L i_k \leq K_v$, $L i_{k+1} > K_v$, dan $L i_j \leq K_v; \forall j < k$. Jika tidak ditemukan i_k dan i_{k+1} , maka kembali ke depot dari simpul terakhir pada jalur dan berhenti. Jika ditemukan i_k dan i_{k+1} , maka simpul pertama i_1 pada *loop* diganti menjadi *spoke*, pengambilan pesanan diabaikan dan beban kendaraan simpul tersebut dikurangi dengan permintaan pengambilan pesanan p_{i_1} . Tahapan dilanjutkan ke Langkah 2.

Langkah 2: *Nearest neighbour heuristic* digunakan kembali untuk menambah jalur sampai ditemukan kembali pasangan i_k dan i_{k+1} yang memenuhi pertaksamaan $L i_k \leq K_v$, $L i_{k+1} > K_v$, dan $L i_j \leq K_v; \forall j < k$. Simpul pertama *loop* pada jalur diganti menjadi *spoke* dan pengambilan pesanan diabaikan. Beban kendaraan pada jalur dikurangi dengan permintaan pengambilan pesanan dari *spoke* yang baru.

Langkah 3: Langkah 2 diulangi sampai jalur memuat semua simpul. Simpul terakhir pada jalur dihubungkan dengan *spoke* terakhir yang terbentuk. *Spoke* tersebut diganti menjadi *junction* sehingga terbentuk solusi laso [2].

Langkah 1 sampai Langkah 3 dilakukan saat permasalahan TSPPD belum diberikan rute awal. Jika rute awal optimal dari TSP dengan mengabaikan permintaan pengambilan, permintaan pengiriman, dan kapasitas kendaraan telah diberikan, maka prosedur penentuan solusi laso dapat diadaptasi untuk menyelesaikan permasalahan TSPPD.

Prosedur Perbaikan Solusi Laso dari Solusi TSP:

Langkah 1: *Cycle* Hamilton ditentukan menggunakan algoritme penyelesaian TSP dengan mengabaikan permintaan pelanggan untuk menghasilkan rute perjalanan yang memuat semua simpul. Rute yang diperoleh diperiksa kefisibelannya dengan memperhatikan semua kendala pada TSPPD. Suatu rute dikatakan fisibel apabila rute tersebut memenuhi semua kendala pada TSPPD. Jika rute sudah fisibel, maka proses berhenti. Jika tidak, maka dilanjutkan ke Langkah 2.

Langkah 2: Mulai dari depot, semua pelayanan dilakukan sesuai dengan rute *cycle* Hamilton sampai beberapa simpul membuat beban kendaraan melebihi kapasitas kendaraan. Simpul pertama setelah depot pada rute, yaitu simpul i_1 , diganti menjadi *spoke* dan permintaan pengambilan pesanan pada simpul tersebut diabaikan. Beban kendaraan pada simpul yang dikunjungi dikurangi dengan permintaan pengambilan pesanan dari *spoke*. Tahapan dilanjutkan ke Langkah 3.

Langkah 3: Pelayanan sepanjang rute dilanjutkan sampai beberapa simpul membuat beban kendaraan melebihi kapasitas kendaraan lagi. Simpul pertama setelah *spoke* yaitu simpul i_2 pada rute kembali diganti menjadi *spoke* dan permintaan pengambilan pesanan pada rute tersebut diabaikan. Beban kendaraan pada simpul yang dikunjungi dikurangi dengan permintaan pengambilan pesanan dari *spoke* yang baru. Tahapan dilanjutkan ke Langkah 3.

Langkah 4: Langkah 3 diulangi sampai semua simpul dikunjungi. Simpul terakhir yang dikunjungi dihubungkan dengan *spoke* terakhir yang terbentuk. Simpul ini diganti menjadi *junction* sehingga terbentuk laso. Pelayanan permintaan pengambilan dilakukan saat perjalanan dari *junction* ke depot [2].

Metode Heuristik untuk TSPPD dengan Beberapa Kendaraan

Pada kasus lain, perlu adanya pertimbangan untuk menggunakan lebih dari satu kendaraan, seperti bentuk *Vehicle Routing Problem* (VRP). Diasumsikan bahwa semua kendaraan memiliki

kapasitas tertentu. Pemanfaatan kapasitas kendaraan yang buruk untuk satu kelompok rute dapat menyebabkan kurangnya kapasitas untuk kelompok yang tersisa.

Prosedur penyelesaian TSPPD dengan beberapa kendaraan adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Pengelompokan pelanggan ke dalam beberapa rute sebanyak kendaraan yang digunakan menggunakan *Integer Programming*.

Langkah 2: Penentuan solusi laso menggunakan prosedur penyelesaian metode heuristik. Metode yang digunakan seperti pada TSPPD untuk satu kendaraan dan diterapkan pada setiap kelompok yang terbentuk [2].

Hasil dan Diskusi

Misalkan sebuah perusahaan mempunyai produk minuman kemasan botol isi ulang yang dapat digunakan kembali. Perusahaan tersebut tentunya akan mengambil kembali produk kemasan dari pelanggan agar dapat diisi ulang dan mendistribusikan kembali produk yang telah diisi ulang ke pelanggan. Misalkan perusahaan mempunyai beberapa kendaraan, sejumlah pelanggan, dan satu depot.

Data jarak antar pelanggan diberikan untuk 13 pelanggan dan 1 depot dan data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data jarak antarpelanggan (dalam km)

Pelanggan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	55	75	115	170	148	145	159	98	101	95	50	58	20
2		0	43	115	165	155	170	198	142	138	115	75	105	75
3			0	80	125	120	142	181	135	123	91	64	106	95
4				0	56	41	72	124	102	80	40	66	100	124
5					0	41	85	145	145	120	88	121	151	178
6						0	45	105	105	80	55	96	120	153
7							0	60	75	53	53	98	103	145
8								0	63	60	91	123	104	150
9									0	25	60	72	40	88
10										0	40	65	50	95
11											0	45	64	98
12												0	46	58
13													0	47
14														0

Setiap pelanggan memiliki jumlah permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman barang yang berbeda-beda. Banyaknya permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman barang setiap pelanggan diperoleh dari Gribkovskaia *et al.* [2] dan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman barang (unit)

Pelanggan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
Pengiriman	0	20	25	15	40	20	10	30	30	25	20	15	20	20	290
Pengambilan	0	30	30	15	30	15	15	20	35	10	15	15	30	35	295

Metode Heuristik untuk TSPPD dengan Satu Kendaraan

Kasus pertama dalam penelitian ini yaitu TSPPD menggunakan satu kendaraan. Misalkan kapasitas angkut kendaraan sebesar 300 unit. Penyelesaian kasus pertama ini adalah menentukan rute solusi laso dari TSPPD tersebut dengan metode *nearest neighbour heuristic* untuk menentukan *path* terpendek sehingga diperoleh rute solusi laso yaitu 1 – 14 – 13 – 9 – 10 – 11 – 4 – 6 – 5 – 7 – 8 – 12 – 3 – 2 – 14 – 1 dengan total jarak 764.

Selanjutnya akan dilakukan perbaikan pada solusi laso yang telah terbentuk. Metode perbaikan dimulai dari penentuan solusi TSP sebagai optimal *Hamiltonian cycle*. Penentuan solusi TSP ini dilakukan dengan bantuan peranti lunak LINGO 11.0. Solusi yang diperoleh dari iterasi program LINGO 11.0 memberikan rute 1 – 2 – 3 – 12 – 11 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 10 – 9 – 13 – 14 – 1 dengan nilai fungsi objektif 641. Solusi *cycle* TSP tersebut tidak memenuhi kendala permintaan pengambilan dan permintaan pengiriman, sehingga perlu dilanjutkan ke tahap berikutnya sesuai prosedur perbaikan solusi laso. Dengan metode heuristik TSPPD, diperoleh rute 1 – 2 – 3 – 12 – 11 – 4 – 5 – 6 – 7 – 8 – 10 – 9 – 13 – 14 – 2 – 1 dengan total jarak 751. Nilai objektif total jarak ini lebih kecil jika dibandingkan dengan solusi laso yang diperoleh sebelumnya.

Metode Heuristik untuk TSPPD dengan Beberapa Kendaraan

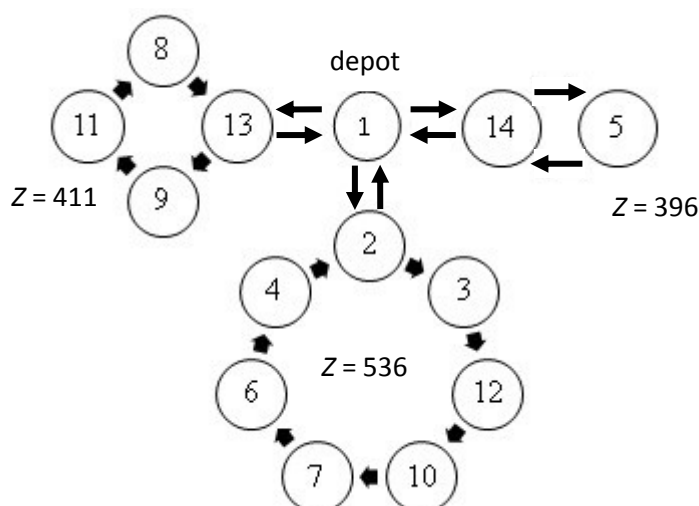
Kasus kedua dalam penelitian ini yaitu menggunakan beberapa kendaraan. Misalkan terdapat tiga kendaraan dengan kapasitas angkut setiap kendaraan sama yaitu sebesar 100 unit. Langkah awal pada kasus kedua adalah menentukan pengelompokan rute pendistribusian untuk setiap kendaraan dengan menerapkan metode heuristik pengelompokan berbasis optimasi seperti *Generalized Assignment Problem* menggunakan peranti lunak LINGO 11.0. Dengan menetapkan pelanggan 2, 13, dan 14 pada setiap kendaraan, maka hasil dari iterasi program LINGO 11.0 adalah kelompok 1 terdiri dari pelanggan 2, 3, 4, 10, dan 12; kelompok 2 terdiri dari pelanggan 6, 7, 8, 11, dan 13; serta kelompok 3 terdiri dari pelanggan 5, 9, dan 14.

Setelah terbentuk kelompok pendistribusian, maka ditentukan penyelesaian solusi laso menggunakan prosedur metode heuristik TSPPD untuk satu kendaraan pada setiap kelompok yang terbentuk. Penerapan metode heuristik tersebut menghasilkan tiga rute solusi laso sebagai berikut:
kelompok 1: 1 – 2 – 3 – 12 – 10 – 4 – 2 – 1 dengan jarak 477,
kelompok 2: 1 – 13 – 11 – 7 – 6 – 8 – 13 – 1 dengan jarak 487,
kelompok 3: 1 – 14 – 9 – 5 – 14 – 1 dengan jarak 451.
Rute yang dihasilkan pada setiap kelompok pendistribusian memenuhi penyelesaian solusi laso dan fisibel dengan total jarak 1415 untuk ketiga kendaraan.

Contoh kasus selanjutnya untuk TSPPD dengan beberapa kendaraan yaitu kapasitas angkut kendaraan yang berbeda-beda. Misalkan terdapat tiga kendaraan dengan kapasitas angkut setiap kendaraan berturut-turut sebesar 130 unit, 100 unit, dan 70 unit. Perbedaan kasus ini dengan kasus kedua terletak pada penentuan anggota kelompok pelanggan pada setiap kendaraan. Hasil dari iterasi program LINGO 11.0 adalah kelompok 1 terdiri dari pelanggan 2, 3, 4, 6, 7, 10, dan 12; kelompok 2 terdiri dari pelanggan 8, 9, 11, dan 13; serta kelompok 3 terdiri dari pelanggan 5 dan 14.

Setelah terbentuk kelompok pendistribusian, maka penentuan penyelesaian solusi laso dapat menggunakan prosedur metode heuristik TSPPD untuk satu kendaraan pada setiap kelompok yang terbentuk. Penerapan metode heuristik tersebut menghasilkan tiga rute solusi laso sebagai berikut:
kelompok 1: 1 – 2 – 3 – 12 – 10 – 7 – 6 – 4 – 2 – 1 dengan jarak 536,
kelompok 2: 1 – 13 – 9 – 11 – 8 – 13 – 1 dengan jarak 411,
kelompok 3: 1 – 14 – 5 – 14 – 1 dengan jarak 396.

Rute yang dihasilkan pada setiap kelompok pendistribusian memenuhi penyelesaian solusi laso dan fisibel dengan total jarak 1343 untuk ketiga kendaraan. Nilai objektif total jarak ini lebih kecil jika dibandingkan dengan total jarak untuk kapasitas kendaraan sama pada solusi laso sebelumnya. Hasil metode heuristik untuk setiap rute kendaraan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Rute solusi laso TSPPD setiap kelompok kendaraan pada Kasus 3

Kesimpulan

Model *traveling salesman problem with pick-up and delivery* (TSPPD) dapat diselesaikan dengan metode heuristik solusi laso. Model ini bertujuan meminimumkan total jarak yang ditempuh *salesman* dari depot ke beberapa tempat pelanggan dan kembali ke depot mengikuti suatu rute yang berbentuk laso.

Implementasi model pada suatu kasus pendistribusian sebuah perusahaan yang mempunyai produk minuman kemasan botol isi ulang yang dapat digunakan kembali dengan data dari Gribkovskaia *et al.* [2] dan data hipotetik.

Solusi laso yang diperoleh dari solusi TSP menggunakan metode heuristik TSPPD dengan satu kendaraan menghasilkan total jarak yang lebih minimum yaitu 751 kilometer. Solusi laso yang diperoleh dari TSPPD dengan tiga kendaraan berkapasitas angkut berbeda-beda menghasilkan total jarak yang lebih minimum yaitu 1343 kilometer jika dibandingkan dengan total jarak untuk TSPPD dengan tiga kendaraan berkapasitas angkut kendaraan yang sama yaitu 1415 kilometer.

Ucapan Terima Kasih

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga penelitian ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini adalah Riset Operasi, dengan judul Penentuan Solusi Laso dari *Traveling Salesman Problem with Pick-up and Delivery* dengan Metode Heuristik. Terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh keluarga atas segala doa, dukungan, dan kasih sayangnya. Terima kasih kepada teman-teman departemen Matematika IPB yang selalu memberikan dukungan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan dimasa mendatang. Semoga penelitian ini memberikan informasi yang bermanfaat bagi pembaca.

Referensi

- [1] Ahmadvand M, Yousefikhoshbakht M, Darani NM. 2012. Solving the traveling salesman problem by an efficient hybrid metaheuristic algorithm. *Journal of Advances in Computer Research*; 2012 Agustus; Sari, Iran. Sari (IR): Islamic Azad University. hlm 75-84.
- [2] Gribkovskaia I, Halskau Ø, Myklebost KB. 2001. Models for pick-up and deliveries from depots with lasso solutions. *Proceedings of the 13th Annual Conference on Logistics Research - NOFOMA 2001 Collaboration in logistics: Connecting Islands using Information Technology*; 2001 Juni 14-15; Reykjavik, Islandia. Göteborg (SE): Chalmers University of Technology. hlm 279-293.

MA-06

Analisis Kestabilan dan Perbandingan Solusi Numerik Model Matematika Simbiosis *Syn-eco* Empat Spesies

Jani Rahmat Hidayat^{1,a)} Diny Zulkarnaen^{1,b)} dan Elis Ratna Wulan^{1,c)}

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: rahmathidayatjani@gmail.com

^{b)}dinyzul@gmail.com

^{c)}elisrwulan@yahoo.com

Abstrak

Persamaan model matematika menggolongkan suatu bentuk sistem persamaan *syn-eco* yang merupakan himpunan empat persamaan diferensial gabungan non linier orde pertama. Serangkaian solusi diperoleh dari model simbiosis *syn-eco* empat spesies yang dibangun dari sebuah sistem persamaan non linier. Jenis kestabilan titik tetap positif pada model simbiosis *syn-eco* adalah stabil asimtotik global dengan kondisi khusus. Metode yang digunakan dalam pencarian solusi adalah metode dekomposisi adomian, metode perturbasi homotopi, metode dekomposisi adomian laplace, dan metode perturbasi homotopi laplace. Dalam metode dekomposisi adomian terdapat polinomial adomian, yang juga digunakan dalam metode perturbasi homotopi, metode dekomposisi adomian laplace, dan metode perturbasi homotopi laplace untuk mendapatkan solusi. Solusi dari empat metode tersebut menunjukkan hasil yang sama secara numerik. Metode perturbasi homotopi lebih efisien digunakan karena lebih singkat proses pengerjaannya dibandingkan dengan metode lainnya.

Kata kunci: Simbiosis *syn-eco*, Dekomposisi Adomian, Perturbasi homotopi, Dekomposisi Adomian Laplace, Perturbasi Homotopi Laplace

Pendahuluan

Di dunia ini begitu banyak ilmu pengetahuan yang ditemukan oleh ilmuwan terdahulu salah satunya yaitu matematika. Matematika adalah bidang ilmu yang mempelajari besaran, struktur, ruang, dan perubahan. Pada saat ini ilmu pengetahuan berkembang sangat pesat, contohnya dalam matematika terdapat salah satu cabang ilmu yaitu pemodelan matematika. Hampir semua bidang khususnya dalam ilmu pengetahuan dan teknologi dapat diformulasikan ke dalam model matematika contohnya dalam bidang biologi, yakni mengenai simbiosis. Dalam simbiosis terdapat simbiosis *syn-eco*. Simbiosis *syn-eco* adalah hubungan timbal balik antara dua organisme yang berada dalam suatu ekosistem secara bersamaan dan saling berkaitan. Jadi dalam beberapa spesies dapat terjadi simbiosis mutualisme, komensalisme, dan parasitisme secara bersamaan dan saling berkaitan antara spesies satu dengan yang lainnya [1]. Simbiosis *syn-eco* dapat diformulasikan ke dalam model matematika, model tersebut disebut model simbiosis *syn-eco*. Dari model *syn-eco* tersebut dapat dicari solusi dan dianalisis kestabilannya. Bentuk dari model simbiosis *syn-eco* merupakan suatu sistem persamaan diferensial biasa tak linier. Dalam mencari solusi numerik dari persamaan diferensial biasa tak linier dapat menggunakan beberapa metode yang mungkin diantaranya, Metode

Euler, Metode Runge-Kutta, Metode Perturbasi Homotopi, Metode Dekomposisi Adomian, Metode Perturbasi Homotopi Laplace, Metode Dekomposisi Adomian Laplace, dan banyak lagi.

Formulasi Model dan Solusi Model Matematika Simbiosis *Syn-Eco* Empat Spesies

Model matematika Simbiosis *Syn-Eco* empat spesies sebagai berikut :

$$a) \quad x_1' = x_1(a_1 - b_1x_1 - c_1x_2 + d_1x_3)$$

$$b) \quad x_2' = x_2(a_2 + b_2x_1 - c_2x_2)$$

$$c) \quad x_3' = x_3(a_3 - c_3x_3 + d_3x_4)$$

(3.1)

$$d) \quad x_4' = x_4(a_4 + c_4x_3 - d_4x_4)$$

dimana :

x_i = Populasi spesies ($i = 1,2,3,4$)

a_i = Tingkat pertumbuhan alami dari x_i ($i = 1,2,3,4$)

b_1, c_2, c_3, d_4 = Koefisien hambatan sendiri pada x_i

c_1, b_2 = Koefisien interaksi antara x_1 dan x_2 (parasitisme)

d_1 = Koefisien komensalisme antara x_1 dan x_3

d_3, c_4 = Koefisien mutualisme antara x_3 dan x_4

$\frac{a_1}{b_1}, \frac{a_2}{b_2}, \frac{a_3}{c_3}, \frac{a_4}{c_4}$ = *Carrying capacities* dari x_i ($i = 1,2,3,4$) secara berurutan

Semua $x_i > 0$ dan semua $a_i, b_i, c_i, d_i \geq 0$

Titik tetap pada model persamaan (3.1) diperoleh dengan membuat $x_i' = 0$, ($i = 1,2,3,4$), maka diperoleh 16 titik tetap. Untuk mencari solusi digunakan titik tetap positif, karena titik tetap positif menunjukkan adanya pengaruh semua spesies yang bersimbiosis. Titik tetap yang digunakan yaitu :

$$\left(\frac{a_1c_2 - a_2c_1}{b_1c_2 + b_2c_1}, \frac{c_3d_4 - d_3c_4 + c_2d_1}{c_3d_4 - d_3c_4}, \frac{a_3d_4 + d_3a_4}{c_3d_4 - d_3c_4}, \frac{a_1b_2 + b_1a_2}{b_1c_2 + b_2c_1}, \frac{c_3d_4 - c_4d_3 + b_2d_1}{c_3d_4 - d_3c_4}, \frac{a_4d_3 + a_3d_4}{c_3d_4 - c_4d_3}, \frac{a_3d_4 + a_4d_3}{c_3d_4 - c_4d_3}, \frac{a_4c_3 + a_3c_4}{c_3d_4 - c_4d_3} \right)$$

Agar titik tetapnya positif maka diperlukan syarat $\frac{a_1}{a_2} > \frac{c_1}{c_2}$ dan $\frac{c_3}{c_4} > \frac{d_3}{d_4}$. Dan untuk lebih mudah dapat dimisalkan titik tetapnya.

$$p = a_1c_2 - a_2c_1 (c_3d_4 - d_3c_4)$$

$$q = a_3d_4 + d_3a_4$$

$$r = b_1c_2 + b_2c_1 (c_3d_4 - d_3c_4)$$

$$s = a_1b_2 + c_3d_4 (c_3d_4 - c_4d_3)$$

Selanjutnya dimisalkan x_i ($i = 1,2,3,4$) menjadi α_i ($i = 1,2,3,4$), maka diperoleh:

$$\alpha_1 = \frac{p + c_2d_1q}{r}, \quad \alpha_2 = \frac{s + b_2d_1q}{r}, \quad \alpha_3 = \frac{a_3d_4 + a_4d_3}{c_3d_4 - c_4d_3}, \quad \alpha_4 = \frac{a_4c_3 + a_3c_4}{c_3d_4 - c_4d_3}$$

Untuk analisis kestabilan digunakan fungsi lyapunov. Dalam fungsi lyapunov untuk menunjukkan stabil asimtotik global harus memenuhi :

a. $V(x) > 0$

b. $V^*(x) < 0$

Dengan melakukan transformasi pada sistem persamaan (3.1), didefinisikan:

$$y_1 = x_1 - \alpha_1, \quad y_2 = x_2 - \alpha_2, \quad y_3 = x_3 - \alpha_3, \quad y_4 = x_4 - \alpha_4$$

Maka hasil transformasi sistem persamaan (3.1) menjadi :

- a) $y_1' = (y_1 + \alpha_1)(a_1 - b_1y_1 - b_1\alpha_1 - c_1y_2 - c_1\alpha_2 + d_1y_3 + d_1\alpha_3)$
- b) $y_2' = (y_2 + \alpha_2)(a_2 + b_2y_1 + b_2\alpha_1 - c_2y_2 - c_2\alpha_2)$
- c) $y_3' = (y_3 + \alpha_3)(a_3 - c_3y_3 - c_3\alpha_3 + d_3y_4 + d_3\alpha_4)$
- d) $y_4 = y_4 + \alpha_4 \quad a_4 + c_4y_3 + c_4\alpha_3 - d_4y_4 - d_4\alpha_4$

Akan ditunjukkan

a. $V(x) > 0$

Pilih fungsi skalar :

$$V_{y_1, y_2, y_3, y_4} = V_{y_i} = \int_{y_i}^0 \frac{y_i}{s + \alpha_i} ds \quad (i = 1, 2, 3, 4)$$

Terlihat bahwa $V_{y_i} > 0$ jika $y_i + \alpha_i > 0$ untuk $(i = 1, 2, 3, 4)$ dan $V(0) = 0$. Maka, $V(y_i)$ positif didefinisikan pada

$$\Omega = \{y_i; y_i + \alpha_i > 0, 1, 2, 3, 4\}$$

b. $V^*(x) < 0$

Turunan V terhadap waktu dinotasikan dengan V^* , maka:

$$V^* = \frac{dV}{dt} = \sum_{i=1}^4 \frac{y_i y_i'}{y_i + \alpha_i}$$

$$V^*_{y_1, y_2, y_3, y_4} = \sum_{i=1}^4 \frac{y_i y_i'}{y_i + \alpha_i} = \frac{y_1 y_1'}{y_1 + \alpha_1} + \frac{y_2 y_2'}{y_2 + \alpha_2} + \frac{y_3 y_3'}{y_3 + \alpha_3} + \frac{y_4 y_4'}{y_4 + \alpha_4}$$

$$\leq \frac{y_1((y_1 + \alpha_1)(a_1 - b_1y_1 - b_1\alpha_1 - c_1y_2 - c_1\alpha_2 + d_1y_3 + d_1\alpha_3))}{y_1 + \alpha_1}$$

$$+ \frac{y_2((y_2 + \alpha_2)(a_2 + b_2y_1 + b_2\alpha_1 - c_2y_2 - c_2\alpha_2))}{y_2 + \alpha_2}$$

$$+ \frac{y_3((y_3 + \alpha_3)(a_3 - c_3y_3 - c_3\alpha_3 + d_3y_4 + d_3\alpha_4))}{y_3 + \alpha_3}$$

$$+ \frac{y_4(y_4 + \alpha_4 \quad a_4 + c_4y_3 + c_4\alpha_3 - d_4y_4 - d_4\alpha_4)}{y_4 + \alpha_4}$$

$$\leq -b_1y_1^2 - c_2y_2^2 - c_3y_3^2 - d_4y_4^2 - c_1 - b_2 y_1y_2 + d_3 - c_4 y_3y_4 + d_1y_1y_3$$

$$+ a_1 - b_1\alpha_1 - c_1\alpha_2 + d_1\alpha_3 y_1 + a_2 + b_2\alpha_1 - c_2\alpha_2 y_2 + a_3 - c_3\alpha_3 + d_3\alpha_4 y_3$$

$$+ a_4 + c_4\alpha_3 - d_4\alpha_4 y_4$$

Sesuai dengan fakta bahwa :

$$y_1^2 + y_2^2 \geq 2y_1y_2 \rightarrow \frac{y_1^2 + y_2^2}{2} \geq y_1y_2$$

$$y_3^2 + y_4^2 \geq 2y_3y_4 \rightarrow \frac{y_3^2 + y_4^2}{2} \geq y_3y_4$$

$$y_1^2 + y_3^2 \geq 2y_1y_3 \rightarrow \frac{y_1^2 + y_3^2}{2} \geq y_1y_3$$

$$\leq -\frac{y_1^2}{2} 2b_1 + c_1 - d_1 - b_2 - \frac{y_2^2}{2} 2c_2 - b_2 + c_1 - \frac{y_3^2}{2} 2c_3 - d_3 - c_4 - d_1$$

$$- \frac{y_4^2}{2} 2d_4 - c_4 - d_3 - y_1 - a_1 + b_1\alpha_1 + c_1\alpha_2 - d_1\alpha_3 - y_2 - a_2 - b_2\alpha_1 + c_2\alpha_2$$

$$- y_3 - a_3 + c_3\alpha_3 - d_3\alpha_4 - y_4 - a_4 - c_4\alpha_3 + d_4\alpha_4$$

Menggunakan kondisi $b_1 + c_3 > d_1 + c_2 + d_4$ dan $a_2 + a_4 + b_1\alpha_1 + c_1\alpha_2 + b_2\alpha_1 + c_3\alpha_3 + c_4\alpha_3 > a_1 + a_3 + d_1\alpha_3 + c_2\alpha_2 + d_3\alpha_4 + d_4\alpha_4$

$V^*(x)$ adalah negatif didefinisikan pada Ω .

Maka, titik tetap positif α_i ($i = 1,2,3,4$) dari sistem persamaan (3.1) adalah stabil asimtotik global.

Untuk mencari solusi digunakan empat metode yaitu metode dekomposisi dekomposisi adomian, metode perturbasi homotopi, metode dekomposisi adomian laplace, dan metode perturbasi homotopi laplace.

A. Solusi Model Menggunakan Metode Dekomposisi Adomian

Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu melakukan transformasi pada model sistem persamaan (3.1). Didefinisikan :

$$u \tau = \frac{x_1}{\alpha_1} \Rightarrow x_1 = u \tau \alpha_1, \quad v \tau = \frac{x_2}{\alpha_2} \Rightarrow x_2 = v \tau \alpha_2, \quad w \tau = \frac{x_3}{\alpha_3} \Rightarrow x_3 = w \tau \alpha_3$$

$$z \tau = \frac{x_4}{\alpha_4} \Rightarrow x_4 = z \tau \alpha_4, \quad \tau = a_1 t, \quad a_1 = \frac{\tau}{t}, \quad t = \frac{\tau}{a_1}$$

Maka diperoleh :

$$a) \quad \frac{du \tau}{d\tau} = u \tau - k_0 u^2 \tau - k_1 u \tau v \tau + k_2 u \tau w \tau$$

$$b) \quad \frac{dv \tau}{d\tau} = k_3 v \tau + k_4 u \tau v \tau - k_5 v^2 \tau$$

$$c) \quad \frac{dw \tau}{d\tau} = k_6 w \tau - k_7 w^2 \tau + k_8 z \tau$$

(3.2)

$$d) \quad \frac{dz \tau}{d\tau} = k_9 z \tau + k_{10} w \tau z \tau - k_{11} z^2 \tau$$

Memperkenalkan operator differensial $L = \frac{d}{d\tau}$, sistem persamaan (3.2) menjadi

$$a) \quad Lu \tau = u \tau - k_0 f u - k_1 \Phi_1(u \tau, v \tau) + k_2 \Phi_2(u \tau, w \tau)$$

$$b) \quad Lv(\tau) = k_3 v \tau + k_4 \Phi_1(u \tau, v \tau) - k_5 g(v \tau)$$

$$c) \quad Lw \tau = k_6 w \tau - k_7 h w \tau + k_8 \Phi_3(w \tau, z \tau)$$

(3.3)

$$d) \quad LZ(\tau) = k_9 z \tau + k_{10} \Phi_3(w \tau, z \tau) - k_{11} i(z \tau)$$

Dengan kondisi awal $u_0 = l_1, v_0 = l_2, w_0 = l_3, z_0 = l_4$

Diasumsikan operasi invers L^{-1} dan didefinisikan sebagai $L^{-1} = \int_0^\tau (\cdot) d\tau$. Mengaplikasikan operasi invers pada persamaan (3.3) dan memperkenalkan kondisi awal u_0, v_0, w_0, z_0 dan maka diperoleh :

$$\sum_{n=0}^{\infty} u_n = u_0 + L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} u_n - k_0 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} A_n - k_1 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} D_n + k_2 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} E_n$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} v_n = v_0 + k_3 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} v_n + k_4 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} D_n - k_5 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} B_n$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} w_n = w_0 + k_6 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} w_n - k_7 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} C_n - k_8 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} F_n$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} z_n = z_0 + k_9 L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} z_n - k_{10} L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} F_n - k_{11} L^{-1} \sum_{n=0}^{\infty} H_n$$

Selanjutnya menentukan iterasi menggunakan *recurrence relation*

$$u_0 = l_1$$

$$u_{n+1} = L^{-1} u_n - k_0 L^{-1} A_n - k_1 L^{-1} D_n + k_2 L^{-1} E_n, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$v_0 = l_2$$

$$v_{n+1} = k_3 L^{-1} v_n + k_4 L^{-1} D_n - k_5 L^{-1} B_n, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$w_0 = l_3$$

$$w_{n+1} = k_6 L^{-1} w_n - k_7 L^{-1} C_n + k_8 L^{-1} F_n, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$z_0 = l_4$$

$$z_{n+1} = k_9 L^{-1} z_n + k_{10} L^{-1} F_n - k_{11} L^{-1} H_n, \quad n=0,1,2,\dots$$

B. Solusi Model Menggunakan Metode Perturbasi Homotopi

Untuk mencari solusi model menggunakan metode perturbasi homotopi diambil dari sistem persamaan (3.2).

$$\frac{du}{d\tau} = p(u\tau - k_0 u^2 \tau - k_1 u\tau v\tau + k_2 u\tau w\tau)$$

$$\frac{dv}{d\tau} = p(k_3 v\tau + k_4 u\tau v\tau - k_5 v^2 \tau)$$

$$\frac{dw}{d\tau} = p(k_6 w\tau - k_7 w^2 \tau + k_8 z\tau)$$

(3.4)

$$\frac{dz}{d\tau} = p(k_9 z\tau + k_{10} w\tau z\tau - k_{11} z^2 \tau),$$

dimana $p \in [0,1]$ adalah embedding parameter. Ketika $p = 0$, adalah persamaan linier. Ketika $p = 1$, menjadi persamaan non linier. Disini *embedding parameter* sebagai parameter kecil. Diasumsikan solusi dari sistem persamaan (3.4) sebagai deret pangkat.

$$u = u_0 + pu_1 + p^2 u_2 + p^3 u_3 + \dots$$

$$v = v_0 + pv_1 + p^2 v_2 + p^3 v_3 + \dots$$

(3.5)

$$w = w_0 + pw_1 + p^2 w_2 + p^3 w_3 + \dots$$

$$z = z_0 + pz_1 + p^2 z_2 + p^3 z_3 + \dots$$

Samakan koefisien dari p diruas kiri dengan ruas kanan, maka diperoleh persamaan :

$$p^0: \quad u_0' = 0$$

$$v_0' = 0$$

$$w_0' = 0$$

$$z_0' = 0 \text{ dimana } u_0 = l_1, v_0 = l_2, w_0 = l_3, z_0 = l_4$$

$$p^1: \quad u_1' = u_0 - k_0 A_0 - k_1 D_0 + k_2 A_0$$

$$v_1' = k_3 v_0 + k_4 D_0 - k_5 B_0$$

$$w_1' = k_6 w_0 - k_7 C_0 + k_8 F_0$$

$$z_1' = k_9 z_0 + k_{10} F_0 - k_{11} H_0$$

Dan seterusnya.

C. Solusi Model Menggunakan Metode Dekomposisi Adomian Laplace

Untuk mencari solusi model menggunakan metode dekomposisi adomian laplace diambil dari sistem persamaan (3.2). Pada sistem persamaan (3.2) operasikan laplace yaitu \mathcal{L} pada kedua ruas.

$$a) \quad \mathcal{L}\left\{\frac{du}{d\tau}\right\} = \mathcal{L}\{u\tau - k_0 u^2 \tau - k_1 u\tau v\tau + k_2 u\tau w\tau\}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } \mathcal{L}\left\{\frac{dv}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_3 v \tau + k_4 u \tau v \tau - k_5 v^2 \tau\} \\ \text{c) } \mathcal{L}\left\{\frac{dw}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_6 w \tau - k_7 w^2 \tau + k_8 z \tau\} \\ \text{d) } \mathcal{L}\left\{\frac{dz}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_9 z \tau + k_{10} w \tau z \tau - k_{11} z^2 \tau\} \end{aligned}$$

Selanjutnya menggunakan *reccurence relation* dan invers laplace seperti pada Metode Dekomposisi Adomian.

$$u_0 = u(0)$$

$$u_{n+1} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{S} \mathcal{L} u_n - \frac{k_0}{S} \mathcal{L} A_n - \frac{k_1}{S} \mathcal{L} D_n + \frac{k_2}{S} \mathcal{L} E_n\right\}, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$v_0 = v(0)$$

$$v_{n+1} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{k_3}{S} \mathcal{L} v_n + \frac{k_4}{S} \mathcal{L} D_n - \frac{k_5}{S} \mathcal{L} B_n\right\}, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$w_0 = w(0)$$

$$w_{n+1} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{k_6}{S} \mathcal{L} w_n - \frac{k_7}{S} \mathcal{L} C_n + \frac{k_8}{S} \mathcal{L} F_n\right\}, \quad n=0,1,2,\dots$$

$$z_0 = z(0)$$

$$z_{n+1} = \mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{k_9}{S} \mathcal{L} z_n + \frac{k_{10}}{S} \mathcal{L} F_n - \frac{k_{11}}{S} \mathcal{L} H_n\right\}, \quad n=0,1,2,\dots$$

D. Solusi Model Menggunakan Metode Perturbasi Homotopi Laplace

Untuk mencari solusi model menggunakan metode perturbasi homotopi laplace diambil dari sistem persamaan (3.2). Pada sistem persamaan (3.2) operasikan laplace yaitu \mathcal{L} pada kedua ruas.

$$\begin{aligned} \mathcal{L}\left\{\frac{du}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{u \tau - k_0 u^2 \tau - k_1 u \tau v \tau + k_2 u \tau w \tau\} \\ \mathcal{L}\left\{\frac{dv}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_3 v \tau + k_4 u \tau v \tau - k_5 v^2 \tau\} \\ \mathcal{L}\left\{\frac{dw}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_6 w \tau - k_7 w^2 \tau + k_8 z \tau\} \\ \mathcal{L}\left\{\frac{dz}{d\tau}\right\} &= \mathcal{L}\{k_9 z \tau + k_{10} w \tau z \tau - k_{11} z^2 \tau\} \end{aligned}$$

Selanjutnya menghasilkan

$$\begin{aligned} \mathcal{L} u &= \frac{1}{S} u(0) + \frac{1}{S} \mathcal{L}\{u\} - \frac{k_0}{S} \mathcal{L}\{u^2\} - \frac{k_1}{S} \mathcal{L}\{uv\} + \frac{k_2}{S} \mathcal{L}\{uw\} \\ \mathcal{L}\{v\} &= \frac{1}{S} v_0 + \frac{k_3}{S} \mathcal{L} v + \frac{k_4}{S} \mathcal{L}\{uv\} - \frac{k_5}{S} \mathcal{L}\{v^2\} \\ \mathcal{L}\{w\} &= \frac{1}{S} w(0) + \frac{k_6}{S} \mathcal{L}\{w\} - \frac{k_7}{S} \mathcal{L}\{w^2\} - \frac{k_8}{S} \mathcal{L}\{zw\} \\ \mathcal{L}\{z\} &= \frac{1}{S} z(0) + \frac{k_9}{S} \mathcal{L}\{z\} - \frac{k_{10}}{S} \mathcal{L}\{zw\} - \frac{k_{11}}{S} \mathcal{L}\{z^2\} \end{aligned}$$

Selanjutnya operasi invers laplace pada kedua ruas, maka hasil dari invers laplace tersebut adalah

$$\begin{aligned} u &= u(0) + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{1}{S} \mathcal{L} u\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_0}{S} \mathcal{L} A_n\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_1}{S} \mathcal{L} D_n\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_2}{S} \mathcal{L} E_n\right] \\ v &= v_0 + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_3}{S} \mathcal{L} v\right] + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_4}{S} \mathcal{L} D_n\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_5}{S} \mathcal{L} B_n\right] \\ w &= w(0) + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_6}{S} \mathcal{L} w\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_7}{S} \mathcal{L} C_n\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_8}{S} \mathcal{L} F_n\right] \\ z &= z(0) + \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_9}{S} \mathcal{L} z\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_{10}}{S} \mathcal{L} F_n\right] - \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{k_{11}}{S} \mathcal{L} H_n\right] \end{aligned}$$

Selanjutnya aplikasikan metode perturbasi homotopi. Pada metode perturbasi homotopi terdapat embedding parameter $p \in [0,1]$.

$$\begin{aligned}
 p^n u_n &= u(0) + p(\mathcal{L}^{-1}[\frac{1}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} u_n] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_0}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} A_n] \\
 &\quad - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_1}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} D_n] + \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_2}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} E_n]) \\
 p^n v_n &= v_0 + p(\mathcal{L}^{-1}[\frac{k_3}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} v_n + \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_4}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} D_n \\
 &\quad - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_5}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} B_n]) \\
 p^n w_n &= w(0) + p(\mathcal{L}^{-1}[\frac{k_6}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} w_n - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_7}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} C_n \\
 &\quad - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_8}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} F_n]) \\
 p^n z_n &= z(0) + p(\mathcal{L}^{-1}[\frac{k_9}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} z_n - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_{10}}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} F_n \\
 &\quad - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_{11}}{S} \mathcal{L} \sum_{n=0}^{\infty} H_n])
 \end{aligned}$$

Samakan koefisien dengan pangkat p diruas kiri dan ruas kanan, maka menghasilkan:

$$p^0: u_0 = u(0)$$

$$v_0 = v(0)$$

$$w_0 = w(0)$$

$$z_0 = z(0)$$

$$p^1: u_1 = \mathcal{L}^{-1}[\frac{1}{S} \mathcal{L} u_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_0}{S} \mathcal{L} A_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_1}{S} \mathcal{L} D_0] + \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_2}{S} \mathcal{L} \{E_0\}]$$

$$v_1 = \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_3}{S} \mathcal{L} v_0] + \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_4}{S} \mathcal{L} D_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_5}{S} \mathcal{L} B_0]$$

$$w_1 = \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_6}{S} \mathcal{L} w_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_7}{S} \mathcal{L} C_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_8}{S} \mathcal{L} F_0]$$

$$z_1 = \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_9}{S} \mathcal{L} z_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_{10}}{S} \mathcal{L} F_0] - \mathcal{L}^{-1}[\frac{k_{11}}{S} \mathcal{L} H_0]$$

Dan seterusnya.

Untuk mencari solusi numerik menggunakan metode dekomposisi adomian, metode perturbasi homotopi, metode dekomposisi adomian laplace, metode perturbasi homotopi laplace diberikan nilai sebagai berikut :

$$a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 1, b_1 = 1, b_2 = 2, c_1 = \frac{1}{4}, c_2 = \frac{1}{2}, c_3 = 2, c_4 = 1, d_1 = d_3 = d_4 = 1$$

Dengan langkah pengerjaan seperti yang telah dikerjakan sebelumnya maka dari empat metode tersebut menghasilkan solusi numerik yang sama sebagai berikut

$$u = 2 - 2.5\tau + 1.06\tau^2 + 9.3\tau^3 + 21.3\tau^4 + \dots$$

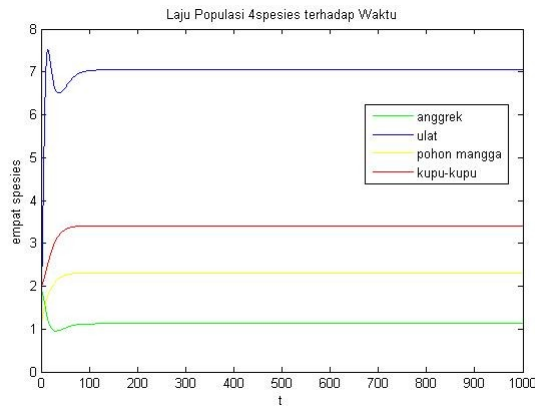
$$v = 1 + 5.5\tau + 10.62\tau^2 + 2.08\tau^3 - 19.14\tau^4 + \dots$$

$$w = 1 + 3\tau + -10.5\tau^2 + 6.5\tau^3 + 62.125\tau^4 + \dots$$

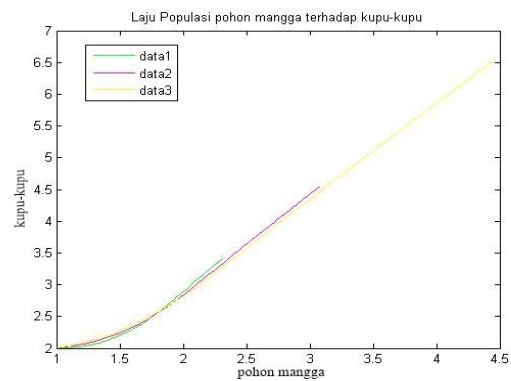
$$z = 2 - 6\tau + 33\tau^2 - 161\tau^3 + 746.75\tau^4 + \dots$$

Hasil dan Diskusi

Untuk menunjukkan kestabilan dan sensitifitas dilakukan simulasi secara numerik melalui bantuan software MATLAB. Adapun parameter yang diberikan merupakan parameter acak.



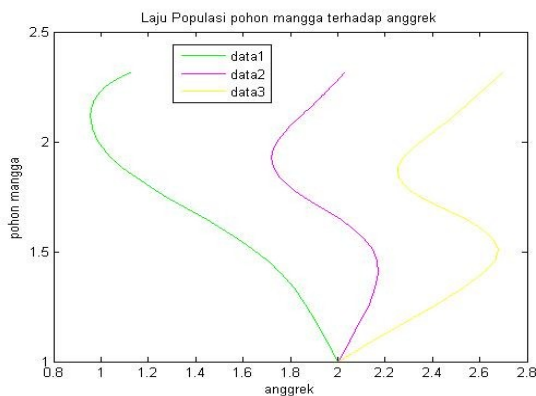
Gambar 1. Laju Populasi empat spesies terhadap



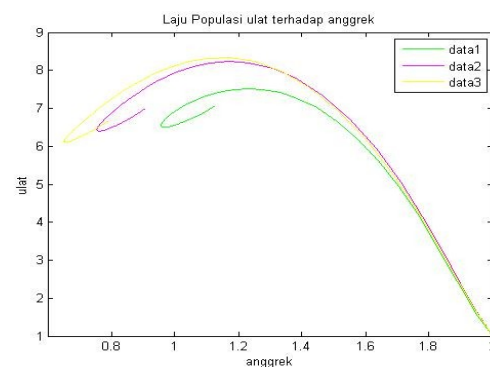
Gambar 2. Sensitifitas Parameter Koefisien waktu Mutualisme dengan nilai $d_3 = 1, c_4 = 1$, $d_3 = 1,2, c_4 = 1,2$, $d_3 = 1,3, c_4 = 1,3$

Dari grafik pada gambar 1 menunjukkan populasi ulat, pohon mangga, dan anggrek bulan mengalami kenaikan sedangkan ulat mengalami penurunan dan pada waktu tertentu mengalami perubahan sehingga mengalami kestabilan.

Dari grafik pada gambar 2 terlihat bahwa populasi pohon mangga dan kupu-kupu semakin bertambah terus ketika nilai parameter diperbesar. Hal ini terjadi karena ketika nilai parameter diperbesar berarti dua spesies semakin mengalami keuntungan sehingga jumlah populasi semakin meningkat.



Gambar 3. Sensitifitas Parameter Koefisien Komensalisme dengan nilai $d_1 = 1, d_1 = 1,2$, $d_1 = 1,3$



Gambar 4. Sensitifitas Parameter Koefisien Parasitisme dengan nilai $c_1 = 0,25 b_2 = 2$, $c_1 = 0,26 b_2 = 2,4$, $c_1 = 0,27 b_2 = 2,5$

Gambar 3 menunjukkan grafik sensitifitas parameter koefisien komensalisme. Dari grafik terlihat ketika nilai parameter dinaikan jumlah populasi anggrek semakin besar, sedangkan populasi pohon mangga tidak bertambah karena anggrek mengalami keuntungan dari pohon mangga dan pohon mangga tidak mengalami keuntungan maupun kerugian.

Gambar 4 menunjukkan grafik sensitifitas parameter koefisien parasitisme . Dari grafik terlihat ketika parameter dinaikan jumlah populasi anggrek mengalami penurunan sedangkan jumlah populasi ulat mengalami kenaikan yang tidak terlalu signifikan, hal ini terjadi karena ulat mengalami keuntungan dari anggrek sedangkan anggrek mengalami kerugian.

Kesimpulan

Dalam paper ini ditunjukkan bahwa titik tetap positif model matematika simbiosis *syn-eco* empat spesies stabil asimtotik global dengan kondisi khusus. Untuk mencari solusi digunakan empat metode yaitu metode dekomposisi adomian, metode perturbasi homotopi, metode dekomposisi adomian laplace dan metode perturbasi homotopi laplace. Solusi dari empat metode menunjukkan hasil yang sama secara numerik. Metode Dekomposisi adomian lebih efisien digunakan karena lebih singkat langkah pengerjaan dan proses perhitungannya.

Referensi

- [1] Rao, D Venu Govala. 2012. "Solution and Stability Analysis of a Mathematical Model of Four Species Syn-Eco Symbiosis". *Applied Mathematical Sciences*. 6 (34) 1685-1693.
- [2] Debnath, Lokenath dan Dambaru Bhatta, Integral Transforms and Their Applications Second Edition, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2007.
- [3] Kumar, Ananth S. R & R. Rangarajan. "Applicability Of Laplace Decomposition Method For Solving Certain Differential-Difference Equation Of Order". *Bulletin Of the Society Of Mathematicians Banja Luka*. 3(2003) 103-111.
- [4] Rao, D Venu Govala. 2011. "A Study of the Series Solutions of Three Species of Lotka Volterra Food Web Model Using Adomian Decomposition and Homotopy Perturbations Methods". *Gen. Math. Notes*. 3 (2) 13-26.

MA-07

Analisis Kestabilan dan Chaos pada Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon Beddington-DeAngelis

Nuramalia Mursyidah^{1,a)} Diny Zulkarnaen^{1,b)} dan Elis Ratna Wulan^{1,c)}

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: mursyidahnuramalia@gmail.com

^{b)}dinyzul@gmail.com

^{c)}elisrwulan@yahoo.com

Abstrak

Dalam makalah ini, disajikan sebuah model laju pertumbuhan tiga spesies yang terdiri dari *prey*, intermediate-predator, dan top-predator atau disebut juga Model Rantai Makanan Tiga Spesies. Dalam ekologi, tingkat asupan (konsumsi) konsumen berbeda sehingga seiring dengan perkembangan zaman, model rantai makanan dimodifikasi dengan mempertimbangkan asumsi daya konsumsi yang disebut Fungsi Respon. Berdasarkan asumsi yang diberikan, Fungsi Respon yang digunakan pada model rantai makanan tiga spesies adalah Fungsi Respon Beddington-DeAngelis. Secara analitik, dengan mempertimbangkan syarat cukup pada parameternya, model ini dikatakan stabil melalui analisis Kriteria Hurwitz. Namun, dengan adanya perubahan-perubahan nilai pada parameter bukan hanya membuat sistem menjadi tidak stabil, tetapi juga menunjukkan adanya perilaku Chaos. Perilaku Chaos ini ditunjukkan dengan adanya nilai Lyapunov Eksponen yang positif setelah dilakukan perhitungan numerik menggunakan algoritma pemisahan orbit. Selain itu, perilaku chaos juga ditunjukkan dengan adanya perilaku aperiodik dalam jangka panjang. Artinya, laju interaksi antara ketiga spesies menjadi lebih kompleks dan tidak dapat diprediksi ketika asumsi fungsi respon diperhitungkan.

Kata Kunci: Model Rantai Makanan, Teori Chaos, Fungsi Respon Beddington-DeAngelis, Lyapunov Eksponen, Pemisahan Orbit.

Pendahuluan

Salah satu model interaksi antar makhluk hidup dalam suatu ekosistem adalah model predator-*prey*, dengan *prey* sebagai spesies yang dimangsa dan predator sebagai spesies yang memangsa. Model predator-*prey* pertama kali dikenalkan oleh Lotka pada tahun 1925 dan Volterra pada tahun 1926, sehingga model ini juga disebut model Lotka-Volterra [1]. Akan tetapi interaksi antar makhluk hidup dapat terjadi pada lebih dari dua spesies, interaksi memangsa dan dimangsa yang terjadi pada lebih dari dua spesies disebut juga model rantai makanan [1].

Pada makalah ini akan dibahas model rantai makanan tiga spesies yang terdiri dari *prey*, intermediate-predator dan top-predator. Adanya keterlibatan top-predator menyebabkan sistem yang diperoleh menjadi lebih kompleks. Dengan menggunakan fungsi respon untuk kedua *predator* dalam sistem tersebut memberikan perubahan signifikan terhadap perilaku solusi interaksi di antara ketiga spesies tersebut.

Fungsi Respon

Fungsi respon pada model rantai makanan berkaitan dengan tingkat asupan konsumsi pemangsa. Hal ini ditandai dengan adanya kebutuhan yang eksklusif pemangsa dalam memangsa dan mengkonsumsi hasil buruannya [2]. Fungsi respon diperkenalkan pertama kali oleh Holling [2], kemudian Beddington-DeAngelis memodifikasi fungsi respon Holling tipe II dengan mempertimbangkan hambatan lain pada fungsi responnya yang kemudian dikenal dengan fungsi respon Beddington-DeAngelis [3].

Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon Beddington-DeAngelis

Min Zhao pada sebuah artikelnya membangun sebuah model rantai makanan tiga spesies dengan fungsi respon Beddington-DeAngelis sebagai berikut [4]:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dT} &= \frac{R_0 G_0 - X^2}{G_1 - X} - F_1 X, Y, Y \\ \frac{dY}{dT} &= E_1 F_1 X, Y, Y - F_2 Y, Z, Z - I_1 Y \\ (1) \\ \frac{dZ}{dT} &= E_2 F_2 Y, Z, Z - I_2 Z \end{aligned}$$

dengan $F_i U, V = \frac{A_i U}{B_i V + C_i U + D_i}, i = 1, 2.$

dimana $F_i U, V$ menyatakan fungsi respon untuk masing-masing predator. X, Y dan Z masing masing menyatakan populasi *prey*, intermediate predator dan top predator. R_0 menyatakan laju pertumbuhan alami *prey*, G_0 dan G_1 menyatakan daya dukung lingkungan terhadap mangsa. E_1 dan E_2 masing masing menyatakan tingkat konversi dari *prey* ke intermediate-predator dan tingkat konversi dari intermediate-predator ke top-predator. Sedangkan I_1 dan I_2 masing masing menunjukkan laju kematian alami untuk intermediate-predator dan top-predator.

Selanjutnya untuk mempermudah analisis matematis dilakukan nondimensionalisasi dengan mentransformasi persamaan (1) menggunakan parameter transformasi sebagai berikut :

$$x = \frac{X}{D_1}, X = D_1 x \quad ; \quad y = \frac{Y}{D_1}, Y = D_1 y \quad ; \quad z = \frac{Z}{D_1}, Z = D_1 z \quad ; \quad t = I_1 T, T = \frac{t}{I_1} \quad (2)$$

sehingga sistem persamaan (1) menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= x \frac{r_0 k_0 - x}{k_1 - x} - \frac{a_1 y}{a_2 y + a_3 x + 1} \\ \frac{dy}{dt} &= y \frac{a_4 x}{a_2 y + a_3 x + 1} - \frac{a_5 z}{a_6 z + a_7 y + a_8} - 1 \\ (3) \end{aligned}$$

$$\frac{dz}{dt} = z \frac{a_9 y}{a_6 z + a_7 y + a_8} - a_{10}$$

dimana,

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{R_0}{I_1}, k_0 = \frac{G_0}{D_1}, k_1 = \frac{G_1}{D_1}, a_1 = \frac{A_1}{I_1}, a_2 = B_1, a_3 = C_1, a_4 = \frac{E_1 A_1}{I_1}, a_5 = \frac{A_2}{I_1}, a_6 = B_2, a_7 = C_2, \\ a_8 &= \frac{D_2}{D_1}, a_9 = \frac{E_2 A_2}{I_1}, a_{10} = \frac{I_2}{I_1} \end{aligned}$$

Analisis Titik Tetap dan Kestabilan

Dari sistem persamaan (3) akan dicari titik tetap dengan membuat masing-masing persamaan pada sistem persamaan (3) sama dengan nol [5]. Pada penulisan kali ini pencarian nilai titik tetap dilakukan ketika semua spesies dapat hidup secara berdampingan.

Dengan membuat masing-masing persamaan pada sistem persamaan (3) sama dengan nol seperti berikut :

$$\frac{dx}{dt} = x \frac{r_0 k_0 - x}{k_1 - x} - \frac{a_1 y}{a_2 y + a_3 x + 1} = 0$$

$$\frac{dy}{dt} = y \frac{a_4 x}{a_2 y + a_3 x + 1} - \frac{a_5 z}{a_6 z + a_7 y + a_8} - 1 = 0$$

$$\frac{dz}{dt} = z \frac{a_9 y}{a_6 z + a_7 y + a_8} - a_{10} = 0$$

Diperoleh titik tetap $E^* (x, y, z)$ dengan $x, y, z > 0$ dimana :

$$y = \frac{a_{10} a_6 z + a_8}{a_9 - a_7 a_{10}} \text{ dengan } a_9 > a_7 a_{10}$$

$$z = - \frac{-a_4 x a_7 y - a_4 x a_8 + a_2 y^2 a_7 + a_2 y a_8 + a_3 x a_7 y + a_3 x a_8 + a_7 y + a_8}{-a_4 x a_6 + a_5 a_2 y + a_5 a_3 x + a_5 + a_2 y a_6 + a_3 x a_6 + a_6} > 0$$

dan

$$x_1 =$$

$$\frac{1}{2} \frac{1}{a_3 r_0} a_3 k_0 r_0 - r_0 a_2 y - r_0 + a_1 y + a_3^2 k_0^2 r_0^2 + 2 a_3 k_0 r_0^2 a_2 y + 2 a_3 k_0 r_0^2 + 2 a_3 k_0 r_0 a_1 y + r_0^2 a_2^2 y^2 + 2 r_0^2 a_2 y - 2 r_0 a_2 y^2 a_1 + r_0^2 - 2 r_0 a_1 y + a l^2 y^2 - 4 a_3 r_0 a_1 y k_1^{\frac{1}{2}}$$

$$x_2 = - \frac{1}{2} \frac{1}{a_3 r_0} - a_3 k_0 r_0 + r_0 a_2 y + r_0 - a_1 y + a_3^2 k_0^2 r_0^2 + 2 a_3 k_0 r_0^2 a_2 y + 2 a_3 k_0 r_0^2 +$$

$$2 a_3 k_0 r_0 a_1 y + r_0^2 a_2^2 y^2 + 2 r_0^2 a_2 y - 2 r_0 a_2 y^2 a_1 + r_0^2 - 2 r_0 a_1 y + a l^2 y^2 - 4 a_3 r_0 a_1 y k_1^{\frac{1}{2}}$$

dengan x_1 atau $x_2 > 0$

Dari titik tetap tersebut kemudian dianalisis jenis kestabilannya dengan melinierisasi sistem persamaan (3) dengan matriks Jacobi terlebih dahulu sehingga diperoleh [6]:

$$J_{x,y,z} = \begin{matrix} f_x & f_y & f_z \\ g_x & g_y & g_z \\ h_x & h_y & h_z \end{matrix}$$

dengan,

$$f_x = \frac{r_0 k_0 - x}{k_1 - x} - \frac{a_1 y}{a_2 y + a_3 x + 1} + x \frac{r_0}{k_1 - x} + \frac{r_0 k_0 - x}{k_1 - x}^2 + \frac{a_1 y a_3}{a_2 y + a_3 x + 1}^2$$

$$f_y = x \frac{a_1}{a_2 y + a_3 x + 1} + \frac{a_1 y a_2}{a_2 y + a_3 x + 1}^2$$

$$f_z = 0$$

$$g_x = y \frac{a_4}{a_2 y + a_3 x + 1} - \frac{a_4 x a_3}{a_2 y + a_3 x + 1}^2$$

$$g_y = \frac{a_4 x}{a_2 y + a_3 x + 1} - \frac{a_5 z}{a_6 z + a_7 y + a_8} - 1 + y \frac{a_5 z a_7}{a_6 z + a_7 y + a_8}^2 - \frac{a_4 x a_2}{a_2 y + a_3 x + 1}^2$$

$$g_z = y \frac{a_5}{a_6 z + a_7 y + a_8} + \frac{a_5 z a_6}{a_6 z + a_7 y + a_8}^2$$

$$h_x = 0$$

$$h_y = z \frac{a_9}{a_6 z + a_7 y + a_8} - \frac{a_9 y a_7}{a_6 z + a_7 y + a_8}^2$$

$$h_z = \frac{a_9 y}{a_6 z + a_7 y + a_8} - a_{10} - \frac{z a_9 y a_6}{a_6 z + a_7 y + a_8}$$

Selanjutnya dari matriks Jacobi tersebut diperoleh persamaan karakteristik sebagai berikut :

$$\lambda^3 - f_x + g_y + h_z \lambda^2 + f_x g_y + g_y h_z + f_x h_z - f_y g_x - g_z h_y \lambda + f_x g_z h_y - f_x g_y h_z + f_y g_x h_z = 0 \quad (4)$$

dengan memisalkan,

$$\sigma_1 = - f_x + g_y + h_z$$

$$\sigma_2 = f_x g_y + g_y h_z + f_x h_z - f_y g_x - g_z h_y$$

$$\sigma_3 = f_x g_z h_y - f_x g_y h_z + f_y g_x h_z$$

maka, persamaan (4) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\lambda^3 + \sigma_1 \lambda^2 + \sigma_2 \lambda + \sigma_3 = 0 \quad (5)$$

Berdasarkan analisis kestabilan menurut Kriteria Hurwitz persamaan (5) dikatakan stabil jika dan hanya jika [7]:

$$\sigma_1 = - f_x + g_y + h_z > 0$$

$$\sigma_2 = f_x g_y + g_y h_z + f_x h_z - f_y g_x - g_z h_y > 0$$

$$\sigma_3 = f_x g_z h_y - f_x g_y h_z + f_y g_x h_z > 0$$

Teori Chaos

Konsep dari teori ini menunjukkan bahwa adanya kesalahan kecil pada awalnya akan tumbuh dari waktu ke waktu dan akhirnya membuat solusi numerik menjadi tak terprediksi [5]. Seperti dijelaskan pada definisi-definisi berikut [8] :

Definisi 1 [chaos] : *Ketergantungan yang sensitif pada kondisi awal* : perbedaan kecil dalam kondisi awal dari sistem akan menyebabkan perbedaan besar dalam solusinya.

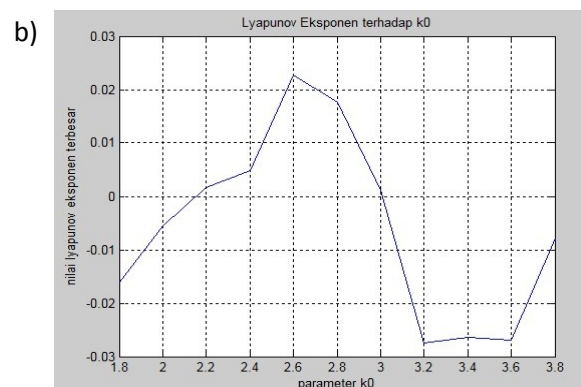
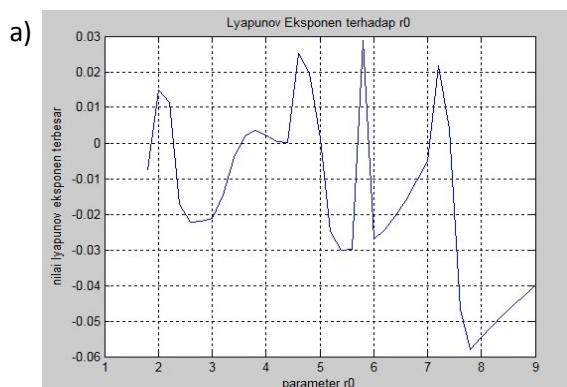
Definisi 2 [Chaos] : Jika sebuah sistem dinamik menampilkan perilaku aperiodik jangka panjang dan ketergantungan yang sensitif pada kondisi awal, maka sistem tersebut menunjukkan perilaku *Chaos*.

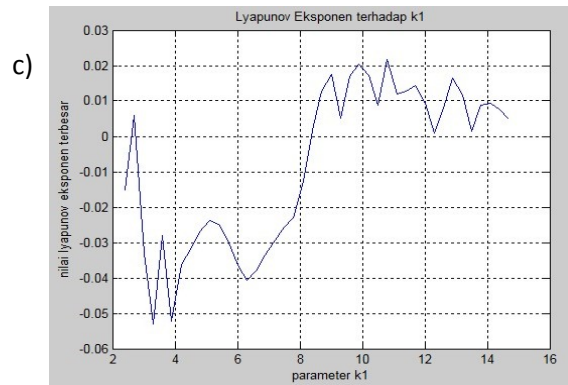
Definisi 3 [Chaos] : Suatu sistem dinamik adalah *Chaos*, jika terdapat suatu nilai Lyapunov Eksponen yang positif.

Analisis Chaos berdasarkan nilai Lyapunov Eksponen Terbesar

Berdasarkan definisi 3, Lyapunov Eksponen merupakan salah satu indikator untuk mengetahui suatu sistem dikatakan Chaos atau tidak.

Selanjutnya, kita akan melakukan variasi nilai terhadap parameter r_0, k_0, k_1 untuk melihat adanya kesensitivan parameter r_0, k_0, k_1 terhadap kondisi awal dan diperoleh grafik nilai Lyapunov Eksponen Terbesar terhadap parameter r_0, k_0, k_1 masing-masing sebagai berikut :





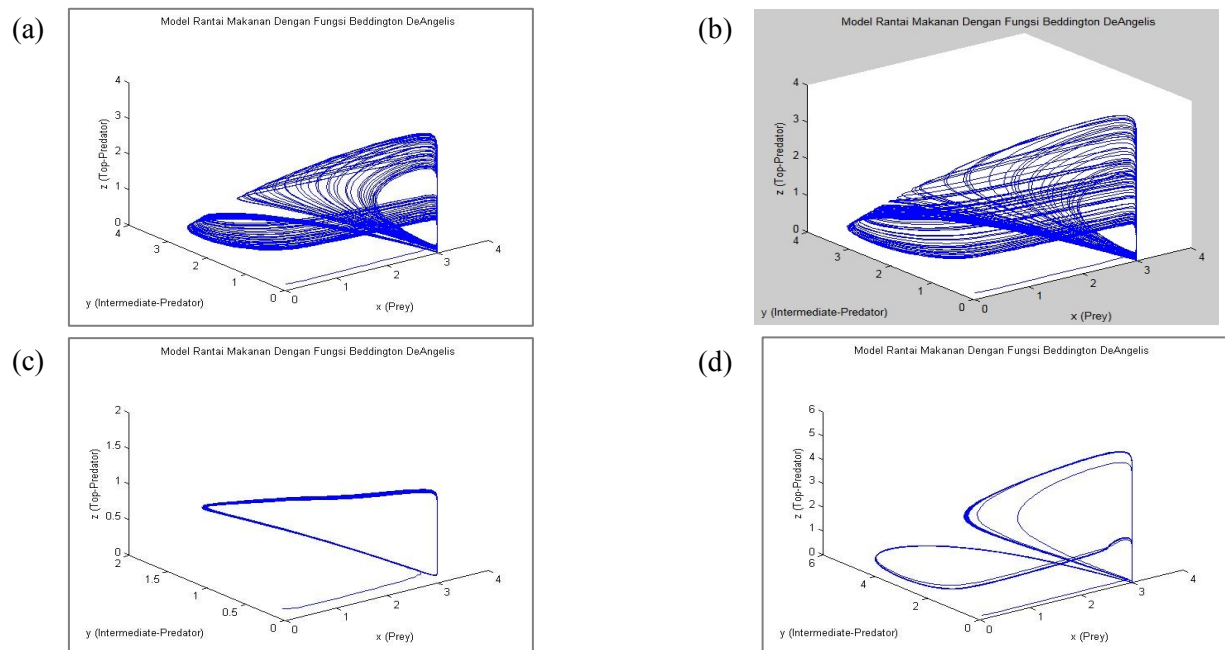
Gambar 1. $a_1 = 4, a_2 = 0.2, a_3 = 0.8, a_4 = 3, a_5 = 2, a_6 = 0.15, a_7 = 0.8, a_8 = 0.5, a_9 = 1.5, a_{10} = 0.2$ **a)** $8 \leq r_0 \leq 9, k_0 = 3, k_1 = 4$ **b)** $1,8 \leq k_0 \leq 3,8, r_0 = 5, k_1 = 4$ **c)** $2,4 \leq k_1 \leq 14,7, r_0 = 2, k_0 = 2$

Dari gambar 1 kita dapat mengetahui kesensitivitas masing-masing parameter terhadap sistem. Untuk nilai-nilai parameter yang menunjukkan nilai Lyapunov Eksponen yang positif menandakan adanya perilaku Chaos. Nilai Lyapunov Esponen Terbesar ini diperoleh dengan melakukan perhitungan numerik menggunakan algoritma pemisahan orbit dan metode runge-kutta orde 4 [8], [9], [10].

Analisis Chaos berdasarkan nilai Perilaku Atraktor

Selain melalui pencarian nilai Lyapunov Eksponen terbesar, analisis Chaos juga dapat dilakukan dengan melihat perilaku atraktor dari solusi model rantai makanan tiga spesies dengan fungsi respon Beddington-DeAngelis (Definisi 2).

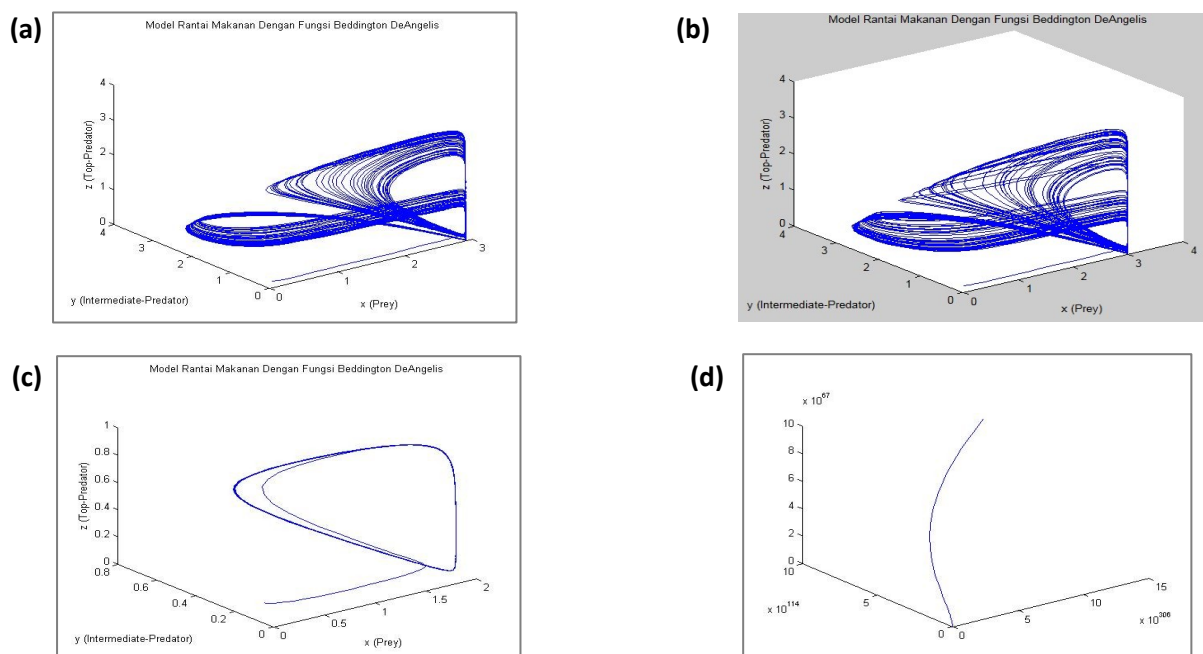
Misalkan kita ambil parameter yang mengindikasikan chaos $r_0 = 4,8$ dan $r_0 = 5,8$ dan parameter yang tak chaos $r_0 = 4,8$ dan $r_0 = 5,8$. Dengan menggunakan penyelesaian solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde 4. Maka diperoleh grafik berikut:



Gambar 2 Grafik Solusi Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon Beddington De-Angelis ketika $1,8 < r_0 < 9$: (a) Ketika $r_0 = 4.8$ (b) Ketika $r_0 = 5.8$ (c) Ketika $r_0 = 2.7$ dan (d) Ketika $r_0 = 8.4$

Gambar 2.a dan 2.b perilaku atraktor yang tidak menuju pada suatu titik tetap tertentu, memperlihatkan perilaku aperiodik sehingga berdasarkan grafik pada gambar, parameter tersebut menyebabkan sistem menjadi chaos. Sedangkan untuk gambar 2.c dan 2.d terlihat jelas bahwa atraktor menunjukkan perilaku yang periodik, terjadi siklus pengulangan pada titik-titik yang sama. Sehingga untuk parameter yang digunakan pada grafik tersebut, tidak menunjukkan adanya chaos.

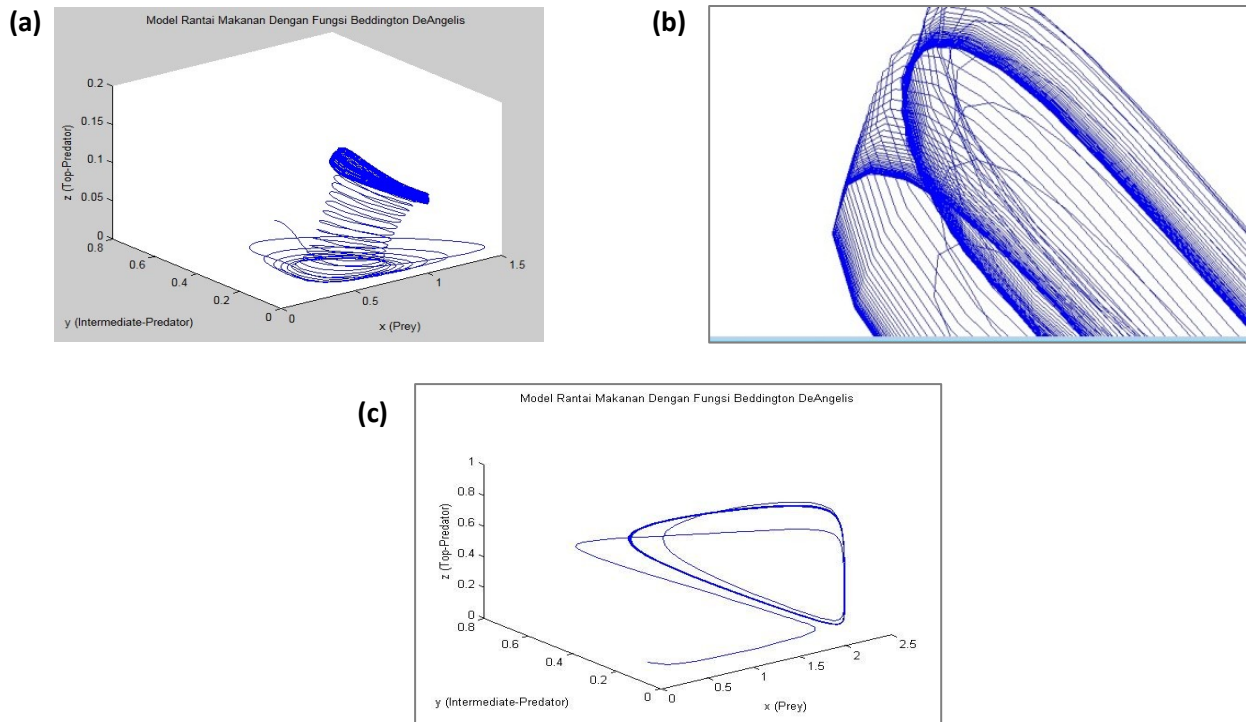
Selanjutnya kita ambil parameter yang mengindikasikan chaos $k_0 = 2,8$ dan $k_0 = 3$ dan parameter yang tak chaos $k_0 = 4,8$ dan $r_0 = 5,8$. Dengan menggunakan penyelesaian solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde 4. Maka diperoleh grafik berikut:



Gambar 3 Grafik Solusi Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon Beddington *De-Angelis* ketika $1,8 < k_0 < 3,8$: (a) Ketika $k_0 = 2,8$ (b) Ketika $k_0 = 3$ (c) Ketika $k_0 = 1,8$ dan (d) Ketika $k_0 = 3,8$

Gambar 3.a dan 3.b menunjukkan perilaku atraktor yang tidak menuju pada suatu titik tetap tertentu setelah perhitungan untuk waktu yang lama, sistem memperlihatkan perilaku aperiodik sehingga berdasarkan grafik pada gambar, parameter tersebut menyebabkan sistem menjadi chaos. Sedangkan untuk gambar 3.c terlihat jelas bahwa atraktor menunjukkan perilaku yang periodik, terjadi siklus pengulangan pada titik-titik yang sama dan untuk gambar 3.d terlihat bahwa grafik bergerak menuju suatu nilai tak terbatas. Sehingga untuk parameter yang digunakan pada gambar 3.c dan 3.d tersebut, tidak menunjukkan adanya chaos.

Yang terakhir kita ambil parameter yang mengindikasikan chaos $k_1 = 2,7$ dan $k_1 = 12,9$. Dengan menggunakan penyelesaian solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde 4. Maka diperoleh grafik berikut:



Gambar 4. Grafik Model Rantai Makanan Tiga Spesies dengan Fungsi Respon *Beddington-DeAngelis* untuk $2,4 < k_1 < 14,7$ (a) Ketika $k_1 = 3,3$ (b) Pembesaran gambar 4a (c) Ketika $k_1 = 3,3$

Gambar 4.a memperlihatkan perilaku atraktor yang memiliki periodisitas atau solusi periodik, akan tetapi setelah dilakukan pembesaran pada gambar 4.a yaitu ditunjukkan pada gambar 4.b terlihat bahwa setelah perhitungan untuk waktu yang lama, sistem memperlihatkan tidak adanya pengulangan pada titik titik yang sama atau disebut juga aperiodik. Sedangkan Gambar 4.c memperlihatkan perilaku atraktor yang menunjukkan adanya periodisitas berulang pada waktu yang lama sehingga tidak mengindikasikan Chaos.

Kesimpulan

Pada makalah ini kita telah melihat bahwa model rantai makanan tiga spesies dengan fungsi respon *Beddington-DeAngelis* memiliki kesensitivan terhadap laju pertumbuhan alami mangsa dan daya tampung mangsa dengan menunjukkan adanya perilaku Chaos berdasarkan nilai Lyapunov Eksponen terbesarnya dan perilaku atraktornya. Dengan demikian laju populasi ketiga spesies pada waktu mendatang tidak dapat diprediksi.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Bapak Diny Zulkarnaen, M.Si dan Ibu Dr. Elis Ratna Wulan S.Si., MT juga semua pihak yang telah membantu.

Referensi

- [1] Pratikno, WB dan Sunarsih. *Model Dinamis Rantai Makanan Tiga Spesies*. Universitas Dipenogoro. 2012.
- [2] Holling, C. S. *The components of predation as revealed by a study of small-mammal predation of the European pine sawfly*. *The Canadian Entomologist* 91 (5)293–320. 1959.
- [3] Yu, Shengbin. *Global stability of a modified Leslie-Gower model with Beddington-DeAngelis functional response*. Springer. 2014.

- [4] Zhao, Min and Lv, Shongjuan. *Chaos in a three-species food chain model with a Beddington–DeAngelis functional response*. *Science Direct*. 40(1) 2305-2316.2009.
- [5] Budhi, Wono Setya. *Kalkulus Peubah Banyak dan Penggunaannya*. Institut Teknologi Bandung. Jakarta. 2001.
- [6] Sakinah, Nurus, “*Penyelesaian Sistem Persamaan Fuzzy Nonlinier Dengan Menggunakan Metode SteepestDescent*”, Skripsi Program sarjana UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, tidak diterbitkan, 2012.
- [7] Triwiyatno, Aris, Dr., S.T., M.T. *Buku Ajar Sistem Kontrol Analog*. Universitas Diponegoro. 2011.
- [8] Meador, C.E Estorninho., *Numerical Calculation Of Lyapunov Exponents For Three-Dimensional Systems Of Ordinary Differential Equations, Thesis*. Marshall University, 2011.
- [9] Chapra, Stephen C and Canale, Raymond P. *Metode Numerik Untuk Teknik*. Universitas Indonesia. Jakarta. 2007.
- [10] Suwandi, Dani., *Kombinasi Metode Runge-Kutta dengan Rataan Harmonik, Studi Literatur*. UIN Sunan Gunung Djati Bandung, 2011.
- [11] Burden, Richard L, et al. *Numerical Analysis*. Tenth Edition. United States of America. 2014.
- [12] Kusmarni, Yani., *Teori Chaos : Sebuah Keteraturan dalam Kekacauan, Paper*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, 2008.

MA-08

Pengelompokan Risiko Pihak Ketiga Berdasarkan Pendekatan Regresi Logistik Politomus

Yulia Resti^{1, a)}

¹*Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya*

^{a)}*fyresti19@gmail.com*

Abstrak

Asuransi kendaraan bermotor merupakan salah satu bentuk antisipasi dalam menghadapi berbagai kemungkinan risiko yang berhubungan dengan kepemilikan kendaraan bermotor. Risiko akibat kecelakaan merupakan risiko utama yang dihadapi pemilik kendaraan bermotor karena tidak hanya melibatkan pemilik kendaraan sebagai tertanggung namun dapat juga melibatkan pihak lain. Ketika terjadi suatu kecelakaan, terkadang tidak hanya tertanggung yang mengalami kerugian, baik pada mobil maupun dirinya sendiri, melainkan ada pihak lain yang memerlukan pertanggungjawaban dan pihak ini bukanlah tertanggung (nasabah) asuransi. Dalam industri asuransi kendaraan bermotor, pihak ini disebut sebagai pihak ketiga. Pertanggungjawaban terhadap pihak ketiga akibat terjadinya kecelakaan dengan pihak tertanggung dapat berupa pertanggungjawaban terhadap kendaraan yang rusak maupun biaya perawatan rumah sakit akibat terjadinya cedera, baik cedera ringan yang hanya memerlukan perawatan jalan maupun cedera berat yang memerlukan operasi di rumah sakit. Regresi logistik politomus merupakan pengembangan regresi logistik biner dengan peubah respon kategorik lebih dari dua dan mengikuti sebaran multinomial. Paper ini bertujuan untuk mengelompokkan risiko pihak ketiga pada asuransi kendaraan bermotor. Hasil kajian menunjukkan bahwa peubah bebas yang berpengaruh terhadap pengelompokan risiko pihak ketiga adalah buatan kendaraan dengan tingkat ketepatan klasifikasi sebesar 73.9% untuk data pengamatan sebanyak 877 tertanggung yang mengajukan klaim bagi pihak ketiga dan ketepatan klasifikasi sebesar 73% untuk data pengujian sebanyak 100 tertanggung asuransi kendaraan bermotor.

Kata kunci: risiko pihak ketiga, regresi logistik politomus, multinomial

Pendahuluan

Pendekatan regresi logistik politomus adalah pendekatan yang menggeneralisasi regresi logistik untuk kasus dengan peubah respon lebih dari dua dan mengikuti sebaran multinomial. Pendekatan ini menentukan peluang peubah respon yang memiliki lebih dari dua kategori berdasarkan peubah bebas yang dapat berupa peubah nilai riil, nilai binari, nilai kategorik dan sebagainya.

Penerapan regresi logistik politomus telah banyak dilakukan pada berbagai bidang kajian, baik untuk menentukan faktor-faktor signifikan yang mempengaruhi peluang peubah respon maupun dengan fokus tujuan untuk pengelompokan. Tingkat kesehatan BUMN dikelompokkan berdasarkan rasio-rasio keuangan BUMN [2], jenis penyakit paru dikelompokkan berupa TB Paru BTA Positif, TB Paru BTA Negatif, dan TB Ekstra Paru berdasarkan karakteristik penderita [3], sedangkan tingkat

keparahan korban kecelakaan lalu lintas dikelompokkan berdasarkan karakteristik korban, jenis kendaraan, karakteristik dan waktu tabrakan [1].

Dalam industri asuransi kendaraan bermotor, pengelompokan risiko yang terjadi pada pihak ketiga yang diakibatkan oleh tertanggung (pemegang polis) merupakan hal yang penting karena risiko pihak ketiga tersebut merupakan salah satu faktor penentu besaran premi. Pertanggungjawaban terhadap risiko yang dialami pihak ketiga akibat terjadinya kecelakaan dengan pihak tertanggung dapat berupa pertanggungjawaban terhadap kendaraan yang rusak maupun biaya perawatan rumah sakit akibat terjadinya cedera, baik cedera ringan yang hanya memerlukan perawatan jalan maupun cedera berat yang memerlukan operasi di rumah sakit. Paper ini bertujuan untuk mengelompokkan risiko pihak ketiga pada asuransi kendaraan bermotor berdasarkan pendekatan regresi logistik politomus.

Regresi Logistik Politomus

Pendekatan regresi logistik politomus dapat dipandang sebagai peluang peubah respon yang mempunyai lebih dari dua kategori berdasarkan satu atau lebih peubah bebas. Misalkan Y , X dan β masing-masing adalah peubah respon, peubah bebas dan parameter regresi. Peubah respon Y mempunyai kategori $j = 1, 2, \dots, J$ dengan $J > 2$. Misalkan $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_J$ merupakan peluang Y yang memenuhi $\sum_{j=1}^J \pi_j = 1$ dan J sebagai kategori terakhir yang menjadi kategori pembanding, Y akan membentuk $J-1$ persamaan logit berdasarkan peubah bebas X yaitu

$$g_j = \log\left(\frac{\pi_j}{\pi_J}\right) = \log\left(\frac{\pi_j \cdot \pi_J}{\pi_J \cdot \pi_j}\right) = \beta_{j0} + \sum_{k=1}^m \beta_{jk} x_{ki}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad j = 1, 2, \dots, J-1 \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

di mana masing-masing persamaan tersebut berpasangan dengan regresi logistik biner yang membandingkan suatu kelompok kategori terhadap kategori pembanding, sehingga peluang peubah respon Y sebagai kategori j berdasarkan peubah bebas x pada pengamatan ke- i yang dapat juga dinotasikan dengan $\pi_j \cdot \mathbb{1}_{\{Y_i=j\}}$ dirumuskan sebagai

$$P(\mathbb{1}_{\{Y_i=j\}} | x_i, \beta_j) = \pi_j = \frac{\exp\left(\beta_{j0} + \sum_{k=1}^m \beta_{jk} x_{ki}\right)}{1 + \exp\left(\beta_{j0} + \sum_{k=1}^m \beta_{jk} x_{ki}\right)} \quad (2)$$

sedangkan peluang peubah respon Y yang merupakan kategori pembanding adalah

$$\pi_J = \frac{1}{1 + \exp\left(\beta_{j0} + \sum_{k=1}^m \beta_{jk} x_{ki}\right)} \quad (3)$$

Pendugaan parameter β_j pada pendekatan regresi logistik politomus seperti yang ditampilkan pada (2) dan (3) dilakukan dengan menggunakan metode kemungkinan maksimum dan selanjutnya diselesaikan dengan metode iterasi numerik yaitu Newton-Raphson.

Pengujian Pengaruh Peubah Bebas

Untuk mengetahui pengaruh peubah bebas terhadap peubah respon dilakukan dua jenis pengujian hipotesis yaitu pengujian secara simultan menggunakan statistik uji G atau dikenal dengan nama lain uji Rasio Kemungkinan dan pengujian secara parsial menggunakan statistik uji W (Wald). Statistik uji G didefinisikan sebagai,

$$G = -2 \ln \left(\frac{l_0}{l_1} \right)$$

dengan l_0 merupakan kemungkinan (*likelihood*) untuk pendekatan yang tidak mengandung peubah bebas yang diuji pengaruhnya, dan l_1 kemungkinan (*likelihood*) untuk pendekatan yang mengandung peubah bebas yang diuji pengaruhnya. Jika statistik uji $G \geq$ nilai tabel χ^2 dengan tingkat kesalahan α dan derajat kebebasan dk , mengindikasikan bahwa minimal ada satu peubah bebas yang berpengaruh terhadap peubah terikat. Derajat kebebasan ditentukan sebagai perkalian antara banyak kategori peubah terikat dikurangi satu dengan selisih banyaknya parameter yang diduga dalam model akhir dengan model yang hanya memuat intersep. Statistik uji W (Wald) yang dirumuskan sebagai

$$W_{jk} = \frac{\beta_{jk}^2}{[SE(\hat{\beta}_{jk})]^2}$$

dengan $\hat{\beta}_{jk}$ adalah penduga β_{jk} dan $SE(\hat{\beta}_{jk})$ merupakan penduga galat baku dari $\hat{\beta}_{jk}$. Jika $W_{jk} >$ nilai tabel χ^2 dengan tingkat kesalahan α mengindikasikan bahwa ada pengaruh peubah bebas ke-k terhadap peubah terikat.

Hasil dan Diskusi

Pada kajian ini, pengelompokan risiko pihak ketiga asuransi kendaraan bermotor untuk kategori risiko cedera, kendaraan rusak ringan dan kendaraan rusak parah, dilakukan berdasarkan peubah-peubah bebas berikut; umur kendaraan (kurang dari sama dengan 5 tahun, lebih dari 5 tahun), kapasitas silinder kendaraan (lebih kecil dari sama dengan 1800cc, lebih dari 1800cc), wilayah tempat tinggal tertanggung (ibukota dan sekitarnya, bukan ibukota dan sekitarnya) dan buatan kendaraan (dalam negeri dan luar negeri). Data yang digunakan merupakan data klaim yang diajukan oleh 877 tertanggung bagi pihak ketiga yang mengalami kerugian. Untuk memperoleh peubah bebas yang signifikan, pemilihan dilakukan dengan langkah mundur bertahap, yaitu dengan mengeluarkan suatu peubah bebas tertentu satu persatu berdasarkan ketidaksigifikannya. Tahapan terakhir dari hasil pemilihan peubah bebas menggunakan langkah mundur bertahap diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Regresi Poltomus

		β	kesalahan baku	Wald	dk	signifikansi	$\exp(\beta)$
Y=1	intercept	-6.799	0.779	76.130	1	0.000	
	kapasitas silinder	4.595	0.356	166.256	1	0.000	98.95
	buatan kendaraan	-1.749	0.186	88.445	1	0.000	0.174
Y=2	intercept	-6.799	0.496	10.726	1	0.001	
	kapasitas silinder	4.595	0.282	5.142	1	0.023	0.528
	buatan kendaraan	-1.749	0.221	0.567	1	0.451	0.847

Dengan tingkat kesalahan $\alpha = 5\%$, pengujian secara simultan terhadap model mengindikasikan model yang diperoleh signifikan ($G=1116.704 > \chi^2 = 532.499$), sedangkan pengujian secara parsial menunjukkan peubah-peubah yang tidak signifikan adalah umur kendaraan dan wilayah tempat tinggal bertanggung. Pemilihan kembali peubah bebas yang signifikan menggunakan langkah mundur bertahap diberikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Regresi Poltomus Terbaik

		β	kesalahan baku	Wald	dk	signifikansi	$\exp(\beta)$
Y=1	intercept	-7.461	0.694	115.704	1	0.000	
	buatan kendaraan	3.578	0.285	157.701	1	0.000	35.819
Y=2	intercept	1.610	0.495	10.556	1	0.001	
	buatan kendaraan	-0.778	0.240	10.520	1	0.001	0.459

Pengujian secara simultan terhadap model mengindikasikan model yang diperoleh signifikan ($G=1237.732 > \chi^2 = 411.472$), begitu juga pengujian secara parsial menunjukkan peubah tersebut signifikan. Ini mengindikasikan bahwa model yang terbentuk dari Tabel 2 merupakan pendekatan regresi poltomus terbaik, dimana peubah yang signifikan hanya buatan kendaraan.

Berdasarkan Tabel 2, ketika seorang tertanggung asuransi kendaraan bermotor mengajukan klaim bagi pihak ketiga, pendekatan atau model peluang pihak ketiga mengalami cedera adalah

$$\pi = \frac{\exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan}))}{1 + \exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan})) + \exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))}$$

atau mempunyai peluang sebesar 0.01, pendekatan atau model peluang kendaraan milik pihak ketiga mengalami rusak ringan adalah

$$\pi = \frac{\exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))}{1 + \exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan})) + \exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))}$$

atau mempunyai peluang sebesar 0.69, sedangkan pendekatan atau model peluang kendaraan milik pihak ketiga mengalami rusak parah adalah

$$\begin{aligned} \pi &= \frac{\exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan})) \cdot \exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))}{1 + \exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan})) + \exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))} \\ &= \frac{1}{1 + \exp(-.641 + .578(\text{buatan kendaraan})) + \exp(-.61 + .778(\text{buatan kendaraan}))} \end{aligned}$$

atau mempunyai peluang sebesar 0.30.

Berdasarkan perhitungan peluang di atas, dapat dilakukan pengelompokan risiko yang berpeluang dialami pihak ketiga akibat terjadi kecelakaan dengan pihak tertanggung. Tabel 3 dan Tabel 4 masing-masing menunjukkan hasil pengelompokan risiko yang berpeluang dialami pihak ketiga untuk data pengamatan (pembelajaran) dan data pengujian. Kedua tabel tersebut masing-masing menunjukkan bahwa pendekatan regresi politomus mampu mengelompokkan risiko risiko secara tepat sebesar 73,9% untuk data pembelajaran dan 73% untuk data pengujian.

Tabel 3. Hasil Pengelompokan Berdasarkan Pendekatan Regresi Politomus untuk Data Pembelajaran

observasi	Pengelompokan berdasarkan Regresi Politomus			
	Cedera	Rusak Ringan	Rusak Berat	Ketepatan pengelompokan
Cedera	534	0	0	100%
Rusak Ringan	61	114	0	65.1%
Rusak Parah	74	94	0	0%
Total keseluruhan				73.9%

Tabel 4. Hasil Pengelompokan Berdasarkan Pendekatan Regresi Politomus untuk Data Pengujian

observasi	Pengelompokan berdasarkan Regresi Politomus			
	Cedera	Rusak Ringan	Rusak Berat	Ketepatan pengelompokan
Cedera	50	0	0	100%
Rusak Ringan	5	23	0	82.14%
Rusak Parah	10	12	0	0%
Total keseluruhan				73%

Kesimpulan

Pengelompokan risiko pihak ketiga asuransi kendaraan bermotor untuk kategori risiko cedera, kendaraan rusak ringan dan kendaraan rusak parah menggunakan pendekatan regresi politomus yang dilakukan berdasarkan peubah bebas umur kendaraan (kurang dari sama dengan 5 tahun, lebih dari 5 tahun), kapasitas silinder kendaraan (lebih kecil dari sama dengan 1800cc, lebih dari 1800cc), wilayah tempat tinggal tertanggung (ibukota dan sekitarnya, bukan ibukota dan sekitarnya) dan buatan kendaraan (dalam negeri dan luar negeri) menunjukkan bahwa hanya peubah bebas buatan kendaraan yang berpengaruh dengan tingkat ketepatan klasifikasi sebesar 73.9% untuk data pengamatan sebanyak 877 tertanggung yang mengajukan klaim bagi pihak ketiga dan ketepatan klasifikasi sebesar 73% untuk data pengujian sebanyak 100 tertanggung asuransi kendaraan bermotor.

Referensi

- [1] A.N. Ambarwati, H. Kuswanto dan I. Zain, "Pendekatan Cart dan Regresi Logistik pada Pola Tingkat Keparahannya Korban Kecelakaan Lalu Lintas di Surabaya", Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 2 Juni 2012
- [2] I.S. Buana, Mahendrawathi dan N. Irawan, "Penerapan Metode Regresi Logistik pada Aplikasi Spreadsheet sebagai Alat Bantu Pengambilan Keputusan (Studi Kasus Data Bumn Di BPK RI)", Seminar Nasional Informatika 2010, UPN Veteran, Yogyakarta, 22 Mei 2010, ISSN: 1979-2328
- [3] D.W. Hosmer dan S. Lemeshow, "Applied Logistic Regression", New York. John & Son, 1980.
- [4] A. Agresti, "Introduction to Categorical Data Analysis", New York. John & Son, 1990.
- [5] A. M El-Habil, "An Application on Multinomial Logistik Regression Model", Pakistan Journal Statistical Operation Research, vol.VIII, no.2, hal. 271-291, 2012.

Penjadwalan Pegawai SPBU Menggunakan *Integer Programming*: Studi Kasus di SPBU 34-16102 Bogor

Disti Pratiwi^{1, a)} Farida Hanum^{2, b)} dan Prapto Tri Supriyo^{3, c)}

¹Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

²Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

³Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

^{a)} penulis yang berkorespondensi: distipratiwi28@gmail.com

^{b)} faridahanum00@yahoo.com

^{c)} trispriyo@yahoo.com

Abstrak

Permasalahan penjadwalan adalah permasalahan yang biasa terjadi dalam kehidupan sehari-hari dan sangat penting karena memengaruhi kinerja suatu instansi. Selama ini, masalah penjadwalan biasanya dilakukan secara konvensional oleh pihak instansi. Salah satu instansi yang memiliki masalah penjadwalan adalah SPBU (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum). SPBU adalah tempat yang setiap saat dibutuhkan oleh banyak orang untuk mengisi bahan bakar kendaraannya. Hal inilah yang menyebabkan perlu adanya SPBU yang buka selama 24 jam setiap hari dan menjadikan penjadwalan pegawai sangat penting. Dalam karya ilmiah ini telah diperlihatkan bahwa masalah penjadwalan pegawai SPBU 34-16102 Bogor dapat dipandang sebagai masalah *Integer Linear Programming* (ILP). ILP adalah masalah pengoptimasian dengan fungsi tujuan dan fungsi kendala yang linear serta sebagian peubah yang berupa bilangan bulat. Fungsi tujuan pada model ini ialah meminimumkan biaya yang dikeluarkan pihak SPBU untuk upah pegawai dan kendala-kendalanya terkait dengan peraturan dari SPBU serta ketersediaan jumlah pegawai yang diselesaikan dengan bantuan *software* LINGO 11.0. Model penjadwalan ini menghasilkan jadwal pegawai yang lebih fleksibel dibandingkan dengan jadwal yang dibuat secara konvensional oleh pihak SPBU.

Kata kunci: SPBU, penjadwalan pegawai, *integer programming*

Pendahuluan

Permasalahan penjadwalan adalah permasalahan yang biasa terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Penjadwalan adalah masalah yang sangat penting karena memengaruhi kinerja suatu instansi. Faktor-faktor yang memengaruhi penjadwalan di antaranya adalah jumlah pegawai, kebutuhan pegawai di setiap *shift*, permintaan libur untuk setiap pegawai, dan faktor-faktor lainnya yang berbeda di setiap instansi. Perbedaan faktor-faktor inilah yang menyebabkan sistem penjadwalan pegawai di setiap tempat juga berbeda. Selama ini, masalah penjadwalan biasanya dilakukan secara konvensional oleh pihak instansi. Padahal sering kali penjadwalan yang dilakukan secara konvensional menimbulkan masalah seperti ketidakadilan bagi para pegawai.

Salah satu instansi yang memiliki masalah penjadwalan adalah SPBU (Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum). SPBU adalah tempat yang setiap saat dibutuhkan oleh banyak orang untuk mengisi

bahan bakar kendaraannya. Hal inilah yang menyebabkan perlu adanya SPBU yang buka selama 24 jam setiap hari dan menjadikan penjadwalan pegawai sangat penting.

Permasalahan pegawai SPBU ini akan dimodelkan sebagai masalah *Integer Linear Programming*. *Integer Linear Programming* (ILP) adalah masalah pengoptimuman dengan fungsi objektif dan fungsi kendala yang linear serta sebagian peubah yang berupa bilangan bulat. Model penjadwalan pegawai SPBU dalam karya ilmiah ini diambil dan dimodifikasi dari artikel berjudul *Nurse Scheduling Using Integer Linear Programming and Constraint Programming* yang ditulis oleh Lorraine Trilling, Alain Guinet, dan Dominique Le Magny pada tahun 2006 [1].

Karya ilmiah ini disusun dengan tujuan memodelkan masalah penjadwalan pegawai SPBU dalam bentuk *Integer Linear Programming* serta menerapkan model pada SPBU 34-16102 Bogor dan menyelesaikannya menggunakan *software* LINGO 11.0.

Teori

Linear programming telah banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai macam masalah optimasi, termasuk salah satunya adalah masalah penjadwalan pegawai. Dalam [2], *linear programming* adalah suatu masalah pengoptimuman yang memenuhi hal-hal berikut:

- 1 Tujuan masalah tersebut adalah memaksimalkan atau meminimumkan suatu fungsi linear dari sejumlah variabel keputusan. Fungsi yang akan dimaksimalkan atau diminimumkan ini disebut fungsi objektif
- 2 Nilai variabel-variabel keputusannya harus memenuhi suatu himpunan kendala. Setiap kendala harus berupa persamaan linear atau pertidaksamaan linear
- 3 Ada pembatasan tanda untuk setiap variabel dalam masalah ini. Untuk sembarang variabel x_i , pembatasan tanda menentukan x_i harus tak negatif ($x_i \geq 0$) atau tidak dibatasi tandanya (*unrestricted in sign*).

Linear programming yang variabelnya berupa bilangan bulat (*integer*) disebut *integer linear programming*. Jika semua variabel harus berupa *integer*, maka masalah tersebut dinamakan *pure integer programming*. Jika hanya sebagian yang harus berupa *integer*, maka disebut *mixed integer programming* (MIP). ILP dengan semua variabelnya harus bernilai 0 atau 1 disebut 0-1 ILP [3].

Pada penelitian ini, model penjadwalan yang dibuat dengan ILP diterapkan di SPBU 34-16102 Bogor. SPBU 34-16102 Bogor buka selama 24 jam dan membagi jam kerjanya menjadi tiga *shift* dalam sistem penjadwalan pegawainya yaitu *shift* pagi, *shift* siang, dan *shift* malam. *Shift* pagi dimulai dari pukul 06.30 hingga pukul 12.00, *shift* siang dimulai dari pukul 12.00 hingga pukul 18.30, dan *shift* malam dimulai dari pukul 18.30 hingga pukul 06.30. Pegawai yang harus dijadwalkan waktu kerjanya adalah operator wanita, operator pria, penanggung jawab, dan petugas keamanan. Pada SPBU 34-16102 terdapat 7 operator wanita, 18 operator pria, 4 penanggung jawab, dan 4 petugas keamanan. SPBU 34-16102 memiliki 5 pompa pengisian bahan bakar, namun pada setiap *shift* harus tersedia minimal 6 operator untuk kelancaran operasional. Penjadwalan pegawai SPBU 34-16102 Bogor dibuat per 21 hari. Upah per jam yang dikeluarkan pihak SPBU untuk operator sebesar 15000, untuk penanggung jawab sebesar 20000, dan untuk petugas keamanan sebesar 10000. Model penjadwalan yang dilakukan secara konvensional oleh SPBU tersebut ialah:

- 1 operator wanita hanya bertugas pada *shift* pagi,
- 2 operator pria bertugas pada *shift* siang dan malam,
- 3 harus ada 6 operator yang sesuai dengan jumlah pompa pengisian bahan bakar pada setiap *shift*,
- 4 harus ada 1 petugas keamanan dan 1 penanggung jawab pada setiap *shift*,

- 5 setiap pegawai bertugas sebanyak-banyaknya satu *shift* tsetiap hari,
- 6 operator pria yang bertugas pada *shift* siang di hari ke- j harus bertugas pada shift malam di hari ke- $(j+1)$, mendapat libur di hari ke- $(j+2)$, dan bertugas lagi pada shift siang di hari ke- $(j+3)$,
- 7 penanggung jawab dan petugas keamanan yang bertugas pada shift pagi di hari ke- j harus bertugas pada shift siang di hari ke- $(j+1)$, bertugas pada shift malam di hari ke- $(j+2)$, mendapat libur di hari ke- $(j+3)$, dan bertugas lagi pada shift pagi di hari ke- $(j+4)$,
- 8 operator wanita harus mendapat satu hari libur dalam satu minggu.

Model penjadwalan yang dibuat pada karya ilmiah ini merupakan modifikasi dari penjadwalan yang dilakukan secara konvensional di SPBU 34-16102 Bogor. Perbedaannya adalah pada model tersebut, operator wanita dapat bekerja di *shift* siang dan operator pria dapat bekerja di *shift* pagi. Selain itu, model tersebut dibuat lebih umum dan fleksibel. Model penjadwalan yang dibuat dengan ILP dituliskan sebagai berikut.

Himpunan dan parameter:

I = himpunan *shift*, yaitu $I = \{1,2,3,4\}$, dengan indeks:

$i = 1$: *shift* pagi

$i = 2$: *shift* siang

$i = 3$: *shift* malam

$i = 4$: libur

J = himpunan hari dalam satu periode, yaitu $J = \{1,2, \dots, m\}$, dengan indeks j

K = himpunan pegawai, yaitu $K = \{1,2, \dots, o, o + 1, \dots, p, p + 1, \dots, q\}$, dengan indeks:

$k = 1,2, \dots, n$: operator wanita

$k = n + 1, n + 2, \dots, o$: operator pria

$k = o + 1, o + 2, \dots, p$: penanggung jawab

$k = p + 1, p + 2, \dots, q$: petugas keamanan

TO = banyaknya operator yang harus tersedia di setiap *shift*

TMS = banyaknya penanggung jawab dan petugas keamanan yang harus tersedia di setiap shift

OPT = banyaknya hari kerja yang harus dipenuhi oleh operator pria dalam satu periode

OWT = banyaknya hari kerja yang harus dipenuhi oleh operator wanita dalam satu periode

MST = banyaknya hari kerja yang harus dipenuhi oleh penanggung jawab dan petugas keamanan dalam satu periode

OPE = banyaknya *shift* pagi atau siang yang harus dipenuhi oleh operator pria dalam satu periode

OPN = banyaknya *shift* malam yang harus dipenuhi oleh operator pria dalam satu periode

MS = jumlah minimum untuk *shift* pagi, siang, dan malam yang harus dipenuhi oleh penanggung jawab dan petugas keamanan dalam satu periode

CO = upah per jam yang dikeluarkan oleh pihak SPBU untuk operator

CM = upah per jam yang dikeluarkan oleh pihak SPBU untuk penanggung jawab

CS = upah per jam yang dikeluarkan oleh pihak SPBU untuk petugas keamanan

SD = total jam pada *shift* pagi

SE = total jam pada *shift* siang

SN = total jam pada *shift* malam

Variabel keputusan:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika pegawai } k \text{ mendapat } \textit{shift} i \text{ di hari ke } j \\ 0, & \text{jika pegawai } k \text{ tidak mendapat } \textit{shift} i \text{ di hari ke } j \end{cases}$$

Fungsi Objektif:

Fungsi objektif pada penjadwalan pegawai SPBU ialah meminimumkan total biaya untuk upah pegawai, yaitu:

$$\min \left(\begin{aligned} & \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^o (SD * CO) * X_{1jk} + (SE * CO) * X_{2jk} + (SN * CO) * X_{3jk} \\ & + \sum_{j=1}^m \sum_{k=o+1}^p (SD * CM) * X_{1jk} + (SE * CM) * X_{2jk} + (SN * CM) * X_{3jk} \\ & + \sum_{j=1}^m \sum_{k=p+1}^q (SD * CS) * X_{1jk} + (SE * CS) * X_{2jk} + (SN * CS) * X_{3jk} \end{aligned} \right)$$

Kendala atau batasan:

- 1 Banyaknya pegawai yang bertugas pada setiap *shift* di setiap hari harus memenuhi kebutuhan,

$$\sum_{k=1}^o X_{ijk} \geq TO, \forall i = 1,2, \forall j = 1,2, \dots, m \text{ (Operator wanita dan pria)}$$

$$\sum_{k=n+1}^p X_{ijk} \geq TO, \forall i = 3, \forall j = 1,2, \dots, m \text{ (Operator pria)}$$

$$\sum_{k=o+1}^q X_{ijk} \geq TMS, \forall i = 1,2,3, \forall j = 1,2, \dots, m \text{ (Penanggung jawab)}$$

$$\sum_{k=p+1}^q X_{ijk} \geq TMS, \forall i = 1,2,3, \forall j = 1,2, \dots, m \text{ (Petugas keamanan)}$$

- 2 Setiap pegawai hanya mendapat satu *shift* dalam satu hari,

$$X_{1jk} + X_{2jk} + X_{4jk} = 1, \forall j = 1,2, \dots, m, \forall k = 1,2, \dots, n \text{ (Operator wanita)}$$

$$X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk} + X_{4jk} = 1, \forall j = 1,2, \dots, m, \forall k = n + 1, n + 2, \dots, o \text{ (Operator pria)}$$

$$X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk} + X_{4jk} = 1, \forall j = 1,2, \dots, m, \forall k = o + 1, o + 2, \dots, p \text{ (Penanggung jawab)}$$

$$X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk} + X_{4jk} = 1, \forall j = 1,2, \dots, m, \forall k = p + 1, p + 2, \dots, q \text{ (Petugas keamanan)}$$

- 3 Total hari kerja untuk setiap pegawai dalam satu periode,

$$\sum_{j=1}^m (X_{1jk} + X_{2jk}) \geq OWT, \forall k = 1,2, \dots, n \text{ (Operator wanita)}$$

$$\sum_{j=1}^m (X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk}) \geq OPT, \forall k = n + 1, n + 2, \dots, o \text{ (Operator pria)}$$

$$\sum_{j=1}^m (X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk}) \geq MST, \forall k = o + 1, o + 2, \dots, p \text{ (Penanggung jawab)}$$

$$\sum_{j=1}^m (X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk}) \geq MST, \forall k = p + 1, p + 2, \dots, q \text{ (Petugas keamanan)}$$

- 4 Setiap operator wanita yang telah bertugas maksimal 6 hari berturut-turut harus mendapat libur di hari berikutnya,

$$\begin{aligned} X_{1jk} + X_{2jk} + X_{1(j+1)k} + X_{2(j+1)k} + X_{1(j+2)k} + X_{2(j+2)k} + X_{1(j+3)k} + X_{2(j+3)k} + X_{1(j+4)k} \\ + X_{2(j+4)k} + X_{1(j+5)k} + X_{2(j+5)k} + X_{1(j+6)k} + X_{2(j+6)k} \leq 6, \\ \forall j = 1,2, \dots, (m - 6), \forall k = 1,2, \dots, n \end{aligned}$$

- 5 Setiap operator pria harus bertugas di *shift* pagi atau siang sedikitnya *OPE* kali dalam satu periode,

$$\sum_{j=1}^m (X_{1jk} + X_{2jk}) \geq OPE, \forall k = n + 1, n + 2, \dots, o$$
- 6 Setiap operator pria harus bertugas di *shift* malam sedikitnya *OPE* kali dalam satu periode,

$$\sum_{j=1}^m X_{3jk} \geq OPE, \forall k = n + 1, n + 2, \dots, o$$
- 7 Setiap operator pria yang mendapat *shift* pagi, siang, atau libur dapat bertugas pada *shift* pagi, siang, malam, atau mendapat libur di hari berikutnya, sedangkan operator pria yang bertugas pada *shift* malam harus mendapat libur di hari berikutnya,

$$X_{3jk} \leq X_{4(j+1)k}, \forall j = 1, 2, \dots, m - 1, \forall k = n + 1, n + 2, \dots, o$$
- 8 Setiap penanggung jawab harus bertugas di *shift* pagi, siang, dan malam sedikitnya *MS* kali dalam satu periode,

$$\sum_{j=1}^m X_{ijk} \geq MS, \forall i = 1, 2, 3, \forall k = o + 1, o + 2, \dots, p$$
- 9 Setiap penanggung jawab yang mendapat *shift* pagi, siang, atau libur dapat bertugas pada *shift* pagi, siang, malam, atau mendapat libur di hari berikutnya, sedangkan penanggung jawab yang bertugas pada *shift* malam harus mendapat libur di hari berikutnya,

$$X_{3jk} \leq X_{4(j+1)k}, \forall j = 1, 2, \dots, m - 1, \forall k = o + 1, o + 2, \dots, p$$
- 10 Setiap petugas keamanan harus bertugas di *shift* pagi, siang, dan malam sedikitnya *MS* kali dalam satu periode,

$$\sum_{j=1}^m X_{ijk} \geq MS, \forall i = 1, 2, 3, \forall k = p + 1, p + 2, \dots, q$$
- 11 Setiap petugas keamanan yang mendapat *shift* pagi, siang, atau libur dapat bertugas pada *shift* pagi, siang, malam, atau mendapat libur di hari berikutnya, sedangkan petugas keamanan yang bertugas pada *shift* malam harus mendapat libur di hari berikutnya,

$$X_{3jk} \leq X_{4(j+1)k}, \forall j = 1, 2, \dots, m - 1, \forall k = p + 1, p + 2, \dots, q$$
- 12 Setiap operator pria, penanggungjawab, dan petugas keamanan harus mendapat libur sedikitnya 1 kali dalam tujuh hari,

$$X_{1jk} + X_{2jk} + X_{3jk} + X_{1(j+1)k} + X_{2(j+1)k} + X_{3(j+1)k} + X_{1(j+2)k} + X_{2(j+2)k} + X_{3(j+2)k} \\ + X_{1(j+3)k} + X_{2(j+3)k} + X_{3(j+3)k} + X_{1(j+4)k} + X_{2(j+4)k} + X_{3(j+4)k} + X_{1(j+5)k} \\ + X_{2(j+5)k} + X_{3(j+5)k} + X_{1(j+6)k} + X_{2(j+6)k} + X_{3(j+6)k} \leq 6, \forall j \\ = 1, 2, \dots, m - 6, \quad \forall k = n + 1, n + 2, \dots, q$$
- 12 Semua variabel keputusan ialah *integer* nol atau satu,

$$X_{ijk} \in 0, 1, \forall i, j, k.$$

Hasil dan Diskusi

Masalah penjadwalan pegawai SPBU 34-16102 Bogor yang telah dimodelkan sebelumnya kemudian dimasukkan ke dalam proses komputasi menggunakan bantuan *software* LINGO 11.0. Solusi penjadwalan disajikan pada Tabel 1, 2, dan 3.

Tabel 1 Jadwal kerja operator wanita

Tanggal	Kode Pegawai						
	1	2	3	4	5	6	7
1	S	S	L	S	S	P	P
2	L	S	S	S	P	P	P
3	P	L	S	P	P	S	P
4	S	P	P	P	L	P	P
5	S	S	S	P	P	L	S
6	P	P	P	P	S	S	L
7	P	P	P	L	S	S	S
8	S	S	L	P	P	P	P
9	L	S	S	P	P	P	P
10	S	L	S	S	P	P	P
11	S	S	S	S	L	S	P
12	S	S	P	S	P	L	S
13	P	S	S	P	S	P	L
14	S	P	P	L	S	S	S
15	S	P	L	S	S	S	S
16	L	P	P	S	S	S	P
17	S	L	S	P	S	S	P
18	S	S	S	P	L	S	P
19	S	S	S	P	P	L	P
20	S	S	S	P	P	P	L
21	S	P	S	L	S	S	S
Total Jam Kerja	113	110	111	106	108	109	105

Tabel 2 Jadwal kerja operator pria

Tanggal	Kode Pegawai											
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	M	P	S	P	M	L	L	M	P	L	M	M
2	L	M	M	M	L	S	S	L	S	P	L	L
3	P	L	L	L	M	S	S	S	S	P	M	M
4	S	S	M	M	L	M	P	M	S	M	L	L
5	M	S	L	L	P	L	M	L	M	L	M	P
6	L	S	M	P	M	S	L	M	L	M	L	P
7	M	P	L	M	L	S	P	L	M	L	M	M
8	L	M	S	L	M	P	M	S	L	M	L	L
9	P	L	S	M	L	S	L	S	M	L	M	M
10	P	M	P	L	M	M	M	S	L	S	L	L
11	M	L	P	S	L	L	L	M	M	P	P	P
12	L	M	M	M	P	P	M	L	L	M	P	M
13	M	L	L	L	S	M	L	M	S	L	S	L
14	L	P	M	S	M	L	S	L	M	M	M	P
15	M	M	L	P	L	M	P	M	L	L	L	M
16	L	L	S	M	P	L	P	L	M	S	S	L
17	M	M	M	L	P	M	M	P	L	S	P	P
18	L	L	L	P	S	L	L	P	P	M	M	P
19	P	P	S	S	M	M	M	M	M	L	L	S
20	P	M	M	M	L	L	L	L	L	P	P	M
21	P	L	L	L	S	M	M	P	P	M	P	L
Total Jam Kerja	123.5	125.5	127.5	125.5	125.5	127.5	125.5	126.5	126.5	125.5	124.5	123.5

Tabel 2 Jadwal kerja operator pria (Lanjutan)

Tanggal	Kode Pegawai					
	20	21	22	23	24	25
1	P	L	L	S	L	M
2	M	M	P	P	M	L
3	L	L	M	M	L	M
4	S	M	L	L	S	L
5	P	L	M	P	S	M
6	S	S	L	M	M	L
7	M	S	S	L	L	P
8	L	S	S	P	M	M
9	S	M	P	M	L	L
10	P	L	M	L	M	S
11	M	M	L	P	L	M
12	L	L	S	S	P	L
13	P	M	M	M	P	P
14	M	L	L	L	P	P
15	L	P	P	M	S	P
16	M	M	M	L	M	P
17	L	L	L	M	L	S
18	M	S	M	L	M	M
19	L	P	L	M	L	L
20	M	S	S	L	S	M
21	L	M	M	P	M	L
Total	125.5	127.5	126.5	124.5	126.5	124.5
Jam Kerja						

Tabel 3 Jadwal kerja penanggung jawab dan petugas keamanan

Tanggal	Kode Pegawai (Penanggung jawab)				Kode Pegawai (Petugas keamanan)			
	26	27	28	29	30	31	32	33
1	L	S	P	M	P	S	M	L
2	P	M	S	L	M	P	L	S
3	S	L	P	M	L	P	M	S
4	P	S	M	L	S	P	L	M
5	M	P	L	S	M	S	P	L
6	L	P	M	S	L	M	S	P
7	S	M	L	P	M	L	S	P

Tabel 3 Jadwal kerja penanggung jawab dan petugas keamanan (Lanjutan)

Tanggal	Kode Pegawai (Penanggung jawab)				Kode Pegawai (Petugas keamanan)			
	26	27	28	29	30	31	32	33
8	M	L	P	S	L	P	M	S
9	L	S	P	M	P	M	L	S
10	S	M	P	L	S	L	P	M
11	P	L	M	S	S	M	P	L
12	S	M	L	P	S	L	M	P
13	M	L	S	P	S	M	L	P
14	L	S	M	P	M	L	P	S
15	S	P	L	M	L	P	S	M
16	M	P	S	L	P	S	M	L
17	L	P	S	M	P	S	L	M
18	P	M	S	L	M	S	P	L
19	P	L	M	S	L	M	S	P
20	M	S	L	P	P	L	S	M
21	L	P	S	M	M	S	P	L
Total Jam Kerja	120	125.5	126.5	132	132	126.5	125.5	120

Pada tabel terlihat bahwa semua pegawai, yakni operator pria, operator wanita, penanggung jawab, dan petugas keamanan telah dijadwalkan. Total seluruh pegawai adalah 33 orang. Rata-rata jam kerja untuk setiap operator wanita dalam satu periode pada penjadwalan yang dilakukan secara konvensional adalah 99 jam, sedangkan untuk operator pria, rata-rata jam kerjanya adalah 129.5 jam. Selisih rata-rata jam kerja operator wanita dan pria cukup besar, yaitu 30.5 jam. Pada penjadwalan dengan ILP, rata-rata jam kerja untuk setiap operator wanita sebesar 108.86 jam dan rata-rata jam kerja operator pria sebesar 125.67 jam. Selisih rata-rata jam kerja antara operator wanita dan operator pria sebesar 16.81 jam. Selisih rata-rata jam kerja antara operator wanita dan operator pria pada model penjadwalan ILP lebih kecil dibandingkan dengan model penjadwalan konvensional.

Kesimpulan

Dalam karya ilmiah ini telah diperlihatkan bahwa masalah penjadwalan pegawai SPBU 34-16102 Bogor dapat dipandang sebagai masalah ILP dengan fungsi objektif meminimumkan biaya yang dikeluarkan pihak SPBU untuk upah pegawai.

Biaya yang dikeluarkan oleh pihak SPBU untuk upah pegawai pada penjadwalan konvensional dan penjadwalan dengan ILP sama, yaitu sebesar 60480000. Pada penjadwalan konvensional, operator wanita hanya boleh bekerja pada *shift* pagi, operator pria hanya boleh bekerja pada *shift* siang dan malam, serta petugas keamanan dan penanggung jawab harus ada pada setiap *shift*. Model penjadwalan pada karya ilmiah ini adalah modifikasi dari model penjadwalan yang dilakukan secara konvensional dengan menggunakan *Integer Linear Programming*. Pada model tersebut, operator wanita boleh bekerja pada *shift* pagi atau siang, operator pria boleh bekerja pada *shift* pagi, siang, atau malam. Model penjadwalan pada karya ilmiah ini bersifat lebih umum dan fleksibel. Selain itu, model penjadwalan dengan ILP menghasilkan suatu penjadwalan dimana selisih total jam kerja antara operator pria dan operator wanita lebih kecil dibandingkan dengan penjadwalan yang dilakukan secara konvensional.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada SPBU 34-16102 Bogor yang telah bersedia menjelaskan sistem penjadwalannya dan kepada Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor yang telah memfasilitasi penulis untuk ikut serta dalam Sensaintek 2015.

Referensi

- [1] Trilling L, Guinet A, dan Maghy D L, "NurseSchedulingUsingInteger Linear ProgrammingandConstraintProgramming", http://hal.inria.fr/docs/00/17/30/72/PDF/Trilling_Guinet_Lemagny_INCOM_2006.pdf. [diakses 15 September 2014]
- [2] Winston WL, "Operations Research Applicationsand Algorithms 4thed", Penerbit Duxbury, New York, 2004
- [3] Garfinkel RS, Nemhauser GL, "IntegerProgramming", Penerbit Wiley, New York, 1972

Disain Didaktis Bahan Ajar Matematika Smp Berbasis *Learning Obstacle* dan *Learning Trajectory*

Encum Sumiaty^{1,a)} dan Endang Dedy^{2,b)}

¹Departemen Pendidikan Matematika, FPMIPA UPI Bandung

²Departemen Pendidikan Matematika, FPMIP UPI Bandung

^{a)} penulis yang berkorespondensi: e.sumiaty@gmail.com

^{b)} endangdedy@yahoo.com

Abstrak

Pembelajaran matematika bermakna, dengan mempertimbangkan faktor psikologi, dan hak belajar siswa di sekolah merupakan kewajiban bersama semua pihak yang terkait dengan lembaga pendidikan, khususnya para guru. Oleh karena itu sangatlah penting memiliki berbagai upaya untuk meningkatkan kualitas pembelajaran. Berkaitan dengan kualitas pembelajaran, khususnya bidang matematika memberikan dampak yang sangat signifikan baik dalam segi karakter siswa, maupun segi kognitifnya. Suryadi (2010) menyatakan bahwa pembelajaran matematika pada dasarnya berkaitan dengan tiga hal, yaitu guru, siswa, dan materi. Jika pembelajaran hanya didasarkan atas pemahaman tekstual akan menghasilkan proses belajar matematika bersifat miskin makna dan konteks, serta proses belajar berorientasi hasil yang menyebabkan siswa belajar secara pasif. Pembelajaran yang kurang bermakna juga dapat mengakibatkan siswa memahami konsep-konsep matematika secara parsial, tidak terintegrasi antara konsep yang satu dengan konsep yang lain. Pada makalah ini dipaparkan bagaimana memperbaiki proses pembelajaran yang bermakna, yaitu dengan cara membuat desain didaktis berbasis *learning obstacle* dan *learning trajectory* yang dilaksanakan melalui metode penelitian kualitatif Desain Didaktis (*Didactical Design Research*). Pelaksanaan penelitian ini diawali dari permasalahan yang dilakukan siswa ketika menyelesaikan masalah (penemuan konsep maupun dalam penguatan konsep), kemudian menganalisa buku paket wajib untuk siswa (BSE), dan diakhiri dengan membuat bahan ajar berdasarkan *learning obstacle* dan *learning trajectory*. Berdasarkan hasil analisis masalah terkait konsep kesebangunan dua buah segitiga, Implementasi disain didaktis awal dapat memprediksi kesalahan-kesalahan yang dilakukan siswa, walaupun kesalahan yang dilakukan siswa masih ada tetapi sudah jauh berkurang dibanding hasil temuan pada saat uji *learning obstacle* awal. Kondisi ini diperkuat dengan hasil tes *learning obstacle* setelah pembelajaran pada konsep kesebangunan segitiga menunjukkan bahwa secara kelompok dengan standar ketuntasan sekolah (minimal nilai matematika 75%) sudah tuntas.

Kata Kunci: Desain Didaktis, *Didactical Design Research* (DDR), *Learning Obstacle* dan *Learning Trajectory*.

Pendahuluan

Pembelajaran matematika bermakna, dengan mempertimbangkan faktor psikologi, dan hak belajar siswa di sekolah merupakan kewajiban bersama semua pihak yang terkait dengan lembaga pendidikan, khususnya para guru. Oleh karena itu sangatlah penting memiliki berbagai upaya untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.

Berkaitan dengan kualitas pembelajaran, khususnya bidang matematika memberikan dampak yang sangat signifikan baik dalam segi karakter siswa, maupun segi kognitifnya

Tujuan di atas akan tercapai apabila proses pembelajaran di dalam kelas selalu mempertimbangkan hak siswa untuk belajar. Oleh karena itu guru harus selalu membuat persiapan yang matang. Hal ini sejalan dengan yang diungkapkan oleh [1] bahwa pembelajaran matematika pada dasarnya berkaitan dengan tiga hal, yaitu guru, siswa, dan materi, dan jika pembelajaran hanya didasarkan atas pemahaman tekstual akan menghasilkan proses belajar matematika bersifat miskin makna dan konteks, serta proses belajar berorientasi hasil yang menyebabkan siswa belajar secara pasif. Pembelajaran yang kurang bermakna juga dapat mengakibatkan siswa memahami konsep-konsep matematika secara parsial, tidak terintegrasi antara konsep yang satu dengan konsep yang lain.

Kondisi ini dapat dilihat dari beberapa hasil pekerjaan siswa yang kering makna, misalnya kasus yang ditemukan di lapangan pada buku wajib untuk siswa (BSE) antara lain adanya ketidakkonsistenan antara konsep trapesium dan jajargenjang, di satu sisi menyatakan bahwa trapesium adalah segiempat yang memiliki tepat sepasang garis sejajar, tetapi di sisi lain menyatakan bahwa jajargenjang adalah trapesium. Kasus lain yang tidak kalah penting adalah bagaimana siswa dapat mengaitkan antara konsep luas daerah segitiga yang dibangun dari persegi atau persegi panjang dengan luas daerah segitiga yang bukan siku-siku. Hal ini akan berakibat pula pada pengaitan antara luas daerah trapesium (trapesium sebarang, samakaki, dan trapesium siku-siku), luas daerah jajargenjang, serta segiempat lainnya).

Kesalahan-kesalahan yang dialami siswa itu patut diduga karena faktor buku sumber atau apakah karena proses pembelajaran yang tidak terstruktur (*learning trajectory*nya), atau karena keduanya. Oleh karena itu penulis sangat tertarik melakukan kajian tentang ketidakbermaknaan pembelajaran di dalam kelas, dengan terlebih dahulu menguji *Learning Obstacle* (kesalahan menyelesaikan soal), kemudian membuat bahan ajar untuk memperbaiki *Learning Trajectory* (sintak penyampaian konsep dalam PBM) berdasarkan temuan pada *learning obstacle* dan berdasarkan *Learning Trajectory* nya.

Dengan demikian, penelitian ini akan terfokus untuk memperbaiki pembelajaran dengan cara membuat desain didaktis berbasis *Learning Obstacle* dan *Learning Trajectory*.

Teori

Pada bagian ini disajikan beberapa teori yang dijadikan rujukan untuk mengembangkan desain didaktis konsep kesebangunan segitiga diantaranya *Learning Obstacle*, *Didactical Design Research* (DDR), Teori Van Hiele, Teori Bruner, Teori Ausubel, serta Teori Vygotsky.

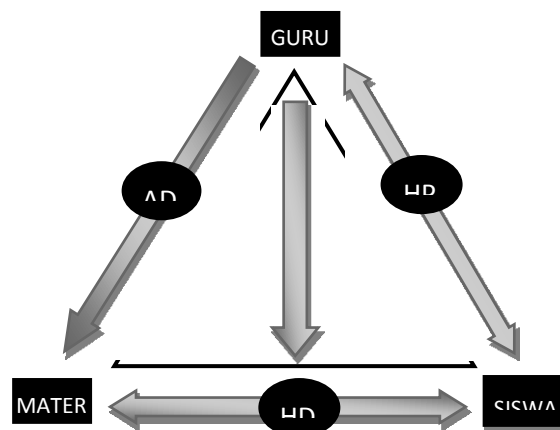
1. *Learning Obstacle*

Menurut Brousseau [2] dan [3], pada praktiknya siswa secara alamiah mungkin mengalami situasi yang disebut kesulitan belajar (*learning obstacle*). Terdapat tiga faktor penyebabnya, yaitu hambatan ontogeni (kesiapan mental belajar), didaktis (akibat pengajaran guru), dan epistemologi (pada pengetahuan siswa yang memiliki konteks aplikasi terbatas). Salah satu aspek yang perlu menjadi pertimbangan guru dalam mengembangkan Antisipasi Didaktis dan Pedagogis adalah adanya *learning obstacles* khususnya yang bersifat epistemologis (*epistemological obstacle*). Menurut Duroux *epistemological obstacle* pada hakekatnya merupakan pengetahuan seseorang yang hakekatnya terbatas pada konteks tertentu. Hal ini sejalan dengan [1] dan [4], jika orang tersebut dihadapkan pada konteks berbeda, maka pengetahuan yang dimiliki menjadi tidak bisa digunakan atau dia mengalami kesulitan untuk menggunakannya.

2. *Didactical Design Research (DDR)*

Dua aspek mendasar dalam proses pembelajaran matematika yaitu hubungan siswa-materi dan hubungan guru-siswa, dapat menciptakan suatu situasi didaktis maupun pedagogis yang tidak sederhana bahkan sering kali terjadi sangat kompleks. Hubungan Guru-Siswa-Materi digambarkan oleh Kansanen sebagai sebuah segitiga didaktis yang menggambarkan hubungan didaktis (HD) antara siswa dan materi, serta hubungan pedagogis (HP) antara guru dan siswa.

Dengan demikian, pada saat merancang situasi didaktis, seorang guru perlu memikirkan prediksi respon siswa atas situasi tersebut serta antisipasinya sehingga tercipta situasi didaktis baru. Hal ini disebut sebagai Antisipasi Didaktis dan Pedagogis (ADP) sebagaimana diilustrasikan pada gambar segitiga didaktis Kansanen yang dimodifikasi berikut.



Gambar 2.1.
Segitiga Didaktis yang Dimodifikasi

Peran guru yang paling utama dalam konteks segitiga didaktis ini adalah menciptakan situasi didaktis sehingga terjadi proses belajar dalam diri siswa. Dengan kata lain, seorang guru perlu memiliki kemampuan untuk menciptakan relasi didaktis (*didactical relation*) antara siswa dan materi ajar sehingga tercipta suatu situasi didaktis ideal bagi siswa.

Proses pembelajaran yang ideal harus direncanakan dengan baik, baik saat persiapan, pelaksanaan, dan setelah pembelajaran. Salah satu aspek yang perlu menjadi bahan pertimbangan guru dalam mengembangkan perencanaan pembelajaran adalah *learning obstacle*, khususnya yang bersifat epistemologis. Proses berpikir tersebut tentunya dapat difokuskan pada pengembangan desain didaktis yang nantinya akan menghasilkan ADP. Analisis metapedadidaktis (kemampuan yang perlu dimiliki guru) dilakukan pada saat pembelajaran berlangsung, yaitu mencakup analisis terhadap situasi didaktis yang berkembang di kelas, analisis situasi belajar sebagai respon siswa terhadap situasi didaktis yang diberikan, dan analisis interaksi belajar akibat perubahan situasi didaktis. Pemikiran guru tentang kaitan apa yang terjadi sebelum pembelajaran dan selama proses pembelajaran tersebut berlangsung merupakan refleksi yang dilakukan setelah pembelajaran. Rangkaian aktivitas tersebut dirumuskan sebagai Penelitian Desain Didaktis atau *Didactical Design Research (DDR)*.

3. Tahapan Berpikir dalam Pembelajaran Geometri

Berikut akan disajikan beberapa teori belajar yang menjadi landasan dalam penelitian ini yaitu:

Teori Van Hiele

Kemampuan berpikir geometri siswa berkembang secara bertingkat, yaitu

a. Tingkat kognitif

Tahapan berpikir atau tingkat kognitif yang dilalui siswa dalam pembelajaran geometri, menurut Van Hiele terdiri dari 5 tingkatan/level, yaitu Level 0. Tingkat Visualisasi; Level 1. Tingkat Analisis; Level 2. Tingkat Abstraksi ; Level 3. Tingkat Deduksi Formal; dan Level 4. Tingkat Rigor

Menurut Van Hiele, semua anak mempelajari geometri melalui tahap-tahap tersebut, dengan urutan yang sama, dan tidak dimungkinkan adanya tingkat yang diloncati. Akan tetapi, kapan seseorang siswa mulai memasuki suatu tingkat yang baru tidak selalu sama antara siswa yang satu dengan siswa yang lain, dan proses perkembangan dari tahap yang satu ke tahap berikutnya terutama tidak ditentukan oleh umur atau kematangan biologis, tetapi lebih bergantung pada pengajaran dari guru dan proses belajar yang dilalui siswa.

b. Implementasi Teori Van Hiele dalam Pembelajaran

Menurut Van Hiele, kemajuan dari satu tingkat ke tingkat selanjutnya melibatkan lima fase, yaitu *Fase 1 : Information (Information)*; *Fase 2 : Orientasi Langsung (Directed Orientation)*; *Fase 3 : Penjelasan (Explanation)*; *Fase 4 : Orientasi Bebas (Free Orientation)*; dan *Fase 5 : Integrasi (Integration)*

Teori Bruner

Menurut [5], Jerome Bruner mengemukakan bahwa belajar akan efektif jika menggunakan struktur konsep sehingga tampak keterkaitan antara konsep yang satu dengan konsep yang lainnya serta hubungan antar konsep prasyarat dengan konsep suksesornya.

Selain itu, Bruner mengemukakan pula teorema konstruksi, teorema notasi, teorema kontras-variasi, dan teorema konektivitas dalam membelajarkan siswa.

Teori Ausubel

David Ausubel dalam [5] mengemukakan teori tentang *meaningful learning*. *Meaningful learning* diartikan sebagai belajar bermakna, yaitu belajar dengan melalui tahapan mengetahui, memahami, mengaplikasikan, dan memilikinya untuk dimanfaatkan lebih lanjut.

Teori Vygotsky

Vygotsky menekankan bagaimana proses-proses perkembangan mental siswa dan percaya bahwa anak akan jauh lebih berkembang jika *berinteraksi* dengan orang lain.

Teori Vygotsky yang lain adalah "*scaffolding*". *Scaffolding* merupakan suatu istilah pada proses yang digunakan orang dewasa untuk menuntun anak-anak melalui *Zone of Proximal Development*-nya.

Scaffolding adalah memberikan kepada seseorang anak sejumlah besar bantuan selama tahap - tahap awal pembelajaran dan kemudian mengurangi bantuan tersebut dan memberikan kesempatan kepada anak tersebut mengambil alih tanggung jawab yang semakin besar segera setelah ia mampu mengerjakan sendiri.

Hasil dan Diskusi

Sebelum melakukan penyusunan desain didaktis awal konsep kesebangunan pada segitiga, langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan uji instrumen untuk mendapatkan *learning obstacle* pada siswa yang sudah mendapatkan pembelajaran konsep tersebut. Langkah berikutnya menganalisis *learning trajectory*, antara lain melakukan analisa buku sumber sebagai pegangan siswa dan guru serta menganalisis video pembelajaran. Berdasarkan *Learning obstacle dan learning trajectory* yang diperoleh dapat menjadi acuan untuk menyusun suatu desain didaktis awal yang dapat mengatasi kesulitan siswa dalam belajar. Desain didaktis ini juga disesuaikan dengan kompetensi-kompetensi matematika yang relevan.

Setelah itu, desain didaktis awal diimplementasikan pada pembelajaran konsep kesebangunan pada segitiga di kelas VIII SMP Lab School yang belum pernah mendapatkan materi itu sebelumnya. Dampak dari hasil implementasi pembelajaran dapat menggambarkan *learning obstacle*. Jika terdapat hal-hal yang kurang sesuai, maka disusunlah sebuah desain didaktis revisi untuk menyempurnakannya. Berikut ini akan disajikan hasil penelitian sekaligus pembahasan lengkap mengenai penelitian tersebut.

a. Analisis Learning Obstacle Konsep Kesebanguna pada Segitiga

Hasil analisis Learning Obstacle Konsep Kesebanguna pada Segitiga, ternyata hampir seluruh siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep kesebangunan. Hal itu terjadi karena ketika pembelajaran di dalam kelas siswa tidak memaknai dengan sungguh-sungguh tentang konsep kesebangunan. Biasanya, siswa juga lebih sering belajar meniru contoh-contoh yang sudah ada, bukan memahami secara utuh ataupun mengkonstruksi sebuah konsep hasil dari pemikiran sendiri, sehingga ketika mendapatkan soal yang berbeda dari contoh, siswa tidak dapat menyelesaikannya dengan baik. Sifat lupa juga sering muncul akibat tidak bermaknanya proses pembelajaran di dalam kelas. Jadi, banyak yang harus diperbaiki dalam pembelajaran kesebangunan dua buah segitiga untuk siswa SMP kelas IX, bahkan masalahnya sampai mengenai konsep sudut dan sisi pada segitiga karena masih ada siswa yang keliru memahaminya. Oleh karena itu, disusunlah sebuah desain didaktis konsep kesebangunan dua buah segitiga yang diimplementasikan di kelas IX.

Berdasarkan temuan di atas, maka secara umum hambatan epistemologis siswa tergolong ke dalam beberapa tipe. *Learning obstacle* tipe 1 berkaitan dengan *concept image*, siswa cenderung mengalami kesulitan mengenali kesamaan ukuran dari pasangan sudut yang bersesuaian pada dua buah segitiga yang sebangun (termasuk aturan penamaan dua buah segitiga sebangun). *Learning obstacle* tipe 2 berkaitan dengan kemampuan komunikasi siswa dalam memahami kesebangunan dari dua segitiga dengan variasi letak segitiga yang sedikit berbeda. *Learning obstacle* tipe 3 berkaitan dengan kemampuan siswa dalam menyelesaikan masalah sehari-hari yang berkaitan dengan konsep kesebangunan

b. Analisis Buku Pegangan Siswa

Terdapat beberapa temuan terkait Konsep Kesebangunan Bangun Datar Segitiga antara lain (a) Urutan materi tidak terurut dari materi esensial ke materi lanjutan; (b) Siswa dapat mengalami kebingungan, karena konsep kesebangunan dimulai dari bangun datar segiempat (sebaiknya dimulai dari bangun datar yang lebih sederhana yaitu bangun datar segitiga); dan (c) Siswa akan mengalami kesulitan dalam menyelesaikan soal-soal pemecahan masalah, karena hanya terbiasa dengan soal-soal yang rutin dan menuntun siswa untuk berpikir secara mekanis serta kurang mengarah kepada penguasaan kemampuan penerapan (aplikatif).

Setelah desain didaktis diimplementasikan, selanjutnya dilakukan tes *learning obstacle* dengan soal hasil revisi yang terdiri 5 soal yang selanjutnya dianalisis. Hasil uji coba soal *learnig obstacle* setelah pembelajaran kesebangunan di kelas IX adalah sebagai berikut.

Siswa sudah memahami konsep kesebangunan dua buah segitiga yaitu segitiga-segitiga yang sebangun memiliki ukuran pasangan sudut yang bersesuaiannya sama besar. Banyaknya pasangan sudut yang sehadap memang hanya dua pasang. Sebenarnya, hanya dengan menyatakan ada dua pasang sudut yang bersesuaian berukuran sama besar pada dua buah segitiga, itu sudah cukup memenuhi syarat kesebangunan dua buah segitiga. Hal ini juga merupakan Teorema Kesebangunan Sudut-Sudut yang berbunyi diketahui korespondensi di antara dua segitiga, jika dua pasang sudut yang saling berkorespondensi (bersesuaian) kongruen (sama besar), maka korespondensi itu suatu kesebangunan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, ternyata sebagian besar siswa sudah memahami konsep dua segitiga yang sebangun serta mampu memberikan alasan dengan tepat berdasarkan syarat-syarat kesebangunan. Siswa juga mampu menyelesaikan soal penghitungan dengan jawaban yang tepat meskipun masih terdapat siswa yang memberikan jawaban yang tidak tepat. Dengan kata lain Desain didaktis yang dibuat berdasarkan *Learning obstacle* (LO) dan *learning trajectory* ini sudah dapat meminimalisir kesalahan-kesalahan yang ditemukan pada saat LO awal .

Kondisi ini diperkuat dengan hasil tes *learning obstacle* setelah pembelajaran pada konsep kesebangunan segitiga menunjukkan bahwa secara kelompok dengan standar ketuntasan sekolah (minimal nilai matematika 75%) sudah tuntas.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian hasil dan diskusi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Jenis masalah yang teridentifikasi selama proses pembelajaran konsep kesebangunan adalah *learning obstacle* terkait konsep *image*, komunikasi, serta koneksi.
2. Kemampuan siswa yang dapat dimunculkan melalui pembelajaran konsep kesebangunan dua buah segitiga adalah kemampuan mengungkapkan pengertian dua buah segitiga sebangun melalui sifat-sifatnya, kemampuan mengaitkan bahan prasyarat (bila dua garis sejajar dipotong oleh sebuah garis maka sudut sehadap, sudut bertolak belakang sama besar, dan sudut berimpit sama besar) dengan dua buah segitiga sebangun, kemampuan mengidentifikasi dua buah segitiga itu sebangun atau tidak, kemampuan menentukan panjang salah satu sisi sebuah segitiga melalui konsep kesebangunan dikaitkan dengan dalil Pythagoras, kemampuan mengilustrasikan suatu permasalahan ke dalam bentuk geometri, serta kemampuan mengaplikasikan konsep kesebangunan dua buah segitiga dalam kehidupan sehari-hari.
3. Disain didaktis terkait konsep kesebangunan dua buah segitiga perbaikannya hanya pada disain didaktis 1 no 2 saja (yaitu tinggal menuliskan angka-angka pada setiap sisi segitiga agar kedua segitiga itu sebangun). Hal ini dilakukan agar siswa tidak mengulang cara mengerjakan masalah 1
4. Implementasi disain didaktis awal dapat memprediksi kesalahan-kesalahan dilakukan siswa, dan Kesalahan yang dilakukan siswa masih ada tetapi sudah jauh berkurang dibanding hasil temuan pada saat uji LO awal

Referensi

- [1] Suryadi, Didi. 2010a. "Metapedadidaktik dan *Didactical Design Research* (DDR): Sintesis Hasil Pemikiran Berdasarkan *Lesson Study*", dalam *Teori, Paradigma, Prinsip, dan Pendekatan Pembelajaran MIPA dalam Konteks Indonesia*. Bandung: FPMIPA UPI. (12)
- [2] Brousseau, Guy. 2002. *Theory of Didactical Situation in Mathematics*. New York: Kluwer Academic Publisher. (2)
- [3] Suratno, T. 2009. *Memahami Kompleksitas Pengajaran-Pembelajaran dan Kondisi Pendidikan dan Pekerjaan Guru*.
[Online]. Tersedia di:
http://the2the.com/eunice/document/TSuratno_complex_syndrome.pdf. [8 Desember 2012].
- [4] Suryadi, Didi. 2010b. *Menciptakan Proses Belajar Aktif : Kajian Sudut Pandang Teori Belajar dan Teori Didaktik. Hand-out Seminar*. Bandung: tidak diterbitkan.
- [5] Suherman, E. dkk. 2003. *Strategi Pembelajaran Matematika Kontemporer*. Bandung: Jurusan Pendidikan Matematika FPMIPA UPI.
- [6] Abdussakir. 2011. *Pembelajaran Geometri Sesuai Teori Van Hiele*. [Online]. Tersedia di: <http://abdussakir.wordpress.com/2011/02/09/pembelajaran-geometri-sesuai-teori-van-hiele-lengkap>. [17 November 2012].
- [7] Clements, Douglas H. dan Sarama, Julie. 2009. *Learning and Teaching Early Math (The Learning Trajectories Approach)*. New York: Routledge.
- [8] Depdiknas. 2007. *Kajian Kebijakan Kurikulum Mata Pelajaran Matematika*.
[Online]. Tersedia di: <http://www.puskur.net/download/prod2007/>. [29 November 2012].
- [9] Moise, Edwin E. (1990). *Elementary Geometry From An Advanced Standpoint*. New York: Addison-Wesley Publishing Company.
- [10] Ryanti, Fresty. 2012. *Teori Belajar Ausubel*. [Online]. Tersedia di: http://physickasyik.blogspot.com/2012/11/teori-belajar-ausubel_28.html. [11 Februari 2013].
- [11] Suryadi, Didi. (2010). "Metapedidaktik dan *Didactical Design Research* (DDR): Sintesis Hasil Pemikiran Berdasarkan *Lesson Study*", dalam *Teori, Paradigma, Prinsip, dan Pendekatan Pembelajaran MIPA dalam Konteks Indonesia*. Bandung: FPMIPA UPI.
- [12] Suratno, Tatang dan Suryadi, Didi. 2013. *Metapedadidaktik dan Didactical Design Research (DDR) dalam Implementasi Kurikulum Praktik Lesson Study. Hand-out Seminar*. Surabaya: tidak diterbitkan.
- [13] Suryadi, Didi. 2013. *Didactical Design Research (DDR) to Improve the Teaching of Mathematics. Far East Journal of Mathematics Education*, 10(1), pp.91-107.

Penentuan Tingkat Risiko Kematian Pada Asuransi Jiwa Dengan Operator Fuzzy

Endang Sri Kresnawati^{1, a)}

Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Sriwijaya Palembang

^{a)}endangsrikresnawati@yahoo.co.id

Abstrak

Tarif premi asuransi jiwa ditentukan berdasarkan tingkat risiko kematian tertanggung asuransi. Tingkat risiko diketahui dari riwayat kesehatan. Sumber datanya adalah laporan medical check up. Hasil medical check up berupa data mengenai riwayat kesehatan seperti kolesterol, tekanan darah, detak jantung, dan banyak lainnya. Data-data tersebut dimodelkan satu persatu menggunakan bilangan fuzzy. Setelah itu dilakukan operasi fuzzy untuk mendapatkan parameter fuzzy. Parameter tersebut menunjukkan derajat keanggotaan peserta asuransi, yang juga menyatakan tingkat risiko kematiannya.

Katakunci: tingkat risiko, bilangan fuzzy, operasi fuzzy, asuransi jiwa

Pendahuluan

Penentuan tingkat risiko kematian merupakan bagian terpenting dalam menentukan tarif premi asuransi jiwa. Asuransi jiwa adalah kontrak pengalihan sebagian risiko keuangan yang terjadi sebagai dampak terjadinya kematian pada tertanggung. Karenanya, untuk menentukan berapa nilai pertanggungan dan kontribusi asuransi, perlu diketahui seberapa tingkat risiko kematian dari calon tertanggung. Dalam praktek asuransi, risiko digolongkan dalam empat kelompok, risiko standar, risiko substandar, risiko preffer, dan risiko yang tidak terukur. Untuk mengetahui kelompok risiko mana calon tertanggung asuransi tersebut, hanya diketahui berdasarkan pengakuan calon tertanggung mengenai kesehatannya tanpa melakukan *medical check up*. Dari situ *underwriter* atau penilik risiko menetapkan apakah permohonan calon tertanggung dapat diterima atau tidak. Setelah itu, aktuaris menentukan berapa preminya berdasarkan kelompok risikonya tersebut. Besar premi yang ditetapkan tentulah bukan nilai eksak, karena hanya dikira-kira berdasarkan golongan risikonya.

Sebenarnya, tingkat risiko kematian dapat dihitung secara eksak dengan menghitungnya dari catatan kesehatan. Setiap calon tertanggung yang mengajukan permohonan asuransi jiwa idealnya diminta untuk melakukan tes kesehatan (*medical check up*). Hasil dari *medical check up* itulah yang digunakan untuk mengukur tingkat risikonya dan kemudian menentukan tarif premi yang sesuai.

Dalam matematika, ada suatu perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat risiko tertanggung asuransi. Teori himpunan kabur merupakan alat matematis yang diterapkan dalam asuransi jiwa, terutama untuk mengelompokkan risiko calon tertanggung. Penelitian [1] menyusun model faktor medikal untuk asuransi kesehatan menggunakan fuzzy. Kemudian [2] memodelkan variable tingkat bunga dan peluang hidup asuransi jiwa. Selanjutnya [3] menghubungkan kedua penelitian sebelumnya dengan menghitung premi tunggal bersih fuzzy. Semua penelitian tersebut

mengaplikasikan fuzzy pada bidang aktuarial, khususnya asuransi. Fuzzy merupakan kebalikan bilangan tegas yang hanya memberikan nilai 1 pada anggotanya dan nilai 0 untuk bukan anggota. Pada proses underwriting hanya ada keputusan diterima (nilai keanggotaan 1 pada himpunan tegas) dan ditolak (nilai keanggotaan nol pada himpunan tegas). Jika banyak calon tertanggung yang ditolak tentunya akan mengurangi jumlah pasar yang bisa dikuasai oleh perusahaan tersebut. Guna mendapatkan nasabah lebih banyak perusahaan harus berani menerima calon tertanggung dengan berbagai tingkat risiko. Tentunya semakin tinggi tingkat risiko maka semakin besar premi yang ditetapkan. Dengan begitu tidak ada lagi calon tertanggung yang ditolak karena terolong pada risiko yang tidak terukur.

Teori himpunan fuzzy memberikan nilai keanggotaan dari nol sampai satu untuk setiap anggota himpunanannya. Dengan menerapkan fuzzy untuk mengukur risiko, memungkinkan setiap calon tertanggung untuk masuk dalam anggota himpunan tertanggung asuransi dengan derajat keanggotaan yang berbeda. Karenanya, penelitian ini bertujuan untuk menghitung tingkat risiko calon tertanggung asuransi berdasarkan hasil pemeriksaan kesehatan dengan menggunakan operator fuzzy.

Teori

Suatu elemen dalam teori himpunan tegas dikategorikan sebagai anggota himpunan atau bukan anggota himpunan. Dalam himpunan tegas A , nilai keanggotaan di A adalah 1 untuk anggota dan nol untuk bukan anggota A . Pada teori himpunan fuzzy, peralihan nilai keanggotaan mulai dari 0 bukan anggota samapai dengan 1 untuk anggota penuh. Djauhari, 1990 mendefinisikan himpunan fuzzy sebagai berikut:

Misalkan X adalah himpunan semesta. Himpunan bagian fuzzy A di X , adalah himpunan yang berbentuk:

$A = \{x, \mu_A(x) \mid x \in X\}$ di mana $\mu_A(x)$ adalah derajat keanggotaan dari x dalam A .

Konsep di atas merupakan prinsip dasar himpunan fuzzy. Dalam keanggotaan asuransi jiwa, semua calon tertanggung asuransi dapat menjadi anggota asuransi dengan derajat nol sampai dengan satu. Nilai keanggotaan $\mu_A(x)$ dapat diperoleh dari bilangan fuzzy.

Fungsi Keanggotaan

Menurut Zadeh, 1986 dalam [2], fungsi keanggotaan fuzzy dari A , , dinotasikan $\mu_A(x)$, menyatakan derajat keanggotaan dari elemen x di himpunan fuzzy A untuk setiap $x \in X$, dengan nol menyatakan derajat terendah dan satu derajat tertinggi.

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1]$$

[6] menyatakan bahwa dalam hal khusus, yaitu bila $\mu_A(x)$ hanya memuat dua titik 0 dan 1, maka A dikatakan bukan himpunan fuzzy atau A himpunan biasa. Himpunan fuzzy A dikatakan normal jika $\max_x \mu_A(x) = 1$.

Bilangan Fuzzy

Bilangan fuzzy A dinyatakan sebagai himpunan bagian fuzzy dari himpunan bilangan real. Lebih tepatnya sebagai berikut. Masih menurut Zadeh, 1965 dalam [2], suatu bilangan fuzzy A adalah suatu himpunan fuzzy dari garis real dengan satu normal dengan fungsi keanggotaan bounded supportnya konveks dan kontinue. Suatu himpunan fuzzy A dari himpunan semesta X dikatakan normal jika terdapat satu $x \in X$ sedemikian sehingga $\mu_A(x) = 1$.

Ada dua bilangan fuzzy yang dipakai dalam penelitian ini adalah bilangan fuzzy segitiga dan bilangan fuzzy trapesium. Kedua bilangan ini dipilih berdasarkan bentuk data hasil tes kesehatan. Menurut [6], bilangan fuzzy dan tersebut dinotasikan sebagai berikut:

1. *Triangular fuzzy number* (bilangan fuzzy segitiga)

$$\mu_A x = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{jika } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

dengan

b : puncak data

a : lebar kiri, $\alpha > 0$

c : lebar kanan, $\beta > 0$

2. *Trapezoidal fuzzy number* (bilangan fuzzy trapesium)

$$\mu_A x = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a} & \text{jika } a \leq x \leq b \\ 1 & \text{jika } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{jika } c \leq x \leq d \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

dengan interval toleransi b, c

a : lebar kiri, $a > 0$

d : lebar kanan, $d > 0$

Operator Fuzzy

Untuk mendapatkan parameter fuzzy digunakan operator fuzzy. Terdapat tiga operator dalam Operator Zadeh, yaitu:

1. Union Operator (Operator gabungan)

Operator ini berhubungan dengan operasi gabungan pada himpunan. Hasil operasi dengan operator ini mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan

$$\mu_{A \cup B} x = \max \mu_A x, \mu_B x \quad x \in X$$

2. Intersection Operator (Operator irisan)

Operator ini berhubungan dengan operasi irisan pada himpunan. Hasil operasi dengan operator ini mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen pada himpunan-himpunan yang bersangkutan

$$\mu_{A \cap B} x = \min \mu_A x, \mu_B x \quad x \in X$$

3. Complement Operator (Operator komplement)

Operator ini berhubungan dengan operasi komplemen pada himpunan. Hasil operasi dengan operator ini mengambil nilai komplemen pada himpunan yang bersangkutan

$$\mu_{A^c} x = 1 - \mu_A x \quad x \in X$$

Hasil dan Diskusi

Data Riwayat Kesehatan

Data riwayat kesehatan adalah data yang diperoleh dari hasil pemeriksaan kesehatan calon tertanggung asuransi jiwa. Pemeriksaan dilakukan terhadap fisik, thorak, darah, dan kimia darah. Secara rinci, factor medical yang dimodelkan dengan bilangan fuzzy adalah Berat Badan, Tekanan

Darah, Denyut Nadi, Paru-paru, THT, Tulang, Sinus, Hemoglobin, Laju Endap Darah (LED), Leukosit, Trombosit, Alkalin Phospat, Bilirubin Total, SGOT, SGPT, Gama GT, Kolestrol, LDL Kolestrol, HDL Kolestrol, Ureum, Uric Acid, Kreatin, Glukosa Puasa, Glukosa PP 2 jam.

Pemodelan Faktor Risiko

Dari 25 faktor risiko, hanya 21 faktor yang dimodelkan dengan bilangan fuzzy. Keempat faktor risiko lainnya merupakan pemeriksaan fisik yang hasilnya berupa keterangan sehat atau tidak sehat. Sehingga tidak menggunakan fuzzy, namun keanggotaan himpunan tegas. Nilainya 1 bila faktor yang diperiksa dikatakan sehat, dan nol jika tidak sehat atau ada kelainan. Keduapuluh satu faktor medikal diasumsikan linier sehingga digunakan bilangan fuzzy segitiga dan bilangan fuzzy trapesium untuk memodelkannya. Untuk lebar kiri dan kanan bilangan fuzzy ditentukan dari batas toleransi kesehatan sekitar 10% sampai dengan 20% dari standar normal kesehatan.

1. Body Massa Index (BMI), $\mu_1(x)$

$$\mu_1 x = \begin{cases} \frac{x-0}{24,9-18,5} & \text{jika } 0 \leq x \leq 18,5 \\ 1 & \text{jika } 18,5 \leq x \leq 24,9 \\ \frac{30-x}{30-24,9} & \text{jika } 24,9 \leq x \leq 30 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

2. Tekanan Darah Sitole, $\mu_2(x)$

$$\mu_2 x = \begin{cases} \frac{x-76,5}{13,5} & \text{jika } 76,5 \leq x \leq 90 \\ 1 & \text{jika } 90 \leq x \leq 140 \\ \frac{140-x}{14} & \text{jika } 140 \leq x \leq 161 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

3. Tekanan Darah Diastole, $\mu_3(x)$

$$\mu_3 x = \begin{cases} \frac{x-0}{80} & \text{jika } 0 \leq x \leq 80 \\ \frac{92-x}{12} & \text{jika } 80 \leq x \leq 92 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

4. Denyut Nadi, $\mu_4(x)$

$$\mu_4 x = \begin{cases} \frac{x-51}{9} & \text{jika } 51 \leq x \leq 60 \\ 1 & \text{jika } 60 \leq x \leq 100 \\ \frac{115-x}{15} & \text{jika } 100 \leq x \leq 115 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

5. Hemoglobin, $\mu_5(x)$

$$\mu_5 x = \begin{cases} \frac{x-11,9}{2,1} & \text{jika } 11,9 \leq x \leq 14 \\ 1 & \text{jika } 14 \leq x \leq 18 \\ \frac{20,7-x}{2,7} & \text{jika } 18 \leq x \leq 20,7 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

6. LED, $\mu_6(x)$

$$\mu_6 x = \begin{cases} \frac{x}{15} & \text{jika } 0 \leq x \leq 15 \\ \frac{17,25-x}{2,25} & \text{jika } 15 \leq x \leq 17,25 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

7. Leukosit, $\mu_7(x)$
- $$\mu_7 x = \begin{cases} \frac{x-4,08}{0,72} & \text{jika } 4,08 \leq x \leq 4,8 \\ 1 & \text{jika } 4,8 \leq x \leq 10,8 \\ \frac{12,42-x}{1,62} & \text{jika } 0,8 \leq x \leq 12,42 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
8. Trombosit, $\mu_8(x)$
- $$\mu_8 x = \begin{cases} \frac{x-127,5}{22,5} & \text{jika } 127,5 \leq x \leq 150 \\ 1 & \text{jika } 150 \leq x \leq 450 \\ \frac{495-x}{67,5} & \text{jika } 450 \leq x \leq 517,5 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
9. Alkalin Pospat, $\mu_9(x)$
- $$\mu_9 x = \begin{cases} \frac{x-42,5}{7,5} & \text{jika } 42,5 \leq x \leq 50 \\ 1 & \text{jika } 50 \leq x \leq 190 \\ \frac{209-x}{28,5} & \text{jika } 190 \leq x \leq 218,5 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
10. Bilirubin, $\mu_{10}(x)$
- $$\mu_{10} x = \begin{cases} \frac{x}{1,1} & \text{jika } 0 \leq x \leq 1,1 \\ \frac{1,21-x}{0,16} & \text{jika } 1,1 \leq x \leq 1,27 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
11. SGOT, $\mu_{11}(x)$
- $$\mu_{11} x = \begin{cases} \frac{x}{37} & \text{jika } 0 \leq x \leq 37 \\ \frac{42,55-x}{5,55} & \text{jika } 37 \leq x \leq 42,55 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
12. SGPT, $\mu_{12}(x)$
- $$\mu_{12} x = \begin{cases} \frac{x}{42} & \text{jika } 0 \leq x \leq 42 \\ \frac{48,3-x}{6,3} & \text{jika } 42 \leq x \leq 48,3 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
13. Gama GT, $\mu_{13}(x)$
- $$\mu_{13} x = \begin{cases} \frac{x-5,1}{0,9} & \text{jika } 5,1 \leq x \leq 6 \\ 1 & \text{jika } 6 \leq x \leq 28 \\ \frac{32,2-x}{4,2} & \text{jika } 28 \leq x \leq 32,2 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$
14. Kolestrol, $\mu_{14}(x)$
- $$\mu_{14} x = \begin{cases} \frac{x-127,5}{22,5} & \text{jika } 127,5 \leq x \leq 150 \\ 1 & \text{jika } 150 \leq x \leq 200 \\ \frac{230-x}{30} & \text{jika } 200 \leq x \leq 230 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

15. LDL Kolestrol, $\mu_{15}(x)$

$$\mu_{15} x = \begin{cases} \frac{x}{150} & \text{jika } 0 \leq x < 150 \\ \frac{172,5-x}{22,5} & \text{jika } 150 \leq x \leq 172,5 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

16. HDL Kolestrol, $\mu_{16}(x)$

$$\mu_{16} x = \begin{cases} \frac{x-49,5}{5,5} & \text{jika } 49,5 \leq x \leq 55 \\ 1 & \text{jika } 55 < x \leq \infty \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

17. Ureum, $\mu_{17}(x)$

$$\mu_{17} x = \begin{cases} \frac{x-8,5}{1,5} & \text{jika } 8,5 \leq x \leq 10 \\ 1 & \text{jika } 10 \leq x \leq 50 \\ \frac{57,5-x}{7,5} & \text{jika } 50 \leq x \leq 57,5 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

18. Uric Acid, $\mu_{18}(x)$

$$\mu_{18} x = \begin{cases} \frac{x-2,89}{0,51} & \text{jika } 2,89 \leq x \leq 3,4 \\ 1 & \text{jika } 3,4 \leq x \leq 7 \\ \frac{8,05-x}{1,05} & \text{jika } 7 \leq x \leq 8,05 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

19. Kreatin, $\mu_{19}(x)$

$$\mu_{19} x = \begin{cases} \frac{x-0,51}{0,09} & \text{jika } 0,51 \leq x \leq 0,6 \\ 1 & \text{jika } 0,6 \leq x \leq 1,1 \\ \frac{1,27-x}{0,17} & \text{jika } 1,1 \leq x \leq 1,27 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

20. Glukosa Puasa, $\mu_{20}(x)$

$$\mu_{20} x = \begin{cases} \frac{x-59,5}{10,5} & \text{jika } 59,5 \leq x \leq 70 \\ 1 & \text{jika } 70 \leq x \leq 100 \\ \frac{115-x}{15} & \text{jika } 100 \leq x \leq 115 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

21. Glukosa PP 2 Jam Puasa, $\mu_{21} x$

$$\mu_{21} x = \begin{cases} \frac{x}{120} & \text{jika } 0 \leq x \leq 120 \\ \frac{138-x}{18} & \text{jika } 120 < x \leq 138 \\ 0 & \text{jika lainnya} \end{cases}$$

Pengolahan Data

Tabel 1. Data Seorang Calon Tertanggung Asuransi Jiwa (40)

	Faktor Risiko	Standar Normal	Hasil Pemeriksaan	μ_x
1.	Body massa Index	18,5 – 24,9	27,9	0,4
2.	Tekanan Darah Sistole	90 – 140 mmHg	120 mmHg	1
3.	Tekanan Darah Diastole	≤ 80 mmHg	80 mmHg	1
4.	Denyut Nadi	60 – 100 hitungan/mnt	80 hitungan/mnt	1
5.	Hemoglobin	14 – 18 g/dl	14,2 g/dl	1
6.	Laju Endap darah (LED)	0 – 15 mm	7 mm/jam	0,47
7.	Leukosit	4,8 – 10,8 per 1000/u/l	8,6 per 1000 u/l	1
8.	Trombosit	150 – 450 per 1000/u/l	276 per 1000 u/l	1
9.	Alkalin Pospat	50 – 190 u/l	109 u/l	1
10.	Bilirubin	Di bawah 1,1 mg/dl	0,7 mg/dl	0,64
11.	SGOT	Di bawah 37 u/l	21 u/l	0,57
12.	SGPT	Di bawah 42 u/l	26 u/l	0,67
13.	Gama GT	6 – 28 u/l	18 u/l	1
14.	Kolestrol	150 – 200 mg/dl	220 mg/dl	0,33
15.	LDL Kolestrol	Di bawah 150 mg/dl	112 mg/dl	0,75
16.	HDL Kolestrol	Di atas 55 mg/dl	70 mg/dl	1
17.	Ureum	10 – 50 mg/dl	26 mg/dl	1
18.	Uric Acid	3,4 – 7,0 mg/dl	62 mg/dl	1
19.	Kreatin	0,6 – 1,1 mg/dl	0,8 mg/dl	1
20.	Glukosa Puasa	70 – 100 mg/dl	103 mg/dl	0,8
21.	Glukosa PP 2 Jam Puasa	Maksimal 120 mg/dl	111 mg/dl	0,93
22.	Paru-paru	Tak ada kelainan	t.a.k.	1
23.	Sinus dan Diafragma	baik	baik	1
24.	Tulang	Tak ada kelainan	t.a.k.	1
25.	THT	Dalam batas normal	d.b.n.	1

Operasi Fuzzy

Operasi fuzzy digunakan untuk memperoleh parameter yang menyatakan derajat keanggotaan calon tertanggung asuransi. Operator yang digunakan adalah operator Zadeh. Namun sebelumnya, ditentukan dahulu fungsi tujuan dan batasan dari factor- factor risiko tersebut.

Ada empat fungsi tujuan berdasarkan pemeriksaan, yaitu fisik, torak, darah, dan kimia darah

Fungsi tujuan *A*: pemeriksaan fisik, $\mu_A x$

Batasan : $\mu_1 x, \mu_2 x, \mu_3 x, \mu_4 x, \mu_{25} x$

Fungsi tujuan *B*: pemeriksaan torak, $\mu_B x$

Batasan : $\mu_{22} x, \mu_{23} x, \mu_{24} x$

Fungsi tujuan *C*: pemeriksaan darah, $\mu_C x$

Batasan : $\mu_5 x, \mu_6 x, \mu_7 x, \mu_8 x$

Fungsi tujuan *D*: pemeriksaan kimia darah, $\mu_D x$

Batasan : $\mu_9 x, \mu_{10} x, \mu_{11} x, \mu_{12} x, \mu_{13} x, \mu_{14} x, \mu_{15} x,$

$\mu_{16} x, \mu_{17} x, \mu_{18} x, \mu_{19} x, \mu_{20} x, \mu_{21} x$

Operator Irisan

$$\mu_A x = \min \mu_1 x, \mu_2 x, \mu_3 x, \mu_4 x, \mu_{25} x = 0,4$$

$$\mu_B x = \min \mu_{22} x, \mu_{23} x, \mu_{24} x = 1$$

$$\mu_C x = \mu_5 x, \mu_6 x, \mu_7 x, \mu_8 x = 0,47$$

$$\mu_D x = \mu_9 x, \mu_{10} x, \mu_{11} x, \mu_{12} x, \mu_{13} x, \mu_{14} x, \mu_{15} x, \mu_{16} x, \mu_{17} x, \mu_{18} x, \mu_{19} x, \mu_{20} x, \mu_{21} x = 0,33$$

Keputusan fuzzy merupakan gabungan antara batasan dengan tujuan dengan operator irisan dari $\mu_A x, \mu_B x, \mu_C x, \mu_D x$.

$$\mu_Q x = \min \mu_A x, \mu_B x, \mu_C x, \mu_D x = 0,33$$

$\mu_Q x = 0,33$ menunjukkan derajat keanggotaan calon tertanggung 40 dalam himpunan tertanggung asuransi. Hal ini juga menunjukkan bahwa tingkat risiko calon tertanggung adalah $1 - 0,33 = 0,67$

Operator Gabungan

$$\mu_A x = \max \mu_1 x, \mu_2 x, \mu_3 x, \mu_4 x, \mu_{25} x = 1$$

$$\mu_B x = \max \mu_{22} x, \mu_{23} x, \mu_{24} x = 1$$

$$\mu_C x = \mu_5 x, \mu_6 x, \mu_7 x, \mu_8 x = 1$$

$$\mu_D x = \mu_9 x, \mu_{10} x, \mu_{11} x, \mu_{12} x, \mu_{13} x, \mu_{14} x, \mu_{15} x, \mu_{16} x, \mu_{17} x, \mu_{18} x, \mu_{19} x, \mu_{20} x, \mu_{21} x = 1$$

Keputusan fuzzy merupakan gabungan antara batasan dengan tujuan dengan operator gabungan dari $\mu_A x, \mu_B x, \mu_C x, \mu_D x$.

$$\mu_Q x = \max \mu_A x, \mu_B x, \mu_C x, \mu_D x = 1$$

$\mu_Q x = 1$ menunjukkan derajat keanggotaan calon tertanggung 40 dalam himpunan tertanggung asuransi. Hal ini juga menunjukkan bahwa tingkat risiko calon tertanggung adalah 0.

Perhitungan operator irisan dan operator gabungan memberikan hasil yang berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa risiko si calon tertanggung berkisar dari 0 sampai dengan 0,67. Artinya tertanggung dalam keadaan cukup sehat, namun perlu perhatian pada factor risiko tertentu (kolestrol dan berat badan).

Kesimpulan

Operator irisan dan operator gabungan memberikan hasil yang berbeda. Sebab, operator irisan menggunakan nilai minimum, sedangkan operator gabungan menggunakan nilai maksimum. Tingkat risiko dari operator irisan lebih tinggi dibanding tingkat risiko operator gabungan. Dalam hal kaitannya dengan premi, tarif premi yang ditetapkan berdasarkan operator irisan akan lebih besar daripada tarif premi yang ditetapkan berdasarkan operator gabungan.

Referensi

- [1] V.R. Young, "The application of fuzzy sets to group health underwriting", *Transaction of Actuaries*, 45:551-583, 1993
- [2] J. Lemaire, "Fuzzy insurance", *Astin Buletin*, 20:33-56, 1990
- [3] E.S. Kresnawati, "Pendekatan fuzzy pada net single premium", Tesis Magister, ITB, Bandung, 2003.
- [4] M.A. Djauhari, "Himpunan kabur", Penerbit Karunika Universitas Terbuka, Jakarta, 1990, p. 8-20
- [5] G. J. Klir, and T. A. Folger, "Fuzzy sets, uncertainty, and information", Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1986

- [6] Suratno, "Pengaruh perbedaan tipe fungsi keanggotaan pengendali logika fuzzy terhadap tanggapan waktu system orde dua secara umum", <http://eprints.undip.ac.id/25878/1/ML2F096628.pdf>. [diakses 16 April 2015].

MA-13

Kontrol Optimum Penyebaran Penyakit Kolera

Henny Iswandriani^{1,a)}, Toni Bakhtiar^{1,b)}, Ali Kusnanto^{1,c)}

¹Departemen Matematika, Institut Pertanian Bogor

^{a)}hennyiswandriani@gmail.com

^{b)}tonibakhtiar@yahoo.com

^{c)}alikusnanto@yahoo.com

Abstrak

Tulisan ini membahas kontrol optimum penyebaran penyakit kolera melalui vaksinasi dan pemberian obat penurun konsentrasi bakteri. Model umum kolera dinyatakan dalam model kompartemental $SIR - B$, dengan B merupakan kompartemen bakteri yang terdiri atas bakteri *hyper-infectious* dan bakteri *less-infectious*. Vaksinasi dan pemberian obat anti bakteri diterapkan secara simultan dengan fungsional objektif meminimumkan jumlah individu yang terinfeksi sekaligus meminimumkan *control effort*. Prinsip optimum Pontryagin diterapkan untuk menurunkan sistem persamaan diferensial sebagai kondisi yang harus dipenuhi variabel kontrol optimum. Metode Runge-Kutta orde-4 kemudian digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial tersebut.

Kata kunci: model kontrol optimum, prinsip maksimum Pontryagin, model $SIR - B$, metode Runge-Kutta.

Pendahuluan

Penyakit kolera (atau disebut *Asiatic cholera*) merupakan penyakit infeksi di saluran pencernaan yang disebabkan oleh bakterium *Vibrio cholerae* yang dapat menyebar melalui kontak langsung dengan penderita. Menurut WHO (*World Health Organization*), penyakit ini dapat menyebabkan kematian dalam hitungan jam, jika tidak ditangani dengan tepat. Terdapat sekitar tiga sampai lima juta kasus kolera dan 100.000 sampai 120.000 kematian tiap tahunnya disebabkan oleh kolera. Umumnya orang akan terkena kolera setelah menelan bakteri *V. cholerae* yang sudah mengontaminasi sumber makanan atau air. Sebagian orang yang terkena kolera akan mengalami diare dalam jumlah yang berlebihan dan akan mengalami dehidrasi hebat. Apabila dehidrasi tidak ditangani dengan baik, maka akan berlanjut ke arah hipovolemik dan asidosis metabolik, sehingga menyebabkan kematian jika kondisi tersebut tidak cepat ditangani. Penyakit ini dapat menjadi penyakit yang mematikan, namun dapat dicegah dan diobati.

Masalahpenyebaran kolera dapat dimodelkan secara matematis dengan menggunakan model penyebaran penyakit infeksi, salah satunya adalah model SIR . Pada model SIR , individu yang terinfeksi dan dinyatakan sembuh diasumsikan tidak akan terinfeksi lagi karena telah memiliki kekebalan tubuh.

Pada penelitian ini, akan dibahas penggunaan model $SIR - B$, dengan B konsentrasi bakteri yang terdiri dari bakteri *hyper-infectious* dan *less-infectious* yang telah dimodifikasi dari artikel berjudul *Stability Analysis and Application of a Mathematical Cholera Model* yang ditulis oleh Liao dan Wang (2011), untuk menentukan variabel kontrol optimum, yaitu vaksinasi dan pemberian obat untuk menurunkan konsentrasi bakteri *V. cholerae*.

Teori

Kontrol Optimum

Masalah kontrol optimum adalah memilih variabel kontrol $\mathbf{u}(t)$ di antara semua variabel kontrol yang *admissible*, yaitu kontrol yang membawa sistem dari *state* awal $\mathbf{x}(t_0)$ pada waktu t_0 kepada *state* akhir $\mathbf{x}(T)$ pada waktu akhir T , sehingga memberikan nilai maksimum atau nilai minimum bagi fungsional objektif tertentu.

Pada masalah nyata yang berkembang menurut waktu t , sistem berada dalam keadaan atau kondisi (*state*) tertentu, yang dapat diungkapkan dengan variabel keadaan (*state variables*) $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ atau dalam bentuk vektor $\mathbf{x}(t) \in \mathbb{R}^n$. Dengan nilai t yang berbeda, vektor $\mathbf{x}(t)$ menempati posisi yang berbeda di ruang \mathbb{R}^n sehingga dapat dikatakan bahwa sistem bergerak sepanjang kurva $\mathbf{x}(t)$ di \mathbb{R}^n .

Sistem dinamika dapat dinyatakan secara matematik oleh sistem persamaan diferensial:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t), \quad (1)$$

dengan \mathbf{x} variabel *state* dan \mathbf{u} variabel kontrol. Jika kondisi sistem diketahui pada waktu t_0 , maka $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0, \mathbf{x}_0 \in \mathbb{R}^n$. Jika dipilih kontrol $\mathbf{u}(t) \in \mathbb{R}^m$ yang terdefinisi untuk waktu $t \geq t_0$, maka diperoleh sistem persamaan diferensial orde satu dengan variabel tak tentu $\mathbf{x}(t)$. Karena \mathbf{x}_0 diberikan, maka persamaan (1) memiliki solusi tunggal.

Solusi yang diperoleh merupakan respons terhadap \mathbf{u} yang dilambangkan dengan $\mathbf{x}_{\mathbf{u}}(t)$. Dengan memiliki fungsi kontrol yang sesuai, berbagai solusi dapat diperoleh. Agar solusi yang diperoleh adalah solusi yang diinginkan, diperlukan adanya kriteria bagi solusi, artinya setiap kontrol $\mathbf{u}(t)$ dan variabel *state* $\mathbf{x}(t)$ dihubungkan dengan fungsional berikut:

$$J = \int_0^T f(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) dt, \quad (2)$$

dengan f fungsi yang diberikan, T tidak harus ditentukan dan $\mathbf{x}(T)$ memiliki kondisi tertentu.

Di antara semua fungsi atau variabel kontrol yang diperoleh, ditentukan salah satu sehingga J mencapai nilai maksimum atau minimum. Kontrol yang bersifat demikian disebut kontrol optimum. Permasalahan kontrol optimum dapat dinyatakan sebagai masalah memaksimumkan atau meminimumkan suatu fungsional (2) dengan kendala (1).^[1]

Prinsip Maksimum Pontryagin

Tinjau masalah kontrol optimum dengan kendala pada variabel kontrol berikut:

$$\begin{aligned} \max J &= \int_0^T f(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) dt, \\ \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t), \\ \mathbf{x}(0) &= \mathbf{x}_0, \\ \mathbf{x}(T) &= \mathbf{x}_T. \end{aligned}$$

Didefinisikan fungsi Hamilton sebagai berikut:

$$H(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \mathbf{p}(t), t) = f(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) + \mathbf{p}(t) \mathbf{g}(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t),$$

dengan $p(t)$ merupakan fungsi adjoin yang dapat ditentukan melalui proses pengoptimuman. Syarat perlu optimalitas menurut prinsip maksimum Pontryagin diberikan oleh:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p}, \quad (4)$$

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial x} \quad (5)$$

dan syarat transversalitas saat $x = T$ bebas, yaitu $p(T) = 0$.^[2]

Metode Runge-Kutta Orde Empat

Metode Runge-Kutta adalah alternatif lain dari metode deret Taylor yang tidak membutuhkan perhitungan turunan. Metode ini berusaha mendapatkan derajat ketelitian yang lebih tinggi, dan sekaligus menghindari keperluan mencari turunan yang lebih tinggi dengan jalan mengevaluasi fungsi (x, y) pada titik terpilih dalam setiap langkah.^[3]

Perhatikan masalah nilai awal berikut :

$$y' = f(t, y); \quad y(t_0) = y_0$$

dengan y merupakan sistem yang belum diketahui dan bergantung pada variabel t .

Untuk suatu $h > 0$ yang disebut riap (*increment*), untuk $n = 0, 1, 2, \dots$ didefinisikan

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

$$t_{n+1} = t_n + h,$$

dengan $k_1 = h f(t_n, y_n)$,

$$k_2 = h f\left(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}k_1\right),$$

$$k_3 = h f\left(t_n + \frac{1}{2}h, y_n + \frac{1}{2}k_2\right),$$

$$k_4 = h f\left(t_n + h, y_n + k_3\right).$$

Pada skema diatas, y_{n+1} merupakan aproksimasi Runge-Kutta orde empat bagi $y(t_{n+1})$.

Hasil dan Diskusi

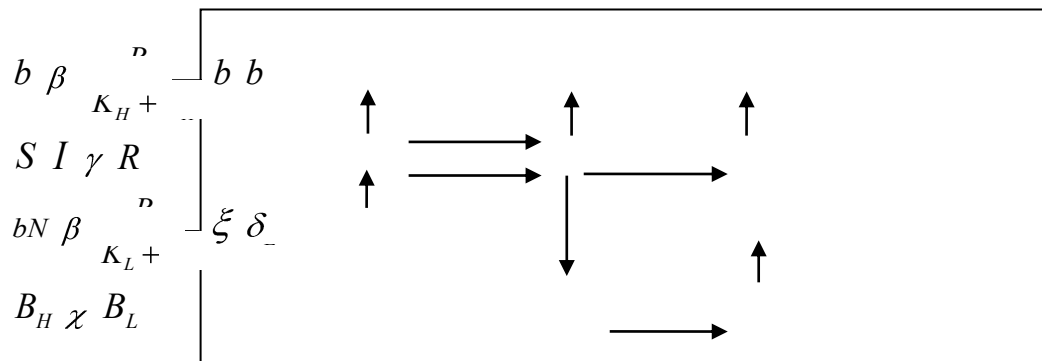
Model Tanpa Kontrol

Model matematika kolera $SIR - B$, dengan B merupakan konsentrasi bakteri yang terbagi menjadi dua, yaitu B_H (*hyperinfectious*) dan B_L (*less infectious*). Banyaknya individu dalam populasi pada saat t yang sehat namun rentan terhadap penyakit, terinfeksi dan dapat menularkan penyakit ke individu yang rentan melalui kontak, dan sembuh tanpa kemungkinan terinfeksi penyakit lagi, berturut-turut dilambangkan dengan $S(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$. Model $SIR - B$ tanpa kontrol diberikan oleh sistem persamaan diferensial berikut^[4]

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= bN - \beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} - \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - bS, \\
 \frac{dI}{dt} &= \beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} + \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - \gamma I - bI, \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma I - bR, \\
 \frac{dB_H}{dt} &= \xi I - \chi B_H, \\
 \frac{dB_L}{dt} &= \chi B_H - \delta_L B_L.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Dalam karya ilmiah ini, laju kelahiran alami sama dengan laju kematian, yaitu sebesar b . Jumlah populasi S akan bertambah karena kelahiran alami dan akan berkurang karena kematian masing-masing dengan laju b . Kontak langsung dengan bakteri yang menginfeksi menyebabkan individu pada populasi S akan ikut terinfeksi dan akan masuk menjadi populasi I sehingga mengakibatkan berkurangnya populasi S . Laju bakteri yang menginfeksi sebesar β_H dan β_L . Berkurangnya populasi individu yang terinfeksi dan populasi individu yang sembuh disebabkan oleh kematian masing-masing dengan laju b . Individu yang terinfeksi kolera dapat sembuh kembali dengan laju γ dan masuk dalam populasi R . Konsentrasi bakteri *hyperinfectious* yang dinotasikan dengan B_H akan bertambah karena adanya kontribusi orang yang terinfeksi populasi *Vibrio cholerae* dalam perairan dengan laju ξ . Berkurangnya populasi ini disebabkan oleh laju transisi bakteri sebesar χ yang kemudian masuk dalam populasi bakteri *less infectious* yang dinotasikan dengan B_L . Bakteri dalam kelas B_L akan berkurang disebabkan oleh kematian bakteri dengan laju sebesar δ_L . N merupakan total populasi, yaitu $N = S + I + R$.

Dari asumsi-asumsi tersebut dapat dibuat diagram model matematika penyakit kolera seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram kompartemen model matematika penyakit kolera

Model dengan Kontrol

Model $SIR - B$ yang dikendalikan dengan kontrol diberikan oleh sistem persamaan differensial berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= bN - \beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} - \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - bS - u_1 S, \\ \frac{dI}{dt} &= \beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} + \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - \gamma + b I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - bR + u_1 S, \\ \frac{dB_H}{dt} &= \xi I - \chi B_H - u_2 B_H, \\ \frac{dB_L}{dt} &= \chi B_H - \delta_L B_L, \end{aligned} \tag{7}$$

dengan u_1 menyatakan bagian dari populasi rentan yang mendapat vaksinasi sehingga menjadi sembuh dan u_2 menyatakan proporsi bakteri yang mati akibat penggunaan obat penekan konsentrasi bakteri. Beberapa contoh vaksin kolera yang dikenal ialah TCD (typhus, cholera, dysentrie), CHOTYPA (cholera, typhus, paratyphus). Beberapa merek vaksin yang sudah digunakan misalnya Orachol, Mutachol, Sanchol, dan Dukoral.

Masalah Kontrol Optimum

Masalah kontrol optimum dalam tulisan ini adalah menentukan fungsi kontrol u_1 dan u_2 , yang membawa sistem dari kondisi awal $S_0, I_0, R_0, B_{H_0}, B_{L_0}$ ke kondisi akhir $S_T, I_T, R_T, B_{HT}, B_{LT}$. Kontrol-kontrol optimum u_1^* dan u_2^* dicari sedemikian sehingga meminimumkan fungsional objektif berikut :

$$J(u_1, u_2) = \int_0^T I + A_1 u_1^2 + A_2 u_2^2 dt, \tag{8}$$

dengan I menyatakan banyaknya individu yang terinfeksi dan suku lainnya menyatakan biaya sistematis dari pemakaian obat. Konstanta positif A_1 dan A_2 merupakan parameter bobot yang dikenakan pada kontrol. Meminimumkan fungsi objektif adalah dengan meminimumkan banyaknya individu yang terinfeksi.

Kendala pada masalah kontrol optimum diberikan pada persamaan (7). $S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0, B_H(0) = B_{H_0}, B_L(0) = B_{L_0}, S(T), I(T), R(T), B_H(T), B_L(T)$ tidak ditentukan (bebas) dan $0 \leq u_i \leq u_{i_{max}}, i = 1, 2$.

Prinsip maksimum Pontryagin digunakan untuk menurunkan kondisi-kondisi yang harus dipenuhi oleh kontrol optimum. Secara umum fungsi hamilton H didefinisikan berdasarkan persamaan (7) dan fungsional objektif (8) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H = & I + A_1 u_1^2 + A_2 u_2^2 + p_1 \left(bN - \beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} - \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - bS - u_1 S \right) \\ & + p_2 \left(\beta_L S \frac{B_L}{K_L + B_L} + \beta_H S \frac{B_H}{K_H + B_H} - \gamma + b I \right) \\ & + p_3 \left(\gamma I - bR + u_1 S \right) + p_4 \left(\xi I - \chi B_H - u_2 B_H \right) + p_5 \left(\chi B_H - \delta_L B_L \right), \end{aligned} \tag{9}$$

dengan $p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t)$ merupakan fungsi-fungsi adjoin yang dapat ditentukan melalui proses pengoptimuman.

Untuk mendapatkan fungsi kontrol u_1^* dan u_2^* digunakan kondisi (3) pada teorema prinsip maksimum Pontryagin pada masalah kontrol optimum. Kondisi (3) memberikan:

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial u_1} = 0 & \quad 2A_1u_1 - p_1S + p_3S = 0, \\ \frac{\partial H}{\partial u_2} = 0 & \quad 2A_2u_2 - p_4B_H = 0, \end{aligned}$$

sehingga diperoleh fungsi kontrol:

$$\begin{aligned} u_1^* &= \frac{p_1S - p_3S}{2A_1}, \\ u_2^* &= \frac{p_4B_H}{2A_2}. \end{aligned}$$

Karena $0 \leq u_i \leq u_{i_{max}}$, $i = 1, 2$, maka dituliskan

1. Kasus $0 \leq u_1 \leq u_{1_{max}}$

$$\begin{aligned} & 0 ; \frac{p_1S - p_3S}{2A_1} < 0 \\ u_1^* &= \frac{p_1S - p_3S}{2A_1} ; 0 \leq \frac{p_1S - p_3S}{2A_1} \leq u_{1_{max}} . \\ & u_{1_{max}} ; -\frac{p_1S}{2A_1} > u_{1_{max}} \end{aligned}$$

Bentuk di atas dapat dituliskan dalam notasi yang lebih ringkas sebagai berikut:

$$u_1^* t = \min u_{1_{max}}, \max 0, \frac{p_1S - p_3S}{2A_1} . \quad (10)$$

2. Kasus $0 \leq u_2 \leq u_{2_{max}}$

$$\begin{aligned} & 0 ; \frac{p_4B_H}{2A_2} < 0 \\ u_2^* &= \frac{p_4B_H}{2A_2} ; 0 \leq \frac{p_4B_H}{2A_2} \leq u_{2_{max}} . \\ & u_{2_{max}} ; \frac{p_4B_H}{2A_2} > u_{2_{max}} \end{aligned}$$

Bentuk di atas dapat dituliskan dalam notasi yang lebih ringkas sebagai berikut:

$$u_2^* t = \min u_{2_{max}}, \max 0, \frac{p_4B_H}{2A_2} . \quad (11)$$

Kondisi (4) tentu saja memberikan model (7), sedangkan kondisi (5) memberikan sistem persamaan adjoin berikut:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1\beta_H \frac{B_H}{B_H + K_H} + p_1\beta_L \frac{B_L}{B_L + K_L} + bp_1 - u_1p_1 - p_2\beta_H \frac{B_H}{B_H + K_H}, \\ p_2 &= -1 + p_2\gamma + b - p_3\gamma - p_4\xi, \\ p_3 &= bp_3, \\ p_4 &= Sp_1\beta_H \frac{1}{B_H + K_H} - \frac{B_H}{B_H + K_H}^2 - Sp_2\beta_H \frac{1}{B_H + K_H} - \frac{B_H}{B_H + K_H}^2 + p_4\chi + p_4u_2 \\ & \quad - p_5\chi, \\ p_5 &= Sp_1\beta_L \frac{1}{B_L + K_L} - \frac{B_L}{B_L + K_L}^2 - Sp_2\beta_L \frac{1}{B_L + K_L} - \frac{B_L}{B_L + K_L}^2 + p_5\delta_L. \end{aligned} \quad (12)$$

Karena diasumsikan S^T, I^T, R^T, B_H^T dan B_L^T bebas maka harus dipenuhi syarat transversalitas berikut:

$$p_1^T = 0, p_2^T = 0, p_3^T = 0, p_4^T = 0, p_5^T = 0$$

Penyelesaian Numerik

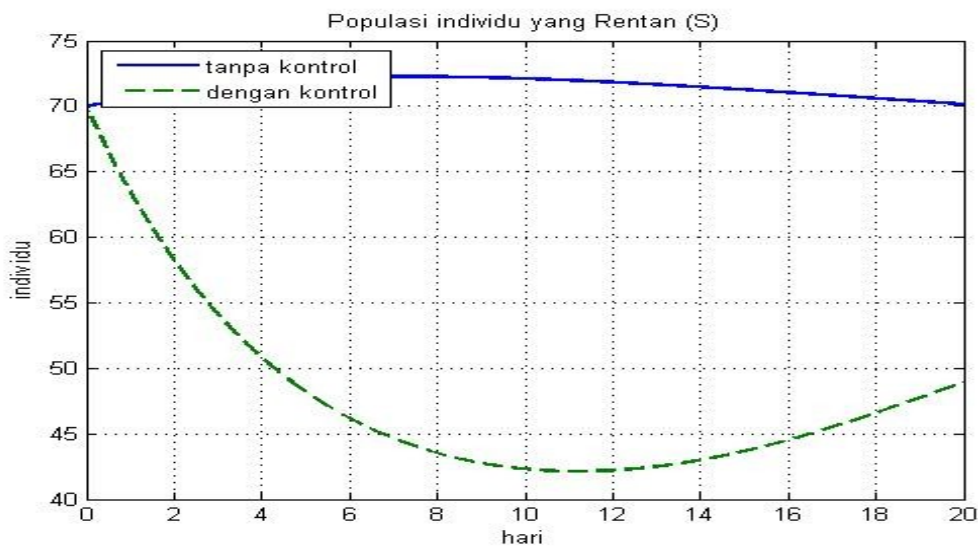
Solusi numerik dari masalah kontrol optimum diselesaikan dengan menggunakan metode Runge-Kutta orde-4. Sistem *state* diselesaikan dengan metode maju sedangkan sistem adjoin diselesaikan dengan metode mundur. Fungsi kontrol diperbaharui pada akhir iterasi dengan menggunakan fungsi kontrol optimum u_1^* dan u_2^* .

Algoritme untuk menentukan solusi masalah kontrol optimum ini diberikan sebagai berikut:

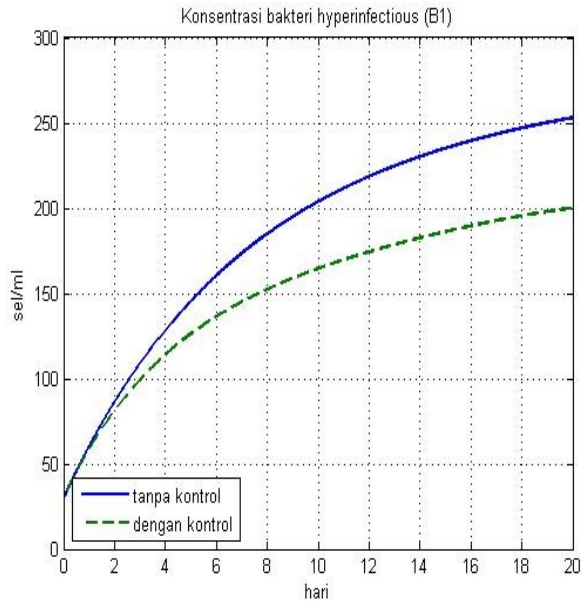
1. Inisialisasikan nilai awal untuk fungsi state, nilai akhir untuk fungsi adjoin, dan nilai awal fungsi kontrol.
2. Selesaikan masalah nilai awal persamaan (7) menggunakan metode maju.
3. Selesaikan sistem persamaan adjoin menggunakan metode mundur dengan menggunakan informasi yang diperoleh di langkah sebelumnya.
4. Setelah nilai numerik dari fungsi *state* dan adjoin diperoleh, nilai fungsi kontrol dapat diperoleh menggunakan persamaan (10) dan (11).

Di bagian ini akan diperlihatkan efektivitas penerapan kontrol terhadap penyebaran penyakit.

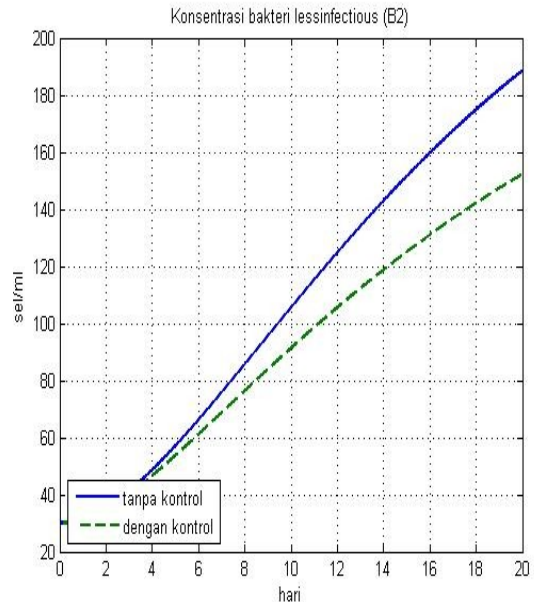
Nilai-nilai parameter berikut digunakan untuk menghitung penyelesaian numerik: $K_1 = 100, K_2 = 100, \gamma = 0.01, \xi = 1, \chi = 0.1, \delta_L = 0.1, b = 0.04, \beta_H = 0.01, \beta_L = 0.02, u_{1_{max}} = 1, u_{2_{max}} = 1, A_1 = 250, A_2 = 100, S_0 =$



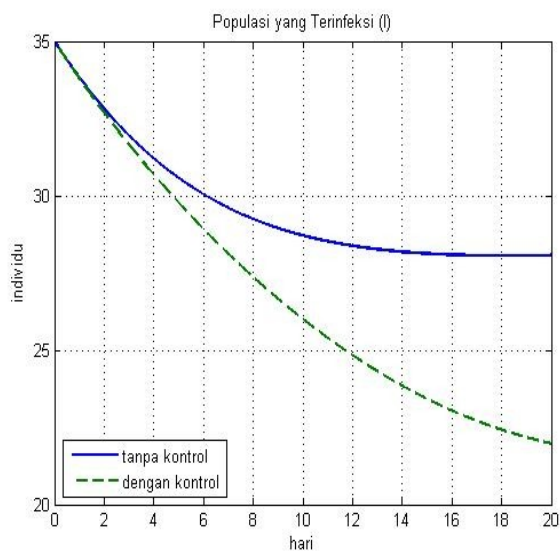
Gambar 2. Individu rentan



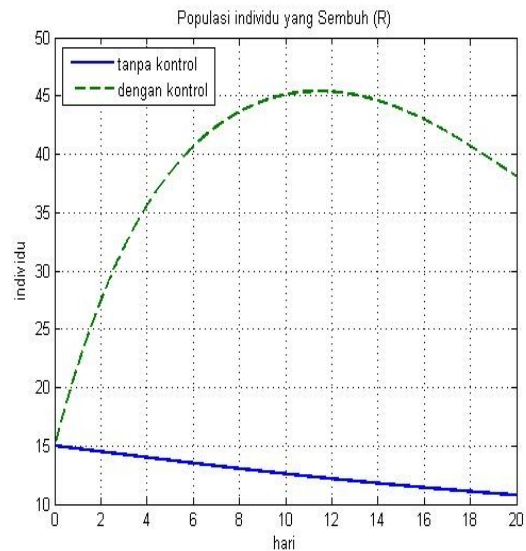
Gambar 3. Bakteri hyper-infectious



Gambar 4. Bakteri less-infectious



Gambar 5. Individu terinfeksi



Gambar 6. Individu sembuh

Pada Gambar 2 dan 4 terlihat bahwa pemberian vaksin menurunkan banyaknya individu yang rentan dan meningkatkan banyaknya individu yang sembuh. Individu yang rentan terus menurun sampai hari ke-11, kemudian meningkat kembali. Pada Gambar 5 terlihat konsentrasi bakteri *hyper-infectious* menurun akibat pemberian obat penurun konsentrasi bakteri *V.Cholerae*, konsentrasi bakteri *less-infectious* juga menurun, hal ini dipengaruhi oleh penurunan konsentrasi bakteri *hyper-infectious* yang terlihat pada Gambar 6. Banyaknya individu yang terinfeksi juga menurun, hal ini dikarenakan oleh penurunan banyaknya individu yang rentan, konsentrasi bakteri *hyper-infectious* dan *less-infectious* terlihat pada Gambar 3.

Kesimpulan

Pemberian kontrol berupa vaksinasi dan penggunaan obat pembunuh bakteri pada model $SIR - B$ memberikan pengaruh yang baik karena dapat menurunkan populasi individu yang rentan, individu yang terinfeksi, konsentrasi bakteri, dan meningkatkan populasi individu yang sembuh.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tulisan ini yang berjudul Kontrol Optimum Penyebaran Penyakit Kolera.

Terima kasih penulis sampaikan kepada keluarga, teman-teman, dan civitas Departemen Matematika IPB atas dukungan, saran, dan doa selama menyelesaikan tulisan ini.

Referensi

- [1] TuPNV. 1994. *Dynamical System: An Introduction with Applications in Economics and Biology*. Heidelberg (DE): Springer-Verlag.
- [2] Vinter R. 2010. *Optimal Control*. New York: Birkhäuser.
- [3] Munir R. 2003. *Metode Numerik*. Bandung (ID): Informatika.
- [4] Liao S, Wang J. 2011. Stability analysis and application of a mathematical cholera model. *Mathematical Biosciences and Engineering*. 8(3):733-752. DOI:10.3934/MBE.2011.8.733.

MA-20

Model EOQ dengan Holding Cost yang Bervariasi

Elis Ratna Wulan^{1, a)} dan Ai Herdiani^{2, b)}

^{1,2}Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}elis_ratna_wulan@uinsgd.ac.id

^{b)}aiherdiani91@gmail.com

Abstrak

Model Economic Order Quantity (EOQ) merupakan model yang paling sering digunakan untuk mengendalikan persediaan suatu perusahaan. EOQ mampu meminimalisir persediaan dengan biaya rendah dan mutu yang lebih baik. Kemudian pada model pengendalian persediaan tidak sedikit kondisi-kondisi yang terdapat di kehidupan nyata yang diabaikan, salah satunya mengasumsikan *holding cost* adalah tetap. Model-model pengaturan persediaan memiliki parameter-parameter yang berbeda. Sebuah isu dapat diteliti pada model klasik yang dapat dikaitkan dengan penyelesaian atau perhitungan jumlah *economic order* dan *economic production*. Dalam model-model ini, parameter-parameter seperti *setup cost*, *holding cost*, dan rata-rata *demand* bernilai pasti. Hal ini dikarenakan jumlah *economic order* dan jumlah *economic production* pada model klasik memiliki beberapa perbedaan dalam perbandingan dengan kondisi-kondisi dunia nyata. Paper ini menyajikan model EOQ klasik dengan *holding cost* sebagai fungsi menaik perpesanan perperiode (*ordering cycle length*). Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan model EOQ klasik dengan pertimbangan *holding cost* sebagai fungsi menaik perpesanan perperiode. Sehingga, model EOQ klasik telah dikembangkan dan terkait dengan jumlah optimal dari pemesanan perperiode (*ordering cycle length*), jumlah *order* dan total biaya optimum diperhitungkan.

Kata kunci: *EOQ, EOQ Backorder, Holding Cost, Varying Holding Cost, Persediaan*

Pendahuluan

Semua perusahaan baik perusahaan jasa maupun perusahaan produksi selalu memerlukan persediaan. Tanpa adanya persediaan, para pengusaha akan dihadapkan pada risiko bahwa perusahaannya pada suatu waktu tidak dapat memenuhi keinginan para konsumen. Kemajuan atau keberhasilan suatu industri salah satunya dipengaruhi oleh pengendalian persediaan (*inventory*) karena pengendalian persediaan diharapkan dapat meningkatkan keuntungan sehingga meminimumkan biaya-biaya yang ditimbulkan [1].

Salah satu model persediaan yang paling banyak digunakan adalah model kuantitas pesanan ekonomis (*Economic Order Quantity* atau EOQ model). Metode EOQ berusaha mencapai tingkat persediaan seminimum mungkin, biaya rendah dan mutu yang lebih baik. Perencanaan persediaan yang menggunakan metode EOQ dalam suatu perusahaan akan mampu meminimalisasi terjadinya *out of stock* sehingga tidak mengganggu proses produksi dalam perusahaan dan mampu menghemat biaya persediaan bahan baku dalam perusahaan. Dengan adanya penerapan metode EOQ pada perusahaan diharapkan akan mampu mengurangi biaya penyimpanan, penghematan ruang, baik gudang maupun ruang kerja, menyelesaikan masalah-masalah yang timbul dari banyaknya

persediaan yang menumpuk sehingga mengurangi resiko yang dapat ditimbulkan karena persediaan yang berlebihan di dalam ruang penyimpanan atau gudang [2].

Persediaan bahan baku yang minim bisa mengakibatkan proses produksi bisa terhambat dan menimbulkan kemacetan operasi. Begitu pula sebaliknya, jika terlalu berlebihan maka yang ada adalah penumpukan bahan baku digudang yang menimbulkan penyimpanan dan menambah biaya untuk penyimpanan tersebut. Maka dari itu, sangat diperlukan metode yang mampu mengendalikan persediaan bahan baku guna melancarkan proses produksi secara kontinu [2].

Jika perusahaan mengadakan persediaan bahan baku yang terlalu besar dibandingkan dengan kebutuhannya, maka hal ini akan mengakibatkan besarnya biaya penyimpanan di gudang, terjadi kerugian karena kerusakan, turunnya kualitas barang serta hilangnya penggunaan dana kepada hal-hal lain karena dana terlalu lama terikat dalam persediaan bahan baku. Hal ini dapat mengakibatkan menurunnya keuntungan yang diperoleh perusahaan dalam suatu periode tertentu. Pada paper ini, peneliti menganalisis cara mengoptimalkan model EOQ klasik dan model EOQ *Backorder* dengan *Holding Cost* yang Bervariasi.

Teori

Ada beberapa model pendekatan untuk menganalisis persediaan disuatu perusahaan, salah satunya yaitu dengan model *Economic Order Quantity* (EOQ). Asumsi awal yang digunakan dalam analisis EOQ ini adalah:

1. Tarif permintaan tetap
2. Tidak ada diskon
3. Pengiriman barang secara borongan
4. Semua parameter tetap dan deterministic
5. *Holding cost* (biaya penyimpanan) adalah sebuah fungsi menaik per periode

Notasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

D	: Biaya permintaan (<i>demand cost</i>)
Q	: Jumlah pesanan (<i>the quantity of order</i>)
Q*	: Jumlah pesanan optimal
k	: Biaya persiapan (<i>setup cost</i>)
h ₀	: Biaya penyimpanan (<i>holding cost</i>)
P	: Tingkat produksi (<i>the rate of production import</i>)
B	: Jumlah <i>backorder</i> (<i>the quantity of backorder</i>)
B*	: Jumlah <i>backorder</i> optimal
π	: Biaya <i>backorder</i> per produk (<i>the unit backorder cost per unit time</i>)
T	: persediaan perperiode (<i>inventory cycle length</i>)
T*	: Nilai optimal persediaan perperiode
TC	: Biaya total pertahun (<i>annual total cost</i>)
TOC	: Biaya persiapan tahunan (<i>annual setup cost</i>)
THC	: Biaya penyimpanan pertahun (<i>annual holding cost</i>)
TSC	: Biaya <i>backorder</i> pertahun (<i>annual backorder cost</i>)

Model EOQ dalam dua kasus dikembangkan pada sebuah kondisi di mana *holding cost* adalah sebuah fungsi kontinu menaik dari *ordering cycle length*. Pada model pertama *backorder* tidak digunakan, kemudian pada model kedua *backorder* digunakan. Diasumsikan bahwa *holding cost* akan

tetap sampai waktu yang ditentukan T' dan kemudian akan menaik berdasarkan fungsi dari *ordering cycle length*. Jadi, *holding cost* h yang diperoleh sebagai berikut :

$$h = \begin{cases} h_0 T^\varepsilon & T > T' \\ h_0 & T \leq T' \end{cases} \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (1)$$

dimana T' adalah momen waktu sebelum *holding cost* konstan. Persamaan (1) ketika $\varepsilon = 0$ menunjukkan model klasik.

a. Model EOQ dengan Varian Holding Cost

Pada model ini, diasumsikan bahwa total kuantitas pemesanan produk dikirimkan secara bersamaan. Total biaya tahunan dihitung berdasarkan prosedur berikut:

$$TC = TOC + THC \quad (2)$$

$$TC = \frac{Dk}{Q} + \frac{hQ}{2} \quad (3)$$

substitusi Persamaan (1) pada Persamaan (4) sehingga diperoleh:

$$TC = \begin{cases} \frac{Dk}{Q} + \frac{h_0 T^\varepsilon Q}{2} & T > T' \\ \frac{Dk}{Q} + \frac{h_0 Q}{2} & T \leq T' \end{cases} \quad (4)$$

Diketahui model persediaan klasik sebagai berikut :

$$Q = DT \quad (5)$$

Sehingga, diperoleh kondisi

$$TC = \begin{cases} \frac{k}{T} + \frac{h_0 t^\varepsilon DT}{2} & T > T' \\ \frac{k}{T} + \frac{h_0 DT}{2} & T \leq T' \end{cases} \quad (6)$$

Untuk $T \geq T'$, diperoleh :

$$TC = \frac{k}{T} + \frac{h_0 DT^{\varepsilon+1}}{2} \quad (7)$$

Dengan menghitung turunan pertama dari fungsi total biaya TC terhadap T , diperoleh :

$$\begin{aligned} \frac{dTC}{dT} &= \frac{d}{dT} \frac{k}{T} + \frac{d}{dT} \frac{h_0 DT^{\varepsilon+1}}{2} \\ &= k^{-1} T^{(-1-1)} + \frac{h_0 D}{2} \varepsilon + 1 T^{\varepsilon+1-1} \\ &= -\frac{k}{T^2} + \frac{\varepsilon+1}{2} \frac{h_0 DT^\varepsilon}{2} \end{aligned} \quad (8)$$

Akhirnya diperoleh panjang periode yang optimal sebagai berikut:

$$T^* = \frac{\varepsilon+2}{\varepsilon+1} \frac{2k}{h_0 D} \quad (9)$$

Turunan kedua dari TC terhadap T diperoleh dari penurunan persamaan (8)

$$\begin{aligned} \frac{d^2 TC}{dT^2} &= \frac{d^2 \left(\frac{k}{T} + \frac{h_0 DT^{\varepsilon+1}}{2} \right)}{dT^2} \\ &= \frac{d}{dT} \left(-kT^{-2} + \frac{1}{2} \varepsilon + 1 h_0 DT^\varepsilon \right) \\ &= 2kT^{-3} + \frac{1}{2} \varepsilon + 1 h_0 D \varepsilon T^{(\varepsilon-1)} \\ &= \frac{2k}{T^3} + \frac{\varepsilon \varepsilon + 1 h_0 DT^{(\varepsilon-1)}}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

Persamaan sebelumnya selalu positif sehingga fungsi TC merupakan fungsi cembung dan T^* akan menjadi minimum fungsi TC. Substitusikan T^* pada (5)

$$Q^* = DT^* = D^{\varepsilon+2} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D} \quad (11)$$

Kemudian, substitusikan T^* pada (7), maka diperoleh

$$\begin{aligned} TC^* &= \frac{k}{\varepsilon+2} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D} + \frac{h_0 D}{2} \varepsilon+2 \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D}^{\varepsilon+1} \\ &= K^{\varepsilon+2} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D} + \frac{h_0 D}{2} \varepsilon+2 \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D}^{\varepsilon+1} \end{aligned} \quad (12)$$

Jadi nilai TC^* , Q^* dan T^* untuk $T > T'$ dihitung berdasarkan pada formula sebagai berikut :

$$\begin{aligned} T^* &= \frac{\varepsilon+2}{(\varepsilon+1)h_0 D} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D} \\ Q^* &= D^{2+\varepsilon} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0 D} \\ TC^* &= K^{2+\varepsilon} \frac{\varepsilon+1 h_0 D}{2k} + \frac{h_0 D}{2}^{2+\varepsilon} \frac{2k}{(\varepsilon+1)h_0 D} \end{aligned} \quad (13)$$

b. Model EOQ Backorder dengan Varian Holding Cost

Pada model ini, diasumsikan bahwa total kuantitas pemesanan produk yang akan dikirimkan secara bersamaan dimana akan ada kekurangan. t_2 bagian dari siklus yang memiliki kekurangan. Total biaya tahunan dapat dibuktikan sebagai berikut

$$TC_{T,B} = TOC + THC + TSC \quad (14)$$

$$TC_{T,B} = \frac{Dk}{Q} + \frac{h Q - B^2}{2Q} + \frac{\pi B^2}{2Q} \quad (15)$$

Substitusikan h dari Persamaan (1) pada (15), diperoleh

$$\begin{aligned} TC_{T,B} &= \frac{Dk}{Q} + \frac{h_0 T^\varepsilon Q - B^2}{2Q} + \frac{\pi B^2}{2Q}, \quad T > T' \\ &= \frac{Dk}{Q} + \frac{h_0 Q - B^2}{2Q} + \frac{\pi B^2}{2Q}, \quad T \leq T' \end{aligned} \quad (16)$$

Substitusikan Q dari Persamaan (5) pada (16), diperoleh

$$\begin{aligned} TC_{T,B} &= \frac{k}{T} + \frac{h_0 T^\varepsilon DT - B^2}{2DT} + \frac{\pi B^2}{2DT}, \quad T > T' \\ &= \frac{Dk}{DT} + \frac{h_0 DT - B^2}{2DT} + \frac{\pi B^2}{2DT}, \quad T \leq T' \\ TC(T,B) &= \frac{k}{T} + \frac{h_0 T^\varepsilon D^2 T^2 - 2DTB + B^2}{2DT} + \frac{\pi B^2}{2DT} \\ &= \frac{k}{T} + \frac{h_0 D^2 T^{\varepsilon+2} - 2h_0 DB T^{\varepsilon+1} + h_0 B^2 T^\varepsilon}{2DT} + \frac{\pi B^2}{2DT} \\ &= \frac{k}{T} + \frac{h_0 D T^{\varepsilon+1}}{2} - h_0 B T^\varepsilon + \frac{h_0 B^2 T^{\varepsilon-1}}{2D} + \frac{\pi B^2}{2DT} \end{aligned} \quad (17)$$

Ketika $T > T'$, gradien dari fungsi $TC(T, B)$ adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \nabla TC(T, B) &= \frac{\partial C(T, B)}{\partial T}, \frac{\partial C(T, B)}{\partial B} \\ &= \frac{-k}{T^2} + \frac{h_0 D \varepsilon+1 T^\varepsilon}{2} - h_0 \varepsilon B T^{\varepsilon-1} + \frac{h_0 \varepsilon+1 B^2 T^{\varepsilon-2}}{2D} - \frac{\pi B^2}{2DT^2}, \\ &\quad -h_0 T^\varepsilon + \frac{h_0 T^{\varepsilon-1}}{D} B + \frac{\pi B}{DT} \end{aligned} \quad (18)$$

Matriks hessian dari fungsi $TC(T, B)$ sebagai berikut:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial T^2} & \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial B \partial T} \\ \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial T \partial B} & \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial B^2} \end{pmatrix}$$

Ketika $0 < \varepsilon < 1$, maka $\partial^2 TC(T, B) \partial T^2 > 0$ selalu benar.

Determinan dari matrik H dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H &= \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial T^2} \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial B^2} - \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial T \partial B} \frac{\partial^2 TC(T,B)}{\partial T \partial B} \\ &= \frac{2kh_0 T^{\varepsilon-4}}{D} + \frac{h_0^2 \varepsilon \varepsilon + 1 T^{2\varepsilon-2}}{2} - \frac{h_0^2 \varepsilon \varepsilon - 1 BT^{2\varepsilon-3}}{D} + \frac{h_0^2 \varepsilon - 1 \varepsilon - 2 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{2D^2} \\ &\quad + \frac{h_0 \pi B^2 T^{\varepsilon-4}}{D^2} + \frac{2\pi k}{DT^4} \\ &\quad + \frac{\pi h_0 \varepsilon \varepsilon + 1 T^{\varepsilon-2}}{2} - \frac{\pi h_0 \varepsilon \varepsilon - 1 BT^{\varepsilon-3}}{D} + \frac{\pi h_0 \varepsilon - 1 \varepsilon - 2 B^2 T^{\varepsilon-4}}{2D^2} + \frac{\pi^2 B^2}{D^2 T^4} \\ &\quad - h_0^2 \varepsilon^2 T^{2\varepsilon-2} \\ &\quad + \frac{h_0^2 \varepsilon \varepsilon - 1 BT^{2\varepsilon-3}}{D} - \frac{\pi h_0 \varepsilon BT^{\varepsilon-3}}{D} + \frac{h_0^2 \varepsilon \varepsilon - 1 BT^{2\varepsilon-3}}{D} - \frac{h_0^2 \varepsilon - 1 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{D} \\ &\quad + \frac{\pi h_0 \varepsilon - 1 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{D^2} - \frac{\pi h_0 \varepsilon BT^{\varepsilon-3}}{D} + \frac{\pi h_0 \varepsilon - 1 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{D^2} - \frac{\pi^2 B^2}{D^2 T^4} \\ &= \frac{2kh_0 T^{\varepsilon-4}}{D} + \frac{h_0^2 \varepsilon \varepsilon + 1 T^{2\varepsilon-2}}{2} + \frac{h_0^2 \varepsilon - 1 \varepsilon - 2 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{2D^2} + \frac{h_0 \pi B^2 T^{\varepsilon-4}}{D^2} + \frac{2\pi k}{DT^4} \\ &\quad + \frac{\pi h_0 \varepsilon \varepsilon + 1 T^{\varepsilon-2}}{2} - \frac{\pi h_0 \varepsilon \varepsilon - 1 BT^{\varepsilon-3}}{D} + \frac{\pi h_0 \varepsilon - 1 \varepsilon - 2 B^2 T^{\varepsilon-4}}{2D^2} - h_0^2 \varepsilon^2 T^{2\varepsilon-2} \\ &\quad - \frac{2\pi h_0 \varepsilon BT^{\varepsilon-3}}{D} + \frac{h_0^2 \varepsilon - 1 BT^{2\varepsilon-3}}{D} - \frac{h_0^2 \varepsilon - 1 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{D^2} + \frac{2\pi h_0 \varepsilon - 1 B^2 T^{2\varepsilon-4}}{D^2} \end{aligned} \tag{19}$$

Ketika $\varepsilon = 1$, diperoleh

$$\begin{aligned} H &= \frac{2kh_0 T^{-3}}{D} + h_0^2 + \frac{h_0 \pi B^2 T^{-3}}{D^2} + \frac{2\pi k}{DT^4} + \pi h_0 T^{-1} - h_0^2 - \frac{2\pi h_0 B T^{-2}}{D} \\ &= \frac{2kh_0}{DT^3} + \frac{h_0 \pi B^2}{D^2 T^3} + \frac{2\pi k}{DT^4} + \frac{\pi h_0}{T} - \frac{2\pi h_0 B}{DT^2} \\ &= 4kh_0 DT + 2h_0 \pi B^2 T + 4\pi k D + 2\pi h_0 D^2 T^3 - 4\pi h_0 B D T^2 - 2D^2 T^4 \quad -1 \end{aligned} \tag{20}$$

Determinan dari matrik H tidak akan negatif dan $TC(T, B)$ akan cembung.

Untuk menemukan titik minimum dari TC , diperlukan kondisi berikut: TC bernilai positif. TC selalu kontinu untuk $T > 0$ dan $B > 0$. Juga, ada bagian fungsi TC cembung ketika $T \rightarrow 0^+$, $T \rightarrow +\infty$. Vektor gradien akan selalu ada ketika T bernilai positif. $\partial^2 TC(T, B) \partial T^2$ selalu positif, sehingga TC tidak cekung dan titik-titik ekstrem akan berada dalam jenis titik minimum. TC tidak memiliki titik maksimum lokal atau titik maksimum total. Ketika $T \rightarrow 0^+$, maka $T \rightarrow +\infty$; ketika $B \rightarrow 0^+$, maka $T \rightarrow +\infty$; ketika $T \rightarrow +\infty$, maka $TC \rightarrow +\infty$.

Untuk mencari solusi optimal, diperoleh

$$\nabla TC(T, B) = 0, \tag{21}$$

$$\frac{\partial TC(T, B)}{\partial T}, \frac{\partial TC(T, B)}{\partial B} = 0, \tag{22}$$

$$\frac{-k}{T^2} + \frac{h_0 D \varepsilon + 1 T^\varepsilon}{2} - h_0 \varepsilon B T^{\varepsilon-1} + \frac{h_0 \varepsilon + 1 B^2 T^{\varepsilon-2}}{2D} - \frac{\pi B^2}{2DT^2}, -h_0 T^\varepsilon + \frac{h_0 T^{\varepsilon-1}}{D} B + \frac{\pi B}{DT} = 0 \tag{23}$$

$$\frac{-k}{T^2} + \frac{h_0 D \varepsilon + 1 T^\varepsilon}{2} - h_0 \varepsilon B T^{\varepsilon-1} + \frac{h_0 \varepsilon + 1 B^2 T^{\varepsilon-2}}{2D} - \frac{\pi B^2}{2DT^2} = 0 \tag{24}$$

$$-h_0 T^\varepsilon + \frac{h_0 T^{\varepsilon-1}}{D} B + \frac{\pi B}{DT} = 0 \tag{25}$$

Maka

$$B = \frac{h_0 D T^{\varepsilon+1}}{h_0 T^{\varepsilon} + \pi} \quad (26)$$

Substitusikan (26) kedalam (27), diperoleh

$$\pi h_0^2 D^2 T^{2\varepsilon+2} + \varepsilon + 1 \pi^2 h_0 D^2 T^{2\varepsilon+2} - 2k h_0^2 D^2 T^{2\varepsilon} - 4k\pi D h_0 T^{\varepsilon} - 2\pi^2 k D = 0 \quad (27)$$

Jumlah optimum T^* , Q^* , dan B^* untuk $T > T'$ dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$B^* = \frac{h_0 D T^{(\varepsilon+1)}}{h_0 T^{\varepsilon} + \pi}$$

Hasil dan Diskusi

Pada bagian ini, akan dibahas tentang penyelesaian contoh kasus untuk model EOQ Klasik dan EOQ *Backorder* dengan *Varying Holding Cost* menggunakan metode-metode yang telah dibahas pada bagian Teori.

a. Contoh Kasus Model EOQ Klasik

Diasumsikan bahwa permintaan tahunan suatu material adalah \$24000, biaya persiapan \$30000, dan biaya penyimpanan adalah \$20 setiap tahunnya. Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan T^* , Q^* , dan TC^* untuk $0 < \varepsilon \leq 1$ dengan $\varepsilon = 0,1$.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Model EOQ Klasik

ε	T^*	Q^*	TC^*
0.1	0.3550	8520.4	161320
0.2	0.3577	8584.7	153760
0.3	0.3613	8670.1	146920
0.4	0.3654	8770.8	140730
0.5	0.3701	8882.6	135100
0.6	0.3751	9002.5	129960
0.7	0.3803	9128.1	125280
0.8	0.3857	9257.9	120980
0.9	0.3913	9390.3	117030
1	0.3969	9524.4	113390

b. Contoh Kasus Model EOQ Backorder

Diasumsikan bahwa kebutuhan tahunan untuk suatu produk adalah \$24000, biaya persiapan \$95000. Biaya penyimpanan \$50 setiap tahunnya dan biaya *backorder* untuk setiap produksama \$250. Tabel 2 menunjukkan hasil perhitungan T^* , Q^* , dan TC^* untuk $0 \leq \varepsilon \leq 1$ dengan $\varepsilon = 0,1$.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Model EOQ Backorder

ε	T^*	B^*	Q^*	TC^*
0	0.4359	1743.6	10461	435890
0.1	0.4335	1616.6	10404	421225
0.2	0.4324	1501.0	10377	407360
0.3	0.4322	1396.0	10373	394300
0.5	0.4343	1213.8	10423	370470
0.6	0.4362	1135.0	10470	359640
0.7	0.4387	1063.3	10528	349470
0.8	0.4415	998.09	10596	339930
0.9	0.4447	938.67	10672	330980
1	0.4481	884.54	10754	322570

Kesimpulan

Cara mengoptimalkan Model EOQ *Backorder* adalah menetapkan nilai dari persamaan

$$T^* = \frac{\varepsilon+2}{(\varepsilon+1)h_0D} \frac{2k}{\varepsilon+1} \text{ dan } Q^* = D^{2+\varepsilon} \frac{2k}{\varepsilon+1 h_0D}$$

$$TC^* = K \frac{2+\varepsilon}{\varepsilon+1} \frac{h_0D}{2k} + \frac{h_0D}{2} \frac{2+\varepsilon}{(\varepsilon+1)h_0D} \frac{2k}{\varepsilon+1}$$

Dari hasil perbandingan EOQ klasik dan EOQ *Backorder* diperoleh bahwa *total cost* pada EOQ klasik lebih kecil dibandingkan EOQ *Backorder* artinya biaya total yang diperlukan pada model EOQ *Backorder* dengan *varying holding cost* lebih besar dibandingkan dengan EOQ klasik atau EOQ tanpa *backorder*.

Referensi

- [1] Rangkuti, F., "Manajemen Persediaan", Raja Grafindo Persada, Jakarta, 2007.
- [2] Malik, M. T., "Analisis Persediaan Bahan Baku Kertas Menggunakan Metode EOQ (Economic Order Quantity) pada Harian Tribun Timur Makasar", Skripsi, Makasar, 2013.
- [3] Ghasemi, N. dan Behrouz, A. N., "EOQ Models with Varying Holding Cost", Islamic Azad University, Iran, 2013.

MA-21

Struktur Subruang Lengkap pada Ruang Hilbert Separabel

Sabarinsyah¹, Hanni Garminia², Pudji Astuti³

¹Jurusan Matematika Fakultas Saintek UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²KK Aljabar FMIPA Institut Teknologi Bandung

³KK Aljabar FMIPA Institut Teknologi Bandung

Abstrak

Sebarang sub ruang pada ruang Hilbert adalah lengkap jika dan hanya jika sub ruang tersebut merupakan sub ruang komplemen dari subruang komplemen ortogonalnya. Pada presentasi ini akan ditunjukkan bahwa karakteristik subruang lengkap dapat dikaitkan dengan struktur subruang dan proyeksi.

Kata kunci: ruang Hilbert, basis Hilbert, subruang lengkap, subruang separabel.

Pendahuluan

Pada ruang hasil kali dalam berdimensi hingga, sejumlah fakta telah diperoleh diantaranya adalah bahwa setiap subruang adalah lengkap serta teorema Riesz berlaku untuk sebarang fungsional linier. Lebih lanjut, pengembangan sifat-sifat tersebut keruang hasil kali dalam berdimensi tak-hingga tidak selamanya berlaku dan memerlukan tambahan persyaratan yang terkait dengan sifat keterbatasan dan kekonvergenan. [1]. Salah satu sifat yang berlaku di ruang Hilbert adalah bahwa suatu subruang adalah lengkap jika dan hanya jika subruang komplemen ortogonalnya adalah subruang komplemen [2].

Penelitian ini bertujuan untuk mencari karakteristik subruang lengkap di ruang Hilbert separable yang dikaitkan dengan struktur subruang dan proyeksi.

Teori

Definisi 1 :

Misalkan H ruang Hilbert. Subruang S dari H dikatakan lengkap jika setiap barisan Cauchy x_n di S konvergen kesuatu unsure $x \in S$.

Teorema 1: Misalkan H ruang Hilbert dan S subruang tutup dari H . Untuk setiap $x \in H$ terdapat $s \in S$ sehingga $x - s \in S^\perp$ (proyeksi ortogonal) dengan S^\perp adalah subruang komplemen ortogonal dari S .

Definisi 2 : Misalkan H ruang Hilbert. Subhimpunan S dari H dikatakan separabel jika S memuat suatu subhimpunan terbilang yang padat.

Definisi 3 : Misalkan H ruang Hilbert dan subhimpunan $M \neq \emptyset$ dari H dikatakan basis Hilbert dari H jika M merupakan himpunan ortonormal maksimal di H .

Lema 1 : Misalkan H ruang Hilbert dan $B = b_1, b_2, \dots$ basis Hilbert dari H .

Misalkan $\Pi_i : H \rightarrow H$ proyeksi orthogonal pada $V_i = \text{Span } b_1, \dots, b_i$. Maka Π_i kontinu $\forall i = 1, 2, \dots$

Lema 2: Misalkan H ruang Hilbert dan W subruang berdimensi hingga dari H maka W adalah lengkap.

Lema 3 : Misalkan H ruang Hilbert dan W subruang dari H . Maka $\prod_i W$ adalah lengkap $\forall i = 1, 2, \dots$

Teorema 2 : Misalkan H ruang Hilbert. Maka setiap subruang S dari H adalah lengkap jika dan hanya jika S adalah tutup.

Hasil dan Diskusi

Teorema 3 :

Misalkan H ruang Hilbert separable dan $W \neq 0$ subruang dari H .

W lengkap \Leftrightarrow untuk setiap $x \in H$ dengan $\prod_i x \in \prod_i W$, $\forall i = 1, 2, \dots \Rightarrow x \in W$.

Bukti :

\Rightarrow

- Karena W lengkap maka $H = W \oplus W^\perp$
- Karena H separable maka terdapat $B = b_1, b_2, \dots, c_1, c_2, \dots$ basis Hilbert dari H sehingga $B \cap W = b_1, b_2, \dots$ basis Hilbert dari W dan $B \cap W^\perp = c_1, c_2, \dots$ basis Hilbert dari W^\perp .
- Untuk setiap $y = \prod_i w \in \prod_i W$, $w \in W$ berlaku

$$y = \sum_{j=1}^i w, b_j b_j + \sum_{j=1}^i w, c_j c_j = \sum_{j=1}^i w, b_j b_j \in \text{span } B \cap W \subseteq W$$

$$\therefore \prod_i W \subseteq W, \forall i = 1, 2, \dots$$

- Misalkan $x \in H$ dengan $\prod_i x \in \prod_i W$, $\forall i = 1, 2, \dots$
- Maka $\prod_i x$ barisan Cauchy yang konvergen ke x .
- Karena $\prod_i W \subseteq W$ dan W lengkap maka $x \in W$.

\Leftarrow

- Misalkan x_n barisan Cauchy di W yang konvergen ke $x \in H$.
- Karena \prod_i kontinu maka $\prod_i x_n$ barisan Cauchy di $\prod_i W$ yang konvergen ke $\prod_i x$.
- Diperoleh $\prod_i x \in \prod_i W$, $\forall i = 1, 2, \dots$
- Jadi $x \in W$.

Referensi

- [1] Garminia H., Rahmaputri, G., and Astuti, P., On Closed submodul of a Finite Rank Free Module Over a Complete DVR, JP. Journal of Algebra, Number Theory and applications, 27(2), 169-179, 2012.
- [2] Kreyszig, E., Introductory Functional Analysis with Applications, John Wiley and Sons, 1978.
- [3] Roman, S., Advanced Linear Algebra, Springer, California, 2007.

MA-22

Klastering Menggunakan FCM dan DBSCAN pada Data Kriminal DKI Jakarta Tahun 2010

Qonita Ummi Safitri^{1, a)} dan Dr. Arief Fatchul Huda^{2, b)}

¹Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)} qonita.safitri@gmail.com

^{b)} afhuda@gmail.com

Abstrak

Informasi merupakan hal penting bagi manusia. Informasi dapat digali dari berbagai kumpulan data. Salah satu metode penggalian data adalah membagi data menjadi kategori atau kelas yang lebih kecil. Metode ini disebut klastering. Fuzzy *c*-means merupakan salah satu teknik klastering yang dikembangkan. Fuzzy *c*-means (FCM) membagi objek pada himpunan tidak unik, dimana setiap objek memiliki keanggotaan di semua klaster berdasarkan derajat keanggotaan pada interval $[0,1]$. Fuzzy *c*-means memiliki beberapa kelemahan, diantaranya jumlah klaster harus ditentukan di awal, sehingga pengguna tidak mengetahui jumlah klaster alami untuk suatu klaster. *Density-Based Spasial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN) adalah metode klastering yang memanfaatkan kerapatan data untuk menentukan klaster. Sehingga, DBSCAN akan menemukan jumlah klaster secara otomatis. Klastering menggunakan FCM dan DBSCAN dilakukan pada data kriminal DKI Jakarta tahun 2010. Klastering dilakukan pada 3 variasi data, kemudian divalidasi menggunakan *silhouette coefficient* (SC). DBSCAN menghasilkan nilai SC yang lebih besar daripada FCM. Bahkan klaster yang terbentuk sangat kuat. Namun jumlah klaster yang terdeteksi hanya satu klaster, artinya banyak objek yang tersebar di luar radius yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan, meskipun nilai SC pada DBSCAN mendekati satu, namun jumlah klaster yang dihasilkan tidak mewakili kondisi yang sebenarnya.

Kata kunci: Klastering, Fuzzy *c*-means, DBSCAN.

Pendahuluan

Data merupakan deskripsi mengenai suatu hal, baik yang berupa angka, huruf, gambar, simbol, hasil pengukuran atau segala hal yang dapat memberikan informasi. Data dikumpulkan dengan berbagai cara, seperti melalui wawancara, menyebarkan kuisioner, mengukur objek, pengambilan citra satelit dan lain-lain. Pada masa perkembangan teknologi, pengumpulan data telah dibantu sistem komputer, sistem ini disebut *On Line Transaction Processing* (OLTP). Sistem pengumpulan data berbasis komputer mengakibatkan penambahan data tidak terkendali, sehingga terjadi limpahan data (*overload data*) yang sulit dikelola. Bahkan hanya akan menjadi gundukan sampah tak berguna bila tidak digali informasi. Oleh karena itu, lahirlah data mining. Data *mining* merupakan salah satu metode penggalian data berskala besar. Salah satu teknik dalam data mining adalah klastering.

Klastering merupakan suatu disiplin ilmu yang ditujukan untuk mengelompokkan data dengan tingkat kemiripan data yang signifikan. Klastering memiliki beberapa pendekatan, diantaranya partisi dan hierarki. Klastering partisi membagi data secara bersamaan sehingga membentuk wilayah yang lebih kecil, sedangkan hierarki akan membagi objek menjadi klaster bersarang yang disajikan dalam bentuk pohon.

Fuzzy *c*-means (FCM) adalah klastering partisi yang berbasis himpunan fuzzy. FCM membagi n objek pada k klaster dengan derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan ini menunjukkan tingkat relasi sebuah titik data dengan klasternya. Oleh karena itu, nilai derajat keanggotaan akan berada pada interval $[0,1]$. Fuzzy *c*-means memiliki kelemahan, diantaranya jumlah klaster ditentukan di awal, sehingga tidak dapat ditentukan jumlah klaster optimal untuk data. Salah satu algoritma klastering yang akan membentuk klaster secara otomatis adalah *Density-Based Spasial Clustering an Application with Noise* (DBSCAN).

DBSCAN membagi data menjadi klaster berdasarkan kerapatan data. Kerapatan ini diukur sepanjang radius yang ditetapkan dan berdasarkan jumlah minimal objek pada klaster. Jika terdapat objek diluar radius dan tidak membentuk klaster lain karena jumlah objeknya kurang dari jumlah objek minimum, maka objek tersebut akan dilabeli sebagai *noise* dan dikeluarkan dalam proses analisis.

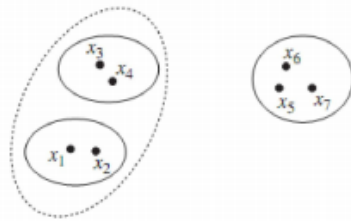
Tindakan kriminal terjadi di berbagai daerah, terutama di kota besar seperti DKI Jakarta. *Economist Intelligence Unit* menyatakan Jakarta berada di urutan pertama kota paling tak aman seingat [1], karena banyaknya tindak kriminal yang terjadi. Bahkan, angka *crime clock* atau jangka waktu terjadinya kejahatan di Jakarta dan sekitarnya pada tahun 2013 terjadi setiap 10 menit 13 detik [2]. Tindakan kriminal yang menonjol ada 11 jenis kasus, yaitu Pencurian dengan kekerasan (Curas), penganiayaan berat (Anirat), pembunuhan, kebakaran, pemerasan, narkoba, kenakalan remaja, pencurian dengan pemberatan (Curat), pencurian kendaraan bermotor (Curanmor), judi dan pemerkosaan [3]. Hasil klastering dari data kriminal tersebut dapat memberikan informasi mengenai daerah-daerah yang rawan tindak kriminal, atau daerah yang memerlukan pengamanan khusus, daerah yang cukup aman untuk ditinggali, dan lain-lain.

Klastering

Klastering merupakan metode untuk mengelompokkan data dalam suatu klaster yang homogen. Artinya, data pada klaster yang sama memiliki tingkat keserupaan yang tinggi, sebaliknya, data pada klaster yang berbeda memiliki tingkat keserupaan yang rendah, atau nilai perbedaan yang tinggi.

Definisi 2.1 [4] Diberikan seperangkat data vektor $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$. kelompokkan data vektor tersebut sedemikian sehingga vektor yang lebih serupa akan berada dalam kelas yang sama dan vektor yang kurang serupa akan berada pada kelas yang berbeda. Seperangkat \mathfrak{R} yang mengandung kelas-kelas ini disebut sebuah klastering dari X .

Contoh 2.1 [4]



Gambar 2.1 Contoh klastering.

Berdasarkan definisi 2.1, maka klastering yang diperoleh dari gambar 2.1 adalah, $\mathfrak{R}_1 = \{ x_1, x_2, x_3, x_4 \}$ dan $\mathfrak{R}_2 = \{ x_5, x_6, x_7 \}$.

Tingkat keserupaan data dihitung berdasarkan nilai proximity. Proximity biasanya dinyatakan dengan koefisien disimilaritas. Disimilaritas dihitung menggunakan jarak *Euclidean*, yang dinyatakan dengan persamaan,[5]

$$d_{ik} = \sum_{i=1}^n x_i - v_k^2 \quad (1)$$

Klastering dilakukan melalui berbagai pendekatan, diantaranya pendekatan partisi, hierarki, densitas, grid dan model [6][7]. Klastering yang akan dipaparkan dalam makalah ini adalah fuzzy c-mean (FCM) dan *Density-Based Spasial Clustering an Application with Noise* (DBSCAN). Fuzzy c-Means (FCM) merupakan salah satu metode *fuzzy clustering* yang berbasis klastering partisi, sedangkan DBSCAN adalah metode klastering berbasis densitas (kepadatan).

Fuzzy c-Means (FCM)

Metode klastering fuzzy c-mean (FCM) pertama kali diperkenalkan oleh J.C. Bezdek (1981). Fuzzy c-means memungkinkan setiap objek berada dalam beberapa klaster, namun jika dijumlahkan maka derajat keanggotaannya adalah satu. Secara sederhana, ide dasar FCM adalah membagi n buah data kedalam himpunan yang tidak unik. Tujuannya untuk memperbaiki data klaster berdasarkan derajat keanggotaan, dimana derajat keanggotaan tiap objek berupa bilangan riil pada selang [0,1] dan meminimalkan fungsi objektif. Fungsi objektif diperoleh dari jumlah kuadrat error antara semua objek dengan center klaster.

Dalam FCM, derajat keanggotaan dan center untuk tiap klaster diperoleh melalui persamaan, [6]

$$\mu_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^m X_{ij} - V_{kj}^2^{-\frac{1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c \sum_{j=1}^m X_{ij} - V_{kj}^2^{-\frac{1}{w-1}}} \quad (2)$$

dan

$$C_{kj} = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_{ik}^w \cdot X_{ij})}{\sum_{i=1}^n \mu_{ik}^w} \quad (3)$$

Namun, FCM memiliki beberapa kekurangan, yaitu jumlah kluster ditentukan di awal, sehingga jumlah kluster alami tidak diketahui, pemilihan jumlah kluster ini pun diserahkan kepada pengguna. Hasil klustering juga bergantung pada inisialisasi center awal, sehingga fungsi objektif cenderung menghasilkan nilai optimum lokal. Serta kluster yang dihasilkan berbentuk oval atau bulat. Algoritma FCM secara umum dinyatakan pada algoritma 2.1.

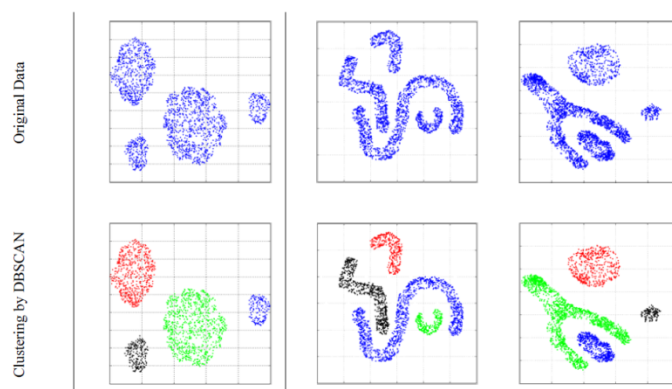
Algoritma 2.1 Algoritma FCM [5][8][9]

1. Tentukan jumlah kluster c .
2. Tentukan inisialisasi derajat keanggotaan $\mu_k(x_i)$, dengan

$$\sum_{k=1}^c \mu_k(x_i) = 1$$
3. **Repeat**
 Hitung center C_j tiap kluster menggunakan $\mu_k(x_i)$
 Hitung kembali derajat keanggotaan $\mu_k(x_i)$
4. **Until** C_j stabil (tidak berubah atau nilai error kecil)

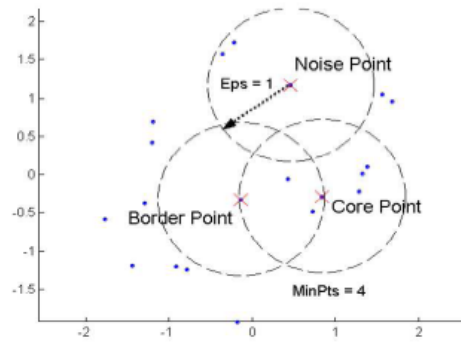
Density-Based Spasial Clustering an Application with Noise (DBSCAN)

Algoritma *Density-Based Spasial Clustering an Application with Noise* (DBSCAN) pertama kali diperkenalkan oleh Ester dkk [10]. DBSCAN merupakan algoritma klustering yang berdasarkan tingkat kerapatan data (*density-based*) [11]. Wilayah yang memiliki tingkat kepadatan tinggi akan ditemukan sebagai kluster, sedangkan wilayah dengan kepadatan rendah akan dinyatakan sebagai *noise* atau kluster *outlier* [12].



Gambar 2.2 Hasil klustering menggunakan DBSCAN [13].

Pokok pikiran dari DBSCAN adalah untuk setiap titik dalam kluster, terdapat sejumlah tetangga pada radius tertentu, yang memiliki paling sedikit *MinPts* objek. Sehingga diperlukan dua parameter utama dalam DBSCAN, yaitu *eps* dan *MinPts*. *Eps* menyatakan radius ketetanggaan antarobjek, dan *MinPts* menyatakan jumlah minimal objek dalam suatu kluster. Selanjutnya, objek-objek yang berada pada radius *eps* dari objek yang diamati disebut titik inti (*core point*), sedangkan objek yang memiliki kedekatan dengan objek inti disebut titik tepi (*border point*). Objek yang tidak termasuk titik inti dan titik tepi, disebut titik *noise* [8] [10] [12].



Gambar 2.3 Titik inti (*core point*), titik tepi (*border point*) dan *noise*.

Karena memanfaatkan densitas data, DBSCAN dapat membagi objek menjadi kluster yang terpisah dan menemukan kluster dengan bentuk yang berbeda-beda. Seperti yang nampak pada gambar 2.2 di atas. Secara umum, algoritma DBSCAN dinyatakan pada Algoritma 2.2

Algoritma 2.2 Algoritma DBSCAN [8]

1. Labeli seluruh titik sebagai titik inti, titik tepi dan *noise*.
2. Eliminasi titik-titik *noise*.
3. Ambil titik tepi diantara titik-titik inti, kemudian periksa apakah titik tersebut berada pada jangkauan radius *eps*.
4. Jadikan setiap kelompok titik poin yang terhubung menjadi kluster.
5. Tentukan setiap titik tepi ke dalam kluster jika bersesuaian dengan titik inti.

Validasi Kluster dengan *Silhouette Coefficient* (SC)

Untuk mengetahui kualitas hasil kluster, maka hasil klustering dievaluasi menggunakan *silhouette coefficient* (SC). *Silhouette coefficient* (SC) yang merupakan indeks validasi yang diperkenalkan oleh Peter J. Rousseeuw pada tahun 1986. Dalam teknik ini, setiap kluster dievaluasi menggunakan pendekatan per objek. *Silhouette coefficient* untuk objek *i* adalah, [14]

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max a_i, b_i} \tag{4}$$

dimana a_i adalah rata-rata jarak antara objek *i* dengan semua objek di klasternya, dan b_i adalah rata-rata jarak objek *i* dengan semua objek di kluster lain yang terdekat. Nilai s_i akan berada pada rentang nilai [-1,1]. Jika $s_i = -1$, maka objek *i* seharusnya tidak berada dalam kluster tersebut, sedangkan jika $s_i = 1$, maka objek *i* berada pada kluster yang tepat. *Silhouette coefficient* untuk keseluruhan hasil kluster diperoleh dengan merata-ratakan *silhouette coefficient* dari seluruh objek [14].

Klustering Menggunakan FCM dan DBSCAN

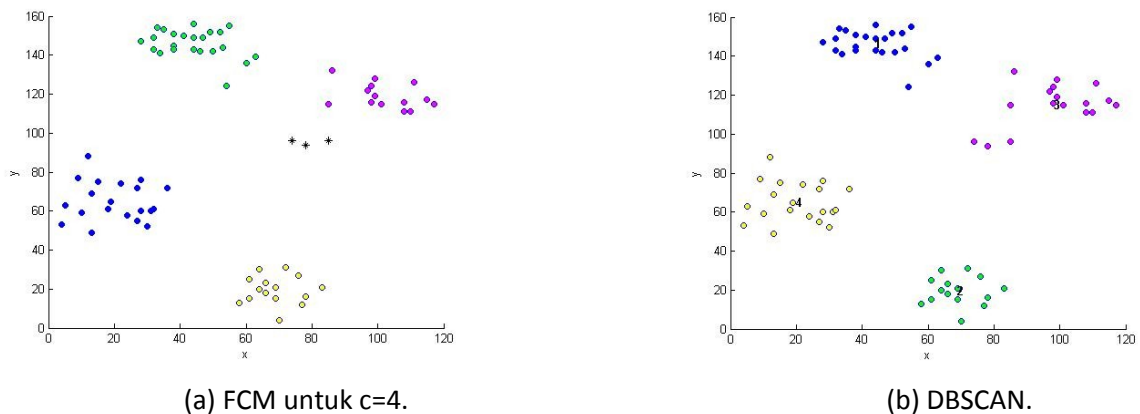
Untuk mengetahui kinerja kedua algoritma tersebut, percobaan dilakukan pada data ruspini dan data kriminal DKI Jakarta tahun 2010. Data ruspini merupakan data simulasi yang dibuat oleh ruspini untuk mengevaluasi algoritma FCM [6]. Sedangkan, data kriminal DKI Jakarta tahun 2010 diperoleh dari berbagai polsek dan polres di DKI Jakarta dan sekitarnya. Klustering dilakukan pada 3 variasi data, yaitu (1) Bunuh, Anirat, Curat dan Curas, (2) Curanmor (Roda 2, Roda 3 dan Roda 4), dan (3)

Narkotika dan Kenakalan Remaja. Pada FCM, data dibagi menjadi 2 hingga 9 kluster, iterasi maksimum yang ditentukan adalah 150 iterasi, *error* terkecil untuk fungsi objektif adalah 10^{-5} dan derajat fuzzifikasi yang dipilih adalah $w = 2$. Pada DBSCAN, dipilih radius $eps = 15$ dan $MinPts = 7$. Hasil klustering terbaik ditentukan dengan SC terbesar.

Tabel 3.1 Hasil Klustering pada data ruspini

FCM			DBSCAN
Min	Max	Rata-rata	
0,6267	0,9091	0,7511	0,8754

Berdasarkan hasil klustering terhadap data ruspini, jumlah kluster yang memiliki nilai SC maksimal pada FCM diperoleh ketika $c = 4$ dengan $SC = 0,9091$. DBSCAN menghasilkan 4 kluster yang padat secara otomatis, meskipun nilai SC yang dihasilkan lebih kecil daripada FCM. Selain itu, DBSCAN juga menemukan 3 titik sebagai noise, sehingga tidak disertakan dalam analisis.



Gambar 3.1 Plot hasil klustering data Ruspini.

Tabel 3.2 Hasil klastering FCM pada data kriminal DKI Jakarta tahun 2010.

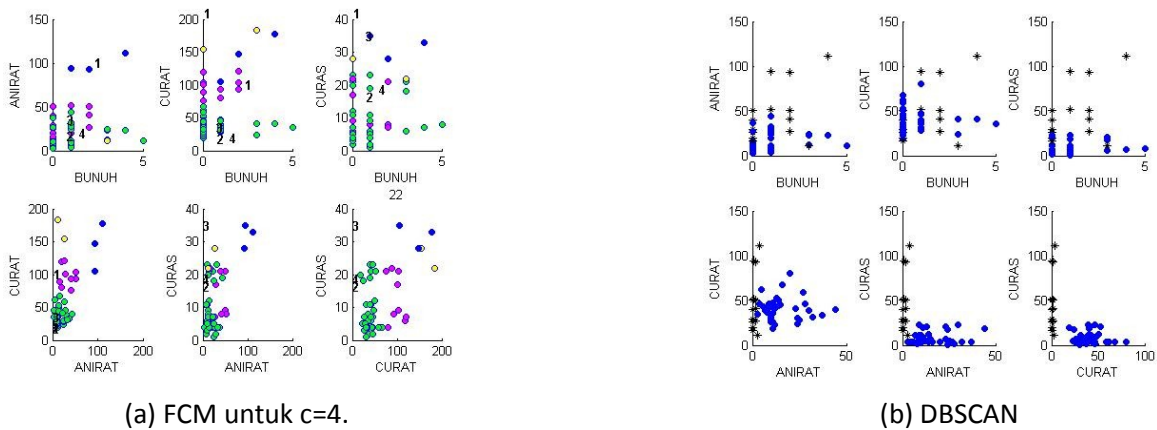
Data ke-	K							
	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,6650	0,5752	0,7166	0,5855	0,4779	0,4954	0,4917	0,5538
2	0,7583	0,7752	0,7279	0,6790	0,5957	0,5355	0,5032	0,5620
3	0,6597	0,8020	0,7617	0,7733	0,7556	0,6889	0,8097	0,8168

Pada tabel 3.2 di atas, nilai SC yang diperoleh FCM tidak menunjukkan konvergen menuju suatu jumlah kluster k , sehingga tidak dapat ditentukan berapa jumlah kluster optimal. Namun, berdasarkan nilai SC terbesar, maka untuk variasi data pertama menunjukkan kluster terbaik adalah $c=4$, untuk data kedua adalah $c=3$ dan data ketiga adalah $c=9$. Sedangkan pada DBSCAN, diperoleh kluster optimal di semua jenis variasi data adalah satu kluster. Berikut perbandingan FCM dan DBSCAN untuk data Kriminal DKI Jakarta tahun 2010.

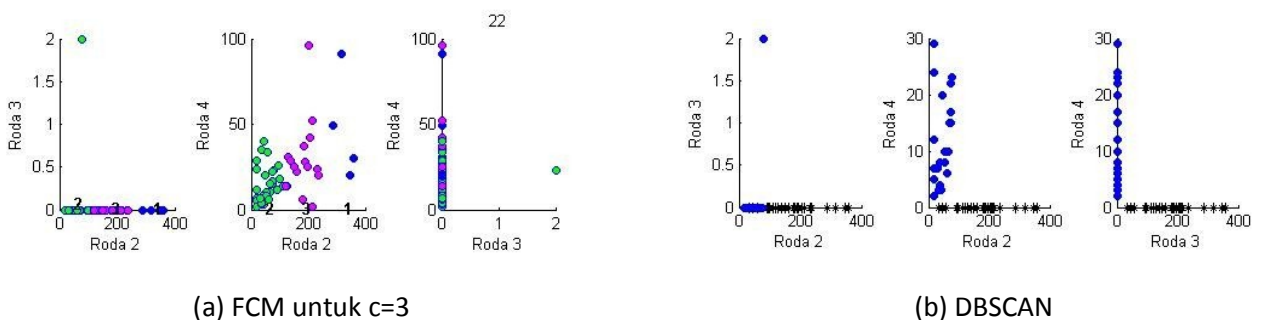
Tabel 3.3 Perbandingan nilai SC hasil klastering Data Kriminal DKI Jakarta 2010.

Data ke-	FCM			DBSCAN
	Min	Max	Rata-rata	
1	0,4779	0,7166	0,5701	0,9255
2	0,5032	0,7752	0,6421	0,9546
3	0,6597	0,8168	0,7585	0,9904

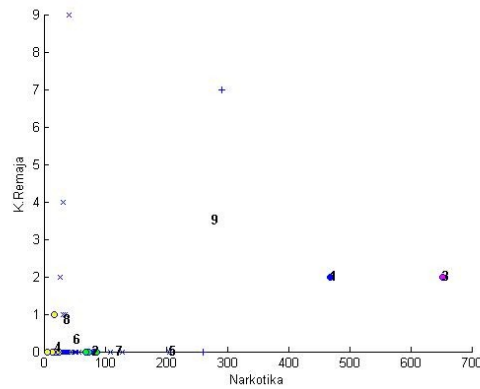
DBSCAN menghasilkan nilai SC yang lebih besar daripada FCM. Bahkan kluster yang terbentuk sangat kuat. Namun jumlah kluster yang terdeteksi hanya satu kluster, artinya banyak objek yang tersebar di luar radius yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan, meskipun nilai SC pada DBSCAN mendekati satu, namun jumlah kluster yang dihasilkan tidak mewakili kondisi yang sebenarnya.



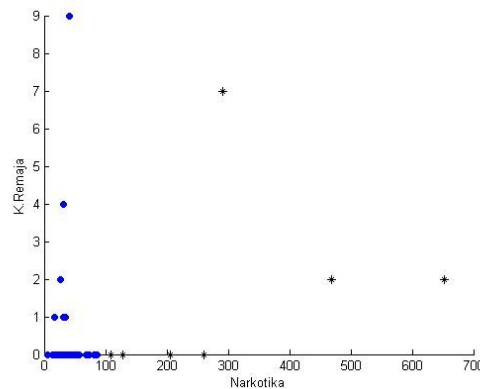
Gambar 3.2 Hasil klastering DBSCAN data pertama.



Gambar 3.3 Hasil klastering pada data kedua.



(a) FCM untuk $c=9$



(b) DBSCAN.

Gambar 3.4 Hasil klastering data ketiga menggunakan DBSCAN.

Dari hasil percobaan menunjukkan bahwa meskipun DBSCAN dapat menemukan kluster secara otomatis, tetapi proses klastering masih bergantung pada nilai parameter radius eps dan $MinPts$. Jika nilai eps dan $MinPts$ terlalu kecil, maka DBSCAN tidak akan menemukan kecenderungan kluster, dan jika terlalu besar, memungkinkan semua objek berada dalam satu kluster. Selain itu, DBSCAN tidak cocok diterapkan pada data yang memiliki kepadatan yang beragam.

Kesimpulan

Pada data ruspini, FCM menghasilkan kluster yang kuat untuk $c=2$ hingga $c=6$, sedangkan DBSCAN menemukan 4 kluster secara otomatis. Pada data kriminal, FCM menghasilkan jumlah kluster yang beragam pada variasi data, sedangkan DBSCAN menghasilkan satu kluster dengan status kluster kuat.

DBSCAN menghasilkan kluster yang lebih baik pada variasi data kriminal. namun, kondisi data yang memiliki kepadatan beragam, menyebabkan kluster yang ditemukan hanya satu, sedangkan sisanya menjadi noise yang tersebar. Fuzzy c-means memang mengharuskan jumlah kluster ditetapkan di awal, sehingga dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Allah SWT atas limpahan rahmat yang tidak terkira, kepada kedua orang tua serta keluarga besar, dan kepada Bapak Dr. Arief Fatchul Huda, S.Si selaku dosen pembimbing, serta seluruh dosen dan staf di Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Gunung Djati Bandung atas segala dukungan, pengajaran dan kesempatan untuk menjadi pribadi yang lebih baik.

Referensi

- [1] Yohannie Linggasari dan D.F. Putra, , Jakarta Kota Paling Tak Aman Sejangat, CCTV & Sniper disiapkan. CNN Indonesia, Kamis 29 Januari 2015. Tersedia di <http://www.cnnindonesia.com> [diakses 13 April 2015].
- [2] Republika. 2013. Di Jakarta, Kejahatan Terjadi Setiap 10 menit 13 detik. Tersedia di <http://www.republika.co.id/> [diakses 13 April 2015].
- [3] Wartakota, 27 Desember 2012 18:15 WIB, "Inilah jumlah kasus kriminal di Ibukota Jakarta", Tersedia di <http://wartakota.tribunnews.com/2012/12/27> [diakses 13 April 2015].
- [4] Danny Kurnianto, "BAB 7: Clustering", Yogyakarta: Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi UGM.
- [5] Binu Thomas, dan Raju G., "A Novel Fuzzy Clustering Methode for Outlier Detection in Data Mining", International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol.1, No.2, May 2009.
- [6] Guojun Gan, Chaoqun Ma, dan Jianhong Wu, "Data Clustering Theory, Algorithms, and Application", ASA-SIAM series on Statistic and Applied Probability, ASA, 2007.
- [7] Leonard Kauffman, dan Peter J. Rousseeuw, "Finding Grup In Data: An Introduction To Cluster Analysis", John Wiley & Sons, 1990.
- [8] Pang Ning Tan, Michael Steinbach, dan Vipin Kumar, "Introduction to Data Mining", Pearson Addison-Wesley, 2006.
- [9] Sri Kusuma Dewi dan Hari Purnomo, "Applikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan", edisi 2. Cet.1, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.
- [10] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, J. Sander, dan Xiaowei Xu, "A Density-Based Algorhythm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise", Institute for Computer Science, University of Munich, German, KDD-96 Proceeding, 1996.
- [11] Rudianto, "Thesis: clustering menggunakan Algoritma DBSCAN (*Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise*) untuk data hasil produksi potensi pertanian, Studi kasus: Kabupaten Gresik", S2 Ilmu Komputer UGM, 2011.
- [12] Andriano Moreira, Maribel Y. Santos, dan Sofia Camelro, "Density-based Clustering Algorithms-DBSCAN and SNN", University of Minho, Portugal.2005.
- [13] K. Mumtaz, dan K. Duraiswamy, "An Analysis on Density Based Clustering of Multi Dimensional Spatial Data". Indian Journal of Computer Science and Engineering. Vol. 1 No.1.8-12. ISSN: 0976-5166.
- [14] Peter J. Rousseeuw, "Silhouettes: A Graphical Aid To The Interpretation And Validation Of Cluster Analysis", Journal Of Computational And Applied Mathematics 20 (1987) 56-65, North-Holland, 1986.
- [15] Jivan Nepali, "Implementation of DBSCAN Algorithm in MATLAB", Tersedia di <http://nepalijivan.blogspot.com/p/implementation-of-dbscan-algorithm-in.html> [diakses 13 April 2015].
- [16] Sergios Theodoridis, dan Konstantinos Koutroumbas, "Pattern Recognition", 3rd Edition, Elsevier USA, 2006.
- [17] Sri Andayani, "Pembentukan Cluster Dalam Knowledge Discovery In Database Dengan Algoritma K-Means", Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY.

ESTIMASI *CONFIDENCE INTERVAL* BOOTSTRAP MODEL PROSES GEOMETRIK PADA ANALISIS DATA MASA HIDUP

Asep Solih A^{1a)} Rini Cahyandari²⁾ Neng Ayu Astuti³⁾

¹UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²UIN Sunan Gunung Djati Bandung

³UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^aasolih@uin.sgd.ac.id

Abstrak

Proses geometrik merupakan salah satu proses pembaharuan (*renewal process*) pada pengamatan sistem atau komponen dalam analisis data masa hidup.

Tulisan ini bertujuan untuk membangun model proses geometrik pada analisis uji hidup dalam dua kondisi yaitu dalam keadaan uji hidup dipercepat (*accelerated test*) dan menentukan taksiran parameter model. Asumsi data berdistribusi Eksponensial dan Weibull, dengan metode taksiran parameter yang digunakan adalah *maximum likelihood estimation* (MLE) digunakan dalam tulisan ini. Metode Newton Raphson digunakan untuk menyelesaikan nilai taksiran titik parameter yang berbentuk implisit. Estimasi *Confidence Interval* (CI) untuk masing-masing distribusi menggunakan *bootstrap percentil CI*.

Kata kunci: Proses geometrik, Uji hidup dipercepat, Bootstrap Percentil CI, Maksimum Likelihood Estimation (MLE)

Pendahuluan

Pemeliharaan (*maintenance*) pada kerusakan sistem atau komponen bisa dilakukan dengan cara penggantian atau perbaikan. Ketika sistem atau komponen dilakukan penggantian maka rata-rata laju kerusakan (*failure-rate*) akan kembali pada kondisi seperti baru. Proses seperti ini dikenal dengan proses pembaharuan (*renewal*). Beberapa proses pembaharuan produk diantaranya proses gamma atau proses geometrik [1]. Konsep proses geometrik (GP) pertama kali diperkenalkan oleh Lam pada tahun 1988 [1]. Lam mempelajari model proses geometrik untuk sistem atau komponen multi jarak dan menentukan kebijakan penggantian yang optimal serta meminimalkan biaya rata-rata jangka panjang per satuan waktu. Zhang [2] menggunakan proses geometrik untuk memodelkan sistem atau komponen dengan perbaikan sederhana. Huang [3] yang memanfaatkan proses geometrik untuk analisis uji hidup dipercepat dengan sampel distribusi eksponensial lengkap dan disensor di bawah tekanan konstan. Tulisan ini melakukan pendekatan model lain untuk distribusi yang lebih kompleks yaitu distribusi Weibull untuk data lengkap. Beberapa model dikembangkan tidak hanya asumsi dari jenis distribusi eksponensial dan Weibull, tetapi juga asumsi pendekatan uji

yaitu uji normal dan uji dipercepat. Estimasi parameter dengan metoda maksimum likelihood dan bootstrap *confidence interval percentile* dilakukan dalam penelitian ini.

Teori

A. Proses Geometrik/ *Geometric Process (GP)*

Konsep proses geometrik (GP) pertama kali diperkenalkan oleh Lam pada tahun 1988 [4].

Definisi 1 Urutan variabel acak nonnegatif $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ dikatakan GP, jika independen dan fungsi distribusi X_n diberikan oleh $F(\lambda^{n-1}x)$ untuk $n = 1, 2, \dots$, dimana $\lambda > 0$ disebut rasio GP [6]. Barisan $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ adalah GP dan fungsi kepadatan X_1 adalah f , kemudian berdasarkan definisi 3.1, fungsi kepadatan peluang X_n adalah sebagai berikut $\lambda^{n-1}f(\lambda^{n-1}x)$.

Definisi 2 Proses stokastik $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ dikatakan GP, jika terdapat bilangan riil $\lambda > 0$ sedemikian sehingga $\{\lambda^{n-1}X_n, n = 1, 2, \dots\}$ membentuk proses pembaharuan. Bilangan positif λ disebut rasio GP [6].

Definisi 1 dan 2 setara (*equivalent*). Hal ini jelas untuk melihat bahwa GP sebuah stokastik meningkat jika $0 < \lambda \leq 1$ dan stokastik menurun jika $\lambda \geq 1$. GP akan menjadi proses pembaharuan jika rasio $\lambda = 1$. Oleh karena itu, GP adalah proses monoton yang sederhana dan generalisasi dari proses pembaharuan.

Asumsikan bahwa $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ adalah GP dengan rasio λ . Misalkan fungsi distribusi dan fungsi kepadatan X_1 masing-masing adalah F dan f , dan dinotasikan $E(X_1) = \mu$ dan $Var(X_1) = \sigma^2$. Maka *pdf* dari X_n akan diberikan $\lambda^{n-1}f(\lambda^{n-1}x)$ dengan $E X_n = \frac{\mu}{\lambda^{n-1}}$ dan $Var X = \frac{\sigma^2}{\lambda^{2(n-1)}}$. Jadi λ , μ dan σ^2 tiga parameter penting dari GP.

Asumsi model untuk proses geometrik [9]:

Asumsi 1. Pada awalnya, sistem atau komponen baru dipasang. Setiap kali sistem atau komponen rusak, maka akan diperbaiki. Sebuah kebijakan penggantian N diterapkan dimana sistem atau komponen ini diganti dengan yang baru dan identik pada saat menyusul kerusakan N berikutnya.

Asumsi 2. Misalkan X_1 menjadi waktu operasi sistem atau komponen setelah instalasi atau pengganti. Secara umum, untuk $n > 1$ misalkan X_n menjadi waktu operasi sistem atau komponen setelah $(n - 1)$ perbaikan, maka $\{X_n, n = 1, 2, \dots\}$ membentuk GP dengan $E X_1 = \mu > 0$ dan rasio λ . Selain itu, biarkan Y_n menjadi waktu perbaikan sistem atau komponen setelah kerusakan n , maka $\{Y_n, n = 1, 2, \dots\}$ merupakan GP dengan $E Y_1 = \alpha \geq 0$ dan rasio b . Misalkan waktu penggantian menjadi Z dengan $E Z = \tau$.

Asumsi 3. Tingkat operasi r , tingkat biaya perbaikan c . Biaya penggantian terdiri dari dua bagian: satu bagian adalah dasar biaya penggantian R , dan bagian lain sebanding dengan waktu penggantian Z pada tingkat c_p . Selain itu, asumsi tambahan terbuat dari salah satu dua asumsi berikut.

Asumsi 4. $\lambda \geq 1$ dan $0 < b \leq 1$.

Asumsi 4'. $0 < \lambda \leq 1$ dan $b \geq 1$ kecuali kasus $\lambda = b = 1$.

Asumsi 1 – 4, model GP untuk sistem atau komponen yang memburuk. Namun, asumsi 1 – 3 dan 4', model GP untuk memperbaiki sistem atau komponen.

B. Uji Hidup Dipercepat (*Accelerated Life Testing/ALT*)

Uji hidup dipercepat adalah suatu uji keandalan sistem atau komponen dengan cara menaikkan kondisi tegangan (percepatan tegangan): temperatur, kelembaban, getaran, dll., atau dengan cara menggunakan produk secara terus-menerus tanpa mengubah kondisi pengoperasian (percepatan waktu kerusakan). Pada uji hidup dipercepat digunakan model yang menghubungkan

distribusi tahan hidup pada kondisi dipercepat dengan kondisi normal, uji pada kondisi dipercepat harus dirancang sedemikian rupa sehingga mekanisme kerusakan sistem atau komponen identik dengan penggunaan kondisi normal. Contoh sistem atau komponen yang penggunaannya konstan adalah unit pembangkit tenaga listrik, satelit komunikasi, monitor pengendali rute udara, dan lain-lain. Produk tersebut diuji keandalannya dengan percepatan tegangan atau mengubah kondisi operasi normal (temperatur, kelembaban, arus, dan lain-lain) [1].

Ada 3 model terkait dengan data kerusakan pada ALT:

- 1) Model data statistika (parametrik & non parametrik)
- 2) Model data fisika-statistika
- 3) Model data fisika-eksperimen

Pendekatan mempercepat waktu kerusakan dengan tingkat penggunaan biasanya cocok untuk produk/komponen yang digunakan atas dasar kontinuitas waktu misalnya ban, pemanggang roti, pemanas air, dan lampu. Sering diasumsikan bahwa transformasi skala waktu (faktor percepatan) $A_F > 1$ adalah konstan, dan disebut percepatan linier.

Hubungan antara kondisi dipercepat dan kondisi normal ditunjukkan sebagai berikut:

1. Hubungan antara waktu kerusakan pada saat kondisi normal dan kondisi tegang:

$$t_0 = A_F \times t_s$$

2. Fungsi distribusi kumulatif

$$F_0 = F_s \frac{t}{A_F}$$

3. Fungsi peluang densitas

$$f_0 t = \frac{1}{A_F} f_s \frac{t}{A_F}$$

4. Laju kerusakan

$$h_0 t = \frac{f_0 t}{1 - F_0(t)} = \frac{\frac{1}{A_F} f_s \frac{t}{A_F}}{1 - F_s \frac{t}{A_F}} = \frac{1}{A_F} h_s \frac{t}{A_F}$$

t_0 : waktu kerusakan pada kondisi operasi normal

t_s : waktu kerusakan pada kondisi operasi dipercepat

A_F : faktor percepatan

$F_0(t)$: fungsi distribusi kumulatif waktu kerusakan pada saat kondisi operasi normal

$F_s(t)$: fungsi distribusi kumulatif waktu kerusakan pada saat kondisi operasi dipercepat

f_0 : fungsi densitas peluang waktu kerusakan pada saat kondisi operasi normal

f_s : fungsi densitas peluang waktu kerusakan pada saat kondisi operasi dipercepat

h_0 : fungsi kerusakan pada saat kondisi operasi normal

h_s : fungsi kerusakan pada saat kondisi operasi dipercepat

C. Karakteristik Sampel Data

Dalam penelitian uji hidup, data waktu hidup dapat berbentuk data lengkap, data tersensor [8].

a. Data Lengkap

Pada pengambilan data menggunakan data lengkap, percobaan akan dihentikan jika semua komponen atau individu yang teliti rusak atau mati [4]. Metode menggunakan data lengkap memerlukan waktu yang lama sehingga jarang digunakan. Data lengkap dapat dirumuskan sebagai :

$$l(\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \theta)$$

b. Data Tensensor

Data tensensor adalah data yang diperoleh sebelum semua data teramati waktu hidupnya, sedangkan waktu pengamatan telah berakhir atau sebab lain. Pada data tensensor terdapat dua jenis data yaitu data tensensor tipe I dan data tensensor tipe II [4].

Data tensensor tipe I merupakan data uji hidup yang dihasilkan setelah penelitian berjalan selama waktu yang telah ditentukan.

Sedangkan data tensensor tipe II merupakan data hasil penelitian dimana penelitian dihentikan setelah kematian atau kerusakan tertentu yang telah terjadi. Data tensensor tipe I dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$l = \prod_{i=1}^n f(x_i)^{\delta_i} R(x_i)^{1-\delta_i}$$

Dimana $f(x_i)$ adalah fungsi distribusinya dan $R(x_i)$ adalah untuk nilai reliabilitasnya.

Data tensensor tipe II merupakan data kematian atau kerusakan yang tidak lengkap (*incomplete mortality data*) yaitu data waktu kematian atau kerusakan dari r observasi terkecil dalam sampel random yang berukuran n dengan $1 \leq r \leq n$, dan dapat dirumuskan sebagai :

$$L_{III}(\sigma, \beta) = \frac{n!}{(n-r)!} \prod_{i=1}^r f(x_i) R(x_r)^{n-r}$$

Dalam suatu penelitian, penyensoran tipe II lebih sering digunakan, yaitu dalam uji hidup yang terdapat observasi sebanyak n , tetapi penelitian dihentikan ketika observasi mengalami kerusakan ke- r , sehingga dapat menghemat waktu dan biaya. Dalam penyensoran ini, r ditentukan terlebih dahulu sebelum data dikumpulkan.

Hasil dan Diskusi

Model dan estimasi parameter yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

A. Model Proses Geometrik Eksponensial untuk Analisis Uji Hidup Dipercepat

Model proses geometrik eksponensial untuk analisis uji hidup dipercepat pada data masa hidup produk didasarkan pada asumsi sebagai berikut:

1. Misalkan uji hidup dipercepat $Z_k, k = 1, 2, \dots, s$. Sebuah sampel acak dari $N_i, i = 1, 2, \dots, n$, dengan item identik ditempatkan pada setiap tingkat tekanan dan mulai beroperasi pada waktu yang sama. Setiap kali item rusak, item tersebut akan diganti dan akan diamati dengan waktu kerusakan x_{ki} .
2. Setiap tekanan terdapat *rate* konstan, untuk distribusi masa hidup memiliki satu parameter eksponensial.
3. Misalkan urutan variabel acak $X_0, X_1, X_2, \dots, X_s$, menunjukkan daya tahan setiap tingkat tekanan, dimana X_0 menunjukkan model tekanan seumur hidup. Kita asumsikan $X_k, k = 1, 2, \dots, s$ adalah proses geometrik dengan rasio $\lambda > 0$.

Berdasarkan definisi 1, jika fungsi kepadatan X_0 adalah $f(x)$, maka fungsi kepadatan peluang X_k adalah sebagai berikut

$$\lambda^k f(\lambda^k x), k = 0, 1, \dots, s$$

Sehingga *pdf* untuk produk seumur hidup pada tingkat tekanan k^{th}

$$f_{x_k} x \alpha, \lambda = \frac{\lambda^k}{\alpha} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x \quad (1)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa jika daya tahan meningkat maka akan membentuk proses geometrik dengan rasio λ dan jika model distribusi eksponensial pada masa hidup tingkat tekanan dengan karakteristik masa hidup α , maka untuk distribusi eksponensial masa hidup pada tingkat tekanan k^{th} dengan karakteristik masa hidup $\frac{\alpha}{\lambda^k}$.

B. Model Proses Geometrik Weibull untuk Analisis Uji Hidup Dipercepat

Model proses geometrik Weibull untuk analisis uji hidup dipercepat pada data masa hidup produk didasarkan pada asumsi sebagai berikut [5]:

1. Misalkan uji hidup dipercepat z_k , $k = 1, 2, \dots, s$. Sebuah sampel acak dari N_i , $i = 1, 2, \dots, n$, dengan item identik ditempatkan pada setiap tingkat tekanan dan mulai beroperasi pada waktu yang sama. Setiap kali item rusak, item tersebut akan diganti dan akan diamati dengan waktu kerusakan x_{ki} .
2. Setiap tekanan terdapat tingkat konstan, untuk produk seumur hidup memiliki dua parameter Weibull.
3. Bentuk parameter β Weibull adalah konstan, yaitu independen dari tekanan.
4. Misalkan urutan variabel acak $X_0, X_1, X_2, \dots, X_s$, menunjukkan daya tahan setiap tingkat tekanan, dimana X_0 menunjukkan model tekanan seumur hidup. Kita asumsikan $X_k, k = 1, 2, \dots, s$ adalah proses geometrik dengan rasio $\lambda > 0$.

Berdasarkan definisi 1, jika fungsi kepadatan X_0 adalah $f(x)$, maka fungsi kepadatan peluang X_k adalah sebagai berikut

$$\lambda^k f \lambda^k x, k = 0, 1, \dots, s$$

Sehingga pdf untuk produk seumur hidup pada tingkat tekanan k^{th}

$$f_{x_k} x \alpha, \beta, \lambda = \frac{\lambda^k}{\alpha} \beta x^{\beta-1} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x^\beta \quad (2)$$

Persamaan (2) menunjukkan bahwa jika daya tahan meningkat maka akan membentuk proses geometrik dengan rasio λ dan jika model distribusi Weibull pada masa hidup tingkat tekanan dengan karakteristik masa hidup α , maka untuk distribusi Weibull masa hidup pada tingkat tekanan k^{th} dengan karakteristik masa hidup $\frac{\alpha}{\lambda^k}$.

C. Estimasi Parameter Model Proses Geometrik Eksponensial untuk Analisis Hidup Dipercepat

Berdasarkan rumus estimasi parameter model proses geometrik eksponensial untuk analisis uji hidup dipercepat pada data masa hidup produk adalah:

$$l \lambda, \alpha = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\lambda^k}{\alpha} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}$$

Ln dari fungsi *likelihood* dapat ditulis sebagai berikut

$$\begin{aligned} \ln l \lambda, \alpha &= \ln \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\lambda^k}{\alpha} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki} \\ \ln l \lambda, \alpha &= \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n k \log \lambda - \log \alpha - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki} \end{aligned}$$

Turunan parsial pertama dan kedua persamaan terhadap λ dan α berturut-turut adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial l}{\partial \alpha} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n -\frac{1}{\alpha} + \frac{\lambda^k}{\alpha^2} x_{ki}$$

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{k}{\lambda} - \frac{k\lambda^k}{\lambda^{\alpha}} x_{ki}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \lambda^2} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n -\frac{k}{\lambda^2} - \frac{k(k-1)\lambda^{k-1}}{\lambda^{\alpha}} x_{ki}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \lambda \partial \alpha} = \frac{\partial^2 l}{\partial \alpha \partial \lambda} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{k\lambda^k}{\lambda^{\alpha^2}} x_{ki}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \alpha^2} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha^2} - 2 \frac{\lambda^k}{\alpha^3} x_{ki}$$

D. Estimasi Parameter Model Proses Geometrik Weibull untuk Analisis Uji Hidup Dipercepat

Berdasarkan rumus estimasi parameter model proses geometrik Weibull untuk analisis uji hidup dipercepat pada data masa hidup produk adalah [5]:

$$l(\lambda, \alpha, \beta) = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\lambda^k}{\alpha} \beta x_{ki}^{\beta-1} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

Ln dari fungsi *likelihood* dari persamaan di atas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\ln l(\lambda, \alpha, \beta) = \ln \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\lambda^k}{\alpha} \beta x_{ki}^{\beta-1} \exp - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

$$l(\lambda, \alpha, \beta) = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \beta k \log \lambda - \beta \log \alpha + \log \beta + \beta - 1 \log x_{ki} - \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

Turunan parsial pertama dan kedua terhadap λ dan α adalah :

$$\frac{\partial l}{\partial \alpha} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n -\frac{\beta}{\alpha} + \frac{\beta}{\alpha} \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\beta k}{\lambda} - \frac{\beta k}{\lambda} \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \lambda^2} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n -\frac{\beta k}{\lambda^2} - \frac{\beta k(\beta k - 1)}{\lambda^2} \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \lambda \partial \alpha} = \frac{\partial^2 l}{\partial \alpha \partial \lambda} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\beta^2 k}{\alpha \lambda} \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

$$\frac{\partial^2 l}{\partial \alpha^2} = \sum_{k=1}^s \sum_{i=1}^n \frac{\beta}{\alpha^2} - \frac{\beta(\beta - 1)}{\alpha^2} \frac{\lambda^k}{\alpha} x_{ki}^{\beta}$$

Karena nilai estimasi parameter dari λ dan α tidak berbentuk eksplisit, maka untuk mengestimasiya menggunakan metode teknik numerik, yaitu metode Newton – Raphson.

Algoritma Metode Newton-Rahpson[3] :

1. Tentukan nilai awal untuk α^0 dan λ^0 .
2. Untuk iterasi (t+1), $t \geq 0$

$$\alpha^{t+1} = \alpha^{(t)} - \frac{\frac{\partial^2 l}{\partial \alpha^2} l(\lambda, \alpha, \beta)}{\frac{\partial l}{\partial \alpha} l(\lambda, \alpha, \beta)} \quad \lambda^{t+1} = \lambda^{(t)} - \frac{\frac{\partial^2 l}{\partial \lambda^2} l(\lambda, \alpha, \beta)}{\frac{\partial l}{\partial \lambda} l(\lambda, \alpha, \beta)} \quad (\alpha, \lambda)^{(t)}$$

3. Ulangi langkah (2) sampai nilai konvergen.

IV. Algoritma Estimasi Confidence Interval Bootstrap Model Proses Geometrik

Berikut algoritma estimasi confidence interval bootstrap model proses geometrik dengan asumsi distribusi data masa hidup eksponensial dan Weibull.

1. Bangkitkan data distribusi eksponensial dan Weibull
2. Tentukan nilai parameter awal λ
3. Tentukan besarnya tingkat tekanan (s)
4. Tentukan estimasi parameternya λ_1 dan α_1 dari data awal dengan menggunakan metode Newton-Raphson.
5. Lakukan resampling *bootstrap* dengan $p = 1, 2, 3, \dots, P$
 $X_{ki}^*, k = 1, 2, 3, \dots, s; i = 1, 2, 3, \dots, n$
 Dimana $X_{ki}^* \sim W$ $x; \frac{\alpha}{\lambda^k}, \beta$ untuk λ dan α untuk distribusi Weibull
6. Tentukan estimasi parameternya λ_p dan α_p dari data X_{ki}^* dengan menggunakan metode Newton-Raphson. Hasil dari estimasi adalah $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_p$ dan $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_p$
7. Ulangi langkah (6) sampai nilai estimasi parameter konvergen.
8. Urutkan nilai estimasi parameter tersebut.
9. Tentukan rata-rata λ dan α .

$$\lambda = \frac{\sum_{j=1}^q \lambda_j}{q} \text{ dan } \alpha = \frac{\sum_{j=1}^q \alpha_j}{q}$$

10. Tentukan rata-rata nilai *standard error* SE .

$$\text{Untuk } \lambda: SE = \frac{\overline{s^2}}{q} \text{ dengan variansi } s^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (\lambda_j - \lambda)^2}{q-1}$$

$$\text{Untuk } \alpha: SE = \frac{\overline{s^2}}{q} \text{ dengan variansi } s^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (\alpha_j - \alpha)^2}{q-1}$$

11. Tentukan akar rata-rata kuadrat error \overline{MSE}

$$\text{Untuk } \lambda: RMSE = \overline{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^q \lambda_{obs} - \lambda_{model}^2}{q}$$

$$\text{Untuk } \alpha: RMSE = \overline{MSE} = \frac{\sum_{i=1}^q \alpha_{obs} - \alpha_{model}^2}{q}$$

12. Tentukan *bootstrap percentil CI* dengan rumus sebagai berikut:

$$\theta_{\frac{\alpha}{2}}^*, \theta_{1-\frac{\alpha}{2}}^*$$

dimana $\theta_{\frac{\alpha}{2}}^*$ dan $\theta_{1-\frac{\alpha}{2}}^*$ adalah kuartil dari estimasi distribusi *bootstrap*.

V. Perhitungan dan Analisis Hasil Simulasi

Data simulasi membangkitkan data berdistribusi eksponensial dengan parameter awal $n = 20, k = 1, 2, \lambda = 1.05, \alpha = 0.25$ dan berdistribusi Weibull dengan parameter awal $n = 20, k = 1, 2, \lambda = 1.05, \alpha = 0.25, \beta = 2$, diperoleh hasil seperti terlihat dalam Tabel 1.

Pada Tabel 1. Menunjukkan hasil estimasi λ dan α yang mempunyai nilai rata-rata error kuadrat relatif kecil. Nilai λ dan α yang mempunyai SE, \overline{MSE} paling kecil adalah hasil estimasi parameter data yang berdistribusi eksponensial.

Interval kepercayaan *bootstrap* nilai estimasi λ dan α memiliki panjang interval yang tidak jauh berbeda adalah data dengan distribusi eksponensial. Maka berdasarkan SE, \overline{MSE} dan interval

kepercayaan *bootstrap*, estimasi model proses geometrik untuk data distribusi masa hidup produk dengan uji hidup dipercepat terbaik adalah menggunakan data yang berdistribusi eksponensial.

Tabel 4 Hasil Estimasi Parameter

Data	λ	α	β	estimasi	rata-rata	SE	\overline{MSE}	Bootstrap Percentil IC	
								lower	upper
DE	1,05	0,25		α	2,015483	0,15077	2,316755	0,3422	4,9423559
				λ	0,172017	0,021202	0,902972	0,642075	0,1475942
DW	1,05	0,25	2	α	4,809291	0,407422	6,013686	0,724262	13,4418023
				λ	0,559941	0,090378	0,96196	0,23017	0,7630639

Nilai estimasi dan ringkasan statistik sesuai dengan model yang diusulkan diperoleh menggunakan program MATLAB 7.10. Untuk sampel yang diberikan dengan pilihan yang berbeda yaitu eksponensial dan Weibull, diperoleh rata-rata estimasi, rata-rata *standard error* (SE), dan akar kuadrat dari rata-rata kuadrat error *RMSE* .

VI. Kesimpulan

Pendekatan model proses geometrik pada analisis data mata hidup dapat dijadikan sebagai model alternatif untuk analisis data dengan asumsi terjadi proses pembaharuan dari data yang diperoleh berupa data uji hidup dipercepat. Estimasi confidence interval bootstrap dapat memberikan gambaran nilai estimasi parameter untuk menentukan hasil terbaik pendekatan bentuk distribusi yang sesuai dengan data yang ada. Langkah-langkah estimasi telah dibuat dengan asumsi data berdistribusi eksponensial dan distribusi Weibull.

Referensi

- [1] Lam, Yeh., *The geometric process and its application*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2007.(4)
- [2] Zhang, Y. L. *A Geometrical Process Repair Model for a Repairable System with Delayed Repair*. Computers and Mathematics with Applications, vol. 55, pp. 1629-1643, 2008. (11)
- [3] Huang, Shan. *Statistical Inference in Accelerated Life Testing with Geometric Process Model*. Thesis. Faculty San Diego State University, 2011. (2)
- [4] Misbahussurur, Ahmad, S.Si. *Estimasi Parameter Distribusi Gamma dengan Metode Maksimum Likelihood*. UIN Maulana Malik Ibrahim. Malang : 2009. (8)
- [5] Kamal, Mustafa. Zarrin, Shazia. dll. *Weibull Geometric Process Model for Analysis of Accelerated Life Testing with Complete Data*. International Journal of Statistics and Applications, 2(5) : 60-66, 2012.
- [6] Elsayed, E.A. 1996. *Reliability Engineering*. Addison Wesley Longman Inc Reading Massachusetts.
- [7] Lam, Yeh. *A Geometric Process Maintenance Model*. Department of Statistics and Actuarial Science. The University of Hong Kong. Hong Kong: 2010.
- [8] Lawless, J.F. *Statistical Models and Method for Lifetime Data*. University of Waterloo, 1982.
- [9] Mann, N.R. Schafer, R.E. and Singpurwala, N.D. 1974. *Methods for Statistical Analysis of Reliability and Life Data*. John Wiley & Sons. New York.
- [10] Rausand, Marvin & Hsyland, Arnljot. *System Reliability Theory (Models, Statistical Mehods, and Applications second edition halaman 240*. Wiley-Interscience A John Wiley & Sons. Canada: 2004.
- [11] Taylor, Howard M. Karlin, Samuel. *An Introduction Stochastic Modelling 3 Rh Edition*. Academic Press. 1998.

MA-26

Pengembangan Bahan Ajar Aturan Pencacahan dengan Pendekatan Saintifik untuk Siswa SMA

Leli Nur Lathifah^{1,a)}

¹Jurusan Pendidikan Matematika, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Pendidikan Indonesia

^{a)}punyalilagi@gmail.com

Abstrak

Kurikulum 2013 dibuat selaras dengan perkembangan zaman yang semakin pesat. Dalam kurikulum ini, guru dituntut menyediakan pengalaman belajar bagi peserta didik untuk melakukan berbagai kegiatan yang memungkinkan mereka mengembangkan potensi yang dimiliki menjadi kompetensi. Bahan ajar merupakan salah satu alat yang dapat mendukung tujuan tersebut. Diperlukan adanya penelitian dalam pengembangan bahan ajar pada semua materi, salah satunya materi aturan pencacahan. Penelitian ini berbentuk penelitian kualitatif, *research design*, yang bertujuan untuk menelaah bagaimana bentuk tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan yang didasarkan pada analisis *learning obstacle* siswa. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lembar Kerja Siswa dan wawancara. Metode penelitian yang digunakan terdiri dari tiga tahap, yaitu *preliminary design* berupa analisis pendahuluan yang dilakukan di kelas XI, *experiment* yang dilakukan di kelas X, dan *retrospective analysis*. Analisis data yang dilakukan meliputi *data reduction*, *data display*, dan *conclusion*. Berdasarkan hasil analisis data, ditemukan bahwa terdapat beberapa hambatan pada siswa yang bersumber dari bahan ajar sehingga sebagian bahan ajar harus direvisi. Bentuk umum tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan adalah adanya kasus penentuan banyaknya kemungkinan dengan model masalah yang beragam. Secara induktif, siswa membuat kesimpulan tentang konsep dan prinsip pada aturan pencacahan.

Kata kunci :Pengembangan Bahan Ajar, Aturan Pencacahan, Pendekatan Saintifik

Pendahuluan

Matematika merupakan salah satu ilmu yang mendasari perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dan seni. Dalam perkembangannya, pendidikan matematika selalu memiliki peran penting diberbagai disiplin ilmu pengetahuan. Dengan matematika peserta didik akan memiliki kemampuan berpikir logis, analitis, sistematis, kritis, dan kreatif serta kemampuan bekerjasama. Selain itu, dengan kemampuan berpikir logis peserta didik akan mampu tampil sebagai generasi bangsa yang berkualitas dalam menghadapi fenomena kehidupan yang selalu berubah, menantang dan kompetitif.

Kurikulum 2013 dibuat selaras dengan perkembangan zaman yang semakin pesat. Hal ini mendorong pendidikan sebagai alat pencetak generasi bangsa yang mampu berkompetisi dan bersaing di era saat ini. Sesuai standar kompetensi lulusan yang terdapat pada kurikulum 2013, diharapkan siswa memiliki kompetensi yang terdiri dari aspek kompetensi sikap, pengetahuan, dan

keterampilan [1]. Dalam NCTM (2000) disebutkan bahwa kemampuan penalaran merupakan suatu kemampuan yang mendukung seorang siswa untuk bisa mengembangkan dan mengekspresikan pengetahuan mereka tentang suatu fenomena baik konsep maupun prinsip matematika yang dihadapi. Dengan mengeksplor fenomena-fenomena tersebut, seorang siswa bisa mengetahui bahwa konsep-konsep dalam matematika itu tidak muncul dengan sendirinya tetapi ada prosesnya yang runtut.

Dalam lampiran IV peraturan menteri pendidikan dan kebudayaan republik indonesia nomor 81a tahun 2013 [2] peserta didik difasilitasi untuk terlibat secara aktif mengembangkan potensi dirinya menjadi kompetensi. Guru menyediakan pengalaman belajar bagi peserta didik untuk melakukan berbagai kegiatan yang memungkinkan mereka mengembangkan potensi yang dimiliki mereka menjadi kompetensi yang ditetapkan dalam dokumen kurikulum atau lebih. Setiap guru di setiap satuan pendidikan berkewajiban menyusun RPP yang dapat mendorong partisipasi aktif peserta didik.

Peluang merupakan salah satu materi matematika yang dipelajari di tingkatan Sekolah Menengah Atas. Masalah-masalah yang diajukan dalam sub materi ini sangat bervariasi dan membutuhkan logika nalar dan kritis yang baik. Jika siswa memiliki kemampuan penalaran dan kemampuan berpikir kritis yang baik, maka diperkirakan siswa akan siap dalam menghadapi tantangan zaman.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, terdapat *learning obstacle* siswa yang dilihat dari aspek kognisi dalam menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan kaidah pencacahan. Pertama, siswa tidak memahami konsep aturan penjumlahan dan aturan perkalian. Ketika diberikan soal yang seharusnya dijawab dengan aturan penjumlahan, ternyata dikerjakan dengan aturan perkalian. Begitu pula sebaliknya. Padahal prinsip aturan penjumlahan dan aturan perkalian merupakan prinsip pencacahan yang paling mendasar. Kedua, siswa tidak bisa membedakan kapan mereka menggunakan aturan permutasi dan kapan menggunakan aturan kombinasi. Jika diberikan dua permasalahan sekaligus, mereka seringkali merasa kebingungan rumus apa yang diterapkan. Adapun untuk siswa yang benar menjawabnya karena mereka ingat akan soal setipe yang pernah diajarkan dan dicontohkan oleh guru, bukan karena penalaran yang mereka gunakan. Ketiga, siswa lemah dalam menyusun pembuktian kombinatorik. Keempat, siswa lemah dalam membuat generalisasi aturan kombinasi. Diberikan permasalahan yang terdiri dari kasus-kasus khusus, ketika diperlukan generalisasi untuk menjawab permasalahan, ternyata mereka kesulitan. Ini mengindikasikan penalaran dan berpikir kritis yang rendah. Kelima, siswa lemah dalam penalaran soal cerita yang dibentuk kedalam model matematika.

Dokumentasi yang dilakukan terhadap bahan ajar adalah sebagai berikut. Pertama, tidak ada penjabaran yang jelas mengenai kegiatan pembelajaran.. Kedua, evaluasi penilaian yang bermasalah. Ketiga, guru tidak membuat LKS sendiri dimana guru menggunakan LKS yang sudah jadi dan berisi soal-soal rutin.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan, diperlukan adanya inovasi pengembangan bahan ajar yang dapat mengatasi kesulitan belajar yang dihadapi siswa. Jika bahan ajar yang akan digunakan sudah baik, dimana pengembangan bahan ajar itu berasal dari permasalahan-permasalahan yang terdapat pada kognisi siswa, aspek sosial, dan aspek ekspresional, maka akan berpengaruh pada pencapaian yang diharapkan terutama masalah kesulitan siswa yang dihadapi pada materi tersebut. Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk melaksanakan suatu penelitian dengan judul "Pengembangan Bahan Ajar Aturan Pencacahan dengan Pendekatan Saintifik untuk Siswa SMA".

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian desain (*design research*) yang terdiri dari tiga fase, yaitu *preliminary design*, *experiment*, dan *retrospective analysis*. *Preliminary Design* (Desain Permulaan) adalah tahap dibuatnya *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) yang merupakan antisipasi-antisipasi tentang apa yang akan mungkin terjadi, baik proses berpikir siswa yang akan mendapat pembelajaran maupun hal-hal yang akan terjadi dalam proses pembelajaran. *Experiment* (Eksperimen) merupakan tahap ujicoba di lapangan. *Retrospective Analysis* (Analisis Tinjauan) adalah tahap dimana semua data yang diperoleh pada tahap *experiment* dianalisis. Penelitian dilakukan di jenjang MAN, 30 siswa kelas XI untuk studi pendahuluan dan 30 siswa kelas X untuk eksperimen. Instrument yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lembar Kerja Siswa dan Wawancara. Data dianalisis dengan tahapan aktivitas meliputi *data reduction* (reduksi data), *data display* (penyajian data), dan *conclusion drawing/ verification* (penarikan kesimpulan/ verifikasi).

Hasil dan Diskusi

Pada tahap *Preliminary Desain* dilakukan wawancara terhadap siswa, dokumentasi bahan ajar, analisis kesulitan belajar siswa dalam menjawab soal, dan HLT.

Hasil wawancara diketahui sebagai berikut; siswa hanya menggunakan buku yang dimiliki oleh sekolah; siswa harus mencatat ulang materi dan latihan soal; kegiatan pembelajaran tidak terbiasa menggunakan LKS; soal-soal yang diberikan mirip dengan apa yang dicontohkan guru sebelumnya dan siswa akan merasa kebingungan jika soal yang diberikan tidak mirip seperti contoh yang diberikan.

Hasil dokumentasi diketahui sebagai berikut: guru tidak membuat RPP khusus; tidak ada penjabaran yang jelas mengenai kegiatan pembelajaran. RPP yang dibuat sifatnya kaku dan berulang; evaluasi penilaian yang bermasalah; Tidak ada bahan yang dapat siswa gunakan untuk mengasah kemampuan penalaran dan berpikir kritis merek; pemanfaatan buku sumber yang kurang.

Hasil analisis kesulitan belajar siswa sebagai berikut: siswa bermasalah dalam *systematic listing*; siswa tidak bisa membedakan definisi aturan penjumlahan dan perkalian; siswa tidak bisa membedakan definisi permutasi dan kombinasi; siswa tidak memahami penggunaan rumus permutasi dan kombinasi.

Hasil dari HLT, berdasarkan *learning obstacle* siswa dibuat bahan ajar yang terdiri dari kegiatan mendefinisikan aturan perkalian, mendefinisikan permutasi, mendefinisikan kombinasi, menurunkan rumus permutasi, dan menurunkan rumus kombinasi. Bahan ajar dibuat berdasarkan teori belajar Vygotski dan Bruner. Pada setiap bahan ajar diberikan masalah yang beragam dari jenis dan tingkat kesukarannya agar siswa mengeksplor pemahaman dalam materi tersebut. Untuk bahan ajar (1), diberikan masalah yang berhubungan dengan penentuan kemungkinan: model huruf, model angka, model gambar, dimana dari masalah-masalah tersebut secara induktif siswa membuat kesimpulan umum tentang definisi aturan perkalian. Terdapat dugaan adanya kesulitan siswa dalam membuat diagram pohon, membedakan aturan penjumlahan dan perkalian, menentukan karakteristik dari bilangan genap dan ganjil, dan mengaitkan hasil yang diperoleh dengan aturan perkalian. Bahan ajar (2), diberikan masalah yang berhubungan dengan penentuan kemungkinan: model gambar dan model huruf, dimana dari masalah-masalah tersebut secara induktif siswa membuat kesimpulan umum tentang definisi permutasi. Terdapat dugaan adanya hambatan belajar siswa dalam memaknai istilah susunan yang memperhatikan urutan. Bahan ajar (3), diberikan masalah yang berhubungan dengan penentuan kemungkinan: model huruf dan model angka, dimana dari masalah-masalah tersebut secara induktif siswa membuat kesimpulan umum tentang definisi kombinasi. Terdapat

dugaan adanya hambatan belajar siswa dalam memaknai istilah susunan yang tidak memperhatikan urutan. Bahan ajar (4), diberikan masalah yang berhubungan dengan penentuan kemungkinan, berupa model angka yang berkembang dari masalah sederhana ke masalah yang lebih kompleks. Siswa harus menghubungkan hasil yang diperoleh dengan aturan perkalian ke dalam bentuk notasi faktorial. Dari beberapa masalah, ditarik kesimpulan umum rumus permutasi dengan melihat pola yang ada. Terdapat dugaan hambatan siswa dalam menghubungkan hasil dengan notasi faktorial dan dalam mengaitkan hasil ke bentuk umum. Bahan ajar (5) diberikan masalah yang berhubungan dengan penentuan kemungkinan, berupa model huruf yang berkembang dari masalah sederhana ke masalah yang lebih kompleks. Tidak hanya menentukan banyaknya susunan kombinasi, tetapi ditentukan pula banyaknya susunan permutasi. Siswa harus menghubungkan hasil kombinasi ke permutasi, selanjutnya hasil yang diperoleh dihubungkan ke dalam bentuk notasi faktorial. Dari beberapa masalah, ditarik kesimpulan umum rumus kombinasi dengan melihat pola yang ada. Terdapat dugaan hambatan siswa dalam menghubungkan hasil dengan notasi faktorial dan dalam mengaitkan hasil ke bentuk umum.

Selanjutnya, tahapan *retrospective analysis*. Dalam analisis tinjauan terhadap kegiatan mendefinisikan aturan perkalian, tugas 1, terdapat sedikit hambatan dimana sesuai dengan HLT sebelumnya, siswa tidak sepenuhnya mengerti bagaimana cara membuat diagram pohon dan tabel perkalian silang. Diberikan intervensi agar siswa mampu mengaitkan konsep aturan perkalian dengan hasil yang ia peroleh. Pada tugas 2, siswa mengalami kesulitan untuk membuat tabel perkalian silang karena pada soal ini terdapat tiga unsur, diperlukan intervensi guru untuk mengaitkan antara hasil yang diperoleh dengan aturan perkalian dan aturan penjumlahan. Tugas 3, siswa harus menafsirkan maksud dari gambar yang diberikan. Penyelesaian siswa masih harus diarahkan kembali ke diagram pohon, dari sana mereka diharuskan mengidentifikasi kasus tersebut harus dilakukan secara berurutan dan akhirnya ditarik kesimpulan berapa banyak kemungkinan dengan konsep aturan perkalian. Dalam penyelesaian tugas (4), sebagian siswa masih kesulitan membayangkan *systematiclisting*, sehingga mereka harus membuat diagram pohonnya. Siswa diberikan intervensi untuk mamahmi karakteristik dari angka-angka pembentuk bilangan ganjil dan genap. Selanjutnya, analisis tinjauan terhadap kegiatan mendefinisikan permutasi. Pada tugas 1 diberikan gambar (foto) nyata.. Ada siswa yang masih merasa bingung, perbedaan susunan antara ABC dan ACB sehingga guru memberikan intervensi. ketika urutan berubah, maka kondisinya pun berbeda. berikut adalah jawaban siswa. Tugas 2, masalah yang diberikan tentang susunan huruf yang membentuk kata MATH. Untuk soal nomor (1) masalah terjadi pada ketidakjelasan soal. Yang diharapkan adalah penentuan banyaknya susunan huruf yang berbeda, sedangkan di soal tidak ada sehingga soal perlu direvisi, soal nomor (3), terdapat sedikit konflik kognitif dalam memaknai susunan yang memperhatikan urutan. Berikut hasil analisis tinjauan terhadap kegiatan mendefinisikan kombinasi. Soal nomor (1), mayoritas siswa mengerjakannya dengan diagram pohon dan menghitungnya dengan konsep perkalian. Untuk soal nomor (2), siswa diarahkan pada logika ada atau tidaknya susunan yang sama. Soal nomor (3), siswa bingung dengan apa maksud dari tidak memperhatikan urutan. Tugas kedua, siswa diarahkan untuk menentukan definisi kombinasi berdasarkan pada karakteristik yang dipahami. Selanjutnya siswa diberi penguatan dalam membedakan kasus permutasi dan kombinasi. Untuk analisis tinjauan terhadap kegiatan menurunkan rumus permutasi, soal nomor (1), siswa mengerjakan dengan teknik diagram pohon dan mengkaitkannya dengan konsep aturan perkalian. soal nomor (2), ada kelompok yang tidak mengerjakannya dengan diagram pohon terlebih dahulu, akan tetapi langsung ke konsep perkalian. Ssiswa diarahkan untuk menyatakan jawaban yang diperoleh kedalam konsep faktorial yang telah mereka pahami. Guru memberikan intervensi agar siswa dapat melihat pola antara bentuk

faktorial dengan hasil yang siswa peroleh sebelumnya. Tugas kedua dikembangkan dari tugas pertama. Masalah pada tugas dua terletak pada soalnya, bukan pada pemahaman siswa. Untuk tugas tiga, siswa diminta langsung menentukan banyaknya permutasi dalam rumus umum. Banyak siswa yang merasa kebingungan. Guru harus memberikan intervensi agar siswa dapat melihat hubungan antara bentuk sebelumnya yang sudah diperoleh dengan bentuk umum, sehingga dapat ditarik kesimpulan bagaimana rumus umum permutasi. Terakhir, analisis tinjauan terhadap kegiatan menurunkan rumus kombinasi. Tugas pertama, soal nomor (1), (2), (3), dan (4), siswa tidak mengalami masalah karena sebelumnya sudah memahami apa maksud dari memperhatikan urutan dan tidak memperhatikan urutan. Dari soal yang telah didiskusikan sebelumnya, siswa diminta untuk menentukan bentuk umum rumus kombinasi. Guru memberikan intervensi untuk mengubah bentuk faktorial yang ada ke dalam bentuk angka yang terdapat pada soal. Sehingga, akan diperoleh pola yang sama. siswa diminta untuk menyimpulkan bagaimana rumus umum kombinasi. Sebagai penguatan, siswa diminta mendiskusikan penggunaan konsep dan prinsip kombinasi dalam beberapa masalah yang diberikan berikut alasan mengapa soal tersebut masuk kedalam masalah kombinasi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan dengan pendekatan saintifik dalam mendefinisikan aturan perkalian adalah sebagai berikut.

Pada lembar kerja disajikan masalah sederhana dan beragam yang berhubungan dengan penentuan banyaknya kemungkinan. Jenis masalah dapat dikembangkan ke masalah yang disajikan dalam bentuk gambar. Perbedaan tingkatan kesukaran masalah bertujuan agar siswa lebih mengeksplor beragam kondisi dari masalah. Kegiatan siswa untuk menentukan banyaknya susunan yang mungkin dengan metode diagram pohon maupun tabel perkalian. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat terlihat hubungan antara hasil yang diperoleh dengan konsep aturan perkalian sehingga dapat dibuat generalisasi definisi aturan perkalian.

2. Tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan dengan pendekatan saintifik dalam mendefinisikan permutasi adalah sebagai berikut.

Pada lembar kerja disajikan masalah sederhana dan beragam yang berhubungan dengan penentuan banyaknya kemungkinan. Jenis masalah dapat dikembangkan ke masalah yang disajikan dalam bentuk gambar. Perbedaan tingkatan kesukaran masalah bertujuan agar siswa lebih mengeksplor beragam kondisi dari masalah. Kegiatan siswa untuk menentukan banyaknya susunan yang mungkin dengan metode diagram pohon. Berdasarkan hasil yang diperoleh, siswa dapat memahami bahwa masalah-masalah yang diberikan memiliki karakteristik yang khusus sehingga dapat dibuat kesimpulan apa definisi dari permutasi.

3. Tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan dengan pendekatan saintifik dalam menurunkan rumus permutasi adalah sebagai berikut.

Pada lembar kerja disajikan masalah sederhana dan beragam yang berhubungan dengan penentuan banyaknya kemungkinan. Perbedaan tingkatan kesukaran masalah bertujuan agar siswa lebih mengeksplor beragam kondisi dari masalah. Kegiatan siswa untuk menentukan banyaknya susunan yang mungkin dengan metode diagram pohon kemudian menghubungkannya dengan konsep aturan perkalian, selanjutnya, diarahkan ke bentuk notasi faktorial. Berdasarkan hasil yang diperoleh, siswa menganalisis hubungan dan pola yang terdapat pada simbol dan hasil perhitungan. Kegiatan tersebut dapat membantu mengarahkan pada penurunan rumus permutasi.

4. Tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan dengan pendekatan saintifik dalam mendefinisikan kombinasi adalah sebagai berikut.

Pada lembar kerja disajikan masalah sederhana dan beragam yang berhubungan dengan penentuan banyaknya kemungkinan. Jenis masalah dapat dikembangkan ke masalah yang disajikan dalam bentuk gambar. Perbedaan tingkatan kesukaran masalah bertujuan agar siswa lebih mengeksplor beragam kondisi dari masalah. Kegiatan siswa untuk menentukan banyaknya susunan yang mungkin dengan metode diagram pohon. Berdasarkan hasil yang diperoleh, siswa dapat memahami bahwa masalah-masalah yang diberikan memiliki karakteristik yang khusus dimana kondisi yang ada tidak memperhatikan urutan, sehingga dapat dibuat kesimpulan apa definisi dari kombinasi. Perlu ditekankan ulang perbedaan konsep antara permutasi dan kombinasi dengan beberapa soal sebagai penguatan.

5. Tugas-tugas pada bahan ajar aturan pencacahan dengan pendekatan saintifik dalam menurunkan rumus kombinasi adalah sebagai berikut.

Pada lembar kerja disajikan masalah sederhana dan beragam yang berhubungan dengan penentuan banyaknya kemungkinan. Perbedaan tingkatan kesukaran masalah bertujuan agar siswa lebih mengeksplor beragam kondisi dari masalah. Kegiatan siswa untuk menentukan banyaknya susunan yang mungkin dengan metode diagram pohon kemudian menghubungkannya dengan konsep aturan perkalian, selanjutnya, diarahkan ke bentuk notasi faktorial. Masalah diarahkan pada bentuk permutasi dan kombinasi agar jelas dimana perbedaan konsepnya dan terdapat hubungan antara dua konsep tersebut dalam penurunan rumus. Berdasarkan hasil yang diperoleh, siswa menganalisis hubungan dan pola yang terdapat pada simbol dan hasil perhitungan kombinasi yang didasari rumus permutasi. Kegiatan tersebut dapat membantu mengarahkan pada penurunan rumus kombinasi.

Berdasarkan penelitian dan pembahasan dalam penelitian ini, terdapat implikasi yaitu bahan ajar dengan pendekatan saintifik pada materi aturan pencacahan. Dalam LKS disajikan masalah-masalah yang berkaitan dengan mendefinisikan aturan perkalian, permutasi, kombinasi, menurunkan rumus permutasi dan kombinasi yang tentunya memerlukan kemampuan berpikir kritis yang baik dari sisi logika, dugaan, pembuktian, dan pemecahan masalah. Oleh karena itu, tugas-tugas pada bahan ajar dengan pendekatan saintifik ini dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa dalam proses mengkonstruksi maupun dalam menyelesaikan masalah.

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, diajukan beberapa saran sebagai berikut: Penelitian dikembangkan pada siklus kedua berupa eksperimen bahan ajar revisi pada subjek lain yang homogen; Penelitian dikembangkan pada bahan ajar permutasi khusus, baik itu konsep maupun prinsipnya.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diucapkan sebanyak – banyaknya kepada :

1. Dr. H. Tatang Mulyana, M.Pd. yang telah memberikan kritik dan saran pada penelitian ini;
2. Siswa siswi kelas XI Bahasa MAN 1 Sumedang tahun ajaran 2013/2014 yang telah bersedia untuk menjadi objek penelitian ini;
3. Rekan – rekan seperjuangan kelas inovasi pendidikan matematika SPS UPI 2013;
4. Semua pihak yang secara langsung ataupun tidak langsung berkontribusi dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Kemendikbud. 2013. *Salinan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI Nomor 69 Tahun 2013 Tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah*. Jakarta : Kemendikbud.
- [2] Kemendikbud. 2013. *Salinan Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI Nomor 81a Tahun 2013 Tentang Implementasi Kurikulum*. Jakarta : Kemendikbud.
- [3] Al Jupri. 2008. *Computational Estimation in Grade Four and Five: Design Research in Indonesia*. Tesis Master Student of Freudenthal Institute, Utrecht University, The Netherlands. Tidak diterbitkan.
- [4] Astnan, M.F dan Rahmita Y.G. 2013. *Penerapan Pendekatan Scientific Dalam Pembelajaran Matematika SMP Kelas VII Materi Bilangan (Pecahan)* : Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika di Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY. Yogyakarta : UNY.
- [5] Belawati, Tian. 2003. *Materi Pokok Pengembangan Bahan Ajar Edisi ke Satu*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- [6] Lathifah, Leli Nur. (2011). *Pengembangan Model Pembelajaran Kooperatif Tipe Co-op Co-op terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis dan Ketuntasan Belajar Siswa SMA: Skripsi Jurusan Pendidikan Matematika UPI*. Bandung : Tidak diterbitkan.
- [7] Mulyana, T. 2008. *Pembelajaran Analitik -Sintetik untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Kreatif Matematik Siswa Sekolah Menengah Atas: Disertasi SPS UPI*. Bandung : tidak diterbitkan.
- [8] Mulyana, T. 2012. *Pengembangan Bahan Ajar Melalui Penelitian Desain*. *Jurnal Ilmiah Program Studi Matematika STKIP Siliwangi Bandung, Vol 1, No.2, September 2012*. Bandung : STKIP Siliwangi.
- [9] Rahmawati, Eni. 2013. *Pengembangan Bahan Ajar Modul Matematika Berbasis Pendekatan Konstruktivisme dan Pemecahan Masalah Sebagai Media Pembelajaran Pada Materi Pokok Segitiga* : Skripsi pada Program Studi Pendidikan Matematika FPMIPA IKIP PGRI Semarang. Semarang : Tidak diterbitkan.
- [10] Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung : Alfabeta.
- [11] Suherman, E. et al. 2001. *Strategi Pembelajaran Matematika Kontemporer*. Bandung : JICA.
- [12] Taqwani, Ratu Amalia. 2014. *Pengembangan Bahan Ajar Berbasis Pemecahan Masalah Matematis SMP pada Materi Segi Empat Melalui Penelitian Desain : Skripsi Jurusan Pendidikan Matematika UPI*. Bandung : Tidak diterbitkan.
- [13] Turmudi. 2008. *Landasan Filsafat dan Teori Pembelajaran Matematika (Berparadigma Exploratif dan Investigatif)*. Jakarta: Leuser Cita Pustaka.

MA-27

Penggunaan Gestur Representasional oleh Siswa dalam Memecahkan Masalah Matematis secara Kelompok

Nur Laili Achadiyah^{1, a)} dan Abdussakir^{2, b)}

¹*SMP Negeri Satu Atap Lesanpuro Kota Malang*

²*Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: nurlailiachadiyah@gmail.com*

^{b)}*abdussakir@gmail.com*

Abstrak

Penelitian mengenai gestur siswa dalam penyelesaian masalah secara kelompok masih baru sehingga penelitian lebih lanjut masih perlu dilakukan. Penelitian ini lebih difokuskan pada penggunaan gestur representasional dalam pemecahan masalah matematis secara kelompok. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian deskriptif-eksploratif. Subjek penelitian ini adalah siswa kelas IX SMP Negeri Satu Atap Lesanpuro Kota Malang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa siswa menggunakan gestur representasional dalam menyelesaikan masalah matematis secara kelompok yang ditujukan untuk (a) diri sendiri, (b) orang lain, dan (c) diri sendiri dan orang lain. Gestur representasional dapat terjadi (a) sebelum ucapan, (b) bersamaan dengan ucapan, (c) setelah ucapan, dan (d) tanpa ucapan. Fungsi gestur representasional yang dilakukan siswa dalam menyelesaikan masalah matematis secara kelompok antara lain untuk (1) menarik, memusatkan, dan mempertahankan perhatian pada aspek penting yang sedang dibicarakan, (2) mengurangi beban kognitif dengan mengongkritkan sesuatu yang sedang dipikirkan, serta (3) menuntun atau mengarahkan proses berpikir menuju selesaian yang diinginkan.

Kata kunci: gestur representasional, pemecahan masalah matematis, kelompok.

Pendahuluan

Inti pembelajaran matematika adalah memecahkan masalah [1][2]. Standar Isi Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan tahun 2006 menyebutkan bahwa pendekatan pemecahan masalah merupakan fokus dalam pembelajaran matematika. Dengan belajar memecahkan masalah matematis memungkinkan siswa lebih analitis untuk mengambil keputusan dalam kehidupan [3]. Jadi, kemampuan memecahkan masalah matematis sangat penting bagi siswa.

Beberapa peneliti mulai tertarik untuk melihat penggunaan gestur siswa dalam memecahkan masalah matematis [4][5][6][7][8]. Goldin-Meadow dan koleganya [9][10][11][12] meneliti gestur dalam pemecahan masalah konservasi bilangan dan ekuivalensi. Reynold & Reeve [13] meneliti penggunaan gestur siswa saat memecahkan masalah matematis secara kelompok dan menyimpulkan bahwa siswa menggunakan gestur dalam memecahkan masalah secara kelompok untuk menarik perhatian bersama dan mempertahankan perhatian. Saran penelitian tersebut adalah perlunya penelitian lanjutan untuk mengidentifikasi pola gestur yang digunakan siswa. Menindaklanjuti saran ini, maka pada penelitian ini dikaji secara detil dan mendalam mengenai penggunaan gestur representasional oleh siswa dalam memecahkan masalah matematis secara kelompok.

Teori

Gestur didefinisikan sebagai gerakan lengan dan tangan yang bersesuaian dengan keluarnya ucapan [14]. Gestur adalah semua gerakan tubuh yang terintegrasi dengan ucapan ataupun tidak yang ditujukan untuk mengomunikasikan sesuatu [15]. McNeill [14] membedakan gestur menjadi dua, yaitu gestur proposisional dan gestur non proposisional. Gestur proposisional adalah gestur yang mempunyai suatu komponen gambaran utama sedangkan gestur non proposisional adalah gestur percakapan. Gestur proposisional dibedakan menjadi tiga, yaitu (a) gestur ikonik, (b) gestur metaforik, dan (c) gestur deiktik. Gestur non proposisional dibedakan menjadi dua, yaitu (a) gestur beat, dan (b) gestur kohesif. Selanjutnya McNeill [14] mengkategorikan gestur menjadi empat kategori utama, yaitu gestur ikonik, metaforik, deiktik, dan beat.

Alibali & Nathan [16] melakukan modifikasi pada klasifikasi gestur yang dibuat McNeill [14] dalam konteks pembelajaran matematika di kelas. Alibali & Nathan [16] mengklasifikasikan gestur menjadi tiga jenis, yaitu (1) gestur menunjuk, (2) gestur representasional, dan (3) gestur menulis. Gestur menunjuk tidak lain adalah gestur deiktik pada klasifikasi McNeill. Gestur representasional mencakup gestur ikonik dan gestur metaforik [17]. Gestur menulis mirip subkategori gestur simbolik-ikonik yang diajukan Edwards [18].

Adakalanya seseorang menggunakan gestur untuk pendengar dan untuk dirinya sendiri [19]. Penelitian Morsella & Krauss [20] menunjukkan bahwa pembicara melakukan gestur lebih banyak ketika pembicara mendeskripsikan objek yang membebani memori kerja spasial. Gestur sering berlangsung ketika pembicara mengekspresikan informasi yang melibatkan informasi spasial [21]. Gestur dilakukan karena mempunyai peran penting dalam kognisi [20]. Gestur muncul ketika informasi sulit untuk dikonseptualisasikan [22]. Gestur dapat mereduksi beban kognitif dalam semua sistem mulai sistem informasi verbal sampai sistem informasi spasial [21]. Gestur adalah bagian dari komunikasi yang digunakan untuk belajar secara lebih baik dan mengurangi kesalahan [23]. Terbukti bahwa gestur mempunyai peran yang sangat penting untuk pemahaman dan pemecahan masalah.

Penelitian Francaviglia & Servidio [18] menunjukkan bukti yang sangat kuat mengenai saling keterkaitan antara gestur dan pemecahan masalah. Gestur berperan sebagai fasilitator dalam menyelesaikan masalah matematis. Gestur dapat mengurangi usaha kognitif siswa ketika menghadapi masalah matematis [24]. Bahkan, gestur dapat memberikan informasi mengenai selesaian dan selesaian alternatif untuk masalah matematis yang dihadapi [25]. Jadi, penggunaan gesture dalam penyelesaian masalah matematis sangat perlu dilakukan oleh siswa.

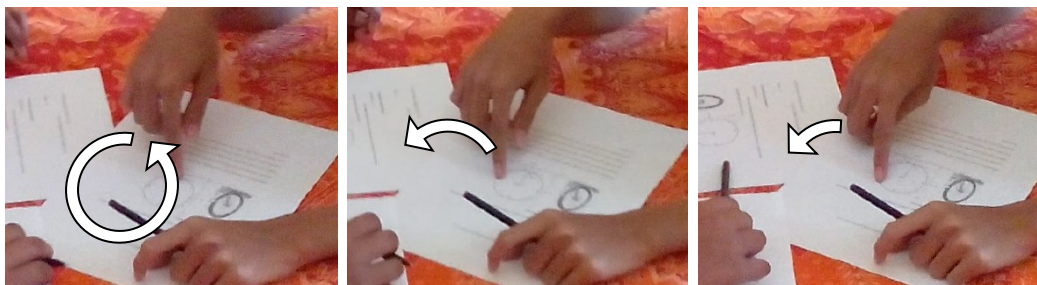
Dalam penelitian ini, klasifikasi gestur yang digunakan mengacu kepada klasifikasi yang dikembangkan oleh Alibali & Nathan [16]. Gestur yang diteliti adalah gestur representasional siswa yang dilakukan selama diskusi menyelesaikan masalah matematika secara kelompok. Pemilihan gestur representasional sebagai fokus penelitian dengan alasan bahwa gestur ini mempunyai aspek deskripsi dan representasi dari objek nyata atau objek yang sedang dipikirkan yang tidak dimiliki oleh gestur menulis atau gestur menunjuk.

Subjek penelitian ini adalah siswa kelas IX SMP Negeri Satu Atap Lesanpuro Kota Malang. Siswa dibentuk dalam kelompok yang heterogen dalam segi kemampuan. Setiap kelompok terdiri atas dua siswa dan diminta untuk memecahkan masalah matematis yang diberikan oleh peneliti. Masalah yang diberikan adalah menentukan panjang lintasan yang ditempuh seseorang ketika menaiki bianglala (*flying wheel*) setelah waktu tertentu. Peneliti merekam semua gestur yang dilakukan siswa dalam diskusi kelompok selama proses memecahkan masalah tersebut.

Hasil dan Diskusi

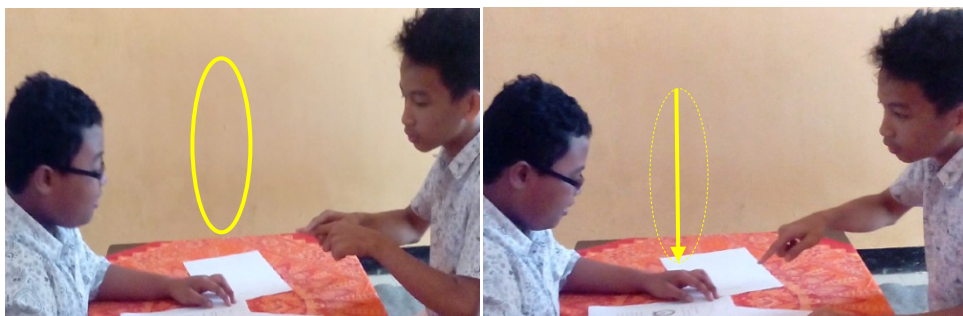
Data penelitian menunjukkan bahwa siswa menggunakan gestur dalam menyelesaikan masalah matematis yang diberikan. Secara konsisten semua kelompok siswa yang diteliti melakukan ketiga jenis gestur saat berdiskusi menyelesaikan masalah, yaitu (a) gestur menunjuk, (b) gestur representasional, dan (c) gestur menulis. Gestur menunjuk merupakan gestur yang paling banyak digunakan oleh siswa. Fakta ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya [16][17][26].

Gestur representasional yang dilakukan siswa dalam penelitian ini tidak sebanyak gestur menunjuk. Gestur representasional dalam penelitian ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (1) dilakukan pada gambar dan (2) dilakukan di udara. Gestur representasional yang dilakukan pada gambar misalnya gestur untuk menggambarkan diameter bianglala, arah putaran bianglala, satu putaran penuh (40 menit), putaran 10 menit, atau putaran 5 menit. Gestur representasional yang dilakukan pada gambar mempunyai dua fungsi sekaligus, yaitu sebagai gestur representasional itu sendiri untuk menggambarkan objek yang sedang dipikirkan serta sebagai gestur menunjuk pada representasi/gambar yang sedang dibicarakan.



Gambar 1 Gestur Representasional pada Gambar

Gestur representasional juga ada yang dilakukan di udara. Siswa menggambarkan lingkaran (bianglala) dengan kedua tangannya dan kemudian menggambarkan posisi diameter bianglala tersebut pada representasi lingkaran yang dibuat sebelumnya.



Gambar 2 Gestur Representasional di Udara

Fakta bahwa gestur representasional dapat dilakukan langsung pada objek dan dilakukan di udara sesuai dengan penelitian sebelumnya [17]. Gestur representasional yang dilakukan di udara merupakan simulasi pada bayangan visual ide matematika yaitu lingkaran dan diameter.

Gestur representasional yang dilakukan siswa dalam penelitian ini ada yang bersamaan dengan ucapan dan ada juga yang tanpa ucapan sama sekali. Hal ini sesuai pendapat Thompson [27] bahwa gestur bisa menyertai ucapan dan tanpa ucapan. Gestur representasional yang bersamaan dengan ucapan terjadi ketika siswa sedang memikirkan atau berusaha menjelaskan sesuatu baik untuk dirinya sendiri maupun orang lain. Dengan cara ini maka beban kognitif saat berpikir menjadi lebih ringan [25]. Selain itu gestur representasional dapat berkontribusi dalam pemahaman pendengar

dengan cara membantu pendengar untuk mensimulasikan aksi dan persepsi yang diekspresikan dalam gestur pembicara [17].

Gestur representasional yang tidak diiringi ucapan terjadi pada saat siswa memikirkan sesuatu lalu mengongkritkannya melalui gestur. Fakta ini menunjukkan bahwa gestur tidak selamanya mengiringi atau bersamaan dengan ucapan. Hal ini mendukung pendapat Alibali & Nathan [17] bahwa pembicara menggunakan gestur representasional ketika sedang berpikir. Jadi, gestur tidak hanya digunakan untuk menjelaskan ide tetapi juga mengekspresikan ide [17] yang dapat terjadi tanpa ucapan sama sekali [27].



Gambar 3 Gestur Representasional tanpa Ucapan

Dilihat dari sudut pandang pembicara dan pendengar, gestur representasional yang dilakukan siswa dalam penelitian ini ditujukan pada pembicara sendiri, pendengar, serta pembicara dan pendengar. Gestur representasional yang dilakukan untuk pembicara sendiri sering kali tidak disertai ucapan. Gestur representasional yang dilakukan untuk pendengar saja selalu disertai atau menyertai ucapan. Gestur representasional ini digunakan untuk menjelaskan atau lebih memperjelas apa yang sedang disampaikan kepada pendengar dengan membuat representasi yang mewakili apa yang diucapkan. Gestur representasional yang dilakukan untuk pendengar dan pembicara juga selalu disertai atau menyertai ucapan. Gestur representasional ini digunakan untuk menarik perhatian bersama dan menfokuskan perhatian pada aspek penting terkait masalah yang dihadapi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa siswa menggunakan gestur representasional dalam menyelesaikan masalah matematis secara kelompok. *Gesture* representasional dapat ditujukan untuk (a) diri sendiri, (b) orang lain, dan (c) diri sendiri dan orang lain. Dilihat dari ada atau tidak adanya ucapan yang menyertai, maka dapat disimpulkan bahwa gestur representasional dapat terjadi (a) sebelum ucapan, (b) bersamaan dengan ucapan, (c) setelah ucapan, dan (d) tanpa ucapan. Fungsi gestur yang dilakukan siswa dalam menyelesaikan masalah matematika secara kelompok antara lain untuk (1) menarik, memusatkan, dan mempertahankan perhatian pada aspek penting yang sedang dibicarakan, (2) mengurangi beban kognitif dengan mengongkritkan sesuatu yang sedang dipikirkan, serta (3) menuntun atau mengarahkan proses berpikir menuju selesaian yang diinginkan.

Referensi

- [1] I. Karatas & A. Baki. "The Effect of Learning Environment Based on Problem Solving on Students' Achievement of Problem Solving". *International Electronic Journal of Elementary Education*, 5 (3): 249-268. 2013
- [2] S. Pimta, S. Tayruakham, & P. Nuangchalerm. "Factors Influencing Mathematic Problem-Solving Ability of Sixth Grade Students. *Journal of Social Sciences*", 5 (4): 381-385. 2009. (Online) (<http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED506983.pdf>) diakses 15 Maret 2014.
- [3] T.J. Cooney, E.J. Davis, & K.B. Henderson. "Dynamics of Teaching Secondary School Mathematics". Boston: Houghton Mifflin Company. 1975.
- [4] M.W. Alibali, M. Bassok, K.O.S. Solomon, E. Syc, & S. Goldin-Meadow, S. "Illuminating Mental Representations Through Speech and Gesture". *Psychological Science*, 10: 327-333. 1999.
- [5] C. Rasmussen, M. Stephan, & K. Allen. "Classroom Mathematical Practices and Gesturing". *Journal of Mathematical Behavior*, 23: 301-323. 2004.
- [6] L. Edwards. "Gesture, Conceptual integration and Mathematical Talk". *International Journal for Studies in Mathematics Education*, 1(1): 33-46. 2009.
- [7] L. Radford, L. Edwards, & F. Arzarello. "Introduction: Beyond words". *Educational Studies in Mathematics*, 70: 91-95. 2009.
- [8] M. Francaviglia & R. Servidio. "Gesture as a Cognitive Support to Solve Mathematical Problems". *Psychology*, 2 (2): 91-97. 2011.
- [9] R.B. Church & S. Goldin-Meadow. "The Mismatch Between Gesture and Speech as an Index of Transitional Knowledge". *Cognition*, 23: 43-71. 1986.
- [10] M.W. Alibali & S. Goldin-Meadow. "Gesture-speech Mismatch and Mechanisms of Learning: What the Hands Reveal about a Child's State of Mind". *Cognitive Psychology*, 25: 468-523. 1993.
- [11] S. Goldin-Meadow, M.W. Alibali, & R.B. Church. "Transitions in Concept Acquisition: Using the Hand to Read the Mind". *Psychological Review*, 100: 279-297. 1993.
- [12] S. Goldin-Meadow & M.W. Alibali. "Mechanisms of Transfer: Learning with a Helping Hand". *Psychology of Learning and Motivation*, 33: 115-157. 1995.
- [13] F.J. Reynold & R.A. Reeve. "Gesture in Collaborative Mathematics Problem-solving". *Journal of Mathematical Behavior*, 20: 447-460. 2002.
- [14] D. McNeill. "Hand and Mind: What Gesture Reveal about Thought". Chicago: Chicago University Press. 1992.
- [15] A. Becvar, J. Hollan, & E. Hutchins. "Representational Gestures as Cognitive Artifacts for Developing Theories in a Scientific Laboratory". Ackerman, M.S., (eds) *Resources, Co-Evolution and Artifacts: Theory in CSCW*. 2008. p.117-143.
- [16] M.W. Alibali & M.J. Nathan. "Teachers' Gestures as a Means Scaffolding Student's Understanding: Evidence from an Early Algebra Lesson". Dalam R. Goldman, R. Pea, B. Barron & S. J. Derry (Eds), *Video Research in the Learning Sciences*, Mahwa, NJ: Erlbaum. 2007.
- [17] M.W. Alibali & M.J. Nathan. "Embodiment in Mathematics Teaching and Learning: Evidence from Learner's and Teacher's Gestures". *The Journal of The Learning Sciences*. 2011. p. 1-40.
- [18] L. Edwards. "The Role of Gestures in Mathematical Discourse, Remembering and Problem Solving". Dalam Chick, H. L. & Vincent, J. L. (Eds.). *Proceedings of the 29 Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education*, 1: 123-154. Melbourne: PME. 2005.
- [19] S. Goldin-Meadow, S.W. Cook, & Z.A. Mitchell. "Gesturing Gives Children New Ideas About Math". *Psychological Science*. 3 (2): 1-6. 2009.
- [20] E. Morsella & R.M. Krauss. "The Role of Gestures in Spatial Working Memory and Speech". *American Journal of Psychology*. 117 (3): 411-424. 2004.
- [21] A.B. Hostetter & M.W. Alibali. "Visible Embodiment: Gestures as Simulated Action". *Psychonomic Bulletin & Review*. 15 (3): 495-514. 2008.
- [22] A.B. Hostetter, M.W. Alibali, & S. Kita. "I See It in My Hand's Eye: Representational gestures are Sensitive to Conceptual Demands". *Language and Cognitive Processes*. 22 (3): 313-336. 2007. (online) (<http://www.silccenter.org/aigaion2/index.php/publications/show/276>, diakses 17

- Desember 2014)
- [23] Y. Kongthip, M. Inprasitha, A. Pattanajak, & N. Inprasitha. "Mathematical Communication by 5th Grade Students' Gestures in Lesson Study and Open Approach Context". *Psychology*. 3 (8): 632-637. 2012.
 - [24] S.W. Cook & S. Goldin-Meadow. "The Role of Gesture in Learning: Do Children Use Their Hands to Change Their Minds?" *Journal of Cognition and Development*, 7: 211-232. 2006.
 - [25] E.A. Cartmill, S. Beilock, & S. Goldin-Meadow. "A Word in The Hand: Action, Gesture and Mental Representation in Humans and Non-Human Primates". *Philosophical Transaction of The Royal Society B*. 367:129-143. 2012.
 - [26] S. Özçaliskan & N. Dimitrova. "How Gesture Input Provides a Helping Hand to Language Development". *Seminars in Speech and Language*, 34(4), 227-236. 2013.
 - [27] J.M. Thompson. "Teachers' Perceptions of Other Teachers' Spontaneous Hand Gesturing in The EFL Classroom". *Novitas-ROYAL (Research on Youth and Language)* 8 (2): 119-135. 2014.

MA-28

Pengembangan Bahan Ajar dengan Pendekatan Saintifik Pada Materi Lingkaran Di Kelas VIII SMP

Rafiq Badjeber

Program Studi Pendidikan Matematika, Sekolah Pasca Sarjana, Universitas Pendidikan Indonesia

rafiqbadjeber@yahoo.co.id

Abstrak

Bahan ajar merupakan bagian penting dalam pelaksanaan pendidikan di sekolah. Bahan ajar dapat dibuat dalam berbagai bentuk sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik materi ajar yang akan disajikan. Namun, kecenderungan berfikir yang lebih berorientasi pada hasil daripada proses mengakibatkan bahan ajar yang digunakan hanya didasarkan pada bentuk sajian yang terdapat pada buku-buku acuan tanpa dilakukan proses *rekontekstualisasi* dan *repersonalisasi*. Salah satu solusi untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan mengembangkan bahan ajar melalui suatu bentuk penelitian desain. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk tugas-tugas pada bahan ajar materi lingkaran dengan pendekatan saintifik. Metode penelitian yang digunakan terdiri dari tiga tahap, yaitu *preliminary design*, *experiment*, dan *retrospective analysis*. Pada tahap *preliminary design* dibuat *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) atau hipotesis lintasan belajar siswa. Selanjutnya desain bahan ajar yang sudah dirancang diujicobakan pada tahap *experiment*. Pada tahap *retrospective analysis* dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh dari hasil ujicoba. Analisis data yang dilakukan meliputi *data reduction*, *display data*, dan *conclusion*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat sejumlah hambatan yang dialami oleh siswa dalam memahami dan mempelajari bahan ajar yang disajikan. Oleh karena itu, dilakukan revisi terhadap bahan ajar tersebut.

Kata kunci: Bahan Ajar, Penelitian Desain, Pendekatan Saintifik, Lingkaran

Pendahuluan

Suryadi [1] mengemukakan bahwa pembelajaran matematika melibatkan tiga aspek utama yaitu guru, siswa, dan matematika. Antara ketiga aspek tersebut memiliki keterkaitan satu sama lain yang mempengaruhi jalannya suatu pembelajaran. Oleh karena itu, kesulitan-kesulitan yang dialami siswa perlu mendapatkan bantuan guru. Salah satu upaya yang dapat dilakukan oleh guru untuk memfasilitasi siswa dalam proses pembelajaran adalah dengan mempersiapkan suatu rencana pembelajaran serta bahan ajar yang sesuai dengan kebutuhan siswa serta konsep dalam matematika yang sedang dikaji.

Namun kenyataannya pengembangan bahan ajar yang dibuat pada saat ini belum memuaskan. Kecenderungan berfikir guru yang lebih berorientasi pada hasil akhir dibanding proses pembelajaran mengakibatkan bahan ajar yang digunakan hanya didasarkan pada buku-buku acuan tanpa dilakukan proses *rekontekstualisasi* dan *repersonalisasi* [1]. Selain itu, menurut Mulyana [2] bahan ajar yang dibuat saat ini hanya didasarkan pada perkiraan atau asumsi-asumsi bahwa siswa

akan belajar melalui suatu lintasan belajar tertentu. Hal ini menyebabkan sebagian besar siswa mengalami kesulitan untuk memahami topik-topik dalam matematika. Studi yang dilakukan oleh TIMSS tahun 2011 (Rosnawati, 2012) dan PISA pada tahun 2012 [3] menunjukkan bahwa pencapaian kompetensi matematika yang diraih siswa di Indonesia masih berada dalam kategori rendah. Hasil studi pendahuluan oleh peneliti juga menunjukkan terdapat beberapa *learning obstacle* (kesulitan belajar) yang dialami siswa dalam menyelesaikan permasalahan matematika khususnya pada materi lingkaran.

Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk melakukan suatu kajian mengenai pengembangan bahan ajar melalui suatu bentuk penelitian desain (*design research*). Menurut Cobb [4], istilah penelitian desain juga dimasukkan ke dalam penelitian pengembangan (*developmental research*), karena berkaitan dengan pengembangan materi dan bahan pembelajaran. Penelitian desain adalah suatu jenis penelitian yang berpusat pada pengembangan tahap instruksional pembelajaran dan teori pembelajaran pada siswa. Plomp [5] mengemukakan bahwa penelitian desain adalah suatu studi sistematis tentang merancang, mengembangkan dan mengevaluasi intervensi pendidikan (seperti program, strategi dan bahan pembelajaran, produk dan sistem) sebagai solusi untuk masalah yang kompleks dalam praktik pendidikan.

Bahan ajar disusun dan dikembangkan berdasarkan pendekatan saintifik. Penerapan pendekatan saintifik dalam pembelajaran melibatkan keterampilan proses seperti mengamati, mengklasifikasi, mengukur, meramalkan, menjelaskan, dan menyimpulkan. Pendekatan saintifik bertujuan untuk memberikan pemahaman kepada siswa dalam mengenal, memahami suatu topik matematika dengan menggunakan pendekatan ilmiah sehingga diharapkan dapat mendorong siswa lebih aktif dalam mencari tahu suatu pengetahuan dari berbagai sumber melalui suatu observasi. Hal ini diharapkan dapat menciptakan sebuah situasi yang menjadi titik awal terjadinya proses pembelajaran dengan melibatkan aktivitas siswa di dalamnya sehingga terjadi pembelajaran multi arah (guru-siswa-matematika).

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui bentuk tugas-tugas pada bahan ajar materi lingkaran dengan pendekatan saintifik. Secara lebih rinci, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan mengembangkan bahan ajar dalam mendefinisikan lingkaran, mendefinisikan unsur-unsur lingkaran, menurunkan rumus keliling lingkaran serta menurunkan rumus luas lingkaran.

Teori dan Eksperimen

1. Bahan Ajar

Bahan ajar merupakan bahan yang digunakan untuk membantu guru atau instruktur dalam melaksanakan kegiatan belajar mengajar di kelas. Dalam website Direktorat Pembinaan SMA [6] dikemukakan bahwa bahan ajar adalah segala bentuk bahan yang berupa perangkat materi yang disusun secara sistematis yang digunakan untuk membantu guru dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran dan memungkinkan peserta didik untuk belajar. Bahan ajar yang dikembangkan pada penelitian ini adalah bahan ajar cetak yang berupa Lembar Kerja Siswa (LKS). Lembar kerja siswa (*student work sheet*) adalah lembaran-lembaran berisi tugas yang harus dikerjakan oleh peserta didik [7]. Suatu LKS di antaranya memuat uraian singkat materi, tujuan kegiatan, alat/ bahan yang diperlukan dalam kegiatan, petunjuk dan langkah-langkah untuk menyelesaikan suatu tugas yang diberikan oleh guru kepada siswanya serta latihan soal.

2. Pendekatan Saintifik

Pembelajaran dengan pendekatan saintifik adalah proses pembelajaran yang dirancang agar peserta didik secara aktif mengonstruksi konsep atau prinsip melalui tahapan-tahapan mengamati

(untuk mengidentifikasi atau menemukan masalah), menanya, mengeksplorasi, menalar, serta menarik kesimpulan dan mengomunikasikan konsep atau prinsip yang “ditemukan”.

3. Metode Eksperimen

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah bentuk penelitian desain (*design research*). Tahap penelitian desain yang akan dilakukan mengacu pada tahapan yang dikembangkan oleh Gravemeijer [4] yang terdiri dari tiga fase, yaitu *preliminary design*, *experiment*, dan *retrospective analysis*.

a) *Preliminary Design* (Desain Permulaan)

Pada tahap ini, disusun *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) atau hipotesis lintasan belajar (proses berpikir). Menurut Simon (Lidinillah, 2012), *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT) terdiri dari tiga bagian yaitu tujuan pembelajaran, aktivitas pembelajaran, dan hipotesis proses pembelajaran yang akan terjadi. Dalam hal ini, HLT yang dimuat merupakan antisipasi-antisipasi tentang apa yang akan mungkin terjadi, baik proses berpikir siswa yang akan mendapat pembelajaran maupun hal-hal yang akan terjadi selama proses pembelajaran.

b) *Experiment* (Eksperimen)

Pada tahap *experiment*, desain yang sudah dirancang diujicobakan di lapangan. Uji coba ini bertujuan untuk melihat apakah hal-hal yang sudah diantisipasi dalam tahap *preliminary design* sesuai atau tidak dengan kenyataan yang terjadi. Pengalaman-pengalaman yang terjadi pada tahap ini akan menjadi dasar untuk mendesain kembali HLT untuk proses-proses pembelajaran berikutnya.

c) *Retrospective Analysis* (Analisis Tinjauan)

Pada tahap ini, semua data yang diperoleh pada tahap *experiment* dianalisis. Proses analisis dilakukan dengan membandingkan HLT yang diantisipasi sebelum eksperimen pembelajaran dengan aktivitas yang benar-benar terjadi. Selanjutnya dilakukan juga analisis mengenai kemungkinan-kemungkinan penyebabnya, dan sintesis mengenai kemungkinan-kemungkinan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki HLT awal yang akan digunakan pada pembelajaran berikutnya.

Hasil dan Diskusi

1. *Preliminary Design* (Desain Permulaan)

Dalam desain permulaan dilakukan tes diagnostik untuk mengetahui kesulitan belajar yang dialami siswa khususnya pada materi lingkaran. Selanjutnya, dilakukan wawancara terhadap siswa mengenai kesulitan saat menyelesaikan tes yang diberikan serta hambatan yang mereka temui saat proses pembelajaran di kelas. Selain itu, wawancara juga dilakukan terhadap guru di sekolah yang bersangkutan dengan tujuan untuk mengetahui kesulitan siswa berdasarkan pengalaman mengajar sang guru selama ini. Dari hasil analisis kesulitan siswa serta hasil wawancara dengan guru dan siswa, secara umum diperoleh keterangan bahwa siswa masih belum memahami konsep dan prinsip pada materi lingkaran dengan baik. Sumber belajar yang digunakan terbatas serta masih jarang nya penggunaan bahan ajar inovatif oleh guru saat kegiatan pembelajaran di kelas.

Berdasarkan masalah yang dikemukakan tersebut, dilakukan telaah literatur serta konsultasi dengan ahli untuk menyusun suatu HLT yang akan dikembangkan dalam penelitian ini. Berikut ini disajikan salah satu contoh rancangan HLT yang digunakan.

Contoh HLT 1 : Mendefinisikan Lingkaran

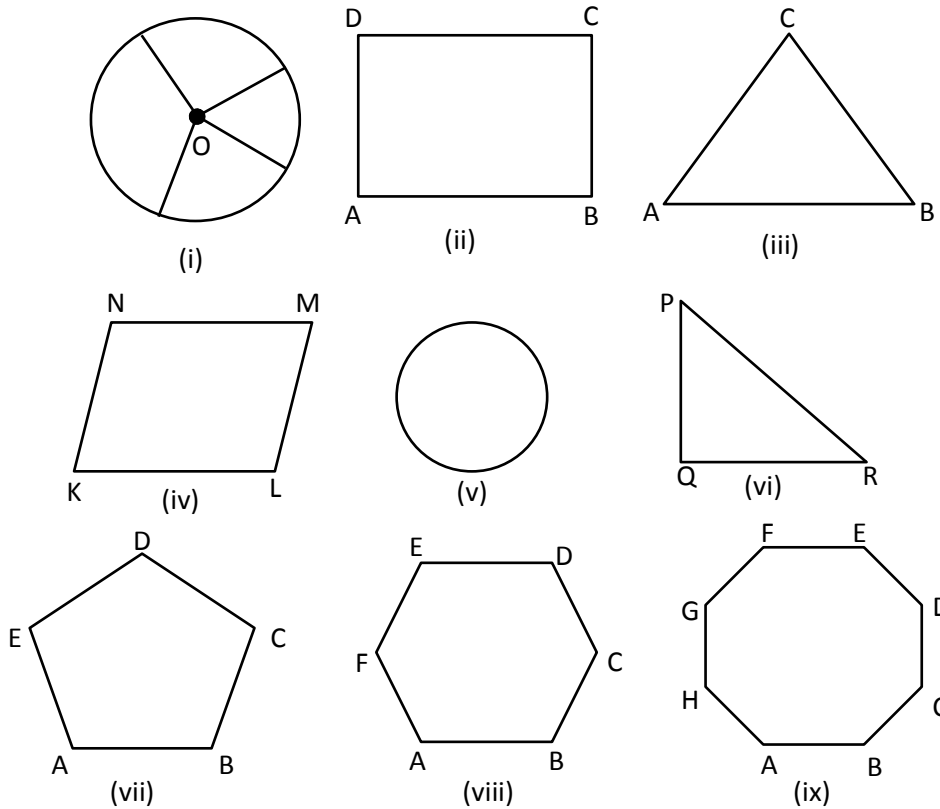
a) Tujuan Pembelajaran

Diberikan bangun datar yang merupakan contoh dan noncontoh bentuk lingkaran. Siswa dapat mendefinisikan lingkaran melalui kegiatan mengamati, menanya, mengeksplorasi, menalar, dan mengkomunikasikan berdasarkan pada karakteristik contoh yang diberikan.

b) Deskripsi aktifitas Pembelajaran

Pada tugas yang diberikan kepada siswa terdapat beberapa gambar bangun datar yang meliputi contoh dan noncontoh bentuk lingkaran. Hal ini didasarkan pada teori Vigotsky bahwa proses pembelajaran harus diawali dari masalah serta teori Bruner tentang kekontrasan yaitu konsep dalam matematika akan lebih mudah dipahami apabila dikontraskan dengan konsep-konsep lain. Sajian contoh yang diberikan juga bervariasi bentuk dan jenisnya. Adapun tugas yang diberikan kepada siswa untuk mendefinisikan lingkaran adalah sebagai berikut.

1) Perhatikan gambar beberapa bangun datar berikut.



2) Kelompokkan bangun datar sejenis yang terdapat pada gambar di atas.

.....

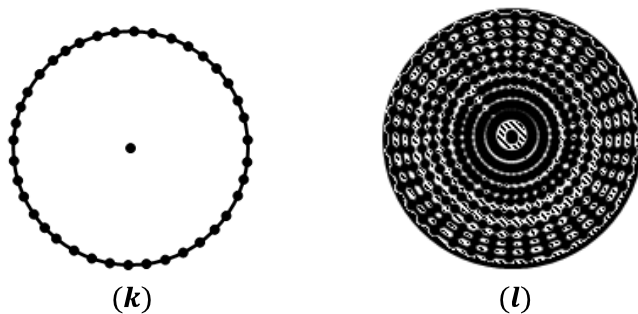
3) Kemukakan cara yang kalian gunakan dalam mengelompokkan bangun datar sejenis tersebut.

.....

4) Berdasarkan gambar pada soal 1, sebutkan ciri-ciri yang dimiliki oleh bangun datar bentuk lingkaran.

.....

5) Perhatikan gambar berikut ini.



Dari kedua gambar di atas, manakah yang merupakan lingkaran ? Apa ciri lain lingkaran yang dapat kalian peroleh berdasarkan gambar tersebut ?

.....

- 6) Buatlah tiga buah lingkaran dengan ukuran yang berbeda. Tentukan titik pusat setiap lingkaran serta berilah nama titik-titik tersebut. Gambarkan hasil yang kalian peroleh.

.....

- 7) Pada masing-masing lingkaran yang kalian gambarkan tersebut, ambil 3 buah titik yang terletak pada lingkaran. Ukurlah jarak titik pusat ke setiap titik tersebut pada masing-masing lingkaran. Catat hasil yang kalian peroleh dalam tabel berikut.

Lingkaran	Nama titik pusat	Nama titik pada lingkaran	Jarak antar titik (dalam cm)
I
	
	
II
	
	
III
	
	

- 8) Berdasarkan hasil kegiatan pada soal 7, informasi apa yang dapat kalian peroleh?

.....

- 9) Berdasarkan temuan ciri-ciri yang dimiliki oleh lingkaran, buatlah kesimpulan tentang definisi lingkaran.

.....

c) Hipotesis proses pembelajaran

Pada kegiatan mendefinisikan lingkaran, siswa kemungkinan akan mengalami kesulitan dalam mengamati dan mengobservasi karakteristik lingkaran. Salah satu cara untuk mengantisipasinya yaitu dengan memberikan arahan ataupun petunjuk yang berbentuk pertanyaan. Beberapa contoh pertanyaan yang dapat diajukan antara lain; Bagaimana bentuk garis yang membatasi lingkaran ? Bagaimana hubungan jarak titik-titik yang terdapat pada lingkaran terhadap titik pusatnya ? Unsur geometri apa yang menjadi pembentuk suatu lingkaran ?

2. *Experiment* (Eksperimen)

Eksperimen dilakukan di salah satu SMP negeri yang berada di Palu, Sulawesi Tengah. Sebagai subjek penelitian dipilih salah satu kelas VIII dengan kemampuan matematika siswa yang heterogen berdasarkan saran dari guru di sekolah yang bersangkutan. Seluruh siswa dibagi ke dalam 7 kelompok belajar dan diberikan bahan ajar yang telah disusun. Pada saat kegiatan pembelajaran berlangsung, dilakukan observasi terhadap aktifitas yang dilakukan oleh guru dan siswa. Setelah pembelajaran selesai, dilakukan wawancara terhadap siswa dengan tujuan untuk mengetahui kesulitan-kesulitan yang mereka hadapi saat menyelesaikan bahan ajar yang diberikan.

3. *Retrospective Analysis* (Analisis Tinjauan)

Bahan ajar yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari 4 HLT. HLT 1 memuat kegiatan untuk mendefinisikan lingkaran, HLT 2 memuat kegiatan untuk mendefinisikan unsur-unsur lingkaran, HLT 3 berisi aktifitas dalam menurunkan rumus keliling lingkaran, dan HLT 4 memuat kegiatan dalam

menurunkan rumus luas lingkaran. Penelitian ini dilakukan dalam satu siklus saja sehingga hanya sampai pada tahap merevisi bahan ajar pada eksperimen siklus pertama. Data dianalisis dengan mengacu pada model analisis yang dikembangkan oleh Miles dan Huberman (Sugiyono, 2013) yang terdiri dari: (1) *Data reduction* (reduksi data), (2) *Display data* (penyajian data) dan (3) *Conclusion* (kesimpulan).

Pada HLT 1, semua kelompok telah dapat menyebutkan menyebutkan ciri lingkaran secara umum dengan baik. Namun, dalam melakukan pengamatan serta observasi mengenai karakteristik utama lingkaran, siswa masih mengalami kesulitan. Mereka masih belum bisa mengenali lingkaran sebagai kumpulan titik-titik yang berjarak sama terhadap titik pusatnya. Dalam bahan ajar yang disajikan hanya 2 kelompok yang bisa menyelesaikannya dengan benar. Selain itu, sebagian besar siswa belum memahami langkah-langkah maupun pertanyaan yang termuat dalam bahan ajar sehingga dibutuhkan banyak intervensi untuk mendorong mereka agar dapat menyelesaikan masalah-masalah yang disajikan. Hal ini mengakibatkan, kesimpulan yang diberikan oleh siswa mengenai definisi lingkaran juga masih belum sesuai dengan yang diharapkan. Berdasarkan kesulitan yang dialami siswa dalam mendefinisikan lingkaran tersebut, maka dilakukan revisi terhadap bahan ajar yang disajikan.

Dalam kegiatan mendefinisikan unsur-unsur lingkaran, secara umum siswa masih bingung dalam mengamati karakteristik khusus masing-masing unsur lingkaran sehingga mereka mengalami kesulitan dalam mendefinisikannya secara mandiri. Siswa belum dapat mengamati dengan baik bentuk unsur-unsur lingkaran tersebut yang meliputi garis, daerah maupun sudut serta unsur-unsur lain yang dihubungkannya. Diperlukan intervensi dari guru untuk bisa mengarahkan dan membimbing proses pengamatan yang mereka lakukan agar bisa memperoleh hasil sesuai dengan apa yang diharapkan. Dengan mengacu pada kesulitan yang dialami siswa dalam aktifitas mendefinisikan unsur-unsur lingkaran tersebut, juga dilakukan revisi terhadap bahan ajar yang digunakan.

Pada HLT 3 tentang menurunkan rumus keliling lingkaran, dalam proses pembelajaran yang dilaksanakan terlihat bahwa hampir semua siswa dapat menemukan sendiri rumus keliling lingkaran berdasarkan hasil observasi yang dilakukan walau dengan sedikit intervensi dari guru. Hanya satu kelompok yang memperoleh hasil pengukuran dengan nilai yang melenceng jauh dari yang diharapkan. Ketelitian dan kecermatan berpengaruh besar terhadap hasil yang diperoleh tersebut. Secara umum siswa telah dapat melakukan aktifitas yang diminta dalam bahan ajar sehingga bisa memperoleh hasil yang diinginkan. Namun, tetap dilakukan sedikit revisi untuk menyempurnakan bahan ajar yang telah disusun sebelumnya.

Kegiatan menurunkan rumus luas lingkaran merupakan HLT terakhir yang dirancang pada penelitian ini. Dalam aktifitas yang dilakukan, siswa sudah mulai bisa untuk melakukan penyelidikan sendiri. Intervensi yang diberikan oleh guru tidak sebanyak pada kegiatan pembelajaran sebelumnya. Bantuan hanya banyak dilakukan pada saat menentukan jumlah juring yang harus dibuat pada lingkaran yang diberikan. Oleh karena itu, peneliti memandang masih perlu dilakukan revisi atas bahan ajar tersebut.

Kesimpulan

1. Dalam mendefinisikan lingkaran, disajikan gambar beberapa bangun datar yang merupakan contoh maupun noncontoh model lingkaran. Siswa melakukan pengelompokan dan kemudian mengamati karakteristik khusus yang dimiliki oleh lingkaran. Berdasarkan karakteristik tersebut dapat disusun suatu kesimpulan mengenai definisi lingkaran.

2. Dalam mendefinisikan unsur-unsur lingkaran, dilakukan pengelompokan unsur-unsurnya menjadi tiga jenis yaitu yang berbentuk garis, daerah serta sudut. Apabila unsur lingkarannya berupa garis, siswa mengamati letaknya, ukurannya, serta titik apa saja yang dihubungkan oleh unsur lingkaran tersebut. Apabila unsurnya berupa daerah, siswa mengamati unsur lingkaran lain yang membatasi daerah tersebut. Sedangkan apabila unsurnya berupa sudut, siswa mengamati unsur lingkaran lain yang berimpit dengan kaki sudut serta titik sudut unsur lingkaran tersebut. Berdasarkan karakteristik yang diperoleh dari hasil pengamatan tersebut dapat disusun suatu kesimpulan mengenai definisi unsur-unsur lingkaran.
3. Dalam menurunkan rumus keliling lingkaran, siswa mengumpulkan berbagai benda di sekitarnya yang berbentuk lingkaran. Siswa menyatakan perbandingan ukuran keliling dan diameter lingkaran tersebut dan menginterpretasikan hasilnya. Berdasarkan model matematika yang diperoleh, dapat disusun suatu kesimpulan mengenai rumus keliling lingkaran.
4. Dalam menurunkan rumus luas lingkaran, siswa melukis sebuah lingkaran dengan ukuran diameter tertentu dan membagi lingkaran tersebut menjadi sejumlah juring yang berukuran sama besar. Juring-juring tersebut kemudian dihimptkan dan disusun menjadi suatu bangun datar baru berbentuk segiempat atau segitiga. Siswa menuliskan rumus luas bangun datar baru tersebut dan dikaitkan dengan rumus luas lingkaran yang ingin diperoleh. Berdasarkan model matematika yang diperoleh tersebut, dapat disusun suatu kesimpulan mengenai rumus luas lingkaran

Ucapan Terima Kasih

Melalui kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala SMP Negeri 1 Palu yang telah memberikan izin dan kesempatan untuk melakukan studi di sekolah yang bersangkutan dan juga kepada bapak/ibu guru matematika yang turut memberikan sumbangsih pengalaman serta sarannya. Tak lupa pula disampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak/ibu yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menjadi validator atas bahan ajar yang disusun sehingga dapat memberikan hasil yang optimal.

Referensi

- [1] Suryadi D, "Menciptakan Proses Belajar Aktif : Kajian dari Sudut Pandang Teori Belajar dan Teori Didaktis", <http://didi-suryadi.staf.upi.edu/files/2011/06/MENCIPTAKAN-PROSES-BELAJAR-AKTIF.pdf> [diakses 29 September 2014].
- [2] Muyana T, "Pengembangan Bahan Ajar Melalui Penelitian Desain", Jurnal Ilmiah Program Studi Matematika STKIP Siliwangi Bandung, Vol 1, No.2:126-137, 2012.
- [3] OECD, "PISA 2012 Results in Focus What 15-year-olds know and what they can do with what they know", <http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/pisa-2012-results-overview.pdf> [diakses 10 April 2015].
- [4] Lidinillah D, "Educational Design Research : a Theoretical Framework for Action", [http://file.upi.edu/Direktori/KD-TASIKMALAYA/DINDIN ABDUL MUIZ LIDINILLAH \(KD-TASIKMALAYA\)-197901132005011003/132313548%20%20dindin%20abdul%20muiz%20lidinillah/Educational%20Design%20Research-A%20Theoretical%20Framework%20for%20Action.pdf](http://file.upi.edu/Direktori/KD-TASIKMALAYA/DINDIN%20ABDUL%20MUIZ%20LIDINILLAH%20(KD-TASIKMALAYA)-197901132005011003/132313548%20%20dindin%20abdul%20muiz%20lidinillah/Educational%20Design%20Research-A%20Theoretical%20Framework%20for%20Action.pdf) [diakses 11 Oktober 2014].
- [5] Plomp, "Educational Design Research: An Introduction", Proceedings of the seminar conducted at the East China Normal University 2007, November 23-26, Shanghai , PR China, pp. 9-35.
- [6] Direktorat Pembinaan SMA, "Juknis Pengembangan Bahan Ajar", <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32618537/JUKNISPENGEMBANGAN-BAHAN->

[AJARlibre.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1413269846&Signature=lu
s M1lgctWZ%2BiWh3qdNat%2F4GO%2Fc%3D](#) [diakses 11 Oktober 2014].

- [7] Widyantini T, "Penyusunan Lembar Kegiatan Siswa (LKS) Sebagai Bahan Ajar", http://p4tkmatematika.org/file/ARTIKEL/Artikel%20Pendidikan/penyusunan%20LKS%20sebagai%20bahan%20ajar_wiwik_untung.pdf [diakses 12 Oktober 2014]

MA-29

Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Dan Kreatif Matematis Mahasiswa Calon Guru melalui Pembelajaran *Mathematical Habits of Mind*

Wati Susilawati^{1,a)}

¹Prodi Pendidikan Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung

^{a)} watiridhazia@gmail.com

Abstrak

Proses mental tingkat tinggi seseorang menentukan peran berpikir kritis dan kreatif matematis dalam proses berpikir intelektual yang membudaya, sangat mempengaruhi kesuksesan individu dalam mengatasi permasalahan *real-world*. Tujuan penelitian ini menelaah secara komprehensif apakah peningkatan kemampuan berpikir kritis, dan kreatif matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran *Mathematical Habits of Mind* (MHM) lebih baik daripada mahasiswa yang pembelajarannya konvensional (PK). Menelaah kualitas *Self-Efficacy* (SE) mahasiswa terhadap pembelajaran MHM dan PK. Penelitian kuasi eksperimen dengan desain *pretest-posttest control group design*, yang melibatkan mahasiswa Fakultas Tarbiyah UIN SGD Bandung, dalam kelas eksperimen dengan perlakuan pembelajaran MHM, dan kelas kontrol PK. Temuan memperlihatkan bahwa pembelajaran dengan MHM lebih meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa dibanding dengan PK. Tidak terdapat interaksi antara level prodi dengan pendekatan pembelajaran MHM dan PK terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa. Terdapat interaksi antara Kemampuan awal matematika dengan pendekatan pembelajaran terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa. Secara umum sikap SE mahasiswa terhadap pendekatan pembelajaran MHM adalah positif.

Kata kunci: *Mathematical Habits of Mind*, Kritis, Kreatif.

Pendahuluan

Kemajuan dan akses global dalam rangka persiapan menghadapi ASEAN Economic Community (AEC) pada berbagai bidang kehidupan saat ini tidak dapat dielakan lagi, sehingga dituntut adanya peningkatan sumber daya manusia (SDM) menjadi lebih baik. Himpitan masalah yang semakin kompleks, menuntut individu memiliki kemampuan berpikir kritis dan kreatif tingkat tinggi, kepribadian yang jujur dan mandiri, serta sikap responsif terhadap perkembangan yang terjadi di sekelilingnya.

Namun demikian pendidikan di negeri ini belum sesuai dengan harapan yang diidealkan di atas. Kualitas gurunya masih perlu ditingkatkan lagi. Hasil rata-rata Uji Kompetensi Awal (UKA) tahun 2014, masih diperingkat skor 42 dari nilai maksimal 100. Rata-rata nilai Uji Kompetensi Guru (UKG) ternyata berkisar 4,5 [1] [2]. Rendahnya hasil tersebut merupakan salah satu gambaran bahwa pembelajaran matematika di Indonesia masih perlu evaluasi ulang secara komprehensif. Kompetensi guru perlu ditingkatkan hingga memenuhi proses dan hasil belajar kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis tingkat tinggi (Soedjadi, 2013). Kemampuan berpikir kritis secara umum adalah kemampuan untuk mengambil keputusan secara beralasan berdasarkan satu atau lebih informasi dari data yang dimiliki, sedangkan kemampuan berpikir kreatif secara umum merupakan kemampuan

individu untuk mencari cara, ide atau gagasan bagaimana memperoleh solusi terhadap permasalahan yang dihadapi [3]. Kemampuan berpikir kritis dan kreatif diperlukan agar mahasiswa dapat memiliki kemampuan untuk memperoleh, mengelola, dan memanfaatkan informasi yang ada disekeliling kita agar bertahan hidup pada keadaan yang selalu berubah, tidak pasti, dan kompetitif.

Namun kenyataan dilapangan, mahasiswa mengalami kesulitan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif karena pembelajaran matematika yang telah diterimanya abstrak, mahasiswa hanya mampu menghafal namun tak mampu memahami konsep dengan baik (Ernes 2011). Secara empiris hasil identifikasi dan analisis studi pendahuluan [4] hasil belajar matematika mahasiswa calon guru Pendidikan Matematika pada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung, antara lain : (a) Pola pembelajaran cenderung *textbook-oriented* yang tidak banyak terkait dengan realitas keseharian hidup. Pembelajaran konsep matematika yang bersifat abstrak itu menjadikan matematika sulit dipahami. Tidak ada kebebasan menggunakan ide-ide original dalam menafsir kenyataan; (2) Pembelajaran masih cenderung menekankan formulasi konsep atau kemampuan mereproduksi verbal, numerik, dan ataupun menghafal rumus; (3) Lemahnya kemampuan berfikir kritis dan kreatif dalam memecahkan masalah matematika. Hanya 15% mahasiswa yang dapat menyelesaikan tes kemampuan berpikir kritis dan 9% yang dapat menyelesaikan tes kemampuan kreatif, dari 150 mahasiswa yang diuji; dan (4) Sikap terhadap pembelajaran cenderung negatif terutama mahasiswa yang memiliki kemampuan matematis yang rendah.

Pembelajaran matematika yang secara utuh mampu mendorong rasa tertarik dan termotivasi dalam proses belajar, yang memperhatikan keragaman individu mahasiswa dapat dilakukan dengan mengkondisikan peserta didik untuk mengembangkan kebiasaan berpikir kritis dan kreatif terhadap gagasan sendiri memecahkan masalah matematis dan *self-efficacy* diduga akan dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan penerapan pembelajaran *Mathematical Habits of Mind* (MHM).

Masalah penelitian yang dikaji adalah (1)Apakah pembelajaran dengan MHM lebih meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa dibanding dengan Pembelajaran Konvensional (PK)? (2) Apakah terdapat interaksi antara level prodi dengan pendekatan pembelajaran MHM dan PK terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa? (3) apakah terdapat interaksi antara Kemampuan awal matematika dengan pendekatan pembelajaran terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa? (4)Bagaimana *self-efficacy* mahasiswa selama pembelajaran MHM dibandingkan dengan mahasiswa yang PK?.

Tujuan penelitian ini adalah: (1)Mengkaji secara komprehensif kualitas peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa antara pembelajaran MHM danPK. (2) Mengkaji secara komprehensif. apakah terdapat interaksi antara level prodi dengan pendekatan pembelajaran MHM dan PK terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa. (3) Mengkaji secara komprehensif apakah terdapat interaksi antara Kemampuan awal matematika dengan pendekatan pembelajaran terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa (4) Menelaah bagaimana *self-efficacy* mahasiswa selama pembelajaran MHM dibandingkan dengan mahasiswa yang PK.

Teori

Pendekatan pembelajaran *Mathematical Habits of Mind* (MHM) digunakan untuk mengembangkan kemampuan berpikir matematis, seperti kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis melalui pengembangan dan membudayakan kebiasaan berpikir, sesuai dengan pendapat Sternberg [5] yang memandang kreativitas sebagai kebiasaan (*creativity as a habit*). Kebiasaan-kebiasaan berpikir kritis dan kreatif dapat dipandang sebagai bahan (*matter*) bagi tumbuhnya kemampuan (*ability*). Hal demikian dapat dipahami karena kebiasaan-kebiasaan berpikir dilakukan secara konsisten dan berkelanjutan akan berimplikasi pada terbentuknya kemampuan berpikir kritis dan kreatif.

Melalui pembelajaran MHM, aktivitas mengeksplorasi ide-ide matematis akan mendorong mahasiswa untuk memahami masalah dengan baik. Aktivitas merefleksi kesesuaian atau kebenaran jawaban juga mendorong mahasiswa untuk memaknai solusi secara tepat. Aktivitas ini merupakan tahapan yang dikemukakan Brandsford, Stein, Bryant [6]. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan MHM dalam pembelajaran matematika berpotensi untuk mengembangkan aktivitas kemampuan berpikir kritis dan kreatif dalam memecahkan permasalahan matematika. Didukung pula oleh Jacobbe [7] mengidentifikasi beberapa kebiasaan berpikir matematis sebagai komponen-komponen suatu pendekatan pembelajaran *mathematical habits of mind* sebagai berikut: (1) *explore mathematical ideas* (2) *reflect on their answer to see whether they have made an error* (3) *identify problem solving approaches that are useful for large classes of problems* (4) *ask them selves whether there is something more/generalization* (5) *formulate question* (6) *construct example*.

Berpikir Kritis memuat semua komponen berpikir tingkat tinggi, berpikir kritis berelasi dengan lima ide kunci yaitu: praktis, reflektif, masuk akal, kepercayaan, dan aksi. Selain kelima kata kunci di atas, berpikir kritis juga memiliki empat komponen yaitu: kejelasan, dasar, inferensi, dan interaksi, Langrehr [8]. Berpikir kritis merupakan berpikir evaluatif yang melibatkan kriteria yang relevan dalam mengases informasi disertai dengan ketepatan, relevansi, kepercayaan, ketegapan, dan bias. Menurut Ennis (2011) berpikir kritis berkaitan dengan materi pelajaran yang meliputi aspek; mengidentifikasi dan menjustifikasi konsep, menggeneralisasi, menganalisis algoritma, dan memecahkan masalah.

Berdasarkan pendapat di atas dapat dikatakan bahwa berpikir kritis merupakan cara berpikir dari berbagai sudut pandang yang bersifat analitis dan evaluatif yang dilakukan secara sadar ketika seseorang mengidentifikasi, menganalisis dan mengevaluasi suatu permasalahan secara sistematis dan logis berdasarkan bukti. Berpikir kritis tidak akan muncul begitu saja tanpa ada pemicu utama, agar seseorang dapat melakukan kegiatan berpikir kritis adalah adanya masalah yang menantang sehingga terjadi konflik kognitif, pada umumnya masalah tersebut berupa masalah non rutin atau pemecahan masalah ill struktur. Melalui penyajian situasi pemecahan masalah, seseorang akan terdorong atau tertantang untuk melakukan eksplorasi, investigasi, memunculkan cara, ide, atau gagasan, mengajukan kesimpulan dan melakukan evaluasi.

Secara umum kreativitas sering dikaitkan dengan produk kreatif. Untuk menghasilkan produk kreatif apapun jenisnya, pasti didahului oleh konstruksi ide kreatif melalui proses berpikir yang melibatkan aspek keterampilan kognitif, afektif, dan metakognitif. Proses demikian disebut sebagai proses berpikir kreatif. Puccio dan Murdock, Costa, ed, 2001 [8], keterampilan kognitif tersebut antara lain meliputi kemampuan berpikir kreatif; mengidentifikasi masalah dan peluang, menyusun pertanyaan yang baik dan berbeda, mengidentifikasi data yang relevan dan yang tidak relevan, masalah dan peluang yang produktif, menghasilkan banyak ide (*fluency*), ide yang berbeda (*flexibility*), dan produk ide yang baru (*originality*), memeriksa dan menilai hubungan antara pilihan dan alternatif,

mengubah pola pikir dan kebiasaan lama, menyusun hubungan baru, memperluas dan memperbaharui rencana atau ide.

Selain aspek kognitif, Para peneliti pada umumnya menggali aspek afektif, salah satu diantaranya keyakinan *self-efficacy*, dengan bertanya pada individu tentang tingkatan dan kekuatan kepercayaan diri mereka dalam mencapai tujuan atau keberhasilan dalam suatu situasi. Dalam setting akademik, instrumen dari *self-efficacy* adalah untuk mengukur kepercayaan diri individu, antara lain dalam menyelesaikan masalah matematika yang spesifik [9].

Metode yang digunakan dalam ini adalah Penelitian eksperimen, dengan Populasi yaitu seluruh mahasiswa UIN Fakultas Tarbiyah dan Keguruan. Sampel masing-masing dua kelas mahasiswa Prodi Pendidikan matematika, sebanyak 64 orang, dan dua kelas mahasiswa PGMI, sebanyak 62 orang yang sedang mendapatkan mata kuliah kapsel matematika, Desain penelitian yang digunakan adalah pretest-posttest control group design:

A O X O
A O O

Keterangan: A = Pemilihan sampel secara acak kelas.

O = Tes Kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis.

X = Pembelajaran *Mathematical Habits of Mind*

Penelitian ini melibatkan variabel bebas dan tak bebas. Variabel bebasnya adalah pembelajaran MHM, sedangkan variabel tak bebasnya adalah kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis. Penelitian ini menggunakan level prodi (sedang dan rendah), dan kemampuan awal matematika mahasiswa (pandai, cukup, dan rendah) sebagai variabel kontrol.

Hasil Penelitian

Penelitian ini mengkaji tiga jenis data kuantitatif, yaitu Tes Kemampuan Awal Matematika (KAM), Tes kemampuan Berpikir Kritis dan Tes Kemampuan berpikir Kreatif. Serta data kualitatif non tes yaitu *self-efficacy*. Pengujian Normalitas KAM pada kelompok prodi level sedang, level rendah dan gabungan kedua level prodi dilakukan dengan bantuan *software SPSS* versi 17, berdasarkan hasil uji normalitas, data berdistribusi normal dan homogen.

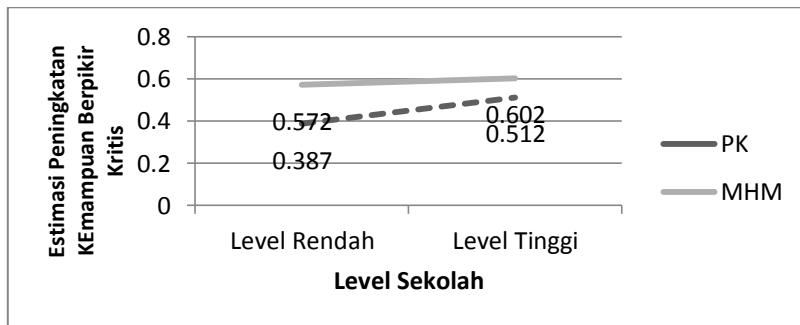
Hasil analisis deskriptif kemampuan berpikir kritis dan kemampuan berpikir kreatif matematis mahasiswa berdasarkan kelompok pembelajaran dan level prodi, bahwa mahasiswa yang pembelajaran MHM lebih tinggi dibanding mahasiswa dengan PK. Secara statistik nilai $t_{statistik}$ berkisar antara 5,423 sampai 6,780, sedangkan nilai t_{tabel} berkisar antara 2,765 sampai 2,863. Karena nilai $t_{statistik}$ lebih besar dari nilai t_{tabel} , maka H_0 ditolak. Berartibahwa rerata skor akhir kemampuan berpikir kritis mahasiswa yang pembelajaran MHM lebih baik dari mahasiswa yang memperoleh PK. Begitu pula kemampuan berpikir kreatif memiliki nilai $t_{statistik}$ berkisar antara 5,945 sampai 9,426 sedangkan nilai t_{tabel} berkisar antara 2,853 sampai 2,863. Karena nilai $t_{statistik}$ lebih besar dari t_{tabel} , maka H_0 ditolak. Berarti bahwa rerata skor kemampuan berpikir kreatif mahasiswa yang pembelajaran MHM lebih baik dari mahasiswa yang PK.

Peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis berdasarkan pendekatan pembelajaran, kategori KAM, dan level prodi. Hasil uji normalitas rerata peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis berdistribusi normal dan varians data homogen. Secara deskripsi rerata peningkatan kemampuan berpikir kritis dan berpikir kreatif matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran MHM lebih tinggi daripada mahasiswa yang PK. Berdasarkan nilai statistik

level prodi sedang, dengan nilai $t_{statistik} = 4,504$, level prodi rendah, nilai $t_{statistik} = 6,061$ dan pada gabungan level prodi diperoleh nilai $t_{statistik} = 6,786$. Sedangkan nilai $t_{tabel} = 2,660$ untuk $n = 64$ dan 62 . Sedangkan untuk $n = 126$ diperoleh nilai $t_{tabel} = 2,605$. Karena nilai $t_{statistik}$ pada masing-masing level lebih besar dari nilai t_{tabel} maka dapat disimpulkan bahwa rerata kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa yang pembelajaran MHM lebih baik dari pada mahasiswa yang PK.

Sedangkan rerata kemampuan berpikir kreatif matematis mahasiswa yang memperoleh pembelajaran MHM lebih tinggi dari mahasiswa yang PK. secara statistik, bahwa prodi level sedang dengan nilai $t_{statistik} = 5,817$, pada level rendah diperoleh nilai $t_{statistik} = 7,543$, dan pada gabungan diperoleh $t_{statistik} = 8,523$, dengan nilai $t_{tabel} = 2,570$ untuk $n=64$ dan 62 , sedang untuk $n=126$ diperoleh nilai $t_{tabel} = 2,601$, karena nilai $t_{statistik}$ lebih besar daripada nilai t_{tabel} maka dapat disimpulkan bahwa peningkatan kemampuan berpikir kreatif matematis yang memperoleh pembelajaran MHM lebih baik daripada mahasiswa yang PK.

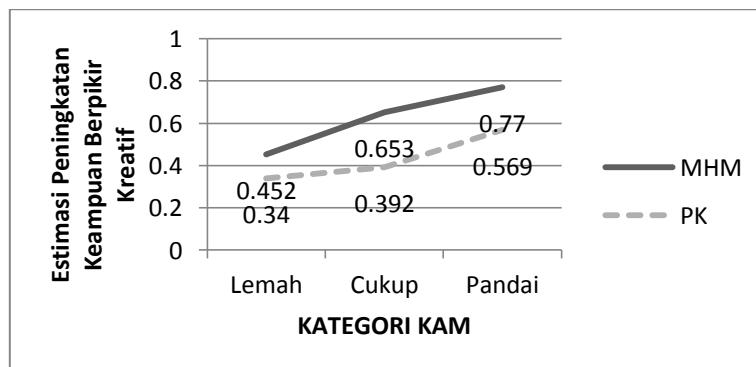
Interaksi antara level prodi dan pendekatan pembelajaran pada kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa seperti terlihat pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Interaksi antara Level Prodi dan Pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Berdasarkan gambar di atas bahwa kedua pendekatan pembelajaran (MHM dan PK) pada masing-masing level prodi (sedang dan rendah) mempunyai selisih peningkatan Kemampuan berpikir kritis yang relatif sama, artinya tidak terdapat interaksi antara level prodi dan pendekatan pembelajaran pada kemampuan berpikir kritis matematis mahasiswa.

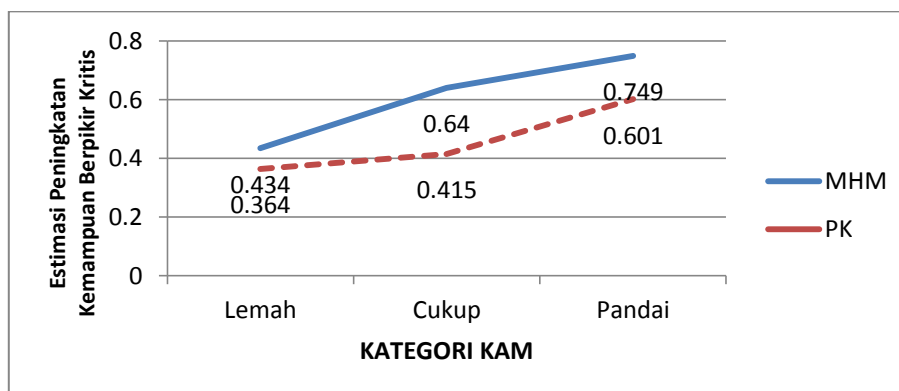
Interaksi antara level prodi dan pendekatan pembelajaran pada kemampuan berpikir kreatif matematis mahasiswa seperti terlihat pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Interaksi antara Level Prodi dan Pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis

Berdasarkan gambar di atas bahwa kedua pendekatan pembelajaran (MHM dan PK) pada masing-masing level prodi (sedang dan rendah) mempunyai selisih peningkatan Kemampuan berpikir kreatif yang relatif sama, artinya Tidak terdapat interaksi antara level prodi dan pendekatan pembelajaran pada kemampuan berpikir kreatif matematis mahasiswa.

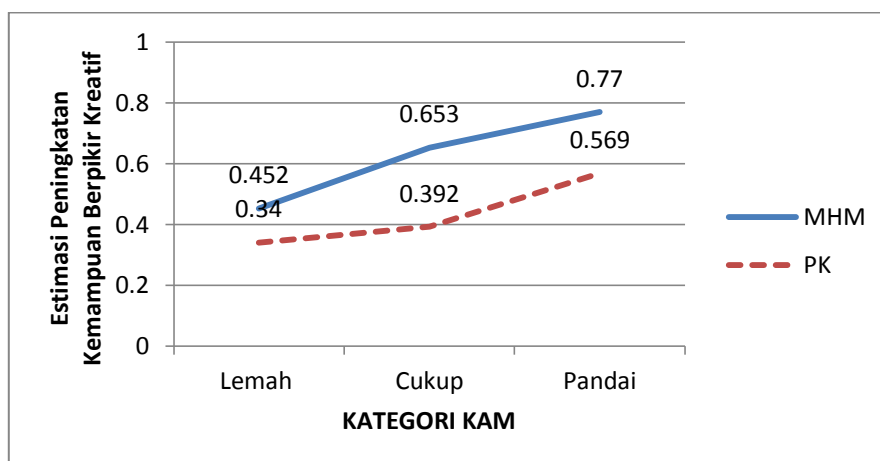
Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis seperti terlihat pada Gambar I.3.



Gambar I.3 Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis

Berdasarkan Gambar tersebut, bahwa mahasiswa yang KAM tergolong kategori pandai, cukup, lemah yang memperoleh pembelajaran MHM memiliki peningkatan kemampuan berpikir kritis matematis lebih tinggi dari mahasiswa yang memperoleh PK. Artinya terdapat Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Matematis.

Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis seperti terlihat pada Gambar I.3.



Gambar I.4 Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis

Berdasarkan Gambar tersebut, bahwa mahasiswa yang KAM tergolong kategori pandai, cukup, lemah yang memperoleh pembelajaran MHM memiliki peningkatan kemampuan berpikir kreatif matematis lebih tinggi dari mahasiswa yang memperoleh PK. Artinya terdapat Interaksi antara KAM dan pendekatan Pembelajaran terhadap Peningkatan Kemampuan Berpikir Kreatif Matematis.

Hasil SE mahasiswa terhadap pembelajaran MHM dan PK seperti terlihat pada tabel 1.1

Tabel 1.1 SE Mahasiswa terhadap Pembelajaran

SELF-EFFICACY	INDIKATOR	Rerata Skor SE		
		Netral	MHM	PK
Dalam kemampuan bermatematika	Kemampuan secara umum	2,43	2,60	2,52
	Kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis	2,65	2,74	2,66
Dalam kemandirian belajar matematika	Motivasi belajar	2,38	2,31	2,15
	Mengatasi diri sendiri dalam belajar	2,19	2,64	1,84
Dalam kemampuan berkomunikasi matematis	Kemampuan berkomunikasi dengan teman	2,25	2,54	2,54
	Kemampuan berkomunikasi dengan pengajar	2,33	2,74	2,44
	Rerata	2,37	2,59	2,36

Berdasarkan tabel di atas semua aspek SE dalam MHM memperlihatkan tanggapan positif, karena perbedaan skor antara MHM dan PK, tampaknya lingkungan MHM sangat mendukung dalam meningkatkan SE mahasiswa. Self-Efficacy (SE) mahasiswa dari MHM lebih baik dibandingkan dengan mahasiswa PK. Hal ini wajar, mengingat SE dipengaruhi oleh pengalaman otentik, pengalaman orang lain, pendekatan sosial atau verbal [10].

Kesimpulan

Pembelajaran dengan MHM lebih meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa dibanding dengan pembelajaran konvensional. Tidak terdapat interaksi antara level prodi dengan pendekatan pembelajaran MHM dan Konvensional. Terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa. Terdapat interaksi antara Kemampuan awal matematika dengan pendekatan pembelajaran terhadap peningkatan kemampuan berpikir kritis dan kreatif matematis mahasiswa. Secara umum sikap SE mahasiswa terhadap pendekatan pembelajaran MHM adalah positif.

Daftar Pustaka

- [1] Akuntono, I. "Rata-rata Hasil Uji Kompetensi Guru Masih Rendah", Tersedia: <http://edukasi.kompas.com/>, 2014 a, [diakses 11 April 2015].
- [2] Sobri, A. "UKG Kedua Masih Jauh dari Sempurna", <http://edukasi.kompas.com/>. 2014. [diakses 11 April 2015].
- [3] Yan Piau. C. "Creative and Critical Thinking Styles: Ampang Press". Kuala Lumpur. 2004.
- [4] Susilawati, W. "Pengaruh Pembelajaran Modelling The Way terhadap Kemampuan Berpikir Kreatif dan Representasi Visual Thinking Matematis dan Self Regulated Learning Mahasiswa Calon Guru", Bandung, 2013. [Tidak dipublikasikan].
- [5] Sternberg, R. "Creativity as a habit", <http://www.wordscibooks.com.pdf>. 2006 [diakses 29 Maret 2014].
- [6] Jonassen, D. H. "Learning to Solve Problem An Instructional design Guide", John Wiley & Sons, Inc, San Francisco USA, 2004.

- [7] Millman, R. S. & Jacobbe, T. "Fostering Creativity in Preservice Teachers Through Mathematical Habits of Mind". Proceeding of the Discussing group 9. The 11 International Congress on Mathematical Education Monterrey. Mexico. [Online] Tersedia: <http://dg.icme11.org/> .2008. [diakses 29 Maret 2014].
- [8] Sumarmo, U. "Berpikir dan Disposisi Matematik serta Pembelajarannya", Kumpulan Makalah: FMIPA. UPI Bandung. 2013.
- [9] Hackett, G. dan Betz, N. E. "An Exploration of the Mathematics SelfEfficacy/Mathematics Performance Correspondence". Journal for Research in Mathematics Education, 20, 1989.
- [10] Bandura, A. "Self-Efficacy: The Exercise of Control", W.H. Freeman and Company, New York, 1997.
- [11] Soedjadi. "Kiat-kiat Pendidikan Matematika di Indonesia": Dirjen Dikti Depdikbud. Jakarta. 2013.

MA-30

Implementasi *Brain Based Learning* Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Siswa MTs.

Taufiqulloh Dahlan^{1,a)}

¹Jurusan Pendidikan Matematika, Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia Bandung

^{a)}taufiqullohpasca@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini melaporkan temuan suatu eksperimen dengan desain pretes-postes menggunakan kelompok eksperimen dengan menerapkan pendekatan *Brain Based Learning* dan kelompok kontrol yang menerapkan pembelajaran konvensional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menelaah apakah peningkatan kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis siswa yang mendapatkan pendekatan *Brain Based Learning* lebih baik daripada siswa yang mendapatkan pendekatan konvensional. Subyek penelitian ini adalah 53 siswa disalah satu MTs. kabupaten Sumedang. Instrumen penelitian terdiri dari tes kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis. Penelitian ini memberikan hasil bahwa peningkatan kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis siswa yang mendapatkan pendekatan *Brain Based Learning* lebih baik daripada siswa yang mendapatkan pendekatan konvensional.

Kata kunci: pendekatan *Brain Based Learning*, kemampuan pemahaman matematis, dan kemampuan komunikasi matematis

Pendahuluan

Kemampuan pemahaman dan komunikasi menjadi salah satu tujuan dalam pembelajaran matematika, seperti yang tercantum didalam Permendiknas No.22 [1] secara eksplisit dicantumkan beberapa kemampuan dan sikap siswa yang harus dikembangkan sebagai tujuan dari pembelajaran matematika. Beberapa kemampuan dan sikap itu adalah : (1) memahami konsep matematika, menjelaskan keterkaitan antar konsep dan mengaplikasikan konsep atau algoritma secara luwes, akurat, efisien dan tepat dalam pemecahan masalah; (2) menggunakan penalaran pada pola dan sifat, melakukan manipulasi matematika dalam membuat generalisasi menyusun bukti atau menjelaskan gagasan dan pernyataan matematika; (3) memecahkan masalah yang meliputi kemampuan memahami masalah, merancang model matematika, menyelesaikan model dan menafsirkan solusi yang diperoleh; (4) mengkomunikasikan gagasan dengan simbol, table, diagram atau media lain untuk memperjelas keadaan atau masalah; dan (5) memiliki sikap menghargai kegunaan matematika dalam kehidupan, yaitu memiliki rasa ingin tahu, perhatian, dan sikap ulet dan percaya diri dalam pemecahan masalah.

Kemampuan komunikasi dalam matematika diantaranya merupakan kemampuan menginterpretasi, menjelaskan istilah-istilah dan notasi-notasi matematis baik secara lisan maupun tulisan. Kemampuan komunikasi perlu menjadi fokus perhatian dalam pembelajaran matematika, sebab melalui komunikasi siswa dapat mengorganisasi dan mengkonsolidasi berpikir matematis,

menyampaikan pemikiran matematika secara koheren, menganalisis dan mengevaluasi strategi dan berpikir matematis yang lain, dan dapat mengeksplorasi ide-ide matematis [2].

Berdasarkan uraian dapat disimpulkan bahwa pemahaman dan komunikasi matematis sangat diperlukan oleh setiap orang untuk menyikapi permasalahan dalam realita kehidupan yang tidak bisa dihindari. Dengan komunikasi matematis, seseorang dapat menemukan pola, menyelesaikan masalah atau mengambil kesimpulan, terciptanya kegiatan sosial sebagai interaksi antar siswa dan juga komunikasi antara guru dan siswa. Komunikasi matematis merupakan suatu cara untuk bertukar pendapat atau ide-ide dan membentuk pemahaman matematis siswa. Melalui komunikasi matematis, ide-ide menjadi objek yang direfleksikan untuk didiskusikan. Proses komunikasi membantu membangun makna dan ketepatan ide-ide serta membuatnya menjadi sesuatu yang umum. Untuk mengembangkan kemampuan komunikasi matematis siswa, guru perlu menghadapkan siswa pada berbagai masalah yang merupakan situasi nyata untuk memberikan kesempatan kepada siswa mengkomunikasikan ide-idenya untuk memecahkan permasalahan yang ada.

Berdasarkan hasil studi pendahuluan, peneliti menyimpulkan bahwa kemampuan pemahaman matematis masih rendah pada kemampuan diantaranya : (1) Kemampuan menyatakan ulang sebuah konsep yang dipelajari 59%, (2) Kemampuan mengklasifikasikan objek-objek menurut sifat-sifat tertentu (sesuai dengan konsepnya) 55,72%, (3) Kemampuan menyebutkan contoh dan non-contoh dari konsep 52,5%, (4) Kemampuan menyajikan konsep dalam berbagai bentuk representasi matematis 45,45%, (5) Kemampuan menggunakan, memanfaatkan dan memilih prosedur atau operasi tertentu 50,45%, (6) Kemampuan mengaplikasikan konsep atau algoritma pemecahan masalah 47,5%, 7) Kemampuan mengembangkan syarat perlu dan syarat cukup suatu konsep 49,72%.

Sedangkan untuk kemampuan komunikasi matematis masih rendah pada kemampuan diantaranya : (1) Menyatakan suatu situasi, gambar, diagram, atau benda nyata kedalam bahasa, simbol, ide, atau model matematis 48,40%, (2) Menjelaskan ide, situasi, dan relasi matematika secara lisan atau tulisan 40,5% (3) Membuat cerita matematik berdasarkan diagram, gambar atau model matematika yang diberikan 57,27% (4) Menyusun pertanyaan tentang konten matematika yang diberikan 60,27%.

Temuan diatas, sejalan dengan penelitian sebelumnya yang mengindikasikan bahwa masih rendahnya kemampuan pemahaman. Rendahnya kemampuan pemahaman ditunjukkan oleh [3] dan [4] yang mengatakan bahwa rata-rata kemampuan pemahaman matematis siswa berada dalam kategori sedang. Nasution [5], menyimpulkan bahwa pemahaman matematis siswa SMP itu meningkat, tetapi masih dalam kategori sedang, dan siswa hanya mampu memahami konsep pada tahap instrumental saja, yaitu siswa dalam memahami konsep secara terpisah-pisah sehingga ketika diberikan soal yang mengaitkan dengan konsep lain siswa tidak bisa menyelesaikan permasalahan. Dengan demikian, pemahaman matematis terutama untuk pemahaman relasional perlu untuk ditingkatkan lagi.

Salah satu strategi pembelajaran yang bisa dilakukan adalah dengan menggunakan suatu model pembelajaran yang dapat memaksimalkan fungsi otak. Strategi pembelajaran yang dimaksud adalah dengan melakukan pembelajaran melalui pendekatan *Brain Based Learning*. Pendekatan *Brain Based Learning* adalah pembelajaran yang diselaraskan dengan cara otak bekerja yang didesain secara alamiah untuk belajar [6]. Tahapan-tahapan perencanaan pembelajaran dengan pendekatan *Brain Based Learning* menurut Jensen [6] antara lain : “tahap pra-pemaparan, tahap persiapan, tahap inisiasi dan akuisisi, tahap elaborasi, tahap inkubasi dan memasukan memori, tahap verifikasi dan pengecekan keyakinan dan tahap perayaan dan integrasi”.

Strategi utama yang dapat dikembangkan dalam implementasi pendekatan *Brain Based Learning* [7] mencakup tiga hal, yaitu : (1) menciptakan lingkungan belajar yang menantang kemampuan berpikir siswa; (2) menciptakan lingkungan belajar yang menyenangkan; dan (3) menciptakan situasi pembelajaran yang aktif dan bermakna bagi siswa. Strategi ini tentunya harus dirancang dengan baik dalam pembelajaran matematika melalui pendekatan *Brain Based Learning* diharapkan dapat berjalan dengan lancar sesuai rencana sehingga tujuan pembelajaran dapat tercapai secara optimal.

Teori

Brain Based Learning

Jensen [6] menyatakan tujuh tahap *Brain Based Learning* yang telah diaturnya sedemikian rupa, masih bersifat dangkal sehingga guru masih dapat menambah banyak hal lain ke dalamnya berdasarkan kebutuhan masing-masing. Dengan demikian, *Brain Based Learning* dapat disesuaikan rancangannya untuk mempelajari materi. Berikut adalah langkah-langkah penerapan pembelajaran *Brain Based Learning* dalam mempelajari :

Pra-Pemaparan, Persiapan, Inisiasi dan Akuisasi, Elaborasi, Inkubasi dan Memasukkan Memori, Verifikasi dan pengecekan keyakinan, Perayaan dan Integrasi

Kemampuan Pemahaman Matematis

Polya (Sumarmo, 2010) membagi pemahaman pada empat kategori yaitu: (1) pemahaman mekanikal yaitu kemampuan mengingat dan menerapkan rumus secara rutin pada perhitungan sederhana, (2) pemahaman induktif yaitu kemampuan menerapkan rumus pada permasalahan sederhana atau yang serupa, 3) pemahaman rasional yaitu kemampuan membuktikan kebenaran rumus atau teorema, dan 4) pemahaman intuitif yaitu kemampuan memperkirakan kebenaran dengan pasti (tanpa ragu) sebelum menganalisis lebih lanjut.

Skemp [8] mengkategorikan pemahaman ke dalam dua jenis yaitu: pemahaman instrumental dan pemahaman relasional. Pemahaman instrumental menunjukkan suatu kemampuan dalam mengingat konsep dan prinsip dasar tanpa mengetahui keterkaitannya dengan konsep yang lain, serta dapat menerapkannya pada proses perhitungan sederhana dengan algoritma yang baik. Sedangkan pemahaman relasional merupakan kemampuan dalam mengaitkan suatu konsep/prinsip dengan konsep lainnya.

Kemampuan Komunikasi Matematis

Kemampuan komunikasi matematika seseorang terlihat apabila ia mampu: (1) mengkomunikasikan pikiran matematisnya secara koheren dan jelas terhadap guru ataupun teman-temannya, (2) menggunakan bahasa matematika dalam mengekspresikan ide atau gagasannya dengan tepat, (3) mengorganisasikan pikiran matematikanya melalui komunikasi, dan (4) menganalisa dan mengevaluasi pikiran matematisnya dan strategi-strategi orang lain.

Widjayanti dan Wahyudin (2010) mendefinisikan komunikasi matematis sebagai kemampuan seseorang untuk menulis pertanyaan matematis, menulis alasan atau penjelasan dari setiap argumen matematis yang digunakannya untuk menyelesaikan masalah matematika, menggunakan istilah, tabel, diagram, notasi, atau rumus matematis dengan tepat, memeriksa atau mengevaluasi pikiran matematis orang lain. Sehingga dengan berbekal kemampuan tersebut, setiap siswa dapat dengan mudah menyampaikan ide matematisnya dan kemungkinan untuk mengoreksi atau menyampaikan kesulitan matematisnya dapat dengan mudah dipahami oleh lawan diskusinya.

Teori Belajar yang Mendukung Pembelajaran *Brain Based Learning (BBL)*

Teori atau landasan filosofis yang mendukung pembelajaran *Brain Based Learning*, diantaranya yaitu aliran psikologi tingkah laku (*behaviorisme*), yaitu :

1. Aliran Psikologi Tingkah laku (*Behaviorisme*)
2. Aliran Psikologi Kognitif

Penelitian yang Relevan

Beberapa hasil penelitian terkait dengan pendekatan *Brain Based Learning*, kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis adalah sebagai berikut :

1. Pendekatan *Brain Based Learning*

Ozden dan Mehmet, G. [9] meneliti retensi siswa dalam mata pelajaran IPA kelas 5 sekolah dasar di Turki pada tahun akademik 2004/2005. Dalam penelitian tersebut diambil dua kelas sebagai kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasil dari penelitian tersebut adalah prestasi siswa pada kelas yang menggunakan pendekatan BBL lebih baik daripada siswa yang dalam pembelajarannya menggunakan pembelajaran tradisional, retensi (daya ingat) siswa pada kelas yang menggunakan pendekatan BBL lebih baik daripada siswa yang dalam pembelajarannya menggunakan pembelajaran tradisional.

2. Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis

Hasil penelitian mengenai peningkatan kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis siswa, antara lain: Lilis [10], menemukan bahwa pembelajaran kooperatif tipe *Two-Stay Two-Stray* dapat meningkatkan kemampuan pemahaman matematis siswa SMP. Gardenia [11] menyimpulkan bahwa pembelajaran Konstruktivisme model *Needham* dapat meningkatkan kemampuan pemahaman matematis siswa SMK. Gumanti (2014) memberikan hasil bahwa pembelajaran menggunakan geogebra dapat meningkatkan kemampuan pemahaman matematis siswa SMP. Nurningsih (2013) memberikan kesimpulan bahwa pembelajaran berbasis masalah matematis dapat meningkatkan kemampuan komunikasi matematis siswa SMP. Ariawan (2013) menyimpulkan bahwa pembelajaran dengan pendekatan *Visual Thinking* disertai dengan aktifitas *Quick on The Draw* dapat meningkatkan kemampuan komunikasi matematis siswa SMP. Nurhayati (2013) menyimpulkan bahwa pembelajaran dengan *Reciprocal Teaching* dapat meningkatkan kemampuan komunikasi matematis siswa SMP.

Kerangka Berpikir

Kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis merupakan salah satu kemampuan yang harus dimiliki dan dikembangkan oleh siswa dalam belajar matematika. Sejalan dengan itu, kemampuan siswa dalam memahami konsep-konsep matematika yakni dengan menemukan ide-ide atau konsep-konsep matematika yang dipahaminya, dan dengan pemahaman tersebut siswa dengan mudah dapat mengkomunikasikan pendapat mengenai hal-hal yang sudah dipelajarinya.

Pendekatan BBL dalam matematika memiliki potensi sebagai pembelajaran yang dapat mengembangkan dan meningkatkan kemampuan pemahaman dan komunikasi matematis siswa. Melalui pendekatan BBL siswa mencari dan memahami hubungan antar konsep matematika, dengan bidang studi yang lain atau dengan aplikasi pada kehidupan nyata. Dalam pelaksanaannya siswa dituntut untuk menggunakan kemampuannya sehingga menghilangkan rasa takut salah pada diri siswa ketika diminta untuk menjawab yang diajukan guru.

Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, maka hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut :

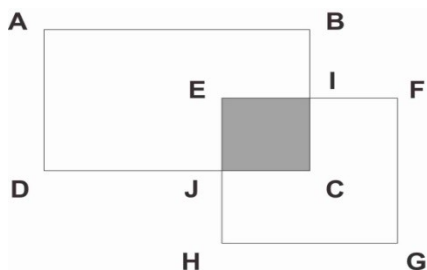
1. Peningkatan kemampuan pemahaman matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Brain Based Learning* lebih baik daripada siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional.
2. Peningkatan kemampuan komunikasi matematis siswa yang mendapatkan pembelajaran *Brain Based Learning* lebih baik daripada siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional.

Disain dan Instrumen

Penelitian ini adalah suatu eksperimen dengan disain pretes-postes dan kelompok kontrol dengan mengimplementasikan pembelajaran *Brain Based learning* untuk menelaah kemampuan pemahaman dan komunikasi matematik siswa. Secara lebih rinci, penelitian bertujuan melihat peningkatan kemampuan pemahaman dan komunikasi matematik siswa setelah pembelajaran *Brain Based* dan pembelajaran konvensional. Subyek penelitian ini adalah 53 siswa kelas 7 dari satu MTs.Negeri di sumedang. Instrumen penelitian ini adalah: tes bentuk uraian dalam kemampuan pemahaman matematik, dan dalam kemampuan komunikasi matematik. Berikut ini disajikan contoh instrumen dalam penelitian ini.

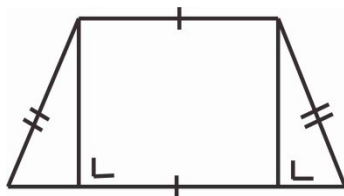
Contoh 1 : Soal Pemahaman Matematis

Pada gambar di bawah ini diketahui luas persegi panjang ABCD adalah 80 cm^2 , luas persegi EFGH adalah 25 cm^2 dan luas daerah yang tidak diarsir adalah 60 cm^2 . Tentukan luas daerah ABIEJD !



Contoh 2 : Soal Komunikasi Matematis

Perhatikan gambar di bawah ini!



- a. Lengkapi gambar tersebut dengan unsur-unsur yang berhubungan, kemudian buatlah cerita yang berkaitan dengan gambar tersebut!
- b. Buatlah pertanyaan matematis yang berkaitan dengan cerita yang anda buat!

Hasil dan Diskusi

Hasil analisis mengenai pretes, postes, dan *normal gain* kemampuan pemahaman dan komunikasi siswa tersaji pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1, diperoleh tidak ada perbedaan skor pretes kemampuan pemahaman matematik dan kemampuan komunikasi matematik siswa pada kedua kelas pembelajaran dan seluruhnya tergolong sangat rendah. Namun setelah pembelajaran,

siswa kelas pembelajaran *Brain Based Learning*, kemampuan pemahaman matematik siswa mencapai (13,50 dari 20) dan memperoleh peningkatan (0,61) yang tergolong sedang dan lebih baik daripada pencapaian (11,08 dari 20) dan peningkatan (0,48) siswa pada kelas konvensional yang tergolong kurang dalam kemampuan pemahaman matematik. Hasil serupa juga ditemukan, setelah pembelajaran, dalam kemampuan komunikasi matematik, siswa pada kelas pembelajaran *Brain Based Learning* mencapai (16,98 dari 24) yang tergolong cukup dan memperoleh peningkatan (0,68) yang lebih baik daripada pencapaian (11,08 dari 20) dan peningkatan (0,48) siswa pada kelas konvensional yang tergolong kurang.

Tabel 1 Pretes, Postes dan N-Gain Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Siswa pada Kedua Kelas Pembelajaran

Kem.mat.	n	SMI	Kelas Brain Based Learning						Kelas Konvensional					
			Pretest		Posttest		N-Gain		Pretest		Posttest		N-Gain	
			x	s	x	s	G	s	x	s	x	s	G	s
Pemh.mat.	27	20	3,55	1,87	13,50	0,16	0,61	0,16	2,88	1,76	11,08	2,65	0,48	0,16
Kom.Mat.	27	24	4,83	1,58	16,98	0,13	0,68	0,13	4,90	1,75	14,28	2,09	0,49	0,13

Catatan : Pemh.Mat = Pemahaman matematik Kom.Mat = Komunikasi Matematik

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan temuan dan pembahasannya, penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut: Kemampuan pemahaman matematik siswa dengan pembelajaran *Brain Based Learning* tergolong cukup baik, dan kemampuan tersebut lebih baik dibandingkan kemampuan pemahaman matematik siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional yang tergolong sedang. Demikian pula peningkatan kemampuan pemahaman matematik siswa dengan pembelajaran *Brain Based Learning* lebih baik dari peningkatan kemampuan siswa pada kelas konvensional. Namun kedua peningkatan kemampuan pemahaman matematik tersebut sama-sama tergolong katagori sedang. Keunggulan pembelajaran *Brain Based Learning* dari pembelajaran konvensional juga terjadi terhadap kemampuan komunikasi matematik. Siswa pada kelas eksperimen mencapai kemampuan komunikasi matematik yang tergolong sedang, dan kemampuan tersebut lebih baik dibandingkan kemampuan komunikasi matematik siswa yang memperoleh pembelajaran konvensional yang tergolong kurang. Demikian pula peningkatan kemampuan pemahaman matematik siswa dengan pembelajaran *Brain Based Learning* lebih baik dari peningkatan kemampuan siswa pada kelas konvensional. Namun kedua peningkatan kemampuan komunikasi matematik tersebut sama-sama tergolong katagori sedang. Berdasarkan kesimpulan di atas, dikemukakan beberapa saran sebagai berikut. Penelitian ini dilaksanakan pada siswa MTs.Negeri dengan kemampuan matematik siswa yang tergolong sedang. Mereka memerlukan waktu belajar yang lebih lama untuk memahami konsep-konsep matematika dan penerapannya. Terlebih lagi, soal-soal kemampuan pemahaman matematik dan komunikasi matematik dalam penelitian ini tergolong pada kemampuan matematik tingkat tinggi. Oleh karena itu disarankan pembelajaran dilaksanakan dalam waktu yang cukup untuk memberi kesempatan siswa belajar secara bermakna.

Referensi

- [1] Departemen Pendidikan Nasional RI (2006). *Permendiknas Nomor 22 tahun 2006 Tentang Standar untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*, Jakarta: Depdiknas RI.
- [2] National Council of Teacher of Mathematics. (2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. USA: NCTM.
- [3] Rusmiati, L. (2014). *Pengaruh Model Missouri Mathematics Project (MMP) Berbasis Kontektual terhadap Peningkatan Kemampuan Pemahaman dan Kemampuan Berpikir Reflektif Matematis Siswa SMP*. Tesis SPS UPI: Tidak Diterbitkan.
- [4] Rafianti, I. (2013). *Penerapan Model Pembelajaran Matematika Berbasis Multiple Intellgence Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman Konsep, Penalaran Matematis dan Self-Confidence Siswa MTs*. Tesis SPS UPI: Tidak Diterbitkan.
- [5] Nasution, S.P. (2013). *Penerapan Aktivitas Scramble Groups dalam Model Pembelajaran Kooperatif untuk Meningkatkan Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Siswa MTs*. Tesis SPS UPI: Tidak Diterbitkan.
- [6] Jensen, Eric. (2007). *Brain Based Learning*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [7] Syafa'at, A. (2009). *Brain Based Learning*
[Online]. Tersedia: [http://matematika.upi.edu/index.php/brain based learning](http://matematika.upi.edu/index.php/brain%20based%20learning).
- [8] Skemp, R.R. (2006). National Council Teachers of Mathematics. *Relational Understanding and Instrumental Understanding* 12(2), 88–95. [Online]: Tersedia: [http://people.usd.edu/~kreins/extras/Skemp-Relational understanding and instrumental understanding.pdf](http://people.usd.edu/~kreins/extras/Skemp-Relational%20understanding%20and%20instrumental%20understanding.pdf) [28 Desember 2012].
- [9] Ozden, M. Dan Mehmet, G. (2008). *The Effects of Brain Based Learning on Academic Achievement and Retention of Knowledge in Science Course*. Electronic Journal of Science Education Vol.12, No.1.
- [10] Lilis (2014). *Peningkatan Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Serta Self-Concept Siswa SMP Melalui Pembelajaran Kooperatif Tipe Two-Stay Two-Stray*. Tesis SPS UPI: Tidak Diterbitkan.
- [11] Gardenia, N. (2013). *Peningkatan Kemampuan Pemahaman dan Komunikasi Matematis Siswa SMK Melalui Pembelajaran Konstruktivisme Model Needham*. Tesis SPS UPI: Tidak Diterbitkan.
- [12] Bell, F.H. (1978). *Teaching and Learning Mathematics (In secondary school)*. United States: Wm.C. Brown Company Publisher.

MA-31

Pengembangan Model Pembelajaran Kalkulus II Berbasis *Mobile*

LukiLuqmanul Hakim^{1, a)}, Yuyu Laila Sulastri^{2, b)}, Zubaedah Wiji Lestari^{3, c)}

¹FKIP, Universitas Islam Nusantara, ²FKIP, Universitas Islam Nusantara ³FKIP, Universitas Islam Nusantara

^{a)}luqman.hakim19@gmail.com

^{b)}yayu_ls@yahoo.com

^{c)}zzz_wijilestari76@yahoo.com

Abstrak

Masalah dalam penelitian ini adalah rendahnya hasil belajar siswa dalam Mata Kuliah Kalkulus II dan efektivitas pembelajaran *online*. Tujuan dari penelitian ini adalah pengembangan aplikasi media pembelajaran yang lebih inovatif agar proses pembelajaran lebih efektif dengan adanya interaksi antara dosen dan mahasiswa baik lisan maupun tulisan yang tidak dibatasi tempat dan waktu melalui media pembelajaran *e-learning* berbasis *mobile*. Metode penelitian menggunakan peneltiandan pengembangan (*Research and Development /R& D*). Hasil dari penelitian ini adalah memperoleh aplikasi *m-calculus*.

Kata kunci: kalkulus, *e-learning*, *mobile*, *m-calculus*

Pendahuluan

Masih banyak mahasiswa mengeluhkan bahwa mata kuliah kalkulus II sulit dipahami sehingga hasil belajar mahasiswa untuk mata kuliah ini masih rendah. Inimenunjukkan hasil belajar tersebut kurang memuaskan pada hal dalam pembelajarannya sudah menggunakan berbagai pendekatan, model, metode dan teknik penilaian yang bervariasi.

Salah satu faktor rendahnya hasil belajar kalkulus II adalah sebagian besar mahasiswa belum menguasai mata kuliah prasyarat untuk mata kuliah kalkulus II, yaitu mata kuliah kalkulus I. Untuk mengatasi hal tersebut peneliti mencoba menggunakan media, sesuai dengan yang dikemukakan Azhar [1] media alat-alat grafis, fotografis, atau elektronik untuk menangkap, memproses, dan menyusun kembali informasi visual atau verbal. Peneliti telah meneliti media elektronik berupa pembelajaran berbasis *Weblog* (Blog) untuk meningkatkan minat dan hasil belajar mahasiswa pada mata kuliah Kalkulus I. Hasil dari penelitian memperlihatkan ada peningkatan hasil belajar dan minat mahasiswa dalam mata kuliah Kalkulus I. Temuan lain dari penelitian tersebut adalah: *Softwareequation* yang digunakan belum sempurna, sehingga dosen dan mahasiswa masih kesulitan dalam simbol-simbol matematika. Belum stabilnya program *e-calculus*, sehingga sering terjadinya eror ketika mahasiswa menggunakan weblog.

Berdasarkan permasalahan diatas maka diperlukan pengembangan aplikasi media pembelajaran yang lebih inovatif agar proses pembelajaran lebih efektif dengan adanya interaksi antara dosen dan mahasiswa baik lisan maupun tulisan yang tidak dibatasi tempat dan waktu melalui media pembelajaran *e-learning*, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian lanjutan tentang Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis *Mobile*. Sehingga tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh aplikasi *m-calculus*.

Teori

Pembelajaran mengandung arti bahwa proses belajar mengajar lebih terpusat pada mahasiswa (*studentcentre*), sedangkan pengajaran lebih berpusat pada guru (*teacher centre*). Proses membantu mahasiswa untuk membangun konsep atau prinsip dengan kemampuannya sendiri melalui proses internalisasi disebut pembelajaran. Hudoyo [2] menjelaskan bahwa yang dimaksud proses internalisasi adalah berpikir tentang ide matematika yang memungkinkan pikiran seseorang bekerja atas dasar ide tersebut. yang dilakukan oleh pendidik dan peserta didik. Di dalam suatu proses pembelajaran terjadi interaksi diantara dosen dan mahasiswa. Dosen dan mahasiswa merupakan subjek, karena masing-masing memiliki kesadaran dan kebebasan secara aktif. Dosen berperan sebagai komunikator, mahasiswa berperan sebagai komunikan dan materi yang dikomunikasikan berisi pesan berupa ilmu pengetahuan. Sehingga dalam pembelajaran terjadi proses sosialisasi individu mahasiswa dengan lingkungan kampus seperti guru, sumber atau fasilitas dan teman-teman sesama siswa.

Pembelajaran telah mengalami perubahan sesuai perkembangan zaman. Menurut Santyasa [3], inovasi pembelajaran muncul dari perubahan paradigma pembelajaran. Perubahan paradigma pembelajaran berawal dari hasil refleksi terhadap eksistensi paradigma lama yang mengalami anomali menuju paradigma baru yang dihipotesiskan mampu memecahkan masalah. Terkait dengan perkuliahan di perguruan tinggi, paradigma pembelajaran yang dirasakan telah mengalami anomali, adalah (1) kecenderungan guru untuk berperan lebih sebagai transmitter, sumber pengetahuan, maha tahu, (2) kuliah terikat dengan jadwal yang ketat, (3) belajar diarahkan oleh kurikulum, (4) kecenderungan fakta, isi pelajaran, dan teori sebagai basis belajar, (5) lebih mentoleransi kebiasaan latihan menghafal, (6) cenderung kompetitif, (7) kelas menjadi fokus utama, (8) komputer lebih dipandang sebagai obyek, (9) penggunaan media statis lebih mendominasi, (10) komunikasi terbatas, (11) penilaian lebih bersifat normatif. Paradigma tersebut diduga kurang mampu memfasilitasi siswa untuk siap terjun dimasyarakat.

Dengan adanya perubahan dalam bidang teknologi khususnya Teknologi Informasi (TI), membawa paradigma baru dalam pada *Learning Material* dan *Learning Method*. Produk TI dewasa ini telah memberikan alternatif berupa bahan belajar yang dapat digunakan dan diakses oleh peserta didik yang tidak dalam bentuk kertas, tetapi bentuk CD, DVD, Flashdisk, dan lain-lain. Inti dari bahan tersebut adalah berupa program/software yang dapat dimanfaatkan apakah sekedar mengambil data, membaca, *download* bahkan sampai berinteraksi antara program dengan siswa dan guru dengan memanfaatkan komputer sebagai perangkat utama. Dalam terminologi pembelajaran konsep tersebut dikenal dengan istilah pembelajaran berbasis computer atau CBI (*Computer Based Instruction*). Dalam hal ini, komputer tidak hanya dimaknai sebagai ilmu yang harus dipelajari siswa (*computer as science*), tetapi komputer sebagai alat yang membantu untuk mempelajari berbagai materi pelajaran (*computer as tools*). Dalam sistem yang lebih kompleks, TI mengintegrasikan program computer berbasis internet sehingga lahirlah *e-book*, *e-learning*, *e-journal*, *e-dictionary*, *e-lab* dan sebagainya [4].

Di era teknologi informasi yang merambah dunia pembelajaran, maka pendekatan-pendekatan serta model pembelajaran yang mempermudah peserta didik maupun pendidik mulai dikembangkan. Setelah muncul konsep dan pengembangan pembelajaran multimedia kemudian berkembang pembelajaran *mobile*. Dalam kondisi ini berarti telah terjadi pergeseran makna terbarukan dari konsep multimedia yang sudah mulai tergantikan dengan konsep *mobile*. Fenomena ini pula yang mengubah paradigma para programmer untuk mampu menciptakan pembelajaran

hibrid, yaitu menyatukan konsep multimedia dengan *mobile* dalam sebuah sajian pembelajaran yang inovatif.

Pembahasan teori dan praktik teknologi pembelajaran dalam bentuk pengembangan bahan ajar berupa *mobilelearning* dibutuhkan beberapa kemampuan yang mendukung. Kemampuan tersebut berhubungan dengan kemampuan untuk analisis kurikulum mulai dari kompetensi dasar, bahan ajar, analisis konten atau materi, topik bahan materi yang akan dikembangkan hingga SAP dan Silabus atau RPP. Selain itu, juga dituntut kemampuan menganalisis bahan ajar buku, serta kemampuan untuk menganalisis ketersediaan dan daya dukung dari media pembelajaran modern, khususnya media berbasis ICT. Di sisi lain kebutuhan awal yang harus dimiliki adalah kemampuan untuk melakukan instalasi *software* yang mendukung produksi bahan ajar *mobilelearning* baik secara *offline* maupun *online* [4].

Penelitian menggunakan metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development/ R&D*)

a. Responden Penelitian

Responden dari penelitian adalah seluruh mahasiswa semester IV tahun ajaran 2014/2015.

b. Variabel Penelitian

Variabel penelitian dalam penelitian ini, pembelajaran berbasis *mobile*

c. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian berupa bahan ajar Mata Kuliah Kalkulus II berbasis *mobile*.

d. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data sebagai berikut:

- 1) Uji validitas isi dan validitas konstruk bahan ajar oleh dosen pengampu mata kuliah, dosen Program Studi Pendidikan Matematika FKIP Uninus, dan dosen Program Studi Pendidikan Matematika UPI.
- 2) Revisi produk
- 3) Uji coba terbatas I
Uji coba terbatas I dilakukan oleh mahasiswa yang sudah menempuh mata kuliah kalkulus II, setelah melakukan uji coba mahasiswa diminta untuk mengisi daftar isian mengenai pendapat mereka tentang aplikasi *m-calculus*. Dari pendapat mahasiswa diperoleh bahwa aplikasi *m-calculus* harus ditambah dengan beberapa fitur seperti *m-calculus messenger*, fitur pembuat grafik atau pengunggah foto untuk mengupload foto, jarak antara button pada latex dengan kotak isian jawaban terlalu jauh, ebook dan bahan ajar bisa didownload, dan *ebook* kalau bisa tidak berbahasa inggris agar lebih mudah dipelajari.
- 4) Revisi produk operasional
- 5) Uji coba terbatas II
Dari hasil uji terbatas II diperoleh bahwa jumlah karakter dalam latex harus diperbesar, *m-calculusmessenger* belum bisa digunakan, penulisan karakter aksent ('') tidak dapat dipakai dalam *latexm-calculus*.
- 6) Penyempurnaan produk yang telah disempurnakan.

Hasil dan Diskusi

a. Tahap Studi Pendahuluan

Pada tahap studi pendahuluan, dilakukan penelitian pada mata kuliah Kalkulus I tentang peningkatan hasil belajar dan minat dengan menggunakan *weblog*. Hasil dari penelitian memperlihatkan ada peningkatan hasil belajar dan minat mahasiswa dalam mata kuliah

Kalkulus I. Temuan lain dari penelitian tersebut adalah: *Softwareequation* yang digunakan belum sempurna, sehingga dosen dan mahasiswa masih kesulitan dalam simbol-simbol matematika. Belum stabilnya program *e-calculus*, sehingga sering terjadinya eror ketika mahasiswa menggunakan weblog.

b. Tahap Studi Pengembangan

Pada tahap ini dilakukan:

- 1) pembuatan bahan ajar,
- 2) pembuatan aplikasi *mobilelearning*,
- 3) Uji validitas bahan ajar oleh para ahli dan/atau praktisi
- 4) Revisi produk
- 5) Uji coba terbatas I
- 6) Revisi produk operasional
- 7) Uji coba terbatas II
- 8) Revisi produk
- 9) HAKI

Tahap studi pengembangan selanjutnya dilakukan:

- 1) Tahap Studi Pengembangan
 - a) Uji coba lingkup besar
 - b) Evaluasi dan penyempurnaan bahan ajar
- 2) Tahap Evaluasi
 - a) Pretes
 - b) Implementasi model dan bahan ajar
 - c) Postes
- 3) Tahap Akhir
 - a) Seminar Internasional
 - b) Publikasi pada jurnal Internasional

c. Tampilan Produk Pengembangan *m-calculus*



Gb. 1. Menu Login



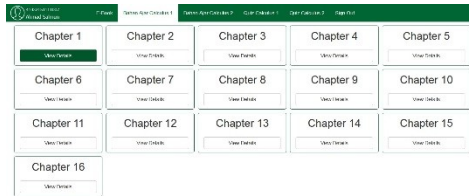
Gb. 2. Menu Aplikasi



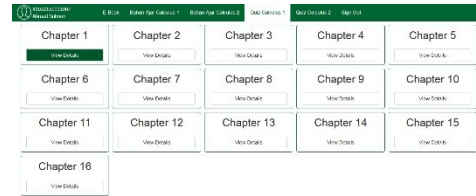
Gb. 3. E-Book



Gb. 4. Bahan Ajar



Gb. 5. Menu Bahan Ajar



Gb. 6. Menu Quiz



Gb. 7. Quiz

Kesimpulan

Pembelajaran berbasis *mobilelearning* yang dimaksud adalah pembelajaran dengan HP/telepon seluler sebagai perangkat utama. Pembelajaran dimulai dengan mengunduh aplikasi *m-calculus* untuk diinstalasi di HP. Setelah instalasi selesai, pengguna dapat memulai menjelajah materi Kalkulus II.

Ucapan Terima Kasih

Kami ucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian pengembangan ini.

Referensi

- [1] Arsyad, A., 1996, *Media Pembelajaran*. Jakarta: RajaGrafindo Persada.
- [2] Hudoyo, H. (2002). *Strategi Belajar Mengajar Matematika*. (2002). Malang: IKIP Malang.
- [3] Santyasa, I.W., 2006, *Pembelajaran Inovatif: Model Kolaboratif, Basis Proyek, dan Orientasi NOS*. Semarang: Makalah.
- [4] Darmawan, D., 2012, *Inovasi Pendidikan*. Bandung: Rosda.

MA-33

Profil Berpikir Geometris Vanhiele Siswa Penghafal AL-Qur'an dalam Memahami Hubungan Antar Segiempat berdasarkan Gaya Belajar dan Tahap Perkembangan Kognitifpiaget

Khoerul Umam¹

¹Prodi Pendidikan Matematika, FKIP, UHAMKA

^{a)} khoerul.umam@uhamka.ac.id

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk memperoleh profil berpikir geometris siswa penghafal Al-Qur'an dalam memahami hubungan antar bangun segiempat berdasarkan gaya belajar dan tahap perkembangan kognitif siswa. Penelitian ini termasuk penelitian kualitatif yang bersifat eksploratif. Pemilihan subjek penelitian didasarkan pada gaya belajar dan kemampuan siswa menghafal Al-Qur'an. Subjek diambil dari kelas VIII SMP yang telah menghafal lebih dari 1 juz Al-Qur'an pada tahun ajaran 2014/2015 yang dibedakan berdasarkan level berpikir geometris Van Hiele yang memiliki gaya belajar *visual-spatial* dan *auditory-sequential* serta berada pada tahapan operasi formal awal. Pengujian kredibilitas data penelitian dilakukan dengan menggunakan triangulasi waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) siswa penghafal Al-Qur'an yang memiliki gaya belajar *auditory-sequential* berada pada tahap operasi formal awal merangkai 9 hubungan dari 15 hubungan yang mungkin dan cenderung hanya menggunakan 3 atribut yaitu bentuk gambar, ukuran sisi dan sudut. (2) siswa penghafal Al-Qur'an yang memiliki gaya belajar *visual-spatial* yang berada pada tahap operasi formal awal merangkai 10 hubungan dari 15 hubungan yang mungkin dan cenderung hanya menggunakan 4 atribut yaitu posisi, ukuran sisi, bentuk gambar, dan sudut

Kata Kunci: Berpikir geometris, gaya belajar, Penghafal Al-Qur'an.

Pendahuluan

Baroroh [1] menyatakan bahwa pesantren sebagai salah satu model pendidikan merupakan salah satu lembaga pendidikan tertua di Indonesia. Pendidikan pesantren menanamkan para siswanya dengan budaya menghafal Al-Qur'an. Kegiatan menghafal Al-Qur'an dilakukan di luar jam sekolah, namun pendidikan formal dilaksanakan dari pagi hingga sore hari dengan berbagai mata pelajaran termasuk matematika. Matematika memiliki kaitan yang erat dengan tingkat hafalan Al-Qur'an. Hal ini ditunjukkan oleh penelitian yang dilakukan Ahmad Agus [2] yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara hafalan Al-Qur'an dan kemampuan matematika siswa. Salah satu elemen yang menunjukkan signifikansi dari kemampuan matematika adalah materi geometri. Hal ini disebabkan geometri masih dipandang sebagai materi yang sulit.

Kesulitan mempelajari geometri pada siswa tingkat menengah karena siswa tingkat SMP mulai dikenalkan dengan pembuktian konsep-konsep geometri secara matematis. Konsep-konsep geometri yang dikenalkan selalu berkaitan dengan berbagai bentuk benda yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-harinya tidak menjadikan geometri materi yang sulit bagi para siswa. Hal ini terlihat dari fakta-fakta yang ada di lapangan menunjukkan bahwa penguasaan matematika, khususnya prestasi geometri sekolah masih rendah [3].

Abdusakkir [4] menyatakan bahwa pada dasarnya geometri mempunyai peluang lebih besar untuk dipahami oleh siswa karena ide-ide geometri sudah dikenal oleh siswa sejak sebelum mereka masuk sekolah, misalnya garis, bidang, dan ruang. Kenyataan bahwa pembelajaran geometri masih dirasakan sulit harus ditelusuri secara alamiah mengapa siswa mengalami kesulitan dalam pembelajaran geometri. Penelaahan bisa dimulai dengan bagaimana cara berpikir geometris siswa.

Van de Walle [5] menyatakan bahwa rancangan pembelajaran geometri untuk berpikir secara geometris adalah pembelajaran dengan berpikir geometris menurut teori Van Hiele dengan lima level. Kelima level tersebut adalah level 0 (visualisasi), level 1 (analisis), level 2 (deduksi informal), level 3 (deduksi), level 4 (penguatan/rigor). Berkaitan dengan level berpikir geometri menurut van Hiele di atas, maka pembelajaran matematika dengan materi geometri perlu disesuaikan dengan level berpikir geometri siswa. Hal ini disebabkan tujuan utama pembelajaran geometri adalah untuk meningkatkan level berpikir geometris siswa [6].

Pembelajaran geometri yang baik tentunya menjadi banyak harapan para guru dan siswa. Salah satu cara pembelajaran yang bisa dikembangkan adalah dengan gaya belajar. Silverman [7] memperkenalkan gaya *Visual-Spatial* dan *Auditory-Sequential*. Kedua gaya belajar tersebut dilandasi sifat belahan bagian otak. Otak kiri memiliki sifat bertahap, analitik, dan berorientasi waktu sedangkan otak kanan bersifat mengamati secara keseluruhan, sintesis, dan mengerti pergerakan di ruang. Hal ini menyebabkan pembelajaran di kelas memiliki kecenderungan oleh penggunaan baik otak kanan ataupun otak kiri siswa.

Pada penelitian ini, peneliti memilih gaya belajar *Visual-Spatial* yang menggunakan modalitas otak kanan dan *Auditory-Sequential* menggunakan modalitas otak kiri [7]. Penelaahan tentang cara berpikir geometris siswa perlu diteliti khususnya siswa yang telah menghafal Al-Qur'an. Hal ini yang mendasari penelitian ini dilakukan.

Kajian Teori

Tingkat Pemahaman Geometris Van Hiele

Berpikir geometris Van Hiele diawali dari seorang guru yang bernama Pierre Van Hiele dan istrinya Dian Van Hiele Geldolf mengembangkan suatu model tingkatan berpikir geometris setelah mengobservasi kesulitan yang dialami siswa tingkat menengah pada materi geometri [8]. Tingkatan model berpikir geometris dibedakan menjadi 5 tingkatan/level. Gawlick [6] menjelaskan deskripsi model berpikir geometri Van Hiele yang terdiri atas lima level yaitu :

tingkatan 1 (pengenalan atau visualisasi) : siswa dapat memvisualisasikan berbagai bentuk bangun geometri secara global. Siswa tidak dapat mengidentifikasi sifat-sifat bangun datar.

tingkatan 2 (analisis) : siswa memulai dengan cara menganalisis sifat-sifat bangun datar dan mempelajari deskripsi bangun datar yang tepat secara terminologi. Siswa dapat memahami nama dan sifat dari bangun datar tetapi tidak dapat melihat hubungan antara sifat-sifat bangun datar yang ada.

tingkatan 3 (deduksi informal) : siswa secara logika dapat menyusun beberapa bangun datar geometri untuk dijadikan bangun datar geometri yang lain dan siswa sudah dapat melihat hubungan sifat dan ciri-ciri pada suatu bangun geometri dan hubungan sifat-sifat antara beberapa bangun geometri, selain itu pada level ini siswa sudah dapat membuat definisi abstrak.

tingkatan 4 (deduksi): siswa mulai mengembangkan definisi bangun datar geometri yang lebih panjang dan mulai memahami essensi deduksi, aksioma, teorema, dan pembuktian.

tingkatan 5 (penguatan/rigor) : siswa pada level ini dapat memahami aspek-aspek formal deduksi seperti membangun dan membandingkan sistem matematik.

Dari kelima tingkatan berpikir geometris, dapat terlihat jelas perbedaan antara tingkatan. Pada level 1 (visualisasi), siswa hanya dapat memvisualisasikan berbagai macam bangun datar geometri secara kasat mata. Namun, pada tingkatan 1 siswa belum mengetahui ciri-ciri berbagai macam bangun datar geometri. Pada level 2 (analisis) terlihat dari penjelasan di atas bahwa siswa mulai dapat menganalisis berbagai macam sifat bangun datar geometri tetapi siswa pada tingkatan analisis tidak dapat melihat hubungan antara bangun datar geometri yang ada.

Siswa dapat berpikir secara geometris tingkatan 3 (deduksi informal) jika siswa secara logika dapat membentuk berbagai macam bangun datar geometri dengan bantuan bangun datar geometri yang lain. Selain itu siswa sudah dapat melihat hubungan sifat dan ciri-ciri pada suatu bangun geometri dan hubungan sifat-sifat antara beberapa bangun geometri, selain itu pada level ini siswa sudah dapat membuat definisi abstrak.

Penelitian Sukayasa [9] menyatakan bahwa tingkatan berpikir geometris siswa SMP yang tertinggi hanya berada tingkatan 3 (deduksi informal) dari 5 tingkatan berpikir geometris menurut Van Hiele. Hal ini berimplikasi pada saat pemilihan subjek penelitian yaitu siswa penghafal Al-Qur'an yang sedang belajar di tingkat SMP dan memiliki level deduksi informal. Pada level ini siswa sudah dapat melihat hubungan sifat dan ciri pada suatu bangun geometri dan hubungan sifat-sifat antara beberapa bangun geometri, selain itu pada level ini siswa sudah dapat membuat definisi abstrak.

Tingkatan deduksi informal pada penelitian ini akan dijadikan sebagai acuan untuk menyamakan level pemahaman berpikir geometris siswa yang menjadi subjek dalam penelitian ini. Tingkatan disamakan pada setiap subjek untuk melihat perbedaan deskripsi subjek dalam memahami hubungan antarbangun segiempat didasarkan pada perbedaan gaya belajar subjek bukan karena perbedaan level pemahaman berpikir geometris subjek.

Tujuan penelitian profil berpikir geometris siswa penghafal Al-Qur'an dalam memahami hubungan antarbangun segiempat adalah mendeskripsikan secara umum tentang aktivitas mental dan kemahiran siswa penghafal Al-Qur'an dalam melakukan manipulasi pengetahuan yang telah dimiliki dalam hal memahami hubungan sifat dan ciri antarbangun segiempat melalui berbagai diantaranya kegiatan menggambar, mengidentifikasi dan membuat diagram hubungan antarbangun segiempat yang dilakukan dengan usaha sendiri.

Penghafal Al-Qur'an (*Tahfi zul qur'an*)

Haa fizul Qur'an adalah seorang penghafal Al-Qur'an baik anak-anak ataupun orang dewasa. *Haa fizul Qur'an* terbagi dari dua kata *haaa fiz* dan Al-Qur'an. Dalam istilah terminologi bahasa arab *haaa fiz* merupakan ismul fa'il dari kata dasar *haffa za* dapat berarti menjaga sehingga *haaa fiz* memiliki arti seorang penjaga. Kata kedua yaitu Al-Qur'an yang memiliki arti kitab suci umat islam serta pedoman kehidupan bagi setiap manusia hingga akhir zaman nanti.

Penjelasan makna di atas dapat disimpulkan bahwa *haaa fizul Qur'an* adalah orang yang senantiasa menjaga Al-Qur'an. Seorang yang menjaga Al-Qur'an merupakan orang yang senantiasa bersama dengan Al-Qur'an baik baik secara fisik ataupun psikis sehingga seorang *haaa fizul Qur'an* selalu melandaskan kehidupan kesehariannya atas dasar Al-Qur'an.

Fakta sejarah telah membuktikan bahwa seorang dengan umur yang muda jauh lebih memiliki potensi untuk menghafal Al-Qur'an diantaranya adalah Imam Syafi'i yang hafal Al-Qur'an sejak umur 7 tahun, Imam Ahmad dan Ibnu Sina pada usia 10 tahun, dan Hasan Al Banna pada saat berusia 14 tahun. Kemampuan seorang anak yang masih berumur di bawah 17 tahun untuk menghafal Al-Qur'an jauh lebih besar daripada orang dewasa. Hal ini yang banyak dimanfaatkan oleh kalangan dunia pendidikan pesantren.

Pendidikan Pesantren yang mewajibkan beberapa surat Al-Qur'an bahkan sebagian pesantren mewajibkan para siswanya untuk menghafal lebih dari 1 juz Al-Qur'an. Hal ini dapat terjadi tidak hanya dorongan dari pihak pendidikan pesantren melainkan juga peran orang tua terhadap perkembangan anak. Abdullah Nasih Ulwan [10] menjelaskan bahwa perhatian orang tua *salafus salih* ketika menyerahkan anak-anaknya kepada para pendidik berwasiat agar anak-anak mereka diajarkan membaca Al-Qur'an dan menghafalkannya. Namun, bagi beberapa kalangan orang tua pada masa kini ilmu pengetahuan umum jauh lebih menarik dari pada ilmu agama termasuk Al-Qur'an. Padahal kenyataannya dengan melakukan hafalan Al-Qur'an, siswa dapat menunjukkan juga prestasi pada bidang matematika. Hal ini sesuai dengan penelitian Ahmad Agus [2] yang menyatakan bahwa terdapat hubungan yang positif dan signifikan antara hafalan Al-Qur'an dan kemampuan matematika siswa.

Hasil dan Diskusi

Data hasil penelitian dilakukan masing-masing dua kali untuk setiap subjek. Pertama, dilakukan pada saat pengumpulan data awal, dan kedua pada saat melakukan triangulasi waktu. Data penelitian disimpan dengan *camerarecorder*, selanjutnya hasil rekaman tersebut ditranskripsi untuk memudahkan peneliti dalam menganalisa.

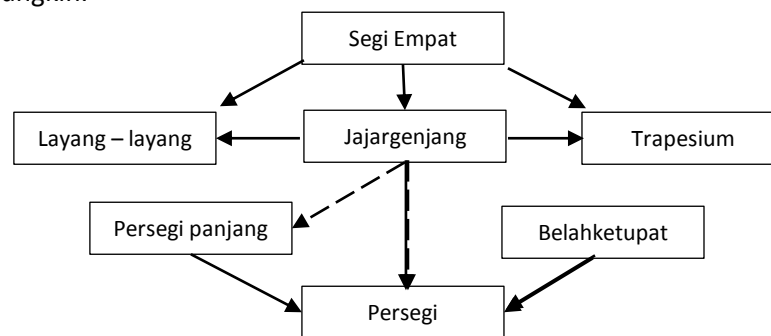
Adapun data hasil wawancara berbasis tugas setiap subjek pada pengambilan data sebagai berikut

Tabel 1 Profil Berpikir Geometris Siswa Penghafal Al-Qur'an Level Deduksi Informal Dalam Memahami Hubungan Antarbangun Segiempat Gaya Belajar *Auditory-Sequential*

KEGIATAN	Profil <i>Auditory-Sequential</i>
Menggambar Bangun Datar Segiempat	Siswa penghafal Al-Qur'an ini dapat dengan cermat menggambar berbagai macam bentuk segiempat yang berbeda dalam jumlah yang banyak dengan tetap memperhatikan bentuk gambar, ukuran sisi dan besar sudut.
Mengidentifikasi Jajargenjang	<ol style="list-style-type: none">1. Siswa penghafal Al-Qur'an ini mengidentifikasi beberapa model jajargenjang berbeda dengan memperhatikan atribut panjang sisi serta posisi.2. Siswa mengidentifikasi sifat yang sama dari beberapa jajargenjang dengan memperhatikan atribut dua pasang sisi yang berbeda dan sama panjang.
Mengidentifikasi Persegipanjang	<ol style="list-style-type: none">1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model persegipanjang berbeda dengan memperhatikan atribut ukuran ,panjang sisi, dan posisi.2. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi ciri yang sama dari beberapa bangun persegipanjang yaitu memiliki memiliki dua pasang sisi yang berhadapan sejajar yang sama panjang dan 4 sudut siku-siku.
Mengidentifikasi persegi	<ol style="list-style-type: none">1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model persegi berbeda baik dengan posisi dan panjang sisi.2. Jika mengacu pada definisi persegi merupakan belahketupat yang

satu sudutnya siku-siku atau segiempat yang keempat sisinya sama panjang dan satu sudutnya siku-siku, maka definisi yang diberikan subjek tidak akurat.

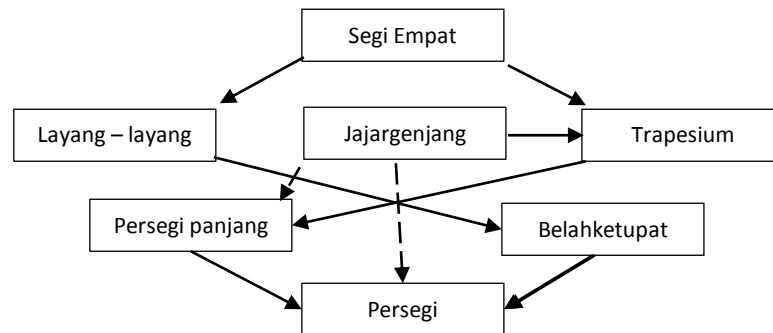
- | | |
|---|---|
| Mengidentifikasi belahketupat | <ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model belahketupat berbeda dengan memperhatikan atribut panjang sisi. 2. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi ciri yang sama beberapa bangun belahketupat yaitu semua sisinya sama panjang, sisi yang berdekatan sama panjang, memiliki dua pasang sisi yang berhadapan sejajar dan sama panjang. |
| Mengidentifikasi Trapesium | <ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model trapesium berbeda dengan memperhatikan atribut panjang sisi dan ukuran bangun. 2. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi ciri dari beberapa model bangun trapesium yaitu memiliki satu pasang sisi yang berhadapan sejajar dan sisi yang sejajar tersebut tidak sama panjang. |
| Mengidentifikasi layang-layang | <ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model trapesium berbeda dengan memperhatikan atribut panjang sisi dan ukuran bangun. 2. Siswa mengidentifikasi ciri dari beberapa model bangun layang-layang yaitu sisi yang berdekatan sama panjang, sisi yang berhadapan tidak sama panjang, dan tidak membentuk sudut siku-siku. |
| Membuat Diagram Hubungan Antar Bangun Segiempat | <p>Siswa penghafal Al-Qur'an penghafal Al-Qur'an membuat diagram hubungan antarbangun segiempat dimana jika dilihat dari sudut pandang analitis terjadi penyusutan hubungan dari 15 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin menjadi 9 hubungan yang mungkin.</p> |



Tabel 2 Profil Berpikir Geometris Siswa Penghafal Al-Qur'an Level Deduksi Informal Dalam Memahami Hubungan Antarbangun Segiempat Bergaya Belajar *Visual-Spatial*

KEGIATAN	Profil <i>Visual-Spatial</i>
Menggambar Bangun Datar Segiempat	Siswa penghafal Al-Qur'an menggambar berbagai macam bentuk segiempat yang berbeda yang tak hingga jumlahnya dengan memperhatikan atribut posisi, ukuran, bentuk gambar dan besar sudut.
Mengidentifikasi Jajargenjang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa model jajargenjang berbeda dengan memperhatikan atribut ukuran bangun dan posisi. 2. Jika menjelaskan jajargenjang merupakan sepasang sisi yang berhadapan sejajar sama panjang, maka atribut yang diberikan subjek untuk membangun definisi jajargenjang akurat.
Mengidentifikasi Persegipanjang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa bangun persegipanjang berbeda dengan memperhatikan atribut posisi dan ukuran bangun. 2. Siswa mengidentifikasi ciri yang sama dari beberapa bangun persegipanjang yaitu mempunyai sudut siku-siku, sisi yang berhadapan sejajar dan sama panjang
Mengidentifikasi belahketupat	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi beberapa bangun belahketupat berbeda dengan memperhatikan atribut ukuran bangun. 2. Jika mengacu pada definisi belahketupat merupakan bangun segiempat yang keempat sisinya sama panjang maka atribut yang diberikan subjek untuk membangun definisi belahketupat tidak akurat.
Mengidentifikasi persegi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi bangun persegi berbeda. Atribut yang digunakan adalah ukuran bangun persegi dan posisi bangun 2. Jika mengacu pada definisi persegi merupakan segiempat yang keempat sisinya sama panjang dan satu sudutnya siku-siku, maka definisi yang diberikan subjek tidak akurat.
Mengidentifikasi layang-layang	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa mengidentifikasi bangun layang-layang dengan posisi yang berbeda serta ukuran yang berbeda. 2. Jika mendefinisikan layang-layang merupakan bangun segiempat yang dua pasang sisi berdekatan sama panjang dan sisi tersebut tidak tumpang tindih, maka definisi yang diberikan subjek sudah akurat.
Mengidentifikasi Trapesium	<ol style="list-style-type: none"> 1. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi bangun trapesium berbeda. Atribut yang digunakan adalah jenis trapesium, posisi dan ukuran bangun trapesium. 2. Siswa penghafal Al-Qur'an mengidentifikasi ciri yang sama dari beberapa model bangun trapesium yaitu sisi yang berhadapan sejajar dan sisi yang sejajar tersebut tidak sama panjang.

Membuat Diagram Hubungan Antar Bangun Segiempat Siswa menghafal Al-Qur'an membuat diagram hubungan antarbangun segiempat dimana jika dilihat dari sudut pandang analitis terjadi penyusutan hubungan dari 15 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin menjadi 10 hubungan yang mungkin secara sederhana dapat digambarkan seperti pada Gambar berikut.



Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Siswa menghafal Al-Qur'an yang memiliki gaya belajar *auditory-sequential* dapat menyajikan 9 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin dari 15 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin. Berdasarkan pengertian yang dikenali subjek bahwa trapesium adalah segiempat yang sepasang sisinya sejajar dan layang-layang ialah segiempat yang sisi berdekatnya sama panjang, maka hasil ini dapat dimaknai bahwa subjek hanya cenderung menggunakan 3 atribut pada kegiatan menggambar dan mengidentifikasi bangun segiempat yaitu bentuk gambar, ukuran sisi dan sudut.
2. Siswa menghafal Al-Qur'an yang memiliki gaya belajar *visual-spatial* menyajikan 10 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin dari 15 hubungan antarbangun segiempat yang mungkin. Berdasarkan pengertian yang dikenali subjek bahwa trapesium adalah segiempat yang sepasang sisinya sejajar dan layang-layang ialah segiempat yang dua pasang sisinya yang berdekatnya sama panjang, maka hasil ini dapat dimaknai bahwa subjek cenderung menggunakan 4 atribut pada kegiatan menggambar dan mengidentifikasi bangun segiempat yaitu atribut posisi, ukuran, bentuk gambar dan sudut.

Referensi

- [1] Baroroh, Kiromim. 2006. Pendidikan Formal Di Lingkungan Pesantren Sebagai Upaya Meningkatkan Kualitas Sumber Daya Manusia. Yogyakarta : Jurnal Ekonomi & Pendidikan, Volume 3 Nomor 1, April 2006. (2)
- [2] Sofwan, Ahmad Agus. 2013. *Pengaruh Hafalan Al-Qur'an, Kemampuan Matematika dan Kecerdasan Spiritual Terhadap Prestasi Belajar Siswa Smpit Abu Bakar Yogyakarta*. Yogyakarta. Diakses pada laman <https://id.scribd.com/doc/122884837/jurnal1> pada tanggal 17 April 2015.(9)
- [3] Husnaeni. (2006). Penerapan Model Pembelajaran van Hiele dalam Membantu Siswa Kelas IVSD Membangun Konsep Segitiga. *Jurnal Pendidikan, Volume 7, Nomor 2*, 67-68. (6)
- [4] Abdussakir. 2002. *Pembelajaran Geometri Berdasar Teori van Hiele Berbantuan Komputer*. Jurnal Matematika atau Pembelajarannya. Tahun VIII, Edisi Khusus: 344-348. (1)
- [5] Van De Walle, J. A. (2001). *Geometric Thinking and Geometric Concept. In Elementary and Middle School Mathematics: Teaching Developmentally, 4th ed.* . Boston: Pearson Education.(11)

- [6] Gawlick, T. (2005). Connecting arguments to actions –Dynamic geometry as means for the attainment of higher van Hiele levels. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*,37(5), 361-370. (3)
- [7] Silverman, L. K. (2000). *Identifying Visual-Spatial and Auditory-Sequential Learners: A Validation Study*. Scottsdale, AZ: Gifted Psychology Press.
- [8] Patsiomitou, S. & Emvalotis, Anastassios.2010. *Students Movement Through Van Hiele Levels In A Dynamic Geometry GuidedReinvention Process*. *Journal Of Mathematics And Technology*, ISSN: 2078-0257, February.
- [9] Sukayasa, 2002.*Pengembangan Paket Pembelajaran Geometri SLTP pada Pokok Bahasan Segitiga Berpandu pada Fase-fase Pembelajaran Van Hiele*. Surabaya : Tesis PascaSarjana Pendidikan Matematika UNESA.
- [10] Ulwan, Abdullah Nasih.1993. *Tarbiyyatul Aulad fil Islam*, penterjemah Syafullah K,Pedoman Pendidikan Anak dalam Islam. Semarang : Asyifa.

MA-34

Pengembangan Bahan Ajar Berbasis ICT Pada Materi Persamaan Garis Lurus dalam Pembelajaran Matematika kelas VIII Sekolah Menengah Pertama (SMP).

Rika Dwi Yanti

¹Universitas Pendidikan Indonesia, SPS Prodi Pendidikan Matematika (S2)

^{a)}Dwiyamtirika17@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk bahan ajar *compact disk (CD)* pembelajaran Matematika yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas pemahaman siswa pada materi persamaan garis lurus. Penelitian ini dilaksanakan dari bulan November 2009 sampai Desember 2009 di sekolah. Subyek dalam penelitian ini adalah Siswa dan siswi SMP Negeri 110 Jakarta, SMP Al-Izhar Pondok Labu Jakarta, SMP Al- Azhar Syifa Budi Kemang Jakarta. Kendala dalam pembelajaran matematika adalah dalam penggunaan bahan ajar, maka perlu dikembangkan bahan ajar berbasis ICT. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian pengembangan (*research and development*). Penelitian ini terdiri atas tiga tahap, yaitu tahap analisis kebutuhan, tahap pengembangan bahan ajar, tahap uji coba bahan ajar. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan teknik dokumentasi, wawancara dan angket. Hasil Penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan bahan ajar matematika pada materi persamaan garis lurus dengan berbasis ICT dapat dikatakan layak untuk digunakan sebagai alternatif media pembelajaran di sekolah.

Kata kunci : bahan ajar, ICT, persamaan garis lurus

Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sedemikian pesat membawa dampak yang cukup besar terhadap manusia untuk mempelajari dan mengembangkan ilmu pengetahuannya. Berbagai alat elektronik telah diciptakan dan dibuat untuk mempermudah manusia dalam berbagai bidang dan aktivitasnya. Layaknya sebuah perkembangan yang terjadi tersebut takkan lepas dari peranan pendidikan yang melatar belakangnya. Komputer sebagai salah satu piranti elektronik yang dirasakan semakin cepat perkembangannya memberikan dampak yang begitu besar terhadap dunia pendidikan ataupun sebaliknya. Penggunaan media komputer dalam pembelajaran dapat dijadikan alternatif di zaman yang semakin canggih. Dengan bantuan *software-software* matematika yang menarik dalam belajar matematika diharapkan dapat menarik minat siswa dalam belajar matematika, yang akan memberikan nuansa kegembiraan dalam belajar matematika.

Pengumpulan informasi mengenai pembelajaran matematika di Sekolah Menengah Pertama (SMP) beserta sarana dan prasarana pendukungnya dilakukan dengan memberi angket pada beberapa sekolah, yaitu di SMP Negeri 110 Jakarta sebanyak 39 siswa, SMP Al-Izhar Pondok Labu sebanyak 25 siswa, dan SMP Al-Azhar Syifa Budi Kemang sebanyak 28 siswa.

Penelitian ini bertujuan memberikan alternatif media pembelajaran matematika mengembangkan bahan ajar dalam bentuk CD interaktif karena CD termasuk sumber data yang tidak rentan terhadap virus, sehingga lebih aman dan tahan lama. Selain itu, CD dapat digunakan oleh

siapa saja, di mana saja, termasuk di sekolah yang mayoritas sudah dilengkapi dengan laptop dan LCD, tanpa bergantung pada fasilitas internet.

METODE PENELITIAN

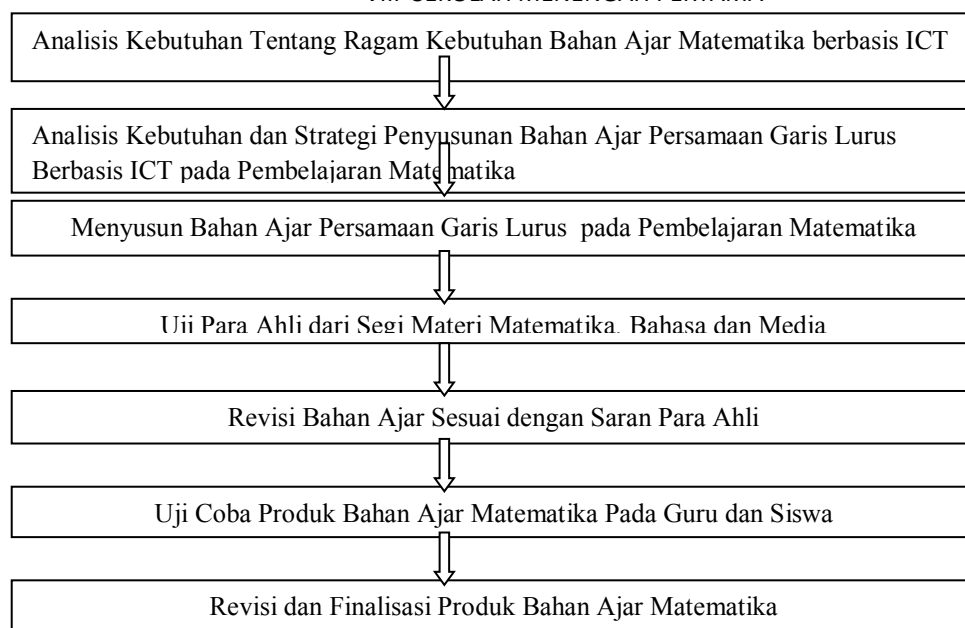
Penelitian yang digunakan merupakan metode penelitian pengembangan (*research and development*) yaitu penelitian tentang pembuatan suatu produk dan penyempurnaannya. Ada tiga hal penting yang harus dilaksanakan dalam kegiatan penelitian pengembangan, yaitu menganalisis kebutuhan (*need assessment*), mengembangkan produk dan menguji coba produk yang dihasilkan.

Penelitian ini melibatkan pembuatan produk berupa CD pembelajaran dilakukan bekerja sama dengan seorang IT lulusan, sedangkan tahap uji coba dilaksanakan di kelas VIII SMPN 110 Jakarta, SMP Al-Izhar Pondok Labu Jakarta, dan SMP Al-Azhar Syifa Budi Kemang Jakarta serta para ahli materi, ahli bahasa dan ahli media.

Analisis Kebutuhan

Penelitian pendahuluan yang berupa analisis kebutuhan (*need assesment*) merupakan langkah awal yang harus dilakukann dalam kegiatan penelitian di bidang pengembangan. Tujuan dari analisis kebutuhan yaitu untuj mengetahui kebutuhan apa saja yang diperlukan untuk mengatasi masalah-masalah yang ditemui dalam kegiatan pembelajaran . analisis kebutuhan telah dilakukan pada kelas VIII SMPN 110 Jakarta, SMP Al-Izhar Pondok Labu Jakarta, dan SMP Al-Azhar Syifa Budi Kemang Jakarta serta para ahli materi, ahli bahasa dan ahli media. Analisis kebutuhan dilakukan dengan menyebar kuesioner kepada guru dan siswa.

DIAGRAM ALIR TAHAP PENGEMBANGAN BAHAN AJAR BERBASIS *INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY* (ICT) PADA MATERI PERSAMAAN GARIS LURUS DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA KELAS VIII SEKOLAH MENENGAH PERTAMA



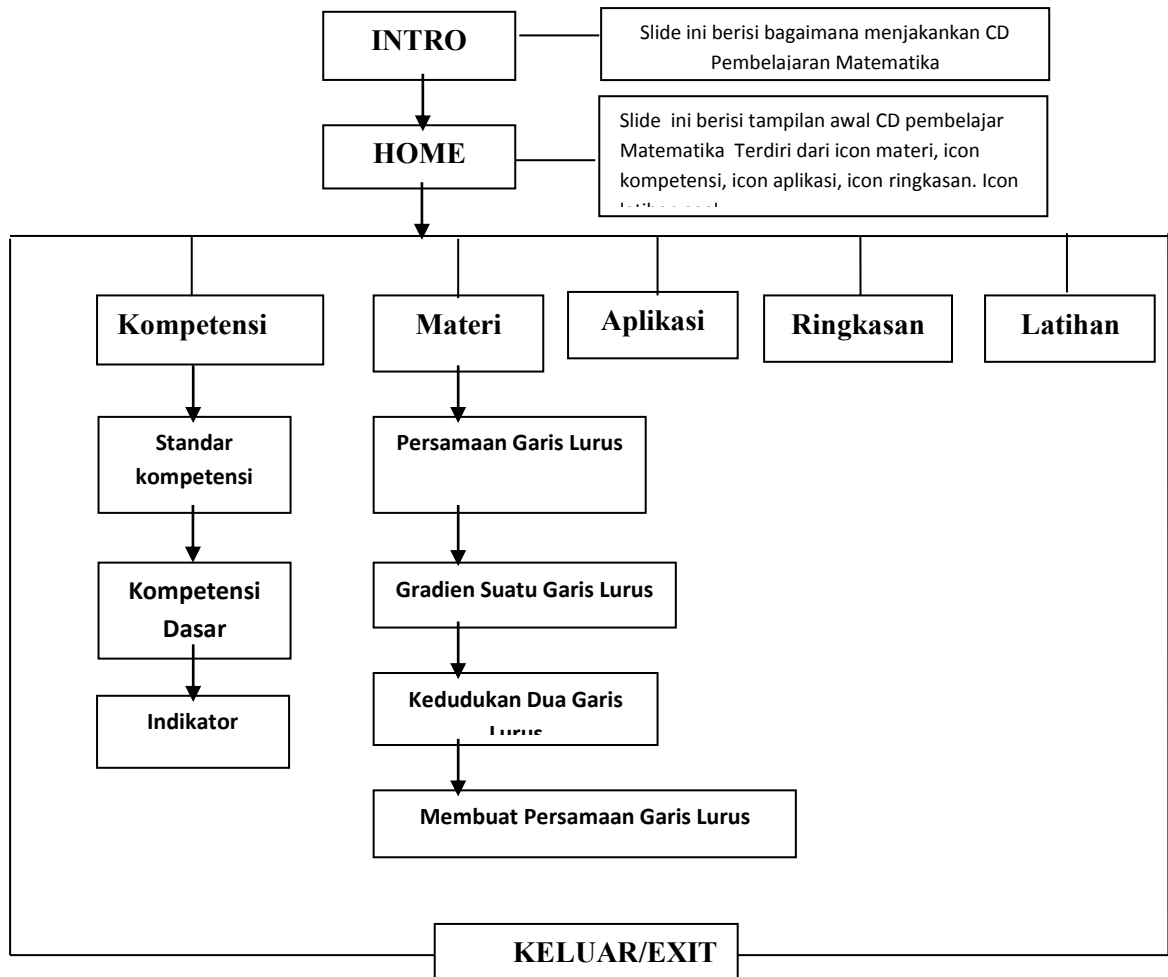
Model Pengembangan

Model pengembangan yang dikembangkan adalah pengembangan media berupa CD pembelajaran. Untuk mengembangkan CD pembelajaran matematika pada materi persamaan garis lurus bagi siswa SMP kelas VIII sudah disesuaikan dengan standar kompetensi, kompetensi dasar dan indikator.

Produk Awal Model Media Pembelajaran

Pada tahap ini dilakukan pembagian materi dan pemetaan materi, perancangan media dan perangkat lunak/software Macromedia Flash Professional 8 (Flash 8). Setelah perancangan CD pembelajaran interaktif persamaan garis lurus, yaitu pembuatan jабaran materi, *flowchart.*, selesai dibuat, langkah selanjutnya yaitu tahap pengembangan yang terdiri dari tahap pembuatan dan revisi hingga menghasilkan CD pembelajaran interaktif yang siap diuji coba.

Desain Awal Pengembangan Bahan Ajar Berbasis ICT



Tahap Pengembangan Bahan Ajar

Tahap ini meliputi tahap pembuatan dan pengeditan bahan ajar dilakukan kerjasama dengan ahli materi, ahli media, ahli bahasa, guru matematika dan guru komputer serta seorang ahli ilmu telekomunikasi (IT) lulusan Amikom Yogyakarta.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil validasi uji ahli bahan ajar dilakukan kepada ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa terhadap CD pembelajaran

1. Uji Ahli Materi

Responden dalam uji coba ini adalah dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II. Uji coba ini dilakukan di ruang dosen jurusan matematika FMIPA UNJ dengan menggunakan *Personal Computer* (PC) dan laptop penguji materi.

Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data sebagai berikut :

Tabel Hasil Analisis Angket Evaluasi Ahli Materi

No.	Indikator	Γ_c	Interpretasi Validitas	%	Interpretasi
a.	Substansi materi yang disajikan sesuai dengan kompetensi yang dikuasai oleh siswa	1,00	Baik	93,8	Sangat Baik
b.	Isi	1,00	Baik	98,2	Sangat Baik
Reliabilitas Instrumen		1,00	Memiliki reliabilitas tinggi		

2. Uji Ahli Media

Uji coba dilakukan oleh dua dosen matematika yang dilakukan di ruang Jurusan Matematika FMIPA UNJ dengan menggunakan *Personal Computer* (PC) dan laptop penguji media. Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data sebagai berikut

Tabel Hasil Analisis Angket Evaluasi Ahli Media

No.	Indikator	Γ_c	Interpretasi Validitas	%	Interpretasi
a	Struktur dan navigasi	1,00	Baik	100	Sangat baik
b	Desain tampilan	1,00	Baik	89,1	Sangat baik
Reliabilitas Instrumen		1,00	Memiliki reliabilitas tinggi		

3. Uji Ahli Bahasa

Uji coba bahasa dalam penelitian ini tidak jauh berbeda dengan uji coba ahli materi dan ahli media, uji ahli bahasa juga memiliki tujuan menguji kelayakan dari produk (bahan ajar) CD pembelajaran yang telah dibuat ditinjau dari segi kebahasaan. Responden pada ahli ini adalah dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II. Secara garis besar ada dua indikator penilaian dalam uji ahli bahasa yaitu:

- a. Kemudahan bahasa
- b. Kesesuaian dengan kaidah bahasa.

Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data sebagai berikut

Tabel Hasil Analisis Angket Evaluasi Ahli Bahasa

No	Indikator	Γ_c	Interpretasi Validitas	%	Interpretasi
A	Kemudahan bahasa	1,00	Baik	100	Sangat baik
B	Kesesuaian dengan kaidah bahasa	1,00	Baik	93,8	Sangat baik
Reliabilitas Instrumen		1,00	Memiliki reliabilitas tinggi		

Hasil Uji Lapangan

Hasil validasi uji lapangan dilakukan kepada guru dan siswa terhadap CD pembelajaran.

1. Uji Coba Pada Guru

Uji coba lapangan ini dilakukan oleh tiga guru matematika. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kelayakan dan mengetahui pendapat guru mengenai bahan ajar yang dikembangkan berupa CD.

Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data sebagai berikut

Tabel Hasil Analisis Angket Evaluasi Guru

No.	Indikator	r_{xy}	Interpretasi Validitas	%	Interpretasi
A	Kualitas relevansi dengan tujuan pembelajaran	0,98	Baik	85	Sangat baik
B	Desain Tampilan	0,94	Baik	82,2	Sangat baik
Reliabilitas Instrumen			Memiliki reliabilitas tinggi		

2. Hasil Uji Coba Pada Siswa

Tujuan uji coba pada siswa adalah menguji kelayakan dan mengetahui pendapat siswa mengenai bahan ajar yang didasarkan pada indikator dari persyaratan CD pembelajaran interaktif yang baik.

Berdasarkan hasil uji coba didapatkan data sebagai berikut

Tabel Hasil Analisis Angket Uji Coba kepada Siswa

No.	Indikator	r_{xy}	Interpretasi Validitas	%	Interpretasi
A	Kejelasan tujuan (indikator) yang ingin dicapai	0,66	Baik	85,6	Sangat baik
B	Penggunaan jenis dan ukuran huruf	0,60	Baik	84,4	Sangat baik
C	Ilustrasi dan gambar	0,57	Baik	88,8	Sangat baik
D	Interaktifitas	0,52	Baik	84,3	Sangat baik

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan antara lain: Penelitian pengembangan yang dilakukan telah menghasilkan bahan ajar matematika berbasis *Information and Communication Technology (ICT)* berupa *Compact Disk (CD)* yang sesuai dengan standar kompetensi, kompetensi dasar dan indikator pembelajaran dalam KTSP. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa mayoritas responden mendukung dikembangkan bahan ajar matematika berbasis ICT pada pembelajaran matematika pada materi Persamaan Garis Lurus.

Pada tahap uji coba bahan ajar oleh ahli materi, ahli bahasa, ahli ICT, siswa, dan guru terhadap CD pembelajaran, didapatkan hasil positif, yaitu interpretasi yang didapat untuk tiap-tiap indikator sebagian besar berkisar dari baik hingga sangat baik. Hal ini menunjukkan bahwa bahan ajar pembelajaran matematika yang telah dikembangkan sudah cukup layak untuk dapat digunakan sebagai sumber dan media pembelajaran matematika pada materi persamaan garis lurus.

Referensi

- [1] Abdul, Majid. *Perencanaan Pembelajaran Mengembangkan Standdar Kompetensi Guru*. Bandung: Remaja Rosdakarya, 2007
- [2] Adinawar, M Cholik. *Matematika SLTP Kelas 2*. Jakarta: Erlangga. 2006.
- [3] Ahmadiyah, S. *Embelajaran Berbasis ICT*". <http://tabloidinfosumenep.go.id>. 13 April 2009
- [4] Anonim. "Dukungan ICT Untuk Meningkatkan Efisiensi Penyampaian Materi Pelajaran". <http://www.bapsi.usd.ac.id/modules.php?name=News&file=articles&sid=76>. 20 April 2009.
- [5] Arikunto, Suharsimi. *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan (Edisi Revisi)*. Jakarta: Bumi Aksara, 2009.
- [6] Arsyad, Azhar. *Media Pembelajaran*. Jakarta: Rajawali Pers, 2009.
- [7] Asim. *Penelitian dan Pengembangan*. <http://pustekom.depdiknas.go.id/index.php>. 23 April 2009.
- [8] Dwiyo, W. "Pelaksanaan Penelitian Pengembangan." . <http://pustekom.depdiknas.go.id/index.php>. 23 April 2009.
- [9] Gafur, A. "ICT" <http://primagama.co.id/.../lihatberita.php> 23 April 2009.
- [10] Hudoyo, Herman. "Belajar Mengajar Matematika". Jakarta: Departement P&K Dirjen Proyek Pengembangan LPTK.. 1988.
- [11] Hudoyo, Herman. *Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran Matematika* Malang: Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA Universitas Negeri Malang. 2003.
- [12] Ibnu, S. "Penelitian dan Pengembangan" <http://pustekom.depdiknas.go.id/index.php>. 23 April 2001.
- [13] Ilham. " Bahan Ajar". <http://gurupkn.wordpress.cim/2007/11/2/bahanajar>, 20 April, 2009.
- [14] Riduwan. *Pengantar Statistika Sosial*. Bandung: Alfabeta, 2009.
- [15] Risnawati. "Tes Diagnostik Kesulitan Belajar Aritmatika di Sekolah Dasar Negeri 01 dan 02 Pasar Minggu Jakarta Selatan." *Skripsi*. Universitas Negeri Jakarta, 2004.
- [16] Suherman, Erman. *Strategi Pembelajaran Matematika Kontemporer*. Bandung: Jica, 2003.
- [17] Uno, Hamzah B. dan Masri Kudrat Umar. *Mengelola Kecerdasan dalam Pembelajaran Sebuah Konsep Pembelajaran Berbasis Kecerdasan*. Jakarta: Bumi Aksara, 2009.
- [18] Widodo, Priyono Dwi. *Kamus Istilah Internet dan Komputer*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo, 2002.

MA-35

Pengaruh Kecerdasan Visual-Spasial Dan Kecerdasan Matematis-Logis Mahasiswa Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis

Yuli Mulyasari¹, Rahayu Kariadinata^{2a)}, Iyon Maryono³

¹Prodi Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Prodi Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

³Prodi Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: rahayu_kariadinata@yahoo.co.id

Abstrak

Ranah pemecahan masalah sebagai salah satu tujuan pembelajaran matematika yang melibatkan seluruh macam kecerdasan manusia secara bersama-sama. Namun ada kalanya satu kecerdasan menjadi dominan daripada kecerdasan lainnya. Belum diketahui kecerdasan yang mendominasi dalam proses pemecahan masalah terutama dalam ruang lingkup geometri. Kecerdasan visual-spasial dan matematis-logis merupakan dua dari sembilan macam kecerdasan yang dikembangkan oleh Howard Gardner.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa pendidikan matematika terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis. Penelitian dilakukan terhadap Prodi Pendidikan Matematika UIN Sunan Gunung Dajati Bandung Angkatan 2011 (semester VI) dengan jumlah 64 orang. Pemilihan populasi didasarkan pada penyajian mata kuliah Geometri Transformasi. Teknik pengambilan sampel melalui *Sampling Jenuh*. Artinya semua anggota populasi digunakan sebagai sampel. Teknik ini digunakan untuk membuat generalisasi hasil penenlitian dengan kesalahan yang sangat kecil. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kausal komparatif. Instrumen yang digunakan untuk menganalisis kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa adalah *IST (Intelligenz Struktur Test)*, sedangkan instrumen untuk mengukur kemampuan pemecahan masalah matematis adalah tes formatif.

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa: a) kecerdasan visual-spasial mahasiswa pada kategori kecerdasan *rata-rata*, b) kecerdasan matematis-logis mahasiswa pada kategori kecerdasan *rata-rata*, c) kecerdasan visual-spasial mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis, d) kecerdasan matematis-logis mahasiswa berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah, e) kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis, f) kecerdasan visual-spasial tidak berpengaruh signifikan terhadap kecerdasan matematis-logis mahasiswa

Kata kunci: kecerdasan visual-spasial, kecerdasan matematis-logis, dan pemecahan masalah matematis

Pendahuluan

Dalam kamus besar Bahasa Indonesia [1], kecerdasan diartikan sebagai kesempurnaan perkembangan akal budi (seperti kepandaian dan ketajaman pikiran). Kecerdasan adalah istilah umum yang digunakan untuk menjelaskan sifat pikiran yang mencakup sejumlah kemampuan, seperti kemampuan menalar, merencanakan, memecahkan masalah, berpikir abstrak, memahami gagasan, menggunakan bahasa, dan belajar. Sehingga seseorang dikatakan cerdas jika memiliki kemampuan bernalar yang baik, mempunyai gagasan yang kreatif, dan mampu memecahkan masalah dengan cepat dan tepat.

Pengertian kecerdasan tidak dapat terlepas dari pemikiran Howard Gardner. Dalam bukunya "*Frame of Mind*", Gardner memberikan definisi kecerdasan sebagai berikut:

An intelligence is ability to solve problems, or to create products, that valued within one or more cultural settings-a definition that says nothing about either the sources of these abilities or proper means of "testing" them [2]".

Gardner secara jelas mengemukakan pendapatnya bahwa kecerdasan merupakan kemampuan untuk memecahkan masalah. Beliau merumuskan teori kecerdasan majemuk (*multiple intelligences*) yang didorong oleh pendapatnya bahwa pandangan dari sisi psikometri dan kognitif saja terlalu sempit untuk menggambarkan konsep kecerdasan. Kecerdasan majemuk tersebut terdiri dari: kecerdasan bahasa (*linguistic*), musik (*musical*), logika-matematika (*logical-mathematical*), visual-spasial (*visual-spatial*), kinestetis-tubuh (*bodily-kinesthetic*), intrapersonal (*intrapersonal*), interpersonal (*interpersonal*), dan naturalis (*naturalists*).

Kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan logika-matematika sangat berkaitan dengan kemampuan manusia dalam merepresentasikan dunia melalui gambaran-gambaran mental dan ungkapan artistik, kemampuan menghitung, berpikir logis, dan keterampilan pemecahan masalah [3].

Siapa pun yang dapat menunjukkan kemampuan berhitung dengan cepat, menaksir, melengkapi permasalahan aritmetika, memahami atau membuat alasan tentang hubungan-hubungan antar angka, menyelesaikan pola atau melengkapi irama bilangan, dan membaca penanggalan atau sistem notasi lain sudah merupakan ciri menonjol dari kecerdasan logika-matematika [4].

Kedua kecerdasan tersebut sangat berperan pengembangan kemampuan pemecahan masalah dalam pembelajaran geometri. Geometri merupakan salah satu cabang matematika yang diperkenalkan kepada peserta didik mulai dari tingkat sekolah dasar hingga perguruan tinggi. Dari sudut pandang psikologi, geometri merupakan penyajian abstraksi dari pengalaman visual dan spasial, misalnya bidang, pola, pengukuran dan pemetaan. Sedangkan dari sudut pandang matematik, geometri menyediakan pendekatan-pendekatan untuk pemecahan masalah, misalnya gambar-gambar, diagram, sistem koordinat, vektor, dan transformasi. Geometri juga merupakan lingkungan untuk mempelajari struktur matematika [5].

Geometri ikut berkembang seiring dengan perkembangan matematika. Geometri yang timbul dari dorongan kebutuhan akan proses pengukuran, kini telah dianggap sebagai sebuah abstraksi dari dunia nyata atau sebuah model yang membantu pikiran atau logika. Geometri digunakan oleh setiap orang dalam kehidupan sehari-hari. Ilmuwan, arsitek, artis, insinyur, dan pengembang perumahan adalah sebagian kecil contoh profesi yang menggunakan geometri secara reguler

Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang disampaikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

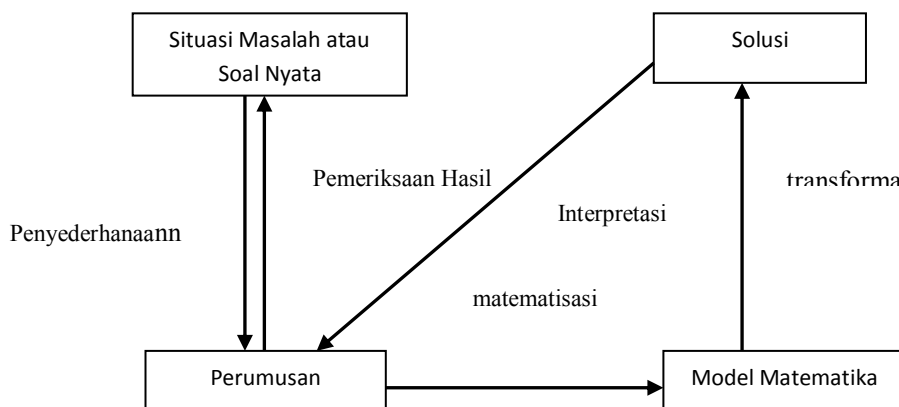
1. Bagaimana kecerdasan visual-spasial mahasiswa?
2. Bagaimana kecerdasan matematis-logis mahasiswa?
3. Bagaimana pengaruh kecerdasan visual-spasial terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dalam lingkup Geometri?
4. Bagaimana pengaruh kecerdasan matematis-logis terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dalam lingkup Geometri?
5. Bagaimana pengaruh kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dalam lingkup Geometri?
6. Bagaimana pengaruh kecerdasan visual-spasial terhadap kecerdasan matematis-logis mahasiswa ?

Landasan Teori

Pemecahan masalah merupakan tujuan umum dalam pembelajaran matematika, bahkan sebagai jantungnya matematika artinya kemampuan pemecahan masalah merupakan kemampuan dasar dalam belajar matematika. Kemampuan pemecahan masalah termasuk suatu keterampilan, karena dalam pemecahan masalah melibatkan segala aspek pengetahuan (ingatan, pemahaman, penerapan, analisis, sintesis, dan evaluasi) dan sikap mau menerima tantangan [6]. Melalui aktivitas pemecahan masalah, peserta didik berlatih kemampuan berpikir tingkat tinggi. Beberapa keterampilan untuk meningkatkan kemampuan memecahkan masalah pada peserta didik antara lain:

1. memahami masalah,
2. memilih pendekatan atau strategi pemecahan masalah,
3. menyelesaikan masalah, dan
4. menafsirkan solusi.

Berikut ini diagram alur matematika sebagai cara memecahkan masalah yang tertuang dalam Kurikulum Depdiknas 2003 [6] yang menjabarkan alur penyelesaian soal masalah nyata yang dibuat rumusan penyelesaiannya sehingga diperoleh suatu solusi yang paling efektif melalui pembuatan model matematika.



Gambar 1 Matematika Sebagai Cara Memecahkan Masalah

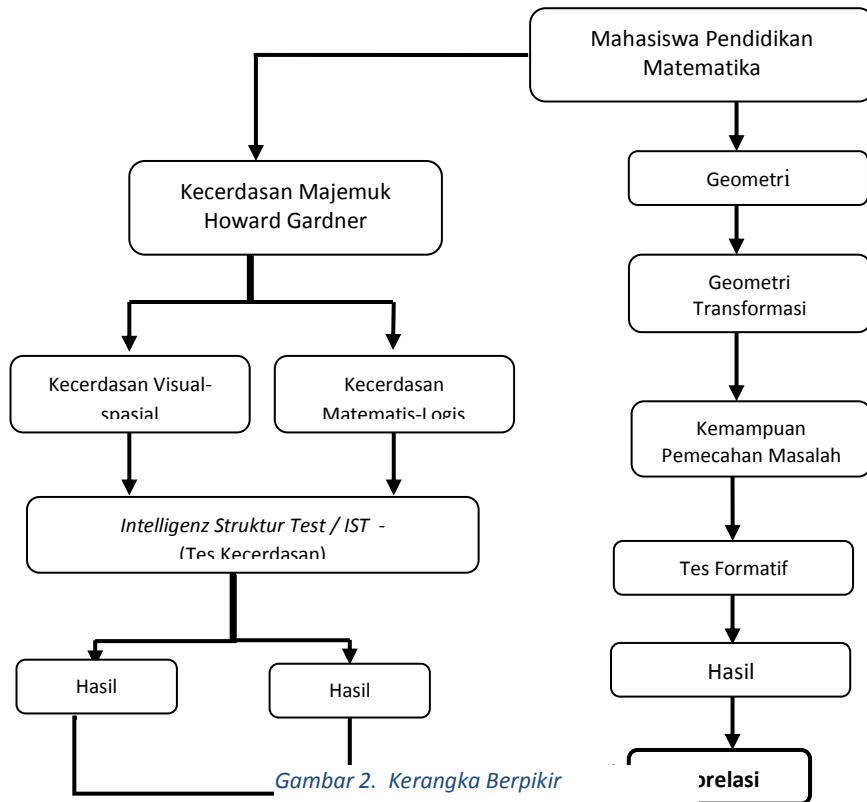
Dalam proses pemecahan masalah tentunya tidak semua mahasiswa memperoleh hasil yang sama. Hal tersebut dipengaruhi faktor psikologis dan lingkungan. Menurut Slameto (2010: 55) salah satu faktor psikologis yang mempengaruhi keberhasilan siswa dalam pembelajaran adalah inteligensi/kecerdasan. Dalam ruang lingkup geometri kecerdasan yang relevan adalah kecerdasan visual-spasial yaitu kemampuan untuk membentuk dan menggunakan sajian-sajian visual seperti film, gambar, video, dan peragaan yang menggunakan model dan slaid, membaca peta dan diagram, memecahkan jejing yang ruwet serta menyusun dan memasang jigsaw puzzle. Kecerdasan ini dapat dilukiskan sebagai kegiatan otak-kanan [7].

Belahan otak-kanan merupakan sumber inteligensi. Sehingga dalam memecahkan masalah dalam geometri, kecerdasan ini sangat berkontribusi dalam mentranslasikan bentuk-bentuk verbal menjadi bentuk-bentuk visual atau gambar yang biasa digeneralisasi dalam bentuk-bentuk geometri. Namun kecerdasan lainnya yang tidak bisa dikesampingkan kontribusinya dalam mempelajari geometri adalah kecerdasan matematis-logis. Kecerdasan ini merupakan kunci dari penalaran dan aktivitas berhitung lainnya.

Hal tersebut sesuai dengan definisi yang diberikan Gardner bahwa kecerdasan matematis-logis adalah kemampuan yang berhubungan dengan kemampuan ilmiah seperti mengumpulkan dan mengorganisasi data, menganalisis dan menginterpretasikan, menyimpulkan kemudian meramalkan, melihat dan mencermati adanya pola keterkaitan antar data, memecahkan soal matematis, dan menggunakan berbagai grafik baik untuk menyenangkan diri sendiri (sebagai kegemaran) maupun untuk menyampaikan informasi kepada orang lain. Kecerdasan ini dicirikan sebagai kegiatan otak-kiri [7] yang merupakan pusat aktivitas bernalar, menghitung, dan berhipotesis sehingga orang dengan keunggulan dalam kecerdasan ini tidak akan mengalami kesulitan dalam proses memecahkan masalah. Kecerdasan matematis-logis adalah kecerdasan yang digunakan oleh seseorang untuk memecahkan berbagai permasalahan yang berbentuk logika simbolis dan matematika abstrak.

Hal yang menarik dari aktivitas pemecahan masalah dalam ruang lingkup geometri adalah jika kecerdasan visual-spasial yang dilukiskan sebagai aktivitas otak-kanan dan kecerdasan matematis-logis digambarkan sebagai aktivitas otak-kiri bersimultan secara optimal maka keduanya menjadi kombinasi yang luar biasa dalam mempelajari geometri, artinya dalam memecahkan masalah geometri bagian otak-kiri dan otak-kanan manusia sangat berperan penting. Menurut teori Howard Gardner pada tingkat tertentu, kecerdasan merupakan suatu kesatuan yang utuh maknanya sebagai unsur psikologis yang mempengaruhi proses belajar mengajar suatu individu sehingga ia dapat memecahkan suatu masalah atau tugas tertentu, seluruh macam kecerdasan manusia bekerja secara bersama-sama. Namun ada kalanya satu kecerdasan menjadi dominan daripada kecerdasan lainnya. Namun belum diketahui kecerdasan yang mendominasi dari kedelapan kecerdasan yang dikembangkan oleh Howard GGardner dalam proses pemecahan masalah dalam ruang lingkup geometri.

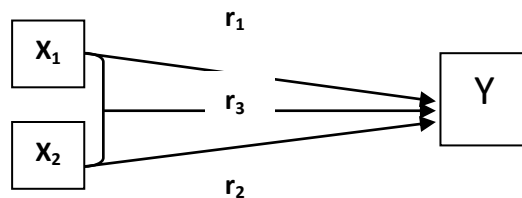
Dari pendapat tersebut dapat diasumsikan bahwa kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa pendidikan matematika berpengaruh terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dalam ruang lingkup geometri. Untuk memahami kerangka pemikiran dalam penelitian, maka dapat digambarkan kerangka pemikiran dalam penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 2. Kerangka Berpikir

Langkah-langkah Penelitian

Penelitian ini dilakukan terhadap mahasiswa Pendidikan Matematika Pendidikan MIPA Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung Angkatan 2011 (semester VI) dengan jumlah 64 orang. Pemilihan populasi didasarkan pada penyajian geometri transformasi sebagai salah satu mata kuliah dalam ruang lingkup geometri tersaji pada kontrak perkuliahan yang ditawarkan di semester VI dan kesediaan objek untuk diteliti. Paradigma dalam penelitian ini digambarkan sebagai berikut :



Gambar 3. Paradigma Penelitian

Keterangan:

X_1 =Kecerdasan Visual-Spasial

X_2 =Kecerdasan Matematis-Logis

Y = Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis

Dalam penelitian ini digunakan paradigma ganda dengan dua variabel independen sehingga terdapat tiga korelasi sederhana dan satu korelasi ganda.

Instrumen Penelitian:

a) Instrumen Terstandar

Instrumen terstandar digunakan untuk mendiagnostik kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis logis. Adapun instrumen terstandar tersebut yaitu *IST (Intelligenz Struktur Test)*.

IST merupakan salah satu tes psikologi yang dikembangkan oleh Rudolf Amthauer di Jerman pada tahun 1953 untuk mengukur tingkat intelegensi seseorang.

b) Tes Kemampuan Pemecahan Masalah

Tes kemampuan pemecahan masalah digunakan untuk melihat kemampuan pemecahan masalah matematika mahasiswa pada ruang lingkup materi Geometri Transformasi

Hasil dan Diskusi

Hasil Penelitian

Hasil tes kecerdasan visual-spasial mahasiswa pendidikan matematika UIN SGD Bandung Angkatan 2011 diperoleh skor tertinggi yaitu 131. Menurut Pedoman Penskoran Tes Kecerdasan, skor tersebut termasuk kategori *very superior*. Sedangkan skor terendah yang diperoleh yaitu 80 dengan kategori *di bawah rata-rata*. Adapun skor rata-rata dari skor keseluruhan mahasiswa yaitu 99,984 dengan kategori *rata-rata* dan standar deviasi sebesar 10,842. Adapun pemetaan skor kecerdasan visual-spasial mahasiswa pendidikan matematika UIN SGD Bandung Angkatan 2011 berdasarkan tujuh pengkategorian taraf kecerdasan disajikan dalam Tabel 1

Tabel 1 Pemetaan Skor Kecerdasan Visual-Spasial Mahasiswa

Kategori	Frekuensi	Prosentase
Mental Deffective	0	0%
Borderline	0	0%
Di Bawah Rata-rata	14	22%
Rata-rata	38	59%
Di Atas Rata-rata	11	17%
Superior	0	0%
Very Superior	1	2%

Hasil tes kecerdasan matematis-logis mahasiswa pendidikan matematika UIN SGD Bandung Angkatan 2011 diperoleh skor tertinggi yaitu 123 dengan kategori *superior* dan skor terendah yaitu 90 dengan kategori *di bawah rata-rata*. Sedangkan dari skor keseluruhan mahasiswa diperoleh rata-rata yaitu 104,234 dengan kategori *rata-rata* dan standar deviasi sebesar 7,644. Adapun pemetaan skor kecerdasan visual-spasial mahasiswa disajikan dalam Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Pemetaan Skor Kecerdasan Matematis-Logis Mahasiswa

Kategori	Frekuensi	Prosentase
Mental Deffective	0	0%
Borderline	0	0%
Di Bawah Rata-rata	1	2%
Rata-rata	51	80%
Di Atas Rata-rata	10	15%
Superior	2	3%
Very Superior	0	0%

Sedangkan berdasarkan tes kemampuan pemecahan masalah matematika pada materi Geometri Transformasi, diperoleh skor tertinggi yaitu 66 dari skor idel 100. Berdasarkan Pedoman Penilaian Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung, skor tersebut termasuk kategori *cukup*.

Skor terendah yang diperoleh yaitu 16 dengan kategori *gagal*. Adapun skor rata-rata dari skor keseluruhan mahasiswa yaitu 41,766 dengan kategori *gagal* dan standar deviasi sebesar 11,828.

Tabel 3. Statistik Deskriptif Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
Kemampuan Pemecahan Masalah	64	16	66	41,77	11,828	139,897
Valid N (listwise)	64					

Prosentase kemampuan pemecahan masalah mahasiswa pada setiap langkah proses pemecahan masalah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kemampuan Mahasiswa pada Setiap Langkah Pemecahan Masalah Matematis

Indikator Pemecahan Masalah	Banyaknya Mahasiswa	Persentase (%)
Memahami Masalah	38	60%
Merencanakan Penyelesaian Masalah	22	34%
Melakukan Perhitungan	20	31%
Memeriksa Kembali Hasil	8	13%

Untuk melihat pengaruh Kecerdasan Visual-Spasial terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis dalam Ruang Lingkup Geometri Transformasi, dilakukan uji korelasi menggunakan rumus *Product Moment Pearson*, karena data berbentuk interval. Tabel 5 memperlihatkan hasil uji korelasi kedua variabel tersebut

Tabel 5. Korelasi Kecerdasan Visual-Spasial dan Kemampuan Pemecahan Masalah

		Kemampuan Pemecahan Masalah	Kecerdasan Visual-Spasial
Pearson Correlation	Kemampuan Pemecahan Masalah	1,000	0,123
	Kecerdasan Visual-Spasial	0,123	1,000
Sig. (1-tailed)	Kemampuan Pemecahan Masalah	.	0,167
	Kecerdasan Visual-Spasial	0,167	.
N	Kemampuan Pemecahan Masalah	64	64
	Kecerdasan Visual-Spasial	64	64

Koefisien korelasi antar variabel kecerdasan visual-spasial dan kemampuan pemecahan masalah matematis adalah 0,123. Hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah diantara kecerdasan visual-spasial dan kemampuan pemecahan masalah matematis. Arah hubungan yang positif pada angka 0,123 menunjukkan semakin besar skor kecerdasan visual-spasial maka akan semakin besar kemampuan pemecahan masalah matematis, demikian pula sebaliknya, semakin kecil skor kecerdasan visual-spasial maka akan semakin kecil kemampuan pemecahan masalah matematis. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari output (diukur dari probabilitas) menghasilkan angka 0,167. Angka probabilitas ini di atas 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa korelasi antara variabel kecerdasan visual-spasial dan kemampuan pemecahan masalah tidak signifikan .

Untuk melihat seberapa besar persentase variabel X_1 (kecerdasan visual-spasial) terhadap variabel Y (kemampuan pemecahan masalah matematis) maka dalam penelitian ini digunakan perhitungan Koefisien Determinasi (Kd) dengan rumus sebagai berikut : $Kd = r^2 \times 100\%$ sehingga : $Kd = (0,123)^2 \times 100\% = 0,015129 \times 100\% = 1,5129\%$. Hal ini berarti kontribusi pengaruh kecerdasan

visual-spasial terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis sebesar 1,5129%, Sedangkan sisanya 98,4871% dipengaruhi oleh faktor –faktor lainnya yang tidak masuk dalam penelitian ini.

Untuk melihat pengaruh Kecerdasan Matematis-Logis terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Matematis dalam Ruang Lingkup Geometri Transformasi, dilakukan uji korelasi menggunakan rumus *Product Moment Pearson*, karena data berbentuk interval. Tabel 7 memperlihatkan hasil uji korelasi kedua variabel tersebut

Tabel 7. Korelasi Kecerdasan Matematis-Logis terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah

		Kemampuan Pemecahan Masalah	Kecerdasan Matematis-Logis
Pearson Correlation	Kemampuan Pemecahan Masalah	1,000	0,237
	Kecerdasan Matematis-Logis	0,237	1,000
Sig. (1-tailed)	Kemampuan Pemecahan Masalah	.	0,030
	Kecerdasan Matematis-Logis	0,030	.
N	Kemampuan Pemecahan Masalah	64	64
	Kecerdasan Matematis-Logis	64	64

Koefisien korelasi antar variabel kecerdasan matematis-logis dan kemampuan pemecahan masalah matematis adalah 0,237. Hal ini menunjukkan hubungan yang sangat rendah diantara kecerdasan matematis-logis dan kemampuan pemecahan masalah matematis. Arah hubungan yang positif pada angka 0,237 menunjukkan semakin besar skor kecerdasan matematis-logis maka akan semakin besar kemampuan pemecahan masalah matematis, demikian pula sebaliknya, semakin kecil skor kecerdasan matematis-logis maka akan semakin kecil kemampuan pemecahan masalah. Tingkat signifikansi koefisien korelasi satu sisi dari output (diukur dari probabilitas) menghasilkan angka 0,030. Angka probabilitas ini di bawah 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa korelasi antara variabel kecerdasan matematis-logis dan kemampuan pemecahan masalah matematis signifikan.

Untuk melihat seberapa besar persentase variabel X_2 (kecerdasan matematis-logis) terhadap variabel Y (kemampuan pemecahan masalah matematis) maka dalam penelitian ini digunakan perhitungan Koefisien Determinasi (Kd) dengan rumus sebagai berikut : $Kd = r^2 \times 100\%$ sehingga : $Kd = (0,237)^2 \times 100\% = 0,056169 \times 100\% = 5,6169\%$. Hal ini berarti kontribusi pengaruh kecerdasan visual-spasial terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis sebesar 5,6169%, sedangkan sisanya 94,3831% yang dipengaruhi oleh faktor–faktor lainnya yang tidak masuk dalam penelitian ini.

Selanjutnya berdasarkan analisis, diperoleh hasil bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara kecerdasan visual-spasial (X_1), kecerdasan matematis-logis (X_2) dengan kemampuan pemecahan masalah (Y), demikian pula tidak terdapat pengaruh antara kecerdasan visual-spasial (X_1) dengan kecerdasan matematis-logis (X_2)

Pembahasan

Dalam penelitian ini kecerdasan visual-spasial tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis mahasiswa. Hal ini menjelaskan bahwa kecerdasan visual-spasial merupakan kecerdasan yang kecil kontribusinya terhadap kemampuan pemecahan masalah dari sembilan kecerdasan dalam teori kecerdasan Gardner. Menurut teori kecerdasan Gardner berbagai kecerdasan berpengaruh secara bersama-sama dalam proses pemecahan masalah. Kemampuan membayangkan ruang, berpikir analitis, dan fleksibilitas berpikir terhadap suatu perubahan tidak berpengaruh dalam proses penyelesaian soal kombinasi translasi dan rotasi.

Kecerdasan matematis-logis mahasiswa berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah. Hal ini menjelaskan bahwa kecerdasan matematis-logis menentukan kemampuan bernalar dan mengkaji berbagai abstraksi. Ditemukan bahwa sebagian mahasiswa dalam pemilihan strategi penyelesaian masalah telah muncul berbagai alternatif penyelesaian namun penalaran teori masih rendah. Kemampuan berpikir teoritis, dan fleksibilitas berikir dengan menguganti-ganti cara pendekatan berpengaruh terhadap kemampuan mahasiswa dalam memahami dan menyelesaikan masalah sehingga kecerdasan matematis-logis mahasiswa berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah mahasiswa.

Kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dalam ruang lingkup geometri. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada faktor lain yang secara signifikan mempengaruhi kemampuan pemecahan masalah matematis mahasiswa dalam ruang lingkup geometri seperti jenis kecerdasan lain, motivasi mengerjakan soal, kondisi fisik, dan lingkungan.

Kecerdasan visual-spasial mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kecerdasan matematis-logis, hal ini didasarkan pada definisi masing-masing kecerdasan. Kecerdasan visual-spasial lebih berorientasi pada pola-pola gambar dan berkaitan dengan kemampuan menangkap warna, arah, ruang secara akurat, sedangkan kecerdasan matematis-logis merupakan kemampuan akan ketajaman pola-pola abstrak serta hubungan-hubungan dan berorientasi pada angka-angka dan bilangan. Seseorang yang cerdas secara logika-matematika seringkali tertarik dengan pola dan bilangan/angka-angka. Terlihat ada perbedaan yang mendasar dari kedua kecerdasan tersebut

Kesimpulan

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan maka kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- 1) kecerdasan visual-spasial mahasiswa pada kategori kecerdasan *rata-rata*,
- 2) b) kecerdasan matematis-logis mahasiswa pada kategori kecerdasan *rata-rata*,
- 3) kecerdasan visual-spasial mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis,
- 4) kecerdasan matematis-logis mahasiswa berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah,
- 5) kecerdasan visual-spasial dan kecerdasan matematis-logis mahasiswa tidak berpengaruh signifikan terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis,
- 6) kecerdasan visual-spasial tidak berpengaruh signifikan terhadap kecerdasan matematis-logis mahasiswa

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang ikut berperan serta dalam penelitian ini, yaitu :

- 1) Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung, melalui Wakil Dekan II yang telah memberikan bantuan finansial kepada penulis dalam mengikuti seminar ini
- 2) Ketua Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung yang telah memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis

Referensi

- [1] Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, "Kamus Besar Bahasa Indonesia", Jakarta: Balai Pustaka, 1989, p 164
- [2] Gardner, H. "Frames of Mind. Theory of Multiple Intelligences". London: Basics Books, 1985, p.x
- [3] Shearer, C.B. "Multiple Intelligences After 20 years". Teachers College Record, 2004, 106(1), 2 -16.
- [4] Gardner, Howard. "Multiple Intellegencies : Kecerdasan Majemuk Teori dan Praktik" Terjemahan Alexander Sindono. Judul Asli : Multiple Intellegencies. Jakarta : Interaksara, 2003.
- [5] Abdussakir. "Pembelajaran Geometri Sesuai Teori Van Hiele". El-Hikmah: Jurnal Kependidikan dan Keagamaan, 2010. Vol VII Nomor 2, Januari 2010, ISSN 1693-1499. Fakultas Tarbiyah UIN Maliki Malang
- [6] Adjie, N., & Maulana. "Pemecahan Masalah Matematika". Bandung: UPI Press.2009,p.14-15
- [7] Jasmine, J "Metode Mengajar Multiple Intelligences". Bandung: Nuansa Cendekia.2012, p20-22
- [8] Slameto. "Belajar & Faktor-faktor yang Mempengaruhinya".Jakarta: Rineka Cipta. 2010,p.55

MA-36

Pengembangan Bahan Ajar pada Materi Teorema Pythagoras dengan Pendekatan Ilmiah (*Scientific Approach*) pada Kelas VIII SMP

Riki Effendi^{1,a)}

¹Jurusan Pendidikan Matematika, Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia

^{a)}Penulis yang berkorespondensi: rikieffendi48@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan mengembangkan bentuk bahan ajar dengan pendekatan ilmiah (*Scientific Approach*) pada materi Teorema Pythagoras. Jenis penelitian ini adalah penelitian desain yang termasuk kedalam penelitian kualitatif. Penelitian desain (*design research*) terdiri dari tiga fase yaitu desain permulaan (*preliminary design*), eksperimen (*experiment*), dan analisis tinjauan (*retrospective analysis*). Subjek dalam penelitian ini yaitu satu kelas VIII pada tahun ajaran 2013/2014 di salah satu Sekolah Menengah Pertama di Kota Bandung Jawa Barat. Instrumen penelitian ini berupa instrumen tes yang digunakan untuk mengetahui kesulitan belajar (*learning obstacle*) siswa, pedoman wawancara, dan LKS yang disusun dengan pendekatan ilmiah (*Scientific Approach*). Data dianalisis melalui tahapan reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan penarikan kesimpulan/verifikasi (*conclusion/verification*).

Kata kunci: Bahan Ajar, Penelitian Desain, *Scientific Approach*, Materi Teorema Pythagoras

Pendahuluan

Berdasarkan Permendikbud no 81 A tahun 2013 [1] tentang implementasi kurikulum, terdapat dua modus pembelajaran dalam kurikulum 2013 yaitu pembelajaran langsung dan pembelajaran tidak langsung. Dalam pembelajaran langsung peserta didik mengembangkan pengetahuan, kemampuan berpikir dan keterampilan psikomotorik yang telah dirancang dalam suatu RPP. Sedangkan pembelajaran tidak langsung merupakan pembelajaran yang tidak dirancang didalam RPP tetapi terdapat didalam proses pembelajaran langsung. Pembelajaran tidak langsung berkenaan dengan pengembangan nilai dan sikap siswa. Terdapat lima pengalaman belajar pokok dalam pembelajaran langsung yang dilaksanakan dalam kurikulum 2013, yaitu mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi dan mengkomunikasikan. Lima pengalaman belajar pokok tersebut disebut dengan pendekatan ilmiah (*scientific approach*). Pengembangan dan desain RPP serta bahan ajar yang baik menjadi kunci keterlaksanaan pengalaman belajar dalam pembelajaran dengan pendekatan ilmiah ini.

Pendekatan ilmiah (*scientific approach*) sangat relevan dengan tiga teori belajar yaitu teori Bruner, teori Piaget, dan teori Vygotsky. Teori belajar Bruner disebut juga teori belajar penemuan. Ada empat hal pokok berkaitan dengan belajar Bruner (dalam Carin & Sund, 1975). *Pertama*, individu hanya belajar dan mengembangkan pikirannya apabila ia menggunakan pikirannya. *Kedua*, dengan melakukan proses-proses kognitif dalam proses penemuan, siswa akan memperoleh sensasi dan kepuasan intelektual yang merupakan suatu penghargaan intrinsik. *Ketiga*, satu-satunya cara agar seseorang dapat mempelajari teknik-teknik dalam melakukan penemuan adalah ia memiliki

kesempatan untuk melakukan penemuan. *Keempat*, dengan melakukan penemuan maka akan memperkuat retensi ingatan. Empat hal di atas adalah bersesuaian dengan proses kognitif yang diperlukan dalam pembelajaran menggunakan pendekatan ilmiah (*scientific approach*).

Berdasarkan tuntutan Kurikulum 2013 yang menerapkan pendekatan ilmiah (*scientific approach*) yang saat ini diberlakukan serta teori belajar yang mendukungnya, maka guru dituntut untuk mampu melakukan inovasi dalam mengembangkan bahan pembelajaran baik berupa RPP maupun LKS demi menunjang ketercapaian tujuan pembelajaran dengan proses pendekatan ilmiah (*scientific approach*). Guru harus mampu mendesain bahan pembelajaran yang dapat mengarahkan semua aktivitas pengalaman belajar siswa sesuai dengan tuntutan kurikulum 2013 yaitu mengamati, menanya, mengumpulkan informasi, mengasosiasi dan mengkomunikasikan.

Kerangka berfikir penelitian ini diawali dengan menganalisis kesulitan belajar (*learning obstacle*) yang dialami siswa. Setelah diperoleh learning obstacle, kemudian dibuat HLT yang diharapkan dapat mengatasi learning obstacle siswa. Pada HLT tersebut terdapat tugas-tugas yang disusun dalam bahan ajar dengan pendekatan saintifik pada materi Pythagoras. Selanjutnya bahan ajar tersebut diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran. Pada kegiatan pembelajaran dilakukan observasi terhadap tugas-tugas yang dirasa sulit bagi siswa, lalu tugas-tugas tersebut akan diperbaiki sesuai masukan pada saat observasi. Pada saat pembelajaran berlangsung dilakukan observasi terhadap tugas-tugas yang dianggap sulit bagi siswa, lalu dilakukan revisi. Secara rinci digambarkan pada gambar berikut.

Teori

Jenis penelitian ini adalah penelitian desain yang termasuk kedalam penelitian kualitatif. Penelitian desain adalah penelitian yang menempatkan proses perancangan sebagai strategi untuk mengembangkan materi. Menurut [9] penelitian desain (*design research*) terdiri dari tiga fase yaitu desain permulaan (*preliminary design*), eksperimen (*experiment*), dan analisis tinjauan (*retrospective analysis*).

1. Desain Permulaan (*preliminary design*)

Menurut Mulyana [2], pada fase ini dibuat hipotesis lintasan belajar atau *Hypothetical Learning Trajectory* (HLT). HLT memuat tentang antisipasi hal-hal yang mungkin akan terjadi pada proses berfikir siswa saat proses pembelajaran. Pada tahap ini, HLT dirancang untuk membimbing proses perancangan bahan pembelajaran yang akan dikembangkan dan diadaptasi.

2. Eksperimen Desain (*design experiment*)

Pada fase ini HLT berfungsi sebagai pembimbing (*guideline*) untuk guru dan peneliti apa yang akan difokuskan dalam proses pembelajaran, wawancara dan observasi. Peneliti dan guru perlu menyesuaikan HLT dengan kegiatan pembelajaran untuk pertemuan pembelajaran. Tujuan utama dalam desain eksperimen ini adalah untuk mengetes dan memperbaiki bahan pembelajaran yang telah dikembangkan pada fase desain permulaan.

3. Analisis Tinjauan (*retrospective analysis*)

Pada fase ini, semua data yang diperoleh dari fase eksperimen dianalisis. Proses analisis yang dilakukan berupa perbandingan antara HLT yang diantisipasi sebelum eksperimen dan aktivitas yang benar-benar terjadi, kemudian analisis mengenai beberapa kemungkinan penyebabnya, dan sintesis mengenai kemungkinan yang dapat dilakukan untuk memperbaiki HLT, yang akan digunakan pada siklus berikutnya (desain permulaan, eksperimen, dan analisis tinjauan selanjutnya). Setelah diperoleh bahan ajar yang baik melalui tiga fase, hasilnya dijadikan bahan untuk menyusun bahan ajar dalam materi lain.

Subjek dalam penelitian ini yaitu satu kelas VIII pada tahun ajaran 2013/2014 di salah satu Sekolah Menengah Pertama Kota Bandung Jawa Barat. Untuk dapat mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian ini, maka disusunlah instrumen sebagai berikut.

1. Instrumen Tes

Instrumen tes disusun berdasarkan KD yang selanjutnya diujikan kepada beberapa siswa yang telah mempelajari materi teorema Pythagoras. Jawaban siswa atas pertanyaan pada tes ini digunakan untuk mengetahui kesulitan belajar (*learning obstacle*) yang dialami siswa

2. Pedoman Wawancara

Pedoman wawancara adalah sekumpulan pertanyaan terurut yang akan diajukan kepada responden secara langsung melalui lisan. Wawancara akan dilakukan terhadap siswa setelah pengujian bahan ajar selesai.

3. Lembar Kerja Siswa

Lembar Kerja Siswa (LKS) ini terdiri dari tugas-tugas yang dirancang sedemikian rupa sehingga siswa dapat memahami dan menerapkan konsep dalam materi teorema Pythagoras. LKS disusun berdasarkan perkiraan atas kesulitan yang dialami siswa dalam memahami konsep dan dibuat menggunakan pendekatan saintifik.

Pada penelitian ini digunakan teknik pengumpulan data secara observasi dan wawancara. Sedangkan analisis data yang digunakan dibagi menjadi tiga aktivitas analisis data, reduksi data (*data reduction*), penyajian data (*data display*), dan penarikan kesimpulan/verifikasi (*conclusion/verification*).

Hasil dan Diskusi

4. *Preliminary Design* (Desain Permulaan)

Dalam desain permulaan dilakukan tes diagnostik untuk mengetahui kesulitan yang dialami siswa pada materi Pythagoras. Setelah itu, dilakukan wawancara terhadap siswa mengenai kesulitan belajar yang mereka peroleh serta kesulitan yang mereka temui saat menyelesaikan tes yang diberikan tersebut. Selain itu, wawancara juga dilakukan terhadap guru di sekolah yang bersangkutan dengan tujuan untuk mengetahui kesulitan siswa berdasarkan pengalaman mengajar guru. Dari hasil analisis kesulitan siswa serta hasil wawancara dengan guru dan siswa, secara umum diperoleh keterangan bahwa siswa belum memahami konsep Pythagoras dengan baik. Keterbatasan sumber belajar yang serta jarang penggunaannya bahan ajar yang inovatif juga menjadi penyebab rendahnya pemahaman siswa tentang Pythagoras. Selanjutnya berdasarkan masalah tersebut, dilakukan telaah literatur serta konsultasi dengan ahli yang dalam hal ini dosen untuk menyusun suatu HLT yang akan dikembangkan dalam penelitian ini.

Adapun salah satu contoh HLT yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Menemukan hubungan antar panjang sisi pada segitiga khusus

Berikut ini adalah penjelasan mengenai hipotesis lintasan belajar siswa dalam menemukan hubungan antar panjang sisi pada segitiga siku-siku khusus

- 1) Tugas 2: Menemukan hubungan antar panjang sisi pada segitiga siku-siku khusus.
- 2) Tujuan Pembelajaran

Diberikan masalah yang berhubungan dengan pola panjang sisi dan sudut khusus pada segitiga siku-siku, siswa dapat menemukan hubungan antar panjang sisi pada segitiga khusus melalui kegiatan mengamati, menanya, mengeksplorasi, menalar, dan mengkomunikasikan berdasarkan pada karakteristik masalah yang diberikan

- 3) Deskripsi aktifitas Pembelajaran

Sebelum membahas tentang hubungan panjang sisi pada segitiga khusus, siswa diingatkan kembali tentang teorema Pythagoras yang sudah mereka temukan sebelumnya dan meminta salah seorang siswa untuk menggambar contoh bentuk segitiga siku-siku dan hubungan sisi-sisinya di depan kelas. Setelah itu, untuk menemukan hubungan panjang sisi segitiga dengan sudut 45° dan 90° siswa diminta untuk membuat gambar beberapa segitiga siku-siku sama kaki dan mengukur panjang sisi miring dan besar sudutnya, serta melalui kegiatan mengamati dan mencoba siswa diminta untuk menentukan perbandingan sisi pada segitiga dengan sudut 45° dan 90° . Sedangkan untuk menemukan hubungan panjang sisi pada segitiga dengan sudut 30° , 60° dan 90° pada LKS diberikan sebuah segitiga sama sisi. Siswa diminta melakukan kegiatan pengukuran sudut pada segitiga sama sisi dan membuat garis tinggi dari sebuah sudut sehingga membagi sudut dan sisi menjadi sama besar. Langkah selanjutnya, dari kegiatan mengamati dan menalar segitiga tersebut siswa diminta bekerja berkelompok untuk menemukan hubungan panjang sisi segitiga dengan sudut 30° , 60° dan 90° dengan metode penemuan terbimbing dari guru. Diharapkan siswa mampu menyelesaikan masalah dengan pengetahuan awal yang sudah mereka miliki dan menemukan pola dari masalah yang mereka selesaikan. Pengembangan HLT ini berlandaskan dari teori belajar Bruner dan Vygotski dimana siswa memahami suatu materi dengan menemukan dan mengkonstruksi pengetahuan mereka dengan bantuan bimbingan guru secara *scaffolding*. Adapun tugas yang diberikan kepada siswa untuk menemukan hubungan panjang sisi segitiga khusus adalah sebagai berikut

TUGAS 2

A. Menemukan hubungan panjang sisi segitiga dengan sudut 45° dan 90°

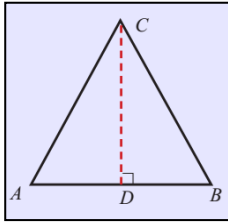
Lakukanlah kegiatan berikut dengan seksama!

1. Gambarlah 5 segitiga siku-siku sama kaki dengan panjang sisi siku-sikunya masing-masing 1 cm, 2 cm, 3 cm, 4 cm dan 5 cm.
2. Dengan menggunakan busur, ukurlah besar sudut setiap segitiga yang kamu buat, berapa besar sudut yang kamu temukan?
3. Dengan menggunakan teorema Pythagoras, hitunglah panjang sisi miring dari setiap segitiga yang kamu buat. Sederhanakan setiap bentuk akar kuadrat yang kalian temukan.
4. Salinlah hasil penemuan dari pekerjaan kalian kedalam tabel berikut.

No	Panjang sisi siku-siku	Besar sudut	Panjang sisi miring
1	1 cm	$45^\circ, 90^\circ, 45^\circ$	$\sqrt{2}$ cm
2	2 cm	$\dots^0, \dots^0, \dots^0$... cm
3	3 cm	$\dots^0, \dots^0, \dots^0$... cm
4	4 cm	$\dots^0, \dots^0, \dots^0$... cm
5	5 cm	$\dots^0, \dots^0, \dots^0$... cm

5. Apakah kamu melihat pola hubungan antara panjang sisi siku-siku dan sisi miring? Jika Ya, bagaimana polanya?
 6. Jika diberikan segitiga siku-siku sama kaki dengan panjang sisi sebarang apakah hubungan pola bilangan diatas berlaku?
- B. Menemukan hubungan panjang sisi segitiga dengan sudut 30° , 60° dan 90°

Perhatikan segitiga siku-siku berikut!



Segitiga ABC disamping adalah segitiga siku-siku sama sisi, dengan garis CD sebagai garis tinggi segitiga. Berdasarkan gambar tersebut jawablah pertanyaan berikut.

- Garis tinggi CD membagi segitiga ABC menjadi segitiga ACD dan segitiga BCD , berapakah besar setiap sudut berikut, jelaskan alasanmu.
 - $\angle CD$, $\angle DC$, dan $\angle AD$
 - $\angle CD$, $\angle DC$, dan $\angle BD$
- Bagaimana menurutmu hubungan panjang sisi AD dan sisi BD , jelaskan alasanmu!
- Perhatikan segitiga ACD , jika panjang sisi $AC = 10$ cm, dengan teorema Pythagoras tentukan panjang sisi AD dan sisi CD
- Gambarlah 5 segitiga samasisi dengan panjang sisi 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm. Buat garis tinggi seperti pada segitiga diatas, sehingga setiap segitiga yang kalian buat terbagi menjadi dua segitiga, perhatikan segitiga yang terbentuk dengan garis tinggi, kemudian dengan konsep Pythagoras lengkapi tabel dibawah ini.

No	Panjang sisi segitiga sama sisi	Panjang sisi siku-siku terpendek	Panjang sisi siku-siku lainnya	Panjang sisi miring
1	2 cm	1 cm	...cm	2 cm
2	4 cm	... cm	$2\sqrt{3}$ cm	.. cm
3	6 cm	...cm	...cm	6 cm
4	8 cm	4 cm	... cm	...cm
5	10 cm	... cm	... cm	...cm

- Apakah kamu melihat pola hubungan antara panjang sisi siku-siku terpendek, sisi siku lain dan sisi miring dari segitiga diatas? Jika Ya, bagaimana polanya?
- Jika diberikan segitiga siku-siku dengan sudut 30° , 60° , dan 90° dengan sisi siku-siku terpendek s cm, berapakah panjang sisi siku lainnya dan sisi miring?

4) Hipotesis proses pembelajaran

Dalam proses menemukan hubungan antar panjang sisi pada segitiga khusus, siswa kemungkinan akan mengalami kesulitan dalam menemukan hubungan antar sisi pada segitiga siku-siku khusus. Kesulitan pertama yang mungkin akan dialami siswa diantaranya menganalisis besar sudut dan menyederhanakan bentuk kuadrat akar serta mengeneralisasi bentuk pola yang ditemukan, baik pada segitiga dengan sudut 45° dan 90° , maupun segitiga dengan sudut 30° , 60° dan 90° . Salah satu cara untuk mengantisipasi kesulitan yang dialami siswa yaitu dengan memberikan arahan ataupun petunjuk yang berbentuk pertanyaan. Beberapa contoh pertanyaan yang dapat diajukan antara lain:

- Perhatikan lagi segitiga sama kaki itu, apakah kamu bisa menghitung besar sudut yang bukan siku-siku ?
- Bagaimana cara menyederhanakan bentuk akar ?

- Bagaimana bentuk bilangan panjang sisi yang terjadi antara tiap kali sisi segitiga diganti panjang sisinya

5. *Experiment (Eksperimen)*

Eksperimen dilakukan di salah satu Sekolah Menengah Pertama yang terdapat dikota Bandung, Jawa Barat. Penelitian dilakukan pada kelas VIII. Tahap eksperimen dilakukan satu kali untuk kemudian dilakukan analisis tinjauan terhadap hasil percobaan dan menghasilkan revisi bentuk bahan ajar yang diberikan.

6. *Retrospective Analysis (Analisis Tinjauan)*

Bahan ajar yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari 3 HLT. Pada HLT pertama yaitu tentang menemukan teorema pythagoras, siswa masih banyak mengalami kesulitan dalam menentukan luas bangun datar yang diberikan sehingga siswa kesulitan dalam menggeneralisasi hubungan sisi pada segitiga siku-siku dan sisi persegi yang diberikan. Selain itu, mereka belum bisa memahami langkah-langkah maupun pertanyaan yang termuat dalam LKS dengan baik. Berdasarkan kesulitan yang dialami siswa dalam menemukan teorema pythagoras tersebut, maka dilakukan revisi terhadap bahan ajar atau LKS yang digunakan.

Pada HLT 2 tentang menemukan hubungan sisi segitiga siku-siku dengan sudut khusus siswa mengalami kesulitan dalam menyederhanakan bentuk akar serta menarik kesimpulan yang benar tentang hubungan sisi segitiga dengan sudut khusus. Selain itu siswa juga sulit memahami langkah kerja pada LKS yang diberikan sehingga diperlukan intervensi dari guru untuk bisa mengarahkan dan membimbing proses pengamatan yang mereka lakukan agar bisa memperoleh hasil sesuai dengan apa yang diharapkan. Dengan mengacu pada kesulitan yang dialami tersebut, maka dilakukan revisi terhadap LKS yang digunakan.

Pada HLT 3 tentang menyelesaikan permasalahan nyata yang berhubungan dengan pythagoras, secara umum siswa dapat menyelesaikan dengan baik. Berdasarkan hasil percobaan siswa banyak kesulitan pada soal kelima, yaitu soal yang menghubungkan antara konsep jarak dan kecepatan dengan pythagoras. Oleh karena itu, selain intervensi secara lisan, revisi juga dilakukan seperlunya pada LKS 3 untuk membantu siswa memahami permasalahan yang diberikan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada penelitian ini, terdapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Tugas-tugas yang disajikan dalam bahan ajar dengan pendekatan saintifik untuk menemukan konsep teorema pythagoras akan dijabarkan sebagai berikut.
 - a. Pada LKS disajikan gambar persegi dengan panjang sisi 7 satuan yang dibagi menjadi 4 segitiga siku-siku yang sama dan sebangun dengan panjang sisi-sisi siku-siku 3 satuan dan 4 satuan, serta satu persegi lain yang belum diketahui panjang sisinya. Kegiatan siswa dalam menemukan konsep teorema pythagoras dimulai dengan menemukan hubungan sisi-sisi segitiga siku-siku dengan mengeksplorasi masalah dalam bentuk gambar persegi yang terdapat pada LKS dengan menemukan luas persegi kecil. Kegiatan siswa berikutnya setelah menemukan luas persegi, siswa akan menemukan panjang sisi persegi kecil yaitu 5 satuan panjang. Berdasarkan hasil temuan tersebut dapat dibuat kesimpulan hubungan sisi siku-siku segitiga dengan sisi persegi kecil (hypotenusa segitga).

- b. Pada LKS disajikan gambar yang identik dengan bagian A, namun panjang sisi persegi dalam bentuk variabel $(a+b)$ satuan dan panjang sisi persegi kecil c satuan. Kegiatan siswa dalam menemukan hubungan panjang sisi segitiga siku-siku dengan sisi a, b, c dengan menghitung luas dan menelaah bentuk aljabar yang diperoleh dari gambar. Siswa diberi kebebasan dalam memilih strategi untuk mengeksplorasi dan menyimpulkan bentuk aljabar yang diperoleh yang kemudian dinyatakan bahwa temuan mereka adalah teorema Pythagoras. Pada tugas bagian kedua ini siswa sudah dapat menggeneralisasi bentuk umum dari teorema Pythagoras.
 - c. Siswa melengkapi pemahaman mengenai teorema Pythagoras dengan memahami bentuk bilangan tripel Pythagoras dengan melengkapi tugas pada bagian berikutnya yang berisi tentang segitiga dengan banyak sisi yang harus dilengkapi dengan tabel. Dengan mengamati nilai yang terdapat pada tabel, kegiatan siswa berikutnya adalah mencocokkan bentuk segitiga yang bersesuaian dengan pola bilangan Pythagoras pada tabel. Banyak siswa yang kesulitan pada bagian ini, namun dengan bimbingan dan intervensi guru siswa dapat menyimpulkan teorema Pythagoras dengan benar dan mencocokkan dengan gambar segitiga siku-siku yang bersesuaian.
2. Tugas-tugas yang disajikan dalam bahan ajar dengan pendekatan saintifik untuk menemukan hubungan antar sisi pada segitiga khusus akan dijabarkan sebagai berikut.
 - a. Pada LKS siswa diminta membangun beberapa segitiga sama kaki. Tugas siswa adalah menentukan panjang sisi miring dari setiap segitiga tersebut. Dengan melihat pola bilangan yang diperoleh dan dengan pemahaman bahwa segitiga siku-siku sama kaki memiliki besar sudut $45^{\circ}-90^{\circ}-45^{\circ}$, siswa harus menyimpulkan hubungan antar sisi pada segitiga khusus tersebut.
 - b. Pada LKS disajikan segitiga samasisi dengan garis tinggi yang membagi segitiga menjadi dua segitiga siku-siku. Tugas siswa adalah menentukan panjang setiap sisi segitiga siku-siku yang terbentuk. Dengan membuat 5 segitiga samasisi dengan panjang sisi berbeda, siswa diminta mencatat dan mengamati pola panjang sisi yang mereka temukan dan membuat generalisasi hubungan panjang sisi pada segitiga dengan sudut $30^{\circ}-60^{\circ}-90^{\circ}$
 3. Tugas-tugas yang disajikan dalam bahan ajar dengan pendekatan saintifik untuk menyelesaikan permasalahan nyata menggunakan teorema Pythagoras akan dijabarkan sebagai berikut.
 - a. Pada LKS disajikan ilustrasi permasalahan dalam kehidupan nyata, tugas siswa adalah menentukan apakah permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan teorema Pythagoras.
 - b. Setiap siswa mendapatkan tugas yang sama untuk menyelesaikan permasalahan nyata yang harus diselesaikan dengan Pythagoras, dengan sedikit intervensi siswa dapat membuat model segitiga dari permasalahan yang diberikan dan menyelesaikan berbagai bentuk masalah yang diberikan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis dapat mengucapkan terima kasih kepada Bapak Tatang Mulyana sebagai dosen pengampu mata kuliah Inovasi Pembelajaran Sekolah Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia yang telah membimbing penulis dalam melakukan penelitian ini.

Referensi

- [1] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 1. (2013). *Salinan Permendikbud No. 81 A Lampiran Empat tentang Pedoman Umum Pembelajaran*. Jakarta: Kemendikbud.
- [2] Mulyana, Tatang. 2008. Ringkasan Disertasi : Pembelajaran Analitik Sintetik Untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Dan Kreatif Matematik Siswa Sekolah Menengah Atas. (Online). Tersedia :http://file.upi.edu/Direktori/FPMIPA/JUR. PEND. MATEMATIKA/195101061976031-TATANG MULYANA/File_19_Ringkasan_Desertasi_Tatang_M.pdf (Diakses 11 Oktober 2014).
- [3] Apiati, V. (2012). *Peningkatan Kemampuan Pemahaman dan Pemecahan Masalah Matematis Siswa Melalui Metode Inkuiri Model Alberta*. Tesis SPS UPI: Tidak diterbitkan.
- [4] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 2. (2013). *Salinan Permendikbud No. 67 tentang KD dan Struktur Kurikulum*. Jakarta: Kemendikbud.
- [5] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 3. (2013). *Diklat Guru Dalam Rangka Implementasi Kurikulum 2013*. Jakarta: Kemendikbud.
- [6] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 4. (2013). *Salinan Permendikbud No. 69 tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah*. Jakarta: Kemendikbud.
- [7] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan 5. (2013). *Salinan Permendikbud No. 65 tahun 2013 tentang Standar Proses*. Jakarta: Kemendikbud.
- [8] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2004). *Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional*. Jakarta: Citra Umbara.
- [9] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2010). *Pengembangan Pendidikan Budaya dan Karakter Bangsa*. Jakarta: Puskur Badan Litbang Kemendiknas.
- [10] Nobonnizar. 2013. *Pengembangan Bahan Ajar Komunikasi Dalam Materi Dimensi Tiga di SMA*. Skripsi Pendidikan Matematika UPI: Tidak diterbitkan.
- [11] Omrod, E.J. (2009). *Psikologi Pendidikan* (sixth ed). Jakarta: Erlangga
- [12] Suryadi, D. 2010. *Menciptakan Proses Belajar Aktif : Kajian dari Sudut Pandang Teori Belajar dan Teori Didaktis*. (Online). Tersedia : <http://didi-suryadi.staf.upi.edu/files/2011/06/MENCIPTAKAN-PROSES-BELAJAR-AKTIF.pdf> (Diakses 29 September 2014).

MA-37

Implementasi Model Pembelajaran *Project Based Learning* untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Algoritma pada Materi Metode Simpleks pada Mahasiswa Ilmu Komputer

Enjun Junaeti

¹⁾*Program Studi Ilmu Komputer FPMIPA UPI*

^{a)}*enjun@upi.edu*

Abstrak

Optimasi merupakan bidang ilmu yang menggunakan konsep dan teknik algoritma matematika untuk mencari solusi dari sebuah permasalahan dan menganalisisnya untuk dapat mengambil suatu keputusan. Namun pada umumnya banyak mahasiswa yang hanya menghafal algoritmanya saja tanpa memahami konsepnya, sehingga pada akhirnya pengetahuan yang telah diperoleh pun hilang bersama dengan berakhirnya kegiatan perkuliahan. Berdasarkan hal tersebut, pada artikel ini akan dipaparkan hasil sebuah penelitian tentang implementasi dari suatu model pembelajaran yang diharapkan mampu memberikan pemahaman konsep algoritma dengan lebih baik. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif untuk menjabarkan perbedaan tingkat pemahaman konsep algoritma pada materi metode simpleks antara mahasiswa yang kegiatan pembelajarannya dilakukan dengan menggunakan model pembelajaran *project based learning* dan *problem based learning*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh bahwa pemahaman konsep algoritma pada mahasiswa yang kegiatan pembelajaran dilakukan dengan model pembelajaran *project based learning* lebih baik dari mahasiswa yang kegiatan pembelajaran dilakukan tanpa model pembelajaran *project based learning*.

Kata kunci: optimasi, metode simpleks, *project based learning*, konsep algoritma

Pendahuluan

Optimasi merupakan merupakan bidang ilmu yang menggunakan konsep dan teknik algoritma matematika untuk mencari solusi optimum dari sebuah permasalahan dan menganalisisnya untuk mengambil suatu keputusan [1]. Optimasi dapat dipandang sebagai suatu tahapan dalam pengambilan keputusan [2] atau model dalam pengambilan keputusan [3]. Pengambilan suatu keputusan selalu dilakukan setiap saat dalam kehidupan sehari-hari. Berdasarkan hal tersebut sangat penting untuk memahami setiap tahapan proses dalam pengambilan suatu keputusan, termasuk tahapan optimasi, agar keputusan yang diambil merupakan keputusan yang tepat sesuai dengan kebutuhan.

Metode simpleks merupakan salah satu metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan program linier. Program linier merupakan sebuah model matematika untuk menggambarkan suatu permasalahan tentang optimasi dalam bentuk fungsi linier [1]. Program linier sederhana (memiliki maksimal dua variabel) dapat diselesaikan dengan metode grafik, namun untuk

program linier dengan variabel lebih dari dua tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan metode grafik.

Sebagai suatu algoritma matematika, dalam metode simpleks terdapat iterasi yang setiap prosesnya memerlukan pemahaman konsep matematika. Namun pada umumnya mahasiswa ilmu komputer cenderung hanya menghafal algoritmanya saja tanpa memahami konsepnya, sehingga mahasiswa mudah lupa dan bingung dalam menyelesaikan soal-soal yang diberikan. Oleh karena itu, diperlukan suatu model pembelajaran yang diharapkan mampu memberikan pemahaman konsep algoritma dengan lebih baik.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Boaler, Penuel dan Means, serta Stepien *project based learning* merupakan model pembelajaran yang mampu memberikan hasil test tentang pengetahuan konsep yang lebih baik pada siswa dibandingkan dengan kelas tradisional [4], [5], [6]. Sedangkan menurut Dr. John W. Thomas (2000) dalam [10] telah menemukan beberapa fakta tentang *project based learning*, yaitu:

- 1) *project based learning* lebih populer di kalangan guru dan siswa dari pada metode tradisional
- 2) *project based learning* meningkatkan kualitas pembelajaran siswa dalam pemahaman konsep dibandingkan dengan model intruksional yang lain
- 3) *project based learning* lebih baik dalam peningkatan hasil belajar siswa secara umum dibandingkan dengan model intruksional yang lain
- 4) *project based learning* merupakan strategi efektif dalam membelajarkan skill yang kompleks seperti perencanaan, komunikasi, penyelesaian masalah, dan pembuatan keputusan
- 5) *project based learning* membantu siswa dalam meningkatkan kehadiran, prilaku, dan kemandirian
- 6) *project based learning* membantu guru dalam meningkatkan profesionalisme dan kolaborasi

Pada artikel ini akan dijelaskan bagaimana mengimplementasikan model pembelajaran *project based learning* untuk materi metode simpleks pada mahasiswa ilmu komputer. Selain itu akan dijelaskan pula bagaimana hasil evaluasi belajar pada mahasiswa yang kegiatan pembelajaran dilakukan dengan model pembelajaran *project based learning* dan akan dibandingkan dengan mahasiswa yang kegiatan pembelajaran dilakukan tanpa model pembelajaran *project based learning*.

Teori dan Desain Eksperimen

Metode simpleks merupakan salah satu metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan program linier. Program linier merupakan sebuah model matematika untuk menggambarkan suatu permasalahan tentang optimasi dalam bentuk fungsi linier [1]. Bentuk standar dari program linier dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$\text{Maksimumkan: } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

dengan kendala

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

dimana

Z = fungsi tujuan, yaitu nilai total dari tujuan yang diinginkan

x_j = variabel keputusan, banyaknya (total nilai) aktivitas j ($j = 1, 2, \dots, n$)

c_j = koefisien variabel keputusan pada fungsi tujuan, yaitu kenaikan Z yang dihasilkan oleh kenaikan aktivitas j

a_{ij} = koefisien variabel keputusan pada kendala, yaitu jumlah sumber i yang digunakan oleh setiap satuan aktivitas j

b_i = konstanta pada kendala, yaitu jumlah sumber i yang tersedia untuk alokasi pada setiap aktivitas ($i = 1, 2, \dots, m$)

Dalam tabel bentuk standar dari program linier adalah [1]:

Sumber	Penggunaan sumber per satuan aktivitas				Jumlah sumber yang tersedia
	Aktivitas				
	1	2	...	n	
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	b_1
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	b_2
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots
M	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	b_m
Kontribusi untuk Z per satuan aktivitas	c_1	c_2	...	c_n	

Tabel 1. Bentuk Standar Program Linier

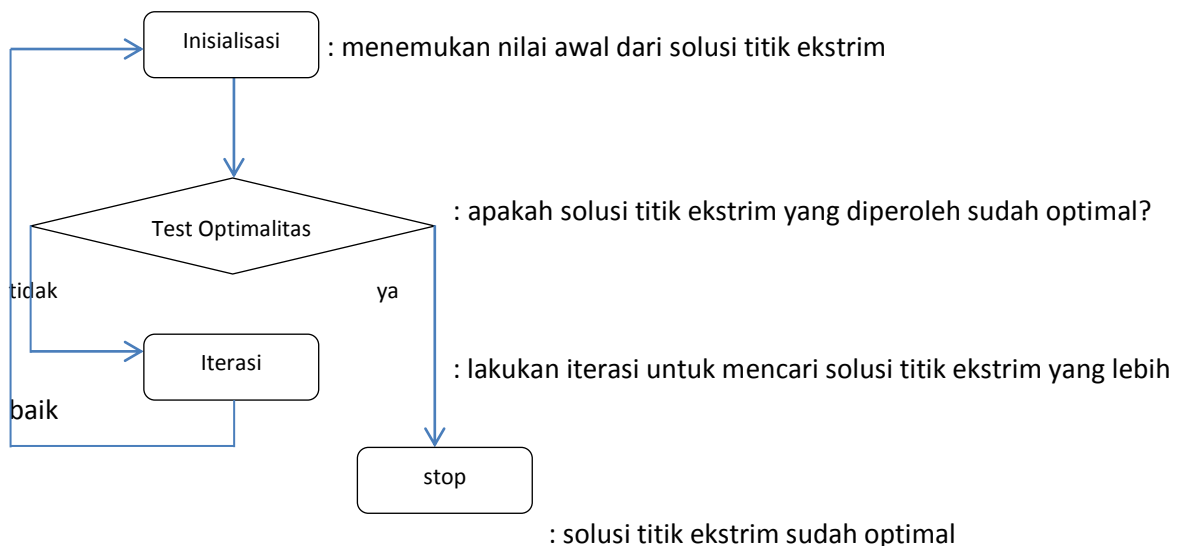
Catatan:

- (1) Fungsi tujuan dapat berupa maksimasi atau minimasi
- (2) Penghubung tanda pada kendala dapat berupa \leq , $=$, atau \geq
- (3) $x_j \geq 0$, untuk $i = 1, 2, \dots, n$

Langkah-langkah metode simpleks dalam menyelesaikan program linier dapat dijabarkan menjadi enam konsep sebagai berikut [1]:

Konsep 1 : Metode simpleks berfokus pada titik ekstrim dari daerah solusi layak

Konsep 2 : Metode simpleks merupakan sebuah algoritma iteratif



Gambar 2 Tahapan Iterasi Metode Simpleks

Konsep 3 : Jika memungkinkan jadikan titik pusat sebagai solusi awal, artinya setiap variabel keputusan bernilai nol.

Konsep 4 : Pilih solusi titik ekstrim baru (jika belum optimal) yang bertetangga dengan solusi titik ekstrim sebelumnya

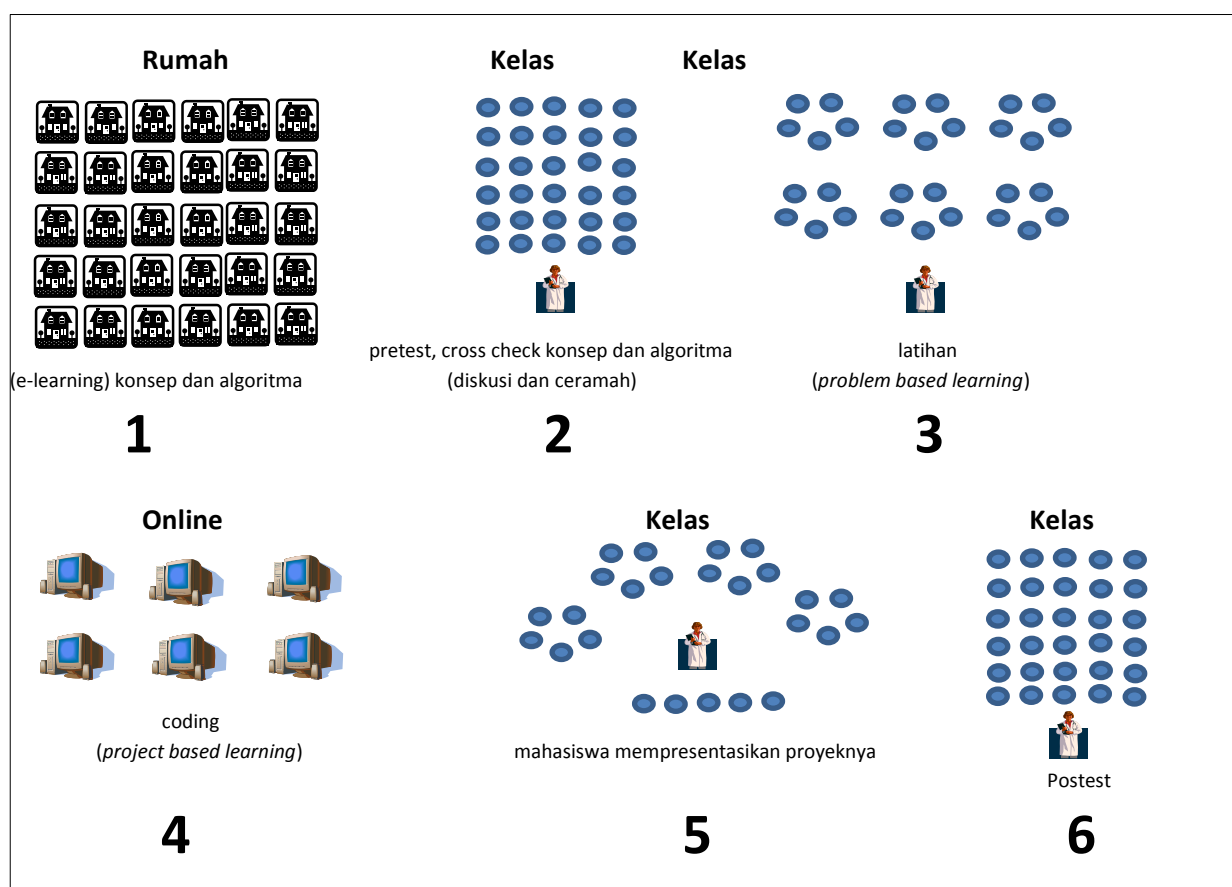
Konsep 5 : Pilih Pilih solusi titik ekstrim baru (jika belum optimal) yang paling memberikan kenaikan fungsi tujuan paling cepat

Konsep 6 : Test optimalitas dilakukan dengan cara melihat apakah ada solusi titik ekstrim yang masih bisa memberikan kenaikan positif pada fungsi tujuan

Pada pelaksanaan penelitian mahasiswa dibagi menjadi dua kelas, yaitu satu kelas kontrol dan satu kelas eksperimen dengan masing-masing kelas terdiri dari 30 mahasiswa. Secara keseluruhan proses pembelajaran metode simpleks dilakukan dengan model *blended learning*, yaitu model pembelajaran yang menggabungkan antara kegiatan transfer materi atau konsep di dalam kelas dan secara online [7]. Menurut taksonomi Heather *blended learning* terdiri dari empat model, yaitu *rotation model*, *flex model*, *self-blended model*, dan *enrichd-virtual model*. Model rotasi sendiri terdiri dari empat jenis, yaitu [7]:

- (1) *station-rotation model*
- (2) *lab-rotation model*
- (3) *flipped-classroom model*
- (4) *individual-rotation model*

Pada penelitian ini model yang digunakan adalah pengembangan dari model rotasi yang dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3 Proses Pembelajaran

Penjelasan:

(1) Tahap 0

Tahap ini dilakukan saat awal perkuliahan, masing-masing mahasiswa diminta menuliskan harapan tentang kegiatan perkuliahan yang akan dilakukan.

(2) Tahap 1

Pada tahap ini kedua kelas diberikan outline perkuliahan dan garis besar materi, untuk selanjutnya dikembangkan secara mandiri sebagai pengetahuan awal untuk tahap berikutnya.

(3) Tahap 2

Selanjutnya masing-masing kelas diberikan test untuk mengetahui sejauh mana kemampuan awal yang dimiliki oleh mahasiswa. Selain itu ada dua pertanyaan yang harus dijawab melalui test awal ini [8]. Apakah mahasiswa pada kelas kontrol mampu melakukan sebuah proyek, baik secara kemampuan maupun sikap? Seberapa jauh mahasiswa akan mendalami dan mengerjakan proyek yang diberikan?

(4) Tahap 3

Pada tahap ini proses pembelajaran dilakukan dengan model *problem based learning*, yaitu model pembelajaran dimana mahasiswa menemukan dan memahami konsep yang dipelajari dengan panduan soal-soal baik teori maupun aplikasi [9]. Mahasiswa diberikan soal-soal latihan untuk diselesaikan di dalam kelas secara berkelompok. Selanjutnya masing-masing kelompok menyampaikan konsep-konsep baru (lanjutan) yang diperolehnya selama menyelesaikan soal-soal latihan yang diberikan.

(5) Tahap 4

Perbedaan antara kelas kontrol dan kelas eksperimen adalah pada tahap 4. Pada kelas kontrol mahasiswa hanya diberikan soal-soal lanjutan dari soal latihan yang tingkat kesulitannya lebih tinggi dan menjadi panduan untuk memahami konsep selanjutnya. Sedangkan pada kelas eksperimen mahasiswa diberikan suatu tugas dalam pembuatan suatu proyek secara berkelompok. Pembuatan aplikasi komputer untuk menyelesaikan program linier dengan metode simpleks dilakukan pada tahap ini. Sebagai dijelaskan pada [9] *project based learning* adalah sebuah pembelajaran yang prosesnya dilakukan berdasarkan analisis kebutuhan, yang melibatkan perencanaan, pengelolaan, dan pelaksanaan kegiatan untuk menghasilkan sebuah produk yang mampu memberikan pengetahuan baru baik secara konten maupun aplikatif. Terdapat 4 tingkatan project, yaitu: classroom activities, content standards, habits of mind, dan self-directed learning [10]. Pada pembelajaran ini *project based learning* yang diberikan berada pada tingkatan content standards, yaitu project yang memfokuskan pada pencapaian pemahaman konsep.

(6) Tahap 5

Pada tahap 5 proyek yang dilakukan oleh mahasiswa dipresentasikan untuk diberikan penilaian dan evaluasi baik oleh mahasiswa dari kelompok lain maupun oleh dosen. Setelah itu mahasiswa melakukan perbaikan dalam proyeknya sebelum akhirnya diserahkan untuk diberikan penilaian akhir oleh dosen.

(7) Tahap 6

Kedua kelas diberikan soal post test untuk dilakukan evaluasi terhadap hasil pembelajaran.

Hasil dan Diskusi

Pada awal perkuliahan mahasiswa diminta untuk menuliskan harapan pada kegiatan perkuliahan yang akan dilakukan. Harapan yang paling banyak adalah bahwa mahasiswa menginginkan agar mereka paham terhadap konsep supaya pengetahuan yang mereka peroleh bertahan lama. Namun mereka tidak mau terlalu banyak menghafal rumus serta konsep yang menurut mereka terkadang “abstrak”. Maksud “abstrak” disini adalah banyaknya simbol dan persamaan yang harus dihapalkan.

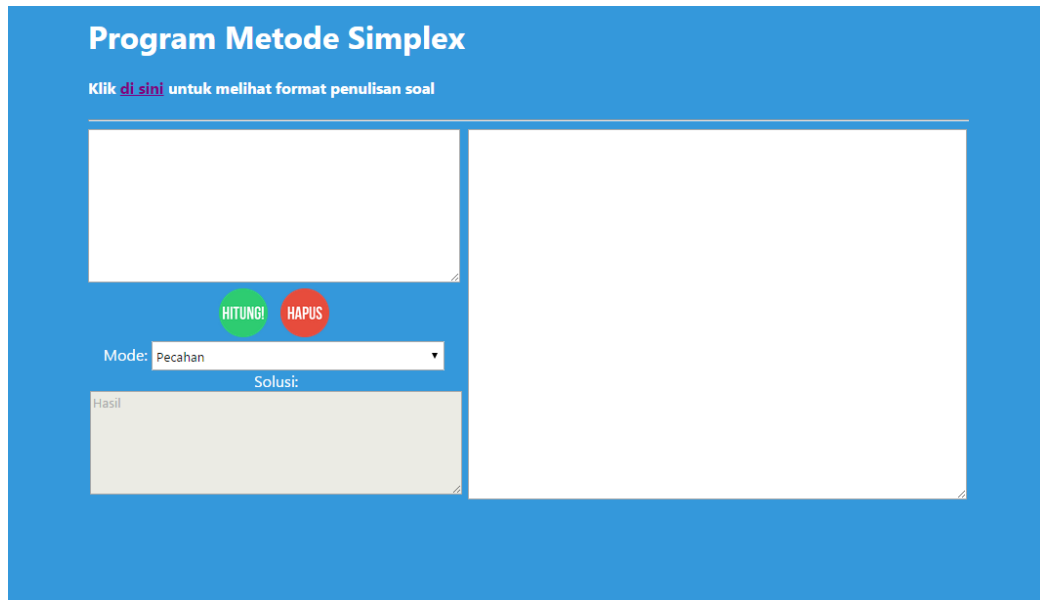
Dari hasil analisis kebutuhan tersebut, peneliti menyusun sebuah model pembelajaran yang akan dilakukan dikelas sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian desain eksperimen. Pada tahap berikutnya peneliti membagi subjek penelitian menjadi dua kelas, yaitu kelas kontrol dan kelas eksperimen berdasarkan hasil pretest yang telah diberikan. Berdasarkan analisis terhadap hasil pretest dengan melakukan pengujian kesamaan dua rerata sampel dan taraf signifikansi 95% diperoleh bahwa rata-rata kemampuan mahasiswa pada kelas kontrol lebih baik dari pada rata-rata kemampuan mahasiswa pada kelas eksperimen dengan perbedaan sebesar 10,57.

Kelas eksperimen yang dipilih merupakan kelas yang rata-rata kemampuannya lebih rendah, karena diharapkan ketika diakhir pembelajaran mahasiswa pada kelas kontrol dapat mampu mengejar untuk menyamakan ataupun melebihi kemampuan dari kelas kontrol. Berdasarkan hasil pretest ini pula peneliti menentukan proyek apa yang akan diberikan kepada kelas eksperimen. Proyek yang dipilih adalah pembuatan aplikasi komputer untuk menyelesaikan permasalahan pada program linier dengan menggunakan metode simpleks yang mampu menampilkan setiap tahapan proses iterasinya secara detail.

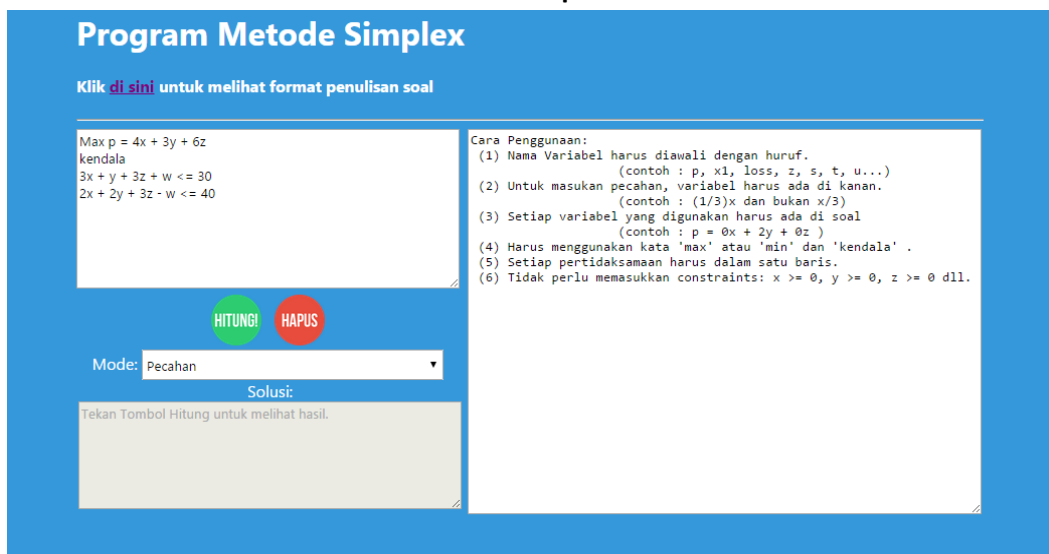
Aplikasi yang akan dibuat harus mengikuti ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- 1) halaman antar muka, berisi judul program dan identitas *programmer*
- 2) input soal berupa model matematika dari permasalahan
- 3) permasalahan yang harus diselesaikan dapat berupa maksimasi maupun minimasi
- 4) terdapat pilihan untuk metode simpleks yang dibuat (dasar, teknik M-Pinalty, teknik 2 fase)
- 5) setiap metode harus memperhatikan kasus khusus dari permasalahan (degenerasi, solusi optimum banyak, tidak memiliki solusi, maupun solusi tak hingga)
- 6) setiap tahapan iterasi ditampilkan beserta syarat dan tujuannya

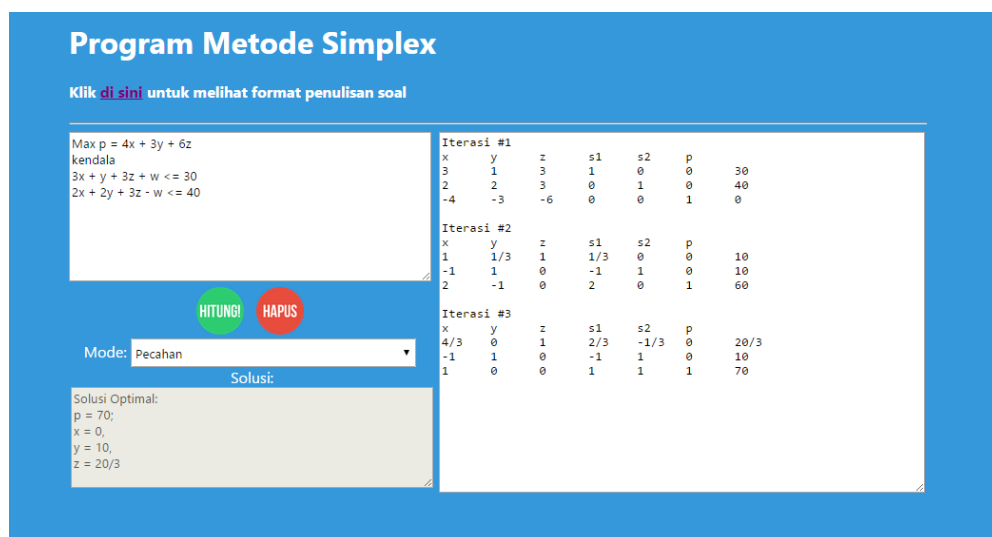
Sebagai gambaran, salah satu aplikasi (tahap 1) yang telah dibuat oleh kelas eksperimen adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Tampilan Awal



Gambar 4. Tata Cara Penggunaan Aplikasi



Gambar 5. Tabulasi Metode Simpleks dan Solusi

	X1	X2	X3	S1	S2	S3	R1	R2	R3	Nilai
Z	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nilai Saat Ini	<input type="text"/>	Status	<input type="text"/>
Jumlah Iterasi	<input type="text"/>	Kasus Khusus	<input type="text"/>

X1	X2	X3	Tanda	Nilai
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>	>=	<input type="text" value="3"/>
<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="0"/>	>=	<input type="text" value="6"/>
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="0"/>	>=	<input type="text" value="4"/>

Z	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>
---	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Cara pakai:
Masukkan nilai di tabel di kiri bawah. Tabel di atas tidak dapat di edit.
Klik Ubah Ke Tabel terlebih dahulu setelah memasukkan nilai, baru klik Iterasi Minimumkan berulang kali hingga nilai tidak berubah lagi (optimum).
Tanda bisa diubah sesuai keinginan.

Gambar 6. Tahapan Tiap Iterasi

Beberapa hasil aplikasi (tahap 1) lain, yang telah dibuat dapat dilihat maupun didownload pada alamat:

- 1) <http://metodesimplex.pe.hu/>
- 2) <http://sulasi3.byethost12.com>
- 3) http://www.dropbox.com/s/61p8i4i530t0cxu/TUGAS_TRO_SIMPLEX.zip?dl=0
- 4) https://docs.google.com/file/d/0B_66Oum1iPODMi15TW5fTGx0X1U/edit
- 5) <http://onedrive.live.com/redir.aspx?cid=a19d881c2ac421f6&resid=a19d881c2ac421f6!301&farId=a19d881c2ac421f6!111&aauthkey=!AENSONa3e3gtTN4&ithint=fail%2Czip?>

Setelah mahasiswa mempresentasikan proyek yang telah dibuatnya dilakukan evaluasi baik oleh mahasiswa lain maupun dosen. Kemudian mahasiswa memperbaiki proyeknya sesuai dengan saran dari dosen maupun mahasiswa lain.

Pada tahap akhir kedua kelas diberikan posttest, kemudian masing masing mahasiswa dihitung selisih (kenaikan) dari nilai pretest dengan posttest. Setelah dilakukan pengolahan data diperoleh bahwa:

- 1) rata-rata selisih (kenaikan) dari nilai pretest dengan posttest pada kelas kontrol adalah 35,67
- 2) rata-rata selisih (kenaikan) dari nilai pretest dengan posttest pada kelas eksperimen adalah 42,06
- 3) terdapat perbedaan peningkatan pemahaman antara kelas kontrol dan kelas eksperimen (kelas eksperimen lebih baik dari pada kelas kontrol) dengan taraf signifikansi 95%

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran *project based learning* dapat diimplementasikan dalam pembelajaran materi metode simplek pada mahasiswa ilmu komputer untuk meningkatkan pemahaman konsep algoritma.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa Program Studi Ilmu Komputer FPMIPA UPI yang telah berkontribusi sebagai subjek dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Frederick S. Hillier and Gerald J. Lieberman, "Introduction to Operations Research", Seventh Edition, Penerbit Mc Graw Hill, New York, 2001
- [2] Efraim Turban, Jay E. Aronson dan Ting Peng Liang, "Decision Support Systems and Intelligent Systems", Seventh Edition, Prentice Hall of India, New Delhi, 2007, p.49-51.
- [3] Irpan Ramdani, "SPK : Keputusan dan Pengambilan Keputusan (Pengertian, Fase-Fase dan Proses Pengambilan Keputusan)", <http://irpantips4u.blogspot.com/2012/11/spk-keputusan-dan-pengambilan-keputusan.html> [diakses 05 Januari 2015]
- [4] J. Boaler, "Experiencing School Mathematics: Teaching styles, sex, and setting," Penerbit Open University Press, Buckingham, UK, 1997
- [5] W. R. Penuel and B. Means, "Designing a performance assessment to measure student communication skills in multi-media-supported, project based learning", Paper presented at the
- [6] Annual Meeting of the American Educational Research Association, 2000, New Orleans
W.J. Stepien, S.A. Gallagher, and D. Workman, "Problem-based learning for traditional and interdisciplinary classroom", Journal for the Education of the Gifted, 1993, 16, p.338-357
- [7] Heather Staker and Michael B. Horn, "Classifying K-12 Blended Learning", Penerbit Innosighty Institut, USA, 2012
- [8] Anonim, "Introduction to Project Based Learning", http://bie.org/object/document/intoduction_to_project_based_learning [diakses 07 Januari 2015]
- [9] Scott Barge, "Principles of problem and project based learning, The Aalborg PBL Model", Harvard University, USA, 2010
- [10] Pearson, "PBL Guide: A Resource for Instructors and Program Coordinators ", National Academy Foundation, 2015

Pengaruh Penggunaan Model Pembelajaran *Quantum* Terhadap Pemahaman Matematik Siswa

Yosi Adiputra

¹⁾Program Studi Pendidikan Matematika, Sekolah Pascasarjana, Universitas Pendidikan Indonesia Bandung

^{a)}soe_hok_cie@yahoo.com

Abstrak

Rendahnya pemahaman matematik kemungkinan ada kaitannya dengan pendekatan pembelajaran yang dilakukan guru. Pembelajaran dengan menggunakan metode konvensional kurang membuat siswa aktif dalam pembelajaran, siswa lebih banyak pasif dan hanya duduk di bangku. Salah satu alternatif yang dapat digunakan agar pembelajaran menjadi nyaman dan menyenangkan adalah dengan menggunakan model pembelajaran *Quantum*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan model pembelajaran *Quantum* terhadap pemahaman matematik siswa. Hipotesis dalam penelitian ini adalah terdapat pengaruh positif penggunaan model pembelajaran *Quantum* terhadap pemahaman matematik siswa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa tes pemahaman matematik. Populasi dalam penelitian ini adalah siswa kelas VIII SMP Negeri 2 Kota Tasikmalaya. Sampel dalam penelitian diambil dua kelas secara acak menurut kelas dari seluruh populasi, yaitu kelas VIII H sebagai kelas eksperimen dengan jumlah siswa 43 orang dan kelas VIII I sebagai kelas kontrol dengan jumlah siswa 42 orang. Kelas eksperimen diberi pembelajaran dengan model pembelajaran *Quantum* dan kelas kontrol diberi pembelajaran dengan menggunakan model pembelajaran konvensional. Teknik analisis data menggunakan uji perbedaan dua rata-rata. Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh kesimpulan bahwa terdapat pengaruh positif penggunaan model pembelajaran *Quantum* terhadap pemahaman matematik siswa.

Kata kunci: Model Pembelajaran *Quantum*, Konvensional, Pemahaman Matematik.

Pendahuluan

Menurut Porter, B.D, *et.al.* [1] mengemukakan “Kita belajar : 10% dari apa yang kita baca, 20% dari apa yang kita dengar, 30% dari apa yang kita lihat dan kita dengar, 50% dari apa yang kita lakukan, 70% dari apa yang kita katakan, 90% dari apa yang kita katakan dan lakukan”. Hal ini menunjukkan bagaimana hubungan antara metode belajar dengan daya serap yang didapatkan.

Keberhasilan belajar siswa pada mata pelajaran matematika, berdasarkan hasil pengamatan peneliti belum mencapai apa yang diharapkan. Hal ini dilihat dari data hasil ulangan akhir semester genap untuk kelas VIII, nilai rata-rata untuk mata pelajaran matematika hanya mencapai 62. Sedangkan Kriteria Ketuntasan Minimum (KKM) yang ditentukan oleh SMP Negeri 2 Tasikmalaya untuk mata pelajaran matematika kelas VIII adalah 70. Pencapaian tersebut menunjukkan bahwa kebanyakan siswa masih menganggap sulit untuk menguasai, serta memahami matematika.

Menurut Rudy [2] “Pelajaran matematika yang terkesan rumit, hingga saat ini masih menjadi hantu bagi sebagian siswa”. Hal ini dapat dianggap wajar, karena dalam proses belajar mengajar

matematika tidak dapat dipahami hanya dengan membaca materi atau mendengarkan penjelasan dari guru saja, tetapi harus disertai dengan latihan-latihan soal. Pembelajaran dengan menggunakan metode konvensional kurang membuat siswa aktif dalam pembelajaran, siswa lebih banyak pasif dan hanya duduk di bangku. Ini dirasakan sekali oleh penulis ketika melaksanakan Program Pengalaman Lapangan (PPL). aktivitas pembelajaran di kelas yang selama ini dilakukan oleh guru yang tidak lain merupakan penyampaian informasi dengan lebih mengaktifkan guru, sedangkan siswa hanya mendengarkan dan menyalin, sesekali guru bertanya dan murid menjawab, guru memberi contoh soal latihan dan guru memberikan soal yang mirip dengan contoh soal, lalu guru memberikan penilaian.

Menyikapi hal tersebut, maka satu hal yang harus dilakukan adalah bagaimana membuat siswa senang untuk belajar matematika. Salah satunya dengan menerapkan model pembelajaran yang efektif. Model pembelajaran matematika yang efektif dalam pembelajaran matematika antara lain memiliki nilai relevansi dengan pencapaian daya matematika dan memberi peluang untuk bangkitnya kreativitas guru, kemudian berpotensi mengembangkan suasana belajar mandiri selain dapat menarik perhatian siswa serta meningkatkan kemampuan pemahaman terhadap matematika.

Pembelajaran yang memperhatikan hal tersebut diantaranya adalah model pembelajaran *Quantum*. Model pembelajaran *Quantum* ini menggabungkan *Quantum Learning* dan *Quantum Teaching*. Porter, B.D dan Hernacki, M. [3] mendefinisikan *Quantum Learning* sebagai “interaksi-interaksi yang mengubah energi menjadi cahaya”. Kemudian, menurut Porter, B.D, *et.al.* [1], “*Quantum Teaching* adalah orkestrasi bermacam-macam interaksi yang ada didalam dan sekitar momen belajar”. Rancangan pembelajaran yang konsisten dan dinamis yang lebih dikenal dengan istilah TANDUR (Tumbuhkan, Alami, Namai, Demonstrasikan, Ulangi, Rayakan) akan menjadi skenario model pembelajaran *Quantum*. Dengan melihat tahapan tersebut diharapkan seluruh siswa dapat berperan aktif dalam proses pembelajaran.

Teori

Model pembelajaran *Quantum* merupakan penggabungan dari suasana yang kondusif, pilihan modalitas belajar siswa yaitu visual, auditorial dan kinestetik (VAK) dan kerangka perancangan belajar yang dinamis, Setiap orang memiliki pilihan modalitas untuk memudahkan mereka dalam proses pembelajaran, tapi kebanyakan dari mereka hanya cenderung pada satu modalitas sesuai menurut Bandler dan Grinder [1] “Meskipun kebanyakan orang memiliki akses ketiga modalitas (visual, auditorial dan kinestetik) hampir semua cenderung pada salah satu modalitas belajar. Markova [1] menambahkan “orang tidak hanya cenderung pada satu modalitas mereka juga memanfaatkan kombinasi modalitas tertentu yang memberi mereka bakat dan kekurangan alami tertentu”. Semakin banyak modalitas yang kita libatkan maka akan semakin mudah untuk menciptakan suasana belajar yang hidup, berarti dan melekat sehingga belajar dianggap efektif.

Pembelajaran *Quantum* menekankan bahwa interaksi dalam pembelajaran sangat penting, karena dapat mengubah energi menjadi cahaya yang berarti kesuksesan pribadi maupun bersama. Sebagai model pembelajaran yang menekankan interaksi-interaksi positif antara guru dengan siswa, siswa dengan siswa, dan siswa dengan guru, model pembelajaran *Quantum* dikembangkan karena sesuai dengan cara kerja otak manusia atau cara belajar manusia secara umum.

Kunci model pembelajaran *Quantum* adalah belajar sukses, dengan mengembangkan potensi melalui aktivitas tinggi dalam suasana belajar yang kondusif, nyaman dan menyenangkan. Prinsip utama pembelajaran *Quantum* menurut Porter, B.D, *et.al.* [1] mengatakan “Bawalah dunia mereka kedalam dunia kita dan antarkan dunia kita ke dalam dunia mereka”. Setiap interaksi pembelajaran,

setiap rancangan kurikulum dan metode pembelajaran harus dibangun di atas prinsip utama tersebut. Model pembelajaran ini sejalan dengan teori Piaget [4] “Pada tahap sensori motor, pengalaman anak diperoleh melalui perbuatan fisik (gerakan anggota tubuh) dan sensori (koordinasi alat indra). Tahap Pra Operasi menurut Piaget [4] “Tahap ini adalah tahap persiapan untuk pengorganisasian operasi konkret”. Begitu pula dengan Tahap Operasi Konkrit, menurut Piaget [4] “Tahap ini baru mampu mengikat definisi yang telah ada dan mengungkapkannya, akan tetapi belum mampu untuk merumuskan sendiri definisi-definisi tersebut secara jelas dan mampu menguasai simbol verbal dan ide-ide abstrak”. Pada tahap Operasi Formal, anak sudah mampu melakukan penalaran. Teori piaget di dalam empat tingkat perkembangan kognitifnya sesuai dengan modalitas yang diperlukan dalam model pembelajaran *Quantum*. Misalnya pada tahap sensori motor, modalitas visual, auditorial, dan kinestetik. pencapaian keempat tahap perkembangan kognitif sejalan dengan Pembelajaran *Quantum Teaching* dan *Quantum Learning*.

Pemahaman matematik dapat dipandang sebagai proses dan tujuan dari suatu pembelajaran matematika. Menurut Rudy [2]: “Pemahaman matematik adalah suatu proses pengamatan kognisi yang tak langsung dalam menyerap pengertian dari konsep/teori yang akan dipahami, mempertunjukkan kemampuannya di dalam menerapkan konsep/teori yang dipahami pada keadaan dan situasi-situasi yang lainnya. Sedangkan sebagai tujuan, pemahaman matematik berarti suatu kemampuan memahami konsep, membedakan sejumlah konsep-konsep yang saling terpisah, serta kemampuan melakukan perhitungan secara bermakna pada situasi atau permasalahan-permasalahan yang lebih luas”.. Sedangkan menurut Skemp [5] menggolongkan pemahaman ke dalam dua jenis yaitu : (a). Pemahaman instrumental : hapal konsep atau prinsip tanpa kaitan dengan yang lainnya, dapat menerapkan rumus dalam perhitungan sederhana dan mengerjakan perhitungan secara algoritmik. (b) Pemahaman relasional : mengaitkan satu konsep/prinsip dengan konsep/prinsip lainnya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini berupa tes pemahaman matematik. Populasi dalam penelitian ini adalah siswa kelas VIII SMP Negeri 2 Kota Tasikmalaya. Sampel dalam penelitian diambil dua kelas secara acak menurut kelas dari seluruh populasi, yaitu kelas VIII H sebagai kelas eksperimen dengan jumlah siswa 43 orang dan kelas VIII I sebagai kelas kontrol dengan jumlah siswa 42 orang. Kelas eksperimen diberi pembelajaran dengan model pembelajaran *Quantum* dan kelas kontrol diberi pembelajaran dengan menggunakan model pembelajaran langsung.

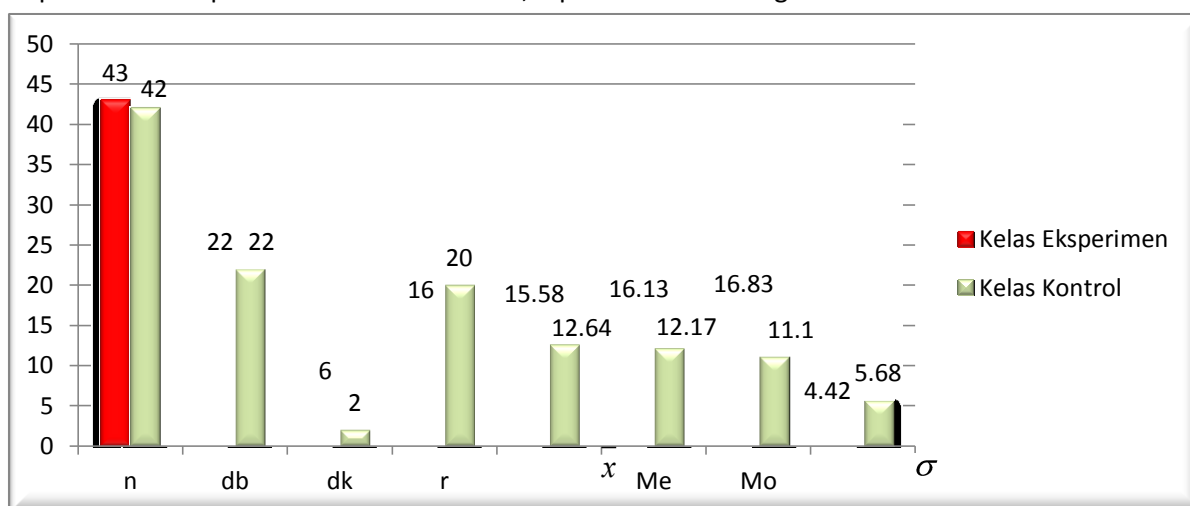
Desain dalam penelitian ini adalah desain kelompok kontrol hanya postes. Desain kelompok kontrol hanya postes melibatkan dua kelompok. Kelompok yang pertama memperoleh perlakuan dengan menggunakan model pembelajaran *Quantum* sedangkan kelompok yang kedua memperoleh perlakuan dengan menggunakan model pembelajaran langsung. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah dengan mengadakan tes pemahaman matematik. Tes pemahaman matematik dalam penelitian ini dilakukan satu kali pada akhir pengembangan kompetensi, tes pemahaman matematik ini bertujuan untuk memperoleh gambaran mengenai pemahaman matematik siswa. Melalui tes ini diharapkan proses berpikir dan penguasaan siswa terhadap materi lingkaran yang dipelajari akan terukur.

Hasil dan Diskusi

Pelaksanaan penelitian ini dimulai dengan perencanaan mulai dari pembuatan perangkat penelitian yang terdiri dari silabus, Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP), dan instrumen-instrumen penelitian yang terdiri dari bahan ajar, LKS, soal-soal tes dan tugas individu, serta tes

pemahaman matematik untuk mengungkap pemahaman matematik siswa. Dapat diperoleh beberapa gambaran bahwa penggunaan model pembelajaran *Quantum* pada materi lingkaran dengan persiapan yang matang dan pelaksanaan yang optimal, dapat memberikan hasil yang maksimal pada pemahaman matematik siswa. Hal tersebut dapat dilihat dari rata-rata yang diperoleh siswa dari kelas eksperimen yang pembelajarannya menggunakan model pembelajaran *Quantum* yaitu 15,58 Sedangkan skor perolehan siswa kelas kontrol yang pembelajarannya menggunakan model pembelajaran langsung, setelah mengadakan tes pemahaman matematik diperoleh rata-rata yaitu 12,64.

Data kuantitatif diperoleh dari hasil tes kemampuan pemahaman matematik yang dilakukan sebanyak satu kali. Tes diberikan setelah pembelajaran dilaksanakan pada materi lingkaran dengan kompetensi dasar menghitung keliling dan luas lingkaran selesai. Data yang diperoleh dari penelitian diolah untuk memudahkan peneliti mengambil kesimpulan. Tes diberikan kepada 85 orang yang terdiri dari 43 orang yang pembelajarannya menggunakan model pembelajaran *Quantum* dan 42 orang yang pembelajarannya menggunakan model pembelajaran Langsung. Penskoran akhir terhadap tes dilakukan sesuai dengan pedoman penskoran tes pemahaman. Setelah dilakukan post tes pada kelas eksperimen dan kelas kontrol, diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 1 : Data Perbedaan Ukuran Data Statistika Pada Kelas Eksperimen dengan Kelas Kontrol

Berdasarkan gambar 1, diperoleh bahwa skor tertinggi tes pemahaman matematik siswa pada kelas eksperimen adalah 22 dan skor terendah adalah 6 dengan skor akhir rata-rata siswa (x) adalah 15,58. Sedangkan skor tertinggi tes pemahaman matematik siswa pada kelas kontrol adalah 22 dan skor terendah adalah 2 dengan skor akhir rata-rata (x) siswa adalah 12,64. Skor maksimal pada tiap butir soal 4 dan dengan banyak soal 6, maka skor maksimal yang diperoleh siswa untuk tes pemahaman matematik adalah 24.

Pada Gambar 1, rata-rata skor kelompok siswa kelas eksperimen yang menggunakan model pembelajaran *Quantum* lebih baik karena rata-rata yang diperoleh siswa lebih besar daripada yang diperoleh siswa kelas Kontrol yang menggunakan model pembelajaran Langsung. Uji hipotesis dilakukan dengan menggunakan uji perbedaan dua rata-rata. Untuk $\alpha = 1\%$, diperoleh $t_{0,99(83)} = 2,38$. Ternyata $t_{hitung} > t_{0,99(83)}$ yaitu $2,67 > 2,38$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima. Artinya terdapat pengaruh positif penggunaan model pembelajaran *Quantum* terhadap pemahaman matematik siswa.

Model pembelajaran *Quantum* dikatakan lebih baik karena dalam pelaksanaan pembelajarannya siswa terlibat dalam pembelajaran dan aktif bekerja sama dalam memahami materi lingkaran melalui

bahan ajar serta dalam menyelesaikan setiap permasalahan. Hal tersebut terjadi karena mereka merasa nyaman dan senang untuk belajar matematika. Hal ini sesuai dengan tujuan pembelajaran *Quantum* menurut Porter, B.D, dan Hernacki, M [3] yang berupaya menciptakan suasana belajar yang nyaman dan menyenangkan, juga sesuai dengan teori kecerdasan ganda yang menyatakan bahwa siswa belajar dengan didukung oleh dua kecerdasan intelektual dan kecerdasan emosional, berbeda dengan saat pembelajaran menggunakan model pembelajaran langsung siswa cenderung pasif karena kegiatan pembelajaran didominasi oleh guru dan siswa hanya memperhatikan.

Dalam pelaksanaan di lapangan terdapat beberapa kendala salah satunya adalah alokasi waktu yang dirasa kurang, akibatnya peneliti kesulitan mengatur penggunaan waktu selain itu selalu ada siswa yang sulit aktif dalam pembelajaran sehingga guru harus terus memotivasi dan berupaya membuat suasana belajar yang lebih menyenangkan agar siswa dapat belajar aktif.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data, diperoleh kesimpulan yaitu terdapat pengaruh positif penggunaan model pembelajaran *Quantum* terhadap pemahaman matematik siswa. Sedangkan untuk saran yang dianjurkan oleh peneliti diantaranya : 1). Bagi Kepala Sekolah, diharapkan memberikan fasilitas dalam mengembangkan pembelajaran dengan menggunakan model pembelajaran *Quantum*. 2). Kepada guru dan calon guru matematika sebaiknya menggunakan model pembelajaran *Quantum* sebagai alternatif dalam melaksanakan pembelajaran. 3). Untuk peneliti, disarankan untuk mencoba melaksanakan penelitian dengan menggunakan model pembelajaran *Quantum* pada materi yang lainnya.

Referensi

- [1] Porter, B.D, *et.al.* (2004). *Quantum Teaching : Mempraktekkan Quantum Learning di Ruang-ruang kelas*. Penerjemah Ary Nilandari. Bandung : Kaifa
- [2] Rudy (2009). *Kemampuan Pemahaman, dan Pemecahan Masalah Matematik*. [online]. Tersedia www.RudyKS3.blogspot.com [diakses 6 Desember 2009]
- [3] Porter, B.D. & Hernacki, M (2009). *Quantum Learning : Membiasakan Belajar Nyaman dan Menyenangkan*. Penerjemah Alwiyah Abdurahman. Bandung:Kaifa.
- [4] Tim MKPBM. (2001). *Strategi Pembelajaran Matematika Kontemporer*. Bandung : JICA UPI
- [5] Sumarmo, Utari (2006) *“Berfikir Matematika Tingkat Tinggi: Apa, mengapa dan Bagaimana dikembangkan pada Siswa Sekolah Menengah dan Mahasiswa Calon Guru”*. Makalah. UPI Bandung
- [6] Arikunto, S. (2002). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta
- [7] Arikunto, S. (2006). *Dasar – dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta : Bumi Aksara
- [8] Ruseffendi, E. T. (2005). *Dasar-dasar Penelitian Pendidikan dan Bidang Non-Eksakta lainnya*. Bandung : Tarsito.
- [9] Sudjana. (2005). *Metoda Statistika*. Bandung : Tarsito
- [10] Sukmadinata, N. S. (2003). *Landasan Psikologi Proses Pendidikan*. Bandung : Remaja Rosdakarya.

MA-39

Validitas Model Pembelajaran Kalkulus Berbasis Kontekstual

Nana Sepriyanti

¹⁾Jurusan Tadris Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan
IAIN Imam Bonjol Padang

^{a)}munzilatululya@yahoo.com

Abstrak

Berdasarkan hasil penelitian pendahuluan pada mata kuliah Kalkulus di Jurusan Tadris Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan IAIN Imam Bonjol Padang ditemukan bahwa proses pembelajaran dan perangkat pembelajaran yang digunakan dosen belum memfasilitasi mahasiswa untuk mengkonstruksi sendiri pengetahuannya, proses pembelajaran masih konvensional sehingga efektifitas pembelajaran kalkulus rendah. Oleh karena itu dirasakan pentingnya melakukan penelitian pengembangan model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual yang valid. Jenis penelitian ini adalah penelitian disain dengan tiga tahapan penelitian, yaitu fase penelitian pendahuluan, fase prototipe dan fase penilaian (Plomp: 2013). Teknik evaluasi formatif untuk menentukan kualitas hasil disain prototipe model pembelajaran adalah evaluasi formatif Tessmer (1993) dalam Plomp (2013: 36), yaitu *expert review*. Produk Model Pembelajaran Kalkulus Berbasis Kontekstual (MPKKBK) yang telah dikembangkan adalah buku rasional MPKKBK, buku Pedoman Kerja Dosen (PKD) MPKKBK dan buku Pedoman Kerja Mahasiswa (PKM) MPKKBK. Pengembangan MPKKBK pada tahap uji validitas memperlihatkan bahwa ketiga produk berada pada kategori valid dan sangat valid. Hasil uji validitas model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual memperlihatkan bahwa produk penelitian ini layak digunakan, kemudian diujicobakan pada tahap penelitian selanjutnya.

Kata kunci: validitas, model pembelajaran, pembelajaran kontekstual

Pendahuluan

Penelitian pengembangan dalam pembelajaran matematika di tingkat Perguruan Tinggi adalah fenomena yang relatif baru, termasuk penelitian tentang pengembangan model pembelajaran Kalkulus berbasis kontekstual. Padahal masalah dalam pendidikan matematika perguruan tinggi, seperti rendahnya efektifitas pembelajaran Kalkulus di Jurusan Tadris Matematika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan IAIN Imam Bonjol Padang tidak bisa diselesaikan dengan hanya penelitian eksperimen tentang strategi atau metode pembelajaran dan mengadopsi buku teks terbaru. Rendahnya efektifitas pembelajaran Kalkulus ini dialami juga oleh Perguruan Tinggi lain. Sejumlah peneliti telah meneliti tentang permasalahan rendahnya efektifitas pembelajaran kalkulus ini, seperti [1] [2] [3] [4] [5]. Oleh karena itu dirasakan pentingnya melakukan pengembangan model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual.

Produk yang diharapkan dari hasil pengembangan adalah model pembelajaran Kalkulus berbasis kontekstual yang didokumentasikan dalam bentuk buku Rasional Model, Buku Pedoman Kerja Dosen (PKD) dan buku Pedoman Kerja Mahasiswa (PKM). Buku ini memuat aspek yang berkaitan dengan model pembelajaran Kalkulus yang dioptimalkan muncul prinsip-prinsip pembelajaran kontekstual untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran. Ada lima komponen yang digunakan dan berfungsi

sebagai unsur penyusunnya yaitu sintak, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung dan efek instruksional dan pengiring [6].

Teori dan Eksperimen

Jenis penelitian ini merupakan penelitian disain (*design research*). Tujuan penelitian disain pendidikan (*educational design research*) dengan jenis *development studies* adalah untuk mengembangkan penelitian berdasarkan solusi untuk masalah yang kompleks dalam pendidikan. Tujuan *educational design research* dengan jenis *validation studies* adalah untuk pengembangan atau memvalidasi suatu teori [7].

Pengembangan model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual (MPKKB) ini menggunakan disain pengembangan Plomp [7] yang memiliki tiga tahap atau fase, yaitu : 1) Penelitian Pendahuluan (*Preliminary Research*), (2) Tahap Prototipe (*Development or Prototyping Phase*) dan (3) Tahap Penilaian (*Assessment Phase*)

Teknik evaluasi formatif (*formative evaluation*) yang dilakukan untuk menentukan kualitas hasil disain prototipe model pembelajaran, yaitu buku rasional MPKKB, buku PKD MPKKB dan buku PKM MPKKB adalah evaluasi formatif Tessmer (1993) dalam Plomp [7], yaitu penilaian pakar (*expert review*), fokus grup (*focus group*) dan uji coba lapangan (*field test*). Para ahli yang bertindak sebagai validator adalah satu orang pakar Pendidikan, satu orang pakar Bahasa dan tiga orang pakar Pendidikan Matematika.

Supaya diperoleh prototipe yang valid sehingga layak digunakan, maka dilakukan diskusi dengan masing-masing validator dan dilakukan revisi terhadap prototipe berdasarkan masukan dan saran ahli/validator. Untuk memperoleh masukan dan penilaian dari praktisi, maka dilakukan *Focus Group Discussion (FGD)*. Berdasarkan saran dari validator dan praktisi tersebut, maka dilakukan revisi terhadap produk yang dihasilkan. Setelah produk prototipe MPKKB direvisi sesuai saran validator, selanjutnya diberikan kembali kepada validator untuk dinilai.

Hasil dan Diskusi

1) Buku Rasional Model Pembelajaran Kalkulus Berbasis Kontekstual (MPKKB)

Penilaian/validasi buku rasional MPKKB terdiri dari 7 (tujuh) aspek penilaian, yaitu: teori pendukung, sintak, sistem sosial, prinsip reaksi, sistem pendukung, dampak instruksional dan dampak pengiring, dan pelaksanaan MPKKB. Hasil validasi/penilaian MPKKB ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas MPKKB

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Teori Pendukung	4,1	81,6%	Sangat Valid
2	Sintak	4,12	83 %	Sangat Valid
3	Sistem Sosial	4,2	83,5%	Sangat Valid
4	Prinsip reaksi	4,1	82 %	Sangat Valid
5	Sistem Pendukung	4,06	81,3%	Sangat Valid
6	Dampak instruksional dan dampak pengiring	4,06	80,36%	Valid
7	Pelaksanaan MPKKB	4,04	80,8%	Valid
Rata-rata Akhir		4,1	81%	Sangat Valid

Tabel 2. Hasil Validasi MPKBK untuk Aspek Teori Pendukung

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Cakupan Teori	4,2	84%	Sangat Valid
2	Teori Pembelajaran	4	80%	Valid
3	Teori Model	4	80%	Valid
4	Bahasa	4	80%	Valid
5	Bentuk Fisik	4,2	84%	Sangat Valid
Jumlah		20,4	408%	
Rata-rata		4,1	81,6%	Sangat Valid

Pada Tabel 1, hasil uji validitas untuk setiap aspek penilaian berada pada rentang 80,36% s/d 83,5%, yang berada pada kategori valid dan sangat valid. Sedangkan rata-rata persentase kevalidan aspek MPKBK adalah 81% yang termasuk kategori sangat valid.

Hasil uji validitas aspek teori pendukung dikategorikan sangat valid dengan persentase kevalidan 81,6%. Hasil validasi/penilaian teori pendukung ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Hasil uji validitas aspek sintak dikategorikan sangat valid dengan persentase kevalidan 83%. Hasil validasi/penilaian aspek sintak ditampilkan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Validasi MPKBK untuk Aspek Sintak

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Cakupan Aspek Sintak Pembelajaran	4,2	84%	Sangat Valid
2	Fase-Fase Dalam Sintak Pembelajaran	4,03	81%	Sangat Valid
3	Keterlaksanaan Sintak Pembelajaran	4,25	85%	Sangat Valid
4	Tingkat Keterkaitan Sintak Pembelajaran	4	80%	Valid
Jumlah		16,48	330,3%	
Rata-rata		4,12	83%	Sangat Valid

Hasil uji validitas aspek sistem sosial dikategorikan sangat valid dengan rata-rata persentase kevalidan 83,5%. Hasil validasi/penilaian aspek sistem sosial ditampilkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Validasi MPKBK Aspek Sistem Sosial

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Pembimbing	4,4	88%	Sangat Valid
2	Fasilitator	4,4	88%	Sangat Valid
3	Reflektor	4	80%	Valid
4	Motivator	4	80%	Valid
5	Kerja Sama/Saling Membantu	4,4	88%	Sangat Valid
6	Tanggung Jawab	4	80%	Valid
7	Tingkat Keterlaksanaan	4,2	84%	Sangat Valid
8	Tingkat Keterkaitan Sistem Sosial	4	80%	Valid
Jumlah		33,4	668%	
Rata-rata		4,2	83,5%	Sangat Valid

Hasil uji validitas aspek prinsip reaksi dikategorikan sangat valid dengan rata-rata persentase kevalidan 82%. Hasil validasi/penilaian aspek prinsip reaksi ditampilkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Validasi MPKBK Aspek Prinsip Reaksi

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persen	Kategori
1	Memberikan Bimbingan	4	80%	Valid
2	Memfasilitasi Proses Pembelajaran	4,4	88%	Sangat Valid
3	Merekonstruksi Informasi	4	80%	Valid
4	Melakukan Modeling	4	80%	Valid
5	Melakukan Refleksi	4,2	84%	Sangat Valid
6	Memberikan Penilaian Autentik	4,2	84%	Sangat Valid
7	Tingkat Keterlaksanaan	4	80%	Valid
8	Tingkat Keterkaitan Prinsip Reaksi	4	80%	Valid
Jumlah		20,5	656%	
Rata-rata		4,1	82%	Sangat Valid

Hasil uji validitas sistem pendukung dikategorikan sangat valid dengan rata-rata persentase kevalidan 81,3%. Hasil validasi/penilaian aspek sistem pendukung ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil Validasi MPKBK Aspek Sistem Pendukung

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Cakupan Sistem Pendukung Model	4	80%	Valid
2	Perumusan Tujuan Pembelajaran	4,2	84%	Sangat Valid
3	Pemilihan Materi Pembelajaran	4,2	84%	Sangat Valid
4	Peran Sistem Pendukung	4	80%	Valid
5	Tingkat Keterlaksanaan	4	80%	Valid
6	Tingkat Keterkaitan Sistem Pendukung	4	80%	Valid
Jumlah		24,4	488%	
Rata-rata		4,06	81,3%	Sangat Valid

Hasil uji validitas aspek dampak instruksional dan pengiring MPKBK dikategorikan valid dengan rata-rata persentase kevalidan 80,36%. Hasil validasi/penilaian aspek dampak instruksional dan pengiring MPKBK ditampilkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil Validasi MPKBK Aspek Dampak Instruksional dan Dampak Pengiring

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Cakupan Dampak Instruksional dan Pengiring	4	80%	Valid
2	Kemampuan Mengkonstruksi Pengetahuan	4	80%	Valid
3	Kemampuan Dalam Inquiry Pengetahuan	4,2	84%	Sangat Valid
4	Kemampuan Belajar Dengan Multi Konteks	4	80%	Valid
5	Kemampuan Koneksi Matematis	4	80%	Valid
6	Minat Belajar	4	80%	Valid
7	Motivasi Belajar	4	80%	Valid
8	Berfikir Efektif	4	80%	Valid
9	Kemampuan Menganalisis	4	80%	Valid
10	Kemampuan Bekerja Sama	4,4	80%	Valid
11	Tingkat Keterkaitan Dampak Instruksional Dan Pengiring	4	80%	Valid
Jumlah		20,3	884%	
Rata-rata		4,06	80,36%	Valid

Hasil uji validitas aspek pelaksanaan MPKBK dikategorikan valid dengan rata-rata persentase kevalidan 80,8%. Hasil validasi/penilaian aspek pelaksanaan MPKBK ditampilkan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Validasi MPKKB Aspek Pelaksanaan Model Pembelajaran

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Aspek Petunjuk	4	80%	Valid
2	Sintak	4	80%	Valid
3	Sistem Sosial	4	80%	Valid
4	Prinsip Reaksi	4,2	84%	Sangat Valid
5	Tingkat Keterlaksanaan	4	80%	Valid
Jumlah		20,2	404%	
Rata-rata		4,04	80,8%	Sangat Valid

2) Buku Pedoman Kerja Dosen (PKD) MPKKB

Penilaian/validasi buku PKD MPKKB terdiri dari 7 (tujuh) aspek penilaian, yaitu: tujuan, sintak, teknik penilaian, materi, bahasa, bentuk fisik, dan manfaat. Hasil validasi/penilaian buku PKD MPKKB ditampilkan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil Validasi Buku PKD MPKKB

No	Aspek Penilaian	Rata-rata	Persentase	Kategori
1	Tujuan	4,25	85%	Sangat Valid
2	Sintak	4,2	4%	Sangat Valid
3	Teknik Penilaian	4	0%	Valid
4	Materi	4,2	4%	Sangat Valid
5	Bahasa	4	0%	Valid
6	Bentuk Fisik	4	0%	Valid
7	Manfaat	4,6	2%	Sangat Valid
Jumlah		29,25	35%	
Rata-rata		4,18	3%	Sangat Valid

Pada Tabel 9 di atas, penilaian untuk setiap aspek penilaian berada pada rentang 80% s/d 92%, yang berada pada kategori valid dan sangat valid. Sedangkan rata-rata persentase kevalidan aspek PKD adalah 83% yang termasuk kategori sangat valid.

3) Buku Pedoman Kerja Mahasiswa (PKM) MPKKB

Penilaian/validasi buku PKM terdiri dari 5 (lima) aspek penilaian, yaitu: tujuan, lembar kerja, bahasa, bentuk fisik dan manfaat. Hasil validasi/penilaian buku PKM MPKKB ditampilkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Validasi Buku PKM MPKKB

No	Aspek Penilaian	Rata-Rata	Persentase	Kategori
1	Tujuan	4,2	84%	Sangat Valid
2	Lembar Kerja	4,13	82,5%	Sangat Valid
3	Bahasa	4	80%	Valid
4	Bentuk Fisik	4	80%	Valid
5	Manfaat	4,4	88%	Sangat Valid
Jumlah		20,73	414,5%	
Rata-rata		4,15	82,9%	Sangat Valid

Berdasarkan Tabel 10, penilaian untuk setiap aspek penilaian berada pada rentang 80% s/d 88%, yang berada pada kategori valid dan sangat valid. Sedangkan rata-rata persentase kevalidan aspek PKM adalah 82,9% yang termasuk kategori sangat valid.

Pengembangan MPKKB pada tahap evaluasi formatif (uji validitas) setelah dilakukan revisi sesuai saran validator, memperlihatkan bahwa prototipe memperoleh nilai pada rentang 80% sampai dengan 82,9%, yang berada pada kategori valid dan sangat valid, sehingga layak digunakan. Produk yang telah valid inilah yang digunakan dalam tahap ketiga penelitian yaitu tahap penilaian (uji praktikalitas dan efektifitas).

Kesimpulan

Uji validitas merupakan aspek penentu kualitas produk dalam penelitian pengembangan model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual (MPKKB). Pengembangan MPKKB pada tahap uji validitas memperlihatkan bahwa ketiga produk, yaitu buku rasional MPKKB memperoleh nilai 80% dengan kategori valid, buku Pedoman Kerja Dosen (PKD) memperoleh nilai 83% dengan kategori sangat valid dan buku Pedoman Kerja mahasiswa (PKM) memperoleh nilai 82,9% dengan kategori sangat valid. Hasil uji validitas model pembelajaran kalkulus berbasis kontekstual memperlihatkan bahwa produk penelitian ini telah memenuhi aspek penilaian mendasar dalam pengembangan model, yaitu adanya konsistensi logis antara model harapan dengan model kenyataan, sehingga layak digunakan, kemudian diujicobakan pada tahap penelitian selanjutnya.

Ucapan Terimakasih

Penulisan dan penyelesaian penelitian ini, tidak terlepas dari bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih yang tulus kepada Komisi Promotor, Komisi Pembahas, Tim Validator dan semua pihak yang telah berpartisipasi dan ikut membantu secara moril dan materil, semoga Allah SWT membalasnya dengan yang lebih baik, Amin.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mohon kritik, saran dan masukan untuk perbaikan dan penyempurnaan produk penelitian ini. Penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan memberikan sumbangan bagi pendidikan matematika.

Referensi

- [1] Zhou, Yuan. (2002). *Improving the Qualities of Teaching Calculus By Using Modern Education Theories and Modern Technology*. Department of Mathematics Fudan University People's Republic of China.
- [2] Zhang, Biao. (2003). *Using Student-Centred Teaching Strategies In Calculus*. Department of Mathematics Harbin Institute of Technology Harbin 150001 People's Republic of China.
- [3] Dhoruri, Atmini dkk. (2007). Upaya Meningkatkan Efektivitas Pembelajaran Kalkulus Differensial Dengan Memanfaatkan Program Delphi. Makalah Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika di FMIPA UNY pada tanggal 24 November 2007.
- [4] Sunandar. (2008). Peningkatan Hasil Belajar Kalkulus I Melalui Umpan Balik Tes Formatif Dengan Pembelajaran Remedial. *Jurnal Media Penelitian Pendidikan*, Volume 2 Nomor 2 Desember 2008.
- [5] Sepriyanti, Nana. (2008). Upaya Meningkatkan Mutu Pembelajaran Kalkulus dengan Pendekatan *Problem Solving* Melalui Sistem Tutorial. *Jurnal Puslit IAIN Imam Bonjol Padang*.
- [6] Joyce, B., Weil, M., dan Calhoun, Emily. (2011). *Model of Teaching* (Model-Model Pengajaran - Edisi ke 8. Ahmad Fawaid dan Ateila Mirza : Terjemahan).
- [7] Plomp, Tjeerd. (2013). *Educational Design Research: An Introduction to Educational Design Research*.

MA-40

Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa pada Masa Transisi dari Sekolah Menengah ke Perguruan Tinggi

Iyon Maryono^{1, a)} Yaya S. Kusumah^{2, b)} Dadang Juandi^{2, c)}

¹UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Universitas Pendidikan Indonesia

^{a)}iyon_m4r@yahoo.com

^{b)}yayaskusumah@yahoo.com

^{c)}d4d4ngdj@yahoo.com

Abstrak

Untuk mencapai tujuan pembelajaran yang maksimal perlu mengetahui karakteristik mahasiswa dari aspek kebiasaan belajar dan kemampuan berpikir secara dini. Studi ini mencoba menganalisis dua aspek tersebut pada awal perkuliahan dan pada akhir perkuliahan, yaitu kemampuan berpikir geometrik mahasiswa dan kebiasaan belajar harian mahasiswa semester satu. Hasil analisis menunjukkan bahwa kemampuan berpikir geometrik mahasiswa masih belum memenuhi kriteria yang diharapkan, yakni hanya 28% mahasiswa yang berada pada tingkat berpikir deduktif, sedangkan sisanya masih dalam tingkat berpikir deduktif informal/abstraksi (46%) dan analisis (26%). Untuk maju ke level berpikir geometrik yang lebih tinggi mahasiswa masih banyak yang mengalami masa transisi antar level. Salah satu penyebab masih minimnya mahasiswa yang mencapai tingkat berpikir deduktif adalah tidak terpenuhinya beban belajar ideal bagi mahasiswa karena mereka masih mengalami transisi kebiasaan belajar.

Kata kunci: tingkat berpikir geometrik, transisi.

Pendahuluan

Latar Belakang Masalah

Transisi dapat diartikan sebagai peralihan dari suatu keadaan (tempat, tindakan, dsb.) pada keadaan yang lain [1]. Sudah menjadi hal yang wajar bahwa setiap pergantian jenjang sekolah peserta didik biasanya mengalami masa transisi. Masa transisi dari Sekolah Lanjutan Tingkat Atas (SLTA) selalu dialami oleh mahasiswa tingkat satu. Menurut Artigue dan Guedet dalam [2] karakteristik transisi siswa dari SLTA ke tingkat Perguruan Tinggi dapat dipandang dari kelembagaan, diantaranya: pergeseran proses pembelajaran, waktu pembelajaran, pendekatan dosen, konten pembelajaran, tugas yang diberikan dosen dan tuntutan untuk mandiri.

Fakta di lapangan menunjukkan bahwa bagi beberapa mahasiswa masa transisi menjadi masalah. Smith mengidentifikasi masalah dalam transisi sebagai faktor penting dalam belajar matematika, sehingga kompetensi mahasiswa dalam matematika rendah [3]. Thomas et. all. dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa: "Alasan masalah dalam transisi yang disebutkan oleh siswa meliputi: rendahnya tingkat interaksi dosen dan mahasiswa; laju peningkatan pekerjaan; beban kerja yang lebih tinggi; gaya mengajar berubah; dan ukuran kelas yang lebih besar" [4].

Selain dari sudut pandang kelembagaan, masalah transisi juga dapat dipandang dari segi mental. Robert dalam [2] mencatat distribusi antara jenis konsep matematika yang berbeda dari sekolah menengah ke universitas, terutama munculnya gagasan matematika baru di tingkat universitas, yang menuntut untuk berpikir lebih formal. Berpikir formal dalam matematika dapat diartikan sebagai berpikir deduktif. Karakteristik matematika di sekolah menengah tentunya berbeda dengan matematika di perguruan tinggi. Di perguruan tinggi matematika biasanya dikaji melalui pendekatan yang lebih formal melalui sistem aksioma yang membangunnya. Masalah transisi ini penting untuk ditangani secara tepat, karena akan menjadi modal awal bagi kesuksesan mahasiswa selanjutnya. Dosen harus bisa menyesuaikan pendekatan pembelajaran yang tepat pada masa transisi ini.

Mata kuliah geometri selalu diberikan untuk mahasiswa calon guru matematika. Menurut French, tiga alasan kuat pentingnya geometri adalah: (1) untuk mengembangkan kemampuan spasial (2) untuk mengembangkan keterampilan penalaran (3) untuk memberi stimulasi, tantangan dan informasi [2]. Mata kuliah geometri di Program Studi Pendidikan Matematika UIN Sunan Gunung Djati Bandung membahas geometri bidang dan ruang untuk mahasiswa calon guru SLTP dan SLTA yang disajikan pada semester satu. Mata kuliah ini tergolong mata kuliah yang dianggap sulit oleh mahasiswa tingkat satu. Biasanya mahasiswa beralasan bahwa pada mata kuliah geometri ini terlalu banyak masalah pembuktian teorema, sedangkan di sekolah mereka belum terbiasa membuktikan teorema-teorema. Di sekolah mereka terbiasa belajar geometri dengan menghafal rumus-rumus dan sifat-sifat objek geometri tanpa harus membuktikannya. Selain itu, mahasiswa juga biasanya beralasan bahwa mereka masih dalam proses adaptasi dengan lingkungan dan tuntutan belajar di Perguruan Tinggi.

Tingkat berpikir geometrik dan model pembelajaran geometri telah diteliti sejak tahun 1950-an oleh pendidik Belanda PM van Hiele dan istrinya, Dina van Hiele-Geldof [5]. Kedua pendidik Belanda ini mengembangkan tingkatan berpikir dalam geometri yang dikenal dengan istilah lima tingkat berpikir geometris Van Hiele. Lima tingkat berpikir geometrik Van Hiele yang dimodifikasi oleh Hoffer terdiri dari: Level 1 visualisasi/pengenalan (*visualization/recognition*); Level 2 analisis (*analysis*); Level 3 abstraksi/urutan logis (*abstraction/order*); Level 4 deduksi (*deduction*); Level 5 keakuratan (*rigor*) [1], [9]. Pada level 1 (visualisasi) kemampuan yang harus dimiliki siswa yaitu dapat mengidentifikasi, menamai, membandingkan dan mengoperasikan gambar dan bentuk geometrik (misalnya: segitiga, sudut, garis berpotongan atau garis sejajar) sesuai dengan visualisasi/penampakan gambarnya. Selanjutnya, pada level 2 (analisis) siswa dapat menganalisis bentuk geometrik (bangun) secara informal dalam istilah komponen-komponennya dan hubungan antar komponen, menentukan sifat-sifat dari kelompok/kelas bangun secara empiris, dan menggunakan sifat-sifat tersebut untuk menyelesaikan masalah. Pada level 3 (abstraksi/urutan logis) siswa dapat menemukan sifat-sifat konsep geometri secara logis berdasarkan definisi dan dapat membedakan antara kebutuhan dan kecukupan seperangkat sifat dalam menentukan konsep dengan memberikan argument informal. Pada level 4 (deduksi) siswa dapat memberikan alasan secara formal dalam konteks sistem matematika secara lengkap mulai dari konsep yang tidak didefinisikan, aksioma, definisi serta system logis yang mendasari teorema. Membuktikan teorema secara deduktif dan menetapkan hubungan timbal balik antara jaringan teorema. Level 5 (*rigor*) merupakan level tertinggi dalam berpikir geometrik, kemampuan yang harus dimiliki pada level ini yaitu dapat membandingkan sistem aksioma geometri yang berbeda dan dapat mempelajari berbagai macam sistem geometri tanpa model konkret.

Mahasiswa calon guru matematika SMP/MTs dan SMA/MA/SMK seharusnya memiliki kemampuan berpikir geometrik minimal pada level 4 (deduksi). Namun pada kenyataannya masih banyak mahasiswa calon guru yang sudah menyelesaikan mata kuliah geometri masih memiliki kemampuan geometrik di bawah level 4, seperti yang dikemukakan [4]. Untuk melihat masalah ini perlu diteliti karakteristik transisi berpikir geometrik yang dialami mahasiswa tingkat satu.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka permasalahan penelitian ini berfokus pada masalah transisi berpikir geometrik mahasiswa tingkat satu. Untuk lebih memperjelas, maka masalah ini dirumuskan dalam pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat berpikir geometrik mahasiswa semester satu sebelum mengikuti perkuliahan geometri?
2. Bagaimana tingkat berpikir geometrik mahasiswa semester satu setelah mengikuti perkuliahan geometri?
3. Bagaimana karakteristik transisi berpikir geometrik mahasiswa dari suatu level ke level yang lain?

Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai pada masalah ini adalah metode penelitian deskriptif. Penelitian ini mencoba menjelaskan masalah aktual yang dihadapi yakni tingkat berpikir geometrik mahasiswa semester satu sebelum mengikuti perkuliahan geometri dan tingkat berpikir geometrik mahasiswa semester satu setelah mengikuti perkuliahan geometri. Berikut ini aspek-aspek untuk memperoleh gambaran yang lebih jelas dalam penelitian deskriptif.

Subjek Penelitian

Subjek penelitian yang diambil adalah mahasiswa semester I Program Studi Pendidikan Matematika UIN Sunan Gunung Djati Bandung tahun akademik 2014/2015. Subjek penelitian ini terdiri dari dua kelas yaitu kelas A sebanyak 43 orang dan kelas B sebanyak 42 orang.

Prosedur Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari hasil tes awal, hasil tes akhir dan pendapat mahasiswa. Tes awal diolah untuk menentukan tingkat berpikir geometrik mahasiswa sebelum mengikuti perkuliahan geometri. Tes akhir diolah untuk menentukan tingkat berpikir geometrik mahasiswa setelah mengikuti perkuliahan geometri. Tingkat berpikir geometrik ditentukan berdasarkan indikator berpikir geometrik Van Hiele.

Tes awal dan tes akhir dibuat identik dan diolah untuk menentukan tingkat berpikir geometrik mahasiswa. Tingkat berpikir geometrik diperoleh berdasarkan jawaban mahasiswa pada setiap butir soal. Jawaban mahasiswa pada setiap butir soal dapat menggambarkan tingkat berpikir geometrik mereka. Oleh karena itu, tingkat berpikir geometrik mahasiswa pada setiap butir soal dapat berbeda-beda.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil penelitian ini diperoleh dari tiga data penelitian, yaitu: data hasil tes awal yang menunjukkan tingkat berpikir geometrik mahasiswa sebelum mengikuti perkuliahan geometri; data hasil tes akhir yang menunjukkan tingkat berpikir geometrik mahasiswa setelah mengikuti

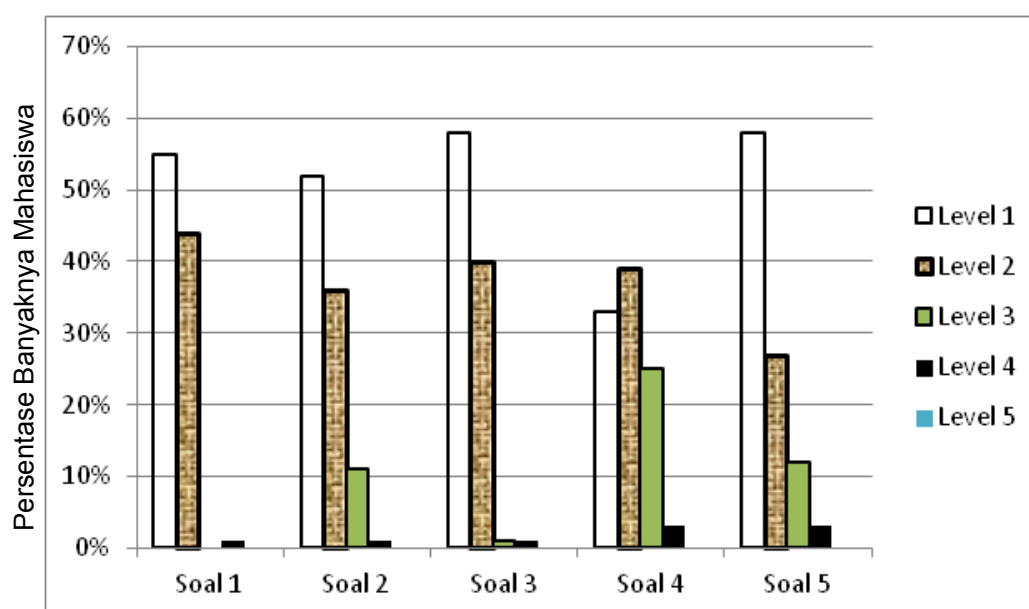
perkuliahan geometri dan data pendapat mahasiswa tentang kesulitan pembuktian serta kebiasaan waktu belajar untuk melihat karakteristik transisi berpikir geometrik.

Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Sebelum Mengikuti Perkuliahan Geometri

Tabel 1 dan Gambar 1 menunjukkan bahwa tingkat berpikir geometrik mahasiswa sebelum mengikuti perkuliahan pada setiap butir soal masih tergolong rendah, yakni 88% masih berada pada level 1 dan 2, padahal soal yang diberikan masih relevan dengan materi geometri di tingkat sekolah menengah. Hal ini terbukti dengan adanya beberapa orang (2%) yang sudah berada pada level 4.

Tabel 1. Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Sebelum Mengikuti Perkuliahan Geometri

	Soal 1	Soal 2	Soal 3	Soal 4	Soal 5	Rata-rata
Level 1	55%	52%	58%	33%	58%	51%
Level 2	44%	36%	40%	39%	27%	37%
Level 3	0%	11%	1%	25%	12%	10%
Level 4	1%	1%	1%	3%	3%	2%
Level 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%



Gambar 1. Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Sebelum Mengikuti Perkuliahan Geometri

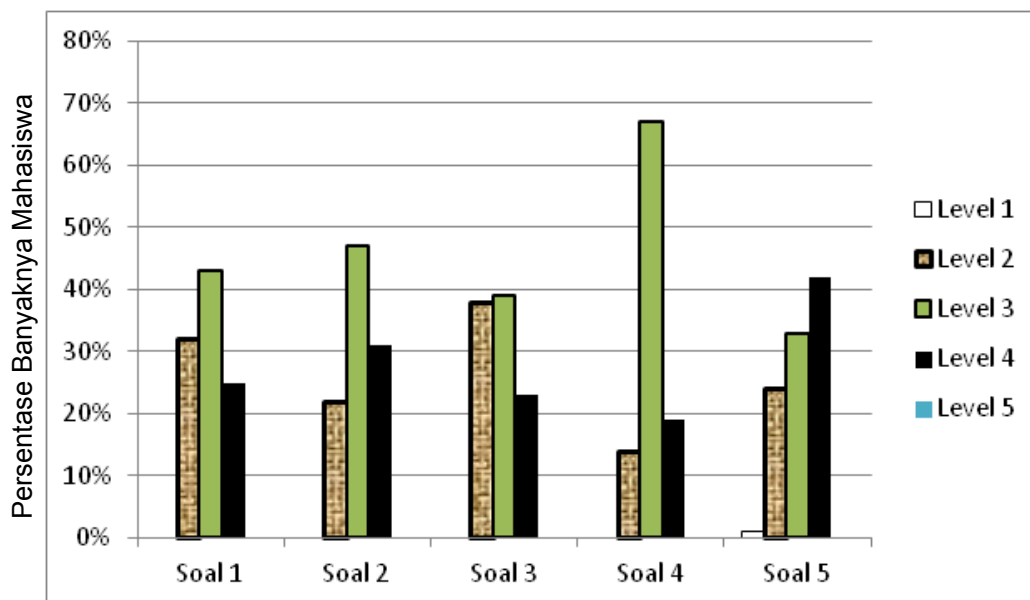
Tabel 1 dan Gambar 1 memperlihatkan pula bahwa tingkat berpikir geometrik lulusan sekolah menengah kebanyakan masih berada pada tingkat visualisasi (Level 1) dan analisis (Level 2) dengan persentase masing-masing 51% dan 37%. Hal ini dapat diartikan bahwa kebanyakan dari mereka masih melihat persoalan geometri melalui pertimbangan visual secara umum tanpa bisa mengidentifikasi sifat-sifat komponennya secara eksplisit (Level 1) dan menganalisis bentuk geometri secara informal dari segi komponen dan hubungan antar komponen secara empiris, misalnya dengan cara mengukur, melipat, menggunakan diagram dan lain-lain (Level 2).

Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Setelah Mengikuti Perkuliahan Geometri

Tingkat berpikir geometrik mahasiswa setelah mengikuti perkuliahan geometri disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 2. Setelah mengikuti perkuliahan geometri, tingkat berpikir geometrik mahasiswa 26% berada pada level 2, yang berarti mereka dapat menganalisis bentuk geometri secara informal dari segi komponen dan hubungan antar komponen secara empiris, misalnya dengan cara mengukur, melipat, menggunakan diagram dan lain-lain. Sebanyak 46% berada pada level 3, yang berarti dapat menemukan sifat-sifat konsep geometri secara logis berdasarkan definisi dan dapat membedakan antara kebutuhan dan kecukupan seperangkat sifat dalam menentukan konsep dengan memberikan argument informal. Mahasiswa yang memiliki tingkat berpikir geometrik pada level 4 sebanyak 28%, yang berarti mahasiswa dapat memberikan alasan secara formal dalam konteks sistem matematika secara lengkap mulai dari konsep yang tidak didefinisikan, aksioma, definisi serta sistem logis yang mendasari teorema. Membuktikan teorema secara deduktif dan menetapkan hubungan timbal balik antara jaringan teorema.

Tabel 2. Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Setelah Mengikuti Perkuliahan Geometri

	Soal 1	Soal 2	Soal 3	Soal 4	Soal 5	Rata-rata
Level 1	0%	0%	0%	0%	1%	0%
Level 2	32%	22%	38%	14%	24%	26%
Level 3	43%	47%	39%	67%	33%	46%
Level 4	25%	31%	23%	19%	42%	28%
Level 5	0%	0%	0%	0%	0%	0%



Gambar 2 Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Setelah Mengikuti Perkuliahan Geometri

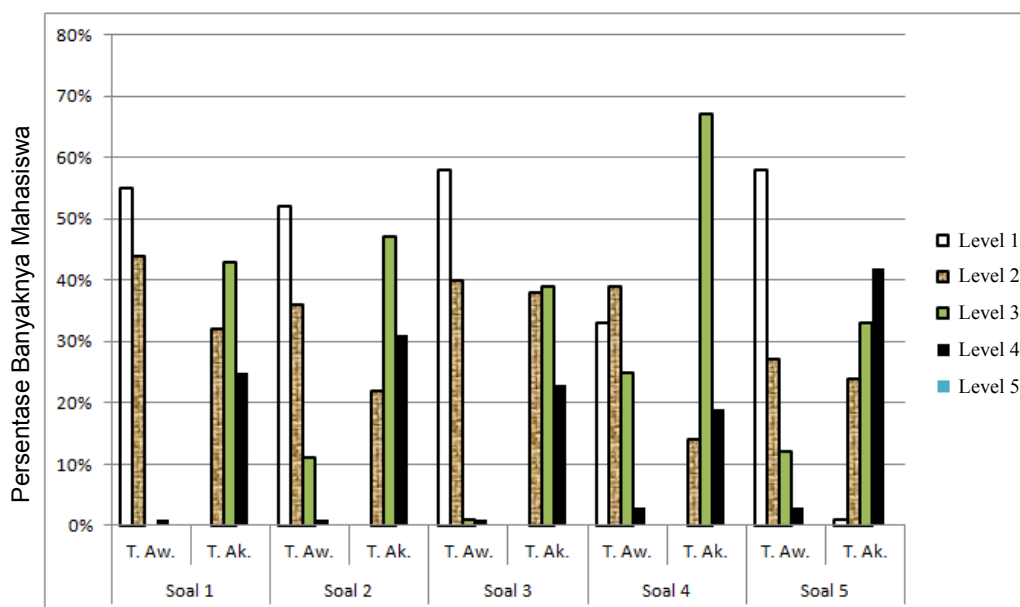
Tingkat berpikir geometrik mahasiswa calon guru matematika seharusnya minimal pada level 4 (deduksi), karena pada level ini mahasiswa sudah memahami geometri berdasarkan sistem aksioma yang membangunnya. Jika mahasiswa belum sampai pada level 4, maka mereka akan menemui kendala pada saat akan menjelaskan konsep-konsep geometri.

Karakteristik Transisi Berpikir Geometrik

Karakteristik transisi berpikir geometrik secara kuantitatif terlihat pada Tabel 3 dan Gambar 3. Perubahan dari level 1 sangat mencolok, yakni hasil tes akhir (T.Ak) menunjukkan bahwa hampir tidak ada lagi mahasiswa yang berada pada level 1. Prosentase banyaknya mahasiswa yang berada pada level 2 mengalami penurunan dari 37% menjadi 26% (perhatikan kembali Tabel 1 dan Tabel 2). Prosentase banyaknya mahasiswa yang berada pada level 3 mengalami kenaikan dari 10% menjadi 46%. Prosentase banyaknya mahasiswa yang berada pada level 4 mengalami kenaikan dari 2% menjadi 28%. Tidak ada mahasiswa yang sampai pada level 5, karena soal yang diberikan hanya mengukur sampai level 4.

Tabel 3. Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa pada Tes Awal (T.Aw) dan Tes Akhir (T.Ak) dari Tiap Butir Soal

Level	Soal 1		Soal 2		Soal 3		Soal 4		Soal 5	
	T.Aw.	T.Ak.	T.Aw.	T.Ak.	T.Aw.	T.Ak.	T.Aw.	T.Ak.	T. Aw.	T. Ak.
1	55%	0%	52%	0%	58%	0%	33%	0%	58%	1%
2	44%	32%	36%	22%	40%	38%	39%	14%	27%	24%
3	0%	43%	11%	47%	1%	39%	25%	67%	12%	33%
4	1%	25%	1%	31%	1%	23%	3%	19%	3%	42%
5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

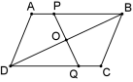


Gambar 3 Diagram Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa pada Tes Awal (T.Aw) dan Tes Akhir (T.Ak) dari Tiap Butir Soal

Meskipun ada kenaikan tingkat berpikir mahasiswa, namun kenaikan ini belum sesuai dengan yang diharapkan, karena sebanyak 72% mahasiswa masih pada level 3 dan 2. Baru 28% mahasiswa yang berada pada level 4, padahal mahasiswa calon guru matematika sekolah menengah minimal memiliki kemampuan berpikir geometri pada level 4. Masalah ini timbul mungkin karena mahasiswa ini masih berada pada masa transisi.

Untuk melihat contoh karakteristik tingkat berpikir geometrik mahasiswa, berikut ini akan dibahas tiga buah hasil pekerjaan mahasiswa pada soal nomor 1.

Soal No. 1
 Misalkan $ABCD$ adalah jajargenjang. Jika $AP \cong CQ$, maka buktikan bahwa PQ adalah pembagi segmen (*bisector*) BD .



Gambar 4, menunjukkan transisi tingkat berpikir geometrik mahasiswa pada level 2 (analisis). Pada level 2 mahasiswa dapat menganalisis bentuk geometrik (bangun) secara informal dalam istilah komponen-komponennya dan hubungan antar komponen, menentukan sifat-sifat dari kelompok/kelas bangun secara empiris, dan menggunakan sifat-sifat tersebut untuk menyelesaikan masalah.

Pada pernyataan a. : " $\angle AOP \cong \angle COQ$ " tidak diikuti alasan, penulisan relasi salah (seharusnya $\angle AOP = \angle COQ$ atau $\angle AOP \cong \angle COQ$) dan tidak relevan. Pada pernyataan b. : " $\angle DCO \cong \angle BAO$ " tidak diikuti alasan dan penulisan relasi salah (seharusnya $\angle DCO = \angle BOA$ atau $\angle DCO \cong \angle BOA$). Pada pernyataan c. : " $DC = BA$ " penulisan relasi salah (seharusnya $DC \cong BA$ atau $DC = BA$). Pada pernyataan d., e., dan f., belum bisa disimpulkan berdasarkan pernyataan-pernyataan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa dapat menganalisis bentuk geometrik secara informal dalam istilah komponen-komponennya dan hubungan antar komponen (tetapi tampak belum konsisten), serta menggunakan sifat-sifat tersebut untuk menyelesaikan masalah (tetapi sifat-sifat yang diberikan belum mencukupi untuk memperoleh kesimpulan). Tingkat berpikir geometrik mahasiswa tersebut berada pada transisi menuju level 2.

Pernyataan	Alasan
a. $\overline{AP} \cong \overline{CQ}$ $\angle ACP \cong \angle COQ$	Diketahui
b. $\angle ODC \cong \angle OBA$ $\angle DCO \cong \angle BAO$	Sudut bersebrangan dalam
c. $\overline{DC} = \overline{BA}$	Sifat jajargenjang
d. $\triangle DCC \cong \triangle BOA$	Postulat su-si-su
e. $\overline{DO} \cong \overline{BO}$	BB SKK
f. O merupakan titik tengah \overline{BD}	Definisi titik tengah
g. \overline{DO} pembagi segmen \overline{BD}	Berdasarkan f

Gambar 4. Transisi Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Menuju Level 2

Gambar 5, menunjukkan transisi tingkat berpikir geometrik mahasiswa menuju level 3 (abstraksi/urutan logis). Pada level 3 mahasiswa dapat menemukan sifat-sifat konsep geometri

secara logis berdasarkan definisi dan dapat membedakan antara kebutuhan dan kecukupan seperangkat sifat dalam menentukan konsep dengan memberikan argument informal.

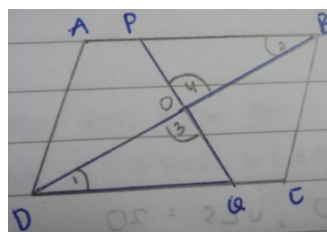
Sifat-sifat yang dituliskan pada pernyataan beserta alasannya 1) sampai 4) sudah menunjukkan urutan logis, namun pada langkah 5) pernyataan itu sebenarnya yang harus dibuktikan. Pernyataan 6) sampai 10) tidak relevan untuk sampai pada kesimpulan. Hal ini menunjukkan adanya kesalahan dalam memahami *bisector* BD . Mahasiswa ini nampaknya masih terpengaruh dengan penarikan kesimpulan secara informa, namun urutan logisnya belum terbangun. Tingkat berpikir geometrik mahasiswa ini berada pada transisi menuju level 3.

Pernyataan	Alasan
1) $DABCO$ jajaran genjang $\overline{AD} \parallel \overline{BC}$; $\overline{AB} \parallel \overline{DC}$	1) Diketahui
2) $\overline{AP} \cong \overline{CQ}$	2) Diketahui
3) $\overline{PB} \cong \overline{QD}$ <i>udala 2 = p</i>	3) Akibat pernyataan 2
4) \overline{DB} , segmen diagonal bidang $DABCO$	4) Diketahui
5) O titik tengah \overline{DB}	5) Diketahui $b = 2A$
6) $\overline{DO} \cong \overline{OB}$	6) akibat pernyataan 5
7) $\angle PBO \cong \angle QDO$	7) akibat pernyataan 3 dan 6
8) $\triangle PBO \cong \triangle QDO$	8) Postulat sisi-sudut-sisi
9) $\overline{PO} \cong \overline{OQ}$	9) BBSKK
10) \overline{PQ} pembagi segmen \overline{BD}	10) Terbukti $b = 2A$

Gambar 5. Transisi Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Menuju Level 3

Gambar 6, menunjukkan transisi tingkat berpikir geometrik mahasiswa menuju level 4 (deduksi). Pada level 4 mahasiswa dapat memberikan alasan secara formal dalam konteks sistem matematika secara lengkap mulai dari konsep yang tidak didefinisikan, aksioma, definisi serta system logis yang mendasari teorema.

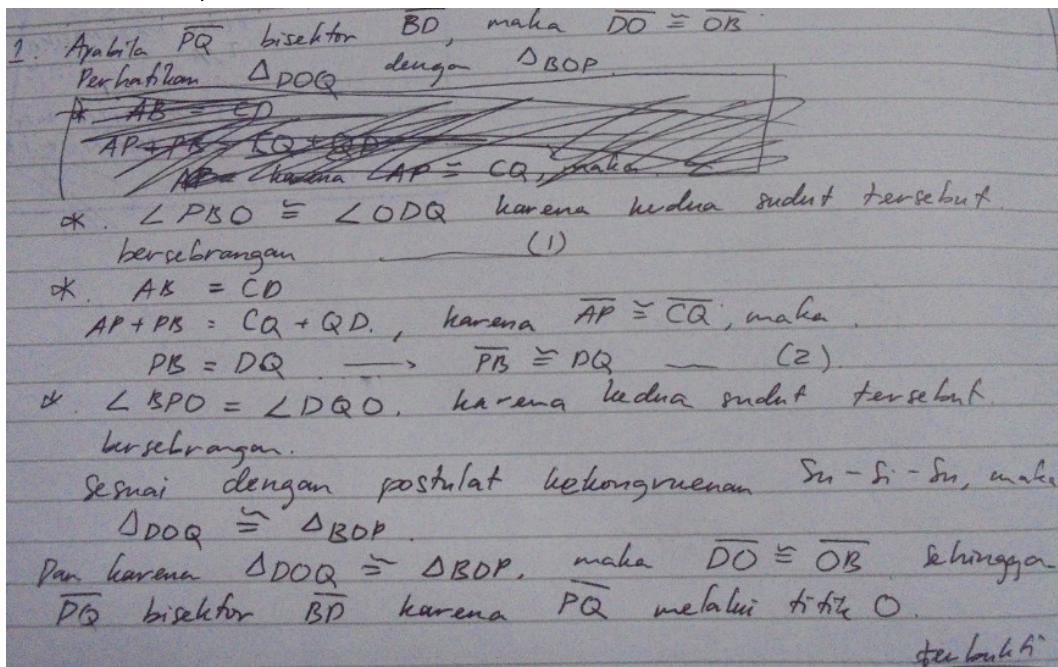
Pernyataan 1), 2) dan 3) sudah menunjukkan urutan logis, untuk sampai pada pernyataan 4) masih butuh dua pernyataan, yaitu hubungan $\angle DQO$ dengan $\angle BPO$ dan BP dengan DQ . Ternyata dua pernyataan ini dijelaskan setelah pernyataan 4). Hal ini menunjukkan bahwa dalam mengambil kesimpulan mahasiswa masih belum konsisten dalam mengurutkan pernyataan secara logis. Kondisi seperti ini menunjukkan bahwa tingkat berpikir geometrik mahasiswa tersebut berada pada transisi menuju level 4.



Pernyataan	Alasan
1) $\overline{AP} \cong \overline{CQ}$	1) Diketahui
2) $\angle D_1 \cong \angle B_2$	2) Bersebrangan dalam
3) $\angle O_3 \cong \angle O_4$	3) Bertolak belakang
4) $\triangle DOQ \cong \triangle BOP$	4) Postulat $su-si-su$
5) $\angle Q \cong \angle P$	5) Akibat Per. 4
6) $\overline{PB} \cong \overline{QD}$ dan $\overline{CQ} \cong \overline{AP}$ $PB + AP = AB$ dan $DQ + CQ = DC$ $\overline{AB} \cong \overline{DC}$	6) Sifat jajar genjang
7) $\overline{BD} \cong \overline{DB}$	7) Reflektif
8) \overline{PQ} Pembagi segmen \overline{BD}	

Gambar 6. Transisi Tingkat Berpikir Geometrik Mahasiswa Menuju Level 4

Pada Gambar 7 mahasiswa dapat memberikan alasan secara formal dalam konteks sistem matematika secara lengkap dan terurut untuk sampai pada kesimpulan, meskipun cara membuktikannya menggunakan kalimat deskriptif (tidak dituliskan dalam bentuk dua kolom yaitu pernyataan dan alasan).



Gambar 7 Contoh Jawaban Mahasiswa yang Berada pada Level 4

Mahasiswa yang mengalami transisi antar level (level sebelumnya sudah lewat, tetapi level selanjutnya belum sampai) seperti contoh pada Gambar 4 sampai Gambar 6 banyak dijumpai. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat berpikir geometrik mahasiswa masih sangat beragam.

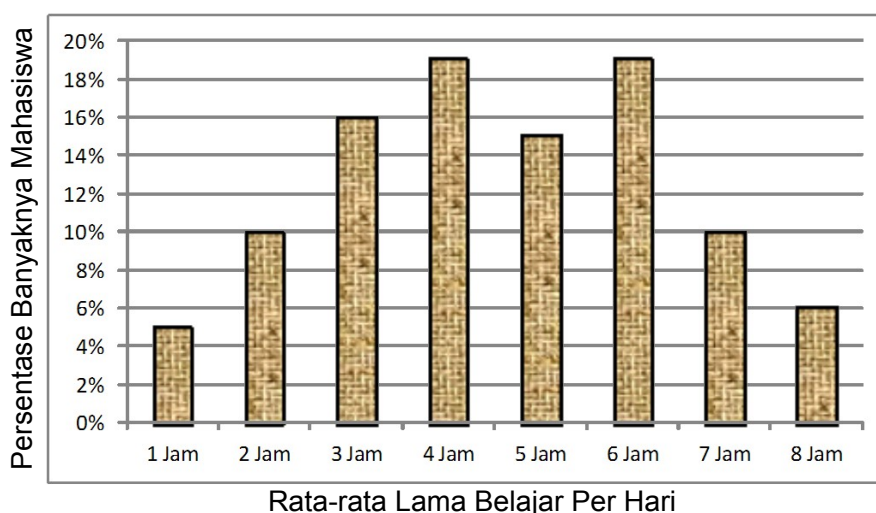
Tanggapan mahasiswa terhadap pertanyaan: "Apa kesulitan yang dialami saat mengerjakan soal pembuktian?" dapat digolongkan menjadi enam tanggapan, seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tanggapan Mahasiswa Terhadap Soal Pembuktian

Tanggapan	Banyaknya mahasiswa
Sulit memulai	13
Sulit menentukan pernyataan beserta alasannya	35
Sulit menangkap maksud soal	9
Belum menguasai definisi, postulat dan teorema	17
Sulit menuangkan ide ke dalam tulisan	5
Kurang menguasai logika	2

Tanggapan mahasiswa pada Tabel 4 menunjukkan bahwa mereka banyak yang belum menguasai definisi, postulat, teorema serta logika membangun bukti sehingga sulit untuk memulai, sulit menentukan pernyataan beserta alasannya, sulit menangkap maksud soal, sulit menuangkan ide ke dalam tulisan.

Ditinjau dari usaha mahasiswa dalam memenuhi tuntutan belajar, Gambar 8 menunjukkan rata-rata lama belajar mahasiswa per hari.



Gambar 8. Rata-rata Lama Belajar Mahasiswa Per Hari

Gambar 8 menunjukkan rata-rata lama belajar harian mahasiswa termasuk tatap muka di kelas. Menurut Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan No. 49 Tahun 2014 beban belajar mahasiswa per hari adalah 8 jam dengan asumsi mahasiswa tersebut mengontrak matakuliah sebanyak 20 sks. Sebanyak 5% mahasiswa masih belajar 1 jam per hari, 10% 2 jam per hari, 16% 3 jam per hari dan 19% 4 jam per hari. Hal ini menunjukkan bahwa 50% mahasiswa masih sangat kurang dalam memenuhi beban belajar. Sebanyak 15% mahasiswa belajar 5 jam per hari, 19% 6 jam per hari, dan 10% 3 jam per hari. Mahasiswa yang sudah memenuhi beban belajar yang ideal yaitu 8 jam per hari baru 6%. Kondisi ini mungkin dipengaruhi oleh kebiasaan belajar pada jenjang sebelumnya. Pemenuhan beban belajar yang masih kurang ini merupakan salah satu faktor kekurangberhasilan mahasiswa mencapai level 4 pada tingkat berpikir geometri Van Hiele.

Simpulan dan Saran

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa tidak ada mahasiswa yang memiliki tingkat berpikir geometrik pada level 1, sebanyak 26% mahasiswa masih berada pada level 2, sebanyak 46% mahasiswa berada pada level 3 dan 28% mahasiswa berada pada level 4. Masih sedikitnya prosentase mahasiswa yang memiliki tingkat berpikir geometri pada level 4 salah satu penyebabnya adalah tidak dilaksanakannya beban belajar ideal bagi mahasiswa.

Saran

Untuk meningkatkan kemampuan berpikir geometri mahasiswa dosen perlu melakukan berbagai inovasi dalam pembelajaran geometri, misalnya membuat strategi beserta medianya supaya mahasiswa memenuhi beban belajar ideal yang timbul dari motivasi intrinsik mereka.

Untuk menangani masalah transisi berpikir geometrik mahasiswa, dosen perlu mengembangkan metode atau media pembelajaran yang dapat melayani keragaman tingkat berpikir geometrik mahasiswa.

Referensi

- [1] Sugono, D. (2008). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta: Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional. (7)
- [2] Vandebrouck, F. (2011). Students' Conceptions Of Functions At The Transition Between Secondary School And University. *Proceedings of the Seventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*. Poland:University of Rzeszów. (10)
- [3] Smith, A. (2004). *Making Mathematics Count*. UK: The Stationery Office Limited. (6)
- [4] Thomas, M.; Klymchuk, S.; Hong, Y. Y.; Kerr, S.; McHardy, J.; Murphy, P.; Spencer, S.; and Watson P. (____). The transition from secondary to tertiary mathematics education. Teaching and Learning Initiative. www.tlri.org.oz, [diakses 27 Januari 2015] (8)
- Halat, E. (2008). In-Service Middle and High School Mathematics Teachers: Geometric Reasoning Stage and Gender. *The Mathematics Educator*, 18(1), 8-14.
- [5] Fuys, D., Geddes, D., & Tischler, R. (1988). The Van Hiele Model Of Thinking In Geometry Among Adolescents. *Journal for Research in Mathematics Education* . Monograph Number 3, 1-196. (3)
- [6] Burger, W. F. & Shaughnessy J.M. (1986). Characterizing The Van Hiele Levels Of Development In Geometry. *Journal for Research in Mathematics Education*. Vol. 17, No. 1, 31-48
- [7] French, D. (2004). *Teaching and Learning Geometry Issues and methods in mathematical education*. London-New York: Continuum
- [8] Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan, No. 49, Tahun 2014, Tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi.
- [9] Usiskin, Z. (1982). *Van Hiele levels and achievement in secondary schoolgeometry* (Final report of the Cognitive Development and Achievement in Secondary School Geometry Project). Chicago: University of Chicago, Department of Education. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 220 288).

Kandungan Senyawa Kimia Beberapa Tumbuhan Familia Verbenaceae di Cagar Alam Pananjung Pangandaran

Asep Zainal Mutaqin^{1, a)}, Ruly Budiono^{2, b)}, Firman Rezaldi^{3, b)}

¹Program Studi Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran

^{2,3}Program Studi Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran

^{a)}asepzainalmutaqin@unpad.ac.id

^{b)}rulybudiono7@gmail.com

^{b)}firman_rezaldy@ymail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui senyawa metabolit sekunder yang terdapat dalam beberapa spesies tumbuhan dari familia Verbenaceae. Penelitian ini bersifat eksploratif. Adapun metode yang digunakan untuk pengambilan sampel adalah metode jelajah. Identifikasi sampel dilakukan secara deskriptif dan studi literatur. Sementara itu untuk mengetahui senyawa metabolit sekunder yang terdapat pada sampel menggunakan metode sigi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metabolit sekunder yang terdapat pada spesies tumbuhan dari familia verbenaceae adalah terpenoid terdapat pada Jati (*Tectonia grandis*); steroid terdapat pada Laban (*Vitex fubescens*) dan Jarong (*Stachytarpheta jamaicensis*); flavonoid terdapat pada Laban (*Vitex fubescens*), Jati (*Tectonia grandis*), dan Saliara (*Lantana camar*); saponin terdapat pada Laban (*Vitex fubescens*), Jati (*Tectonia grandis*), Saliara (*Lantana camara*), dan Jarong (*Stachytarpheta jamaicensis*); serta tanin terdapat pada Laban (*Vitex fubescens*).

Kata kunci: Senyawa Kimia, Familia Verbenaceae

Pendahuluan

Indonesia terkenal dengan negara yang mempunyai keanekaragaman hayati yang tinggi, walaupun hanya memiliki luas daratan 1,32% dari seluruh luas daratan yang ada di dunia. Keanekaragaman tersebut meliputi keanekaragaman jenis tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Khusus tumbuhan, Indonesia memiliki sekitar 25.000 jenis tumbuhan berbunga, 1.500 jenis lumut, dan 1.250 jenis paku-pakuan [1].

Setiap makhluk hidup mempunyai peranan dan ciri tertentu di alam. Hal tersebut karena makhluk hidup adalah salah satu komponen alam yang selalu berinteraksi dengan komponen alam lainnya, baik secara langsung ataupun tidak langsung [2]. Tumbuhan sebagai salah satu komponen alam mempunyai peranan, fungsi, dan karakteristik yang berbeda dengan komponen biotik lainnya. Tumbuhan mempunyai nilai yang sangat vital bagi komponen alam lainnya. Komponen alam, terutama komponen biotik tidak akan mampu bertahan hidup tanpa adanya tumbuhan. Tumbuhan merupakan salah satu faktor determinan bagi keberlanjutan kehidupan manusia. Liedbig (1840 dalam [3]) menyatakan bahwa makhluk hidup memerlukan substansi-substansi pokok yang menjadi

faktor pembatas, yang dapat mendukung keberlangsungan perkembangbiakan dan pertumbuhannya. Thomas Malthus bahkan sangat pesimis terkait masa depan kehidupan manusia jika tidak ada tumbuhan. Jika suatu saat keberadaan tumbuhan tereliminasi di alam, maka manusia akan mengalami kesukaran hidup. Manusia akan kehilangan sumber yang sangat penting bagi kehidupannya, baik itu sebagai sumber pangan, sandang, papan, obat, atau yang lainnya [4].

Tumbuhan di alam sangat banyak jumlahnya, baik dari dalam hal jenis ataupun populasinya. Keanekaragaman tumbuhan di alam oleh para ahli dikelompokkan ke dalam beberapa takson. Ada 25 takson utama yang biasa dipergunakan dalam klasifikasi tumbuhan, walaupun masih dapat ditambahkan atau disisipkan takson-takson baru. Familia adalah salah satu takson yang dikenal dalam taksonomi tumbuhan yang anggota-anggotanya bersifat monofiletik dan memiliki kesamaan dalam ciri-ciri susunan alat reproduksinya [5].

Salah satu tumbuhan yang keanekaragamannya banyak adalah tumbuhan dari familia Verbenaceae. Wiart [6] menyebutkan bahwa familia Verbenaceae memiliki 100 genus dan 2600 species. Khusus di Indonesia, terdapat 20 genus yang termasuk dalam familia ini dengan habitus berupa semak, perdu, atau pohon [7]. Familia Verbenaceae banyak dimanfaatkan antara lain sebagai tanaman hias seperti *Stachytarpheta jamaicensis*, sebagai obat seperti *Callicarpa arborea* Roxb., dan sebagai bahan bangunan seperti *Tectona grandis*.

Semua jenis tumbuhan mempunyai manfaat penting bagi kehidupan manusia. Potensi yang dimiliki tumbuhan perlu dieksplorasi melalui berbagai pendekatan. Salah satu pendekatan yang sering dilakukan adalah melalui uji fitokimia. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui senyawa organik yang dibentuk dan ditimbun oleh tumbuhan, yaitu terkait dengan struktur kimia, biosintesis, metabolisme, distribusi secara alamiah, dan fungsi biologinya [8]. Senyawa organik yang dikandung oleh tumbuhan terkenal dengan istilah metabolit sekunder yang dikelompokkan secara garis besar menjadi terpenoid; fenolik seperti flavonoid dan tanin; dan senyawa yang mengandung nitrogen seperti alkaloid [9].

Berdasarkan dari beberapa hal di atas, maka penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia dari beberapa jenis tumbuhan yang tergolong ke dalam familia Verbenaceae. Hal ini tidak lain karena senyawa metabolit sekunder yang dikandung tumbuhan mempunyai beberapa manfaat yang diantaranya adalah sebagai obat.

Teori

Tumbuhan mengandung senyawa organik dengan struktur kimia, biosintesis, distribusi, dan fungsi yang khas dari setiap jenis (Harborne, 1996)¹. Taiz & Zeiger (2003)² lebih lanjut menyebutkan bahwa metabolit sekunder sebagai senyawa organik yang dikandung tumbuhan mempunyai fungsi yang tidak langsung terkait pertumbuhan dan perkembangan. Kebanyakan senyawa metabolit sekunder banyak berperan terkait dengan ekologi dari tumbuhan tersebut. Springob & Kutchan (2009) menyebutkan bahwa struktur senyawa organik tumbuhan yang sudah dikenal lebih 200.000 yang diklasifikasikan berdasarkan biosintesisnya ke dalam empat kelompok besar, yaitu alkaloid, fenilpropanoid, polyketide, dan terpenoid.

Terkait dengan hal-hal yang sudah dikemukakan di atas, maka penelitian ini penting untuk mengetahui kandungan senyawa kimia yang ada pada jenis-jenis tumbuhan dari familia Verbenaceae. Penelitian ini bersifat eksploratif. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode jelajah. Identifikasi morfologi sampel dengan metode deskriptif. Penentuan kandungan senyawa kimia yang terdapat pada sampel menggunakan metode sigi, terutama untuk mengetahui kandungan alkaloid, terpenoid, steroid, saponin, flavonoid, dan tanin. Analisis data dilakukan secara deskriptif.

Hasil dan Diskusi

Berdasarkan hasil penelitian, ada 4 species dari familia Verbenaceae yang ditemukan di Cagar Alam Pananjung Pangandaran, yaitu laban (*Vitex fubescens*), jati (*Tectonia grandis*), jarong (*Lantana camara*), dan saliar (*Stachytarpheta jamaicensis*). Steenis (1988) mengklasifikasikan bahwa familia Verbenaceae termasuk kelompok tumbuhan berbiji tertutup atau angiospermae dengan ciri-ciri di antaranya habitus berupa semak, perdu, atau pohon; daun berhadapan atau dalam karangan, tanpa daun penumpu; dan bunga zygomorph, berkelamin ganda. Adapun secara spesifik, deskripsi sederhana dari jenis-jenis tumbuhan familia Verbenaceae yang ditemukan di Cagar Alam Pananjung Pangandaran adalah sebagai berikut ini:

Tabel 1 Deskripsi Beberapa Jenis Tumbuhan dari Familia Verbenaceae di Cagar Alam Pananjung Pangandaran

Deskripsi	<i>Vitex fubescens</i>	<i>Tectonia grandis</i>	<i>Lantana Camara</i>	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i>
Habitus	Pohon	Pohon	Perdu tegak	Pohon
Bentuk Permukaan Batang	Bulat	Bersegi Empat	Bersegi Empat	Bersegi Empat
Warna Batang Muda	Cokelat	Hijau	Hijau	Hijau
Bentuk Daun	Menjorong	Membundar telur	Membundar telur	Membundar telur
Ujung Daun	Meruncing	Meruncing	Meruncing	Melancip
Pangkal Daun	Bertangkai	Menirus	Tumpul	Menirus
Tepi Daun	Rata	Rata	Menggergaji	Menggergaji
Tekstur Permukaan Daun	Kasar	Kasar	Berambut halus	Kasar
Tipe Daun	Majemuk menyirip genap	Tunggal	Tunggal	Majemuk menyirip genap

Sementara itu, senyawa kimia yang dikandung oleh species-species tumbuhan familia Verbenaceae yang diteliti dapat dilihat pada **Tabel 2** sebagai berikut ini:

Tabel 2 Senyawa Kimia Beberapa Jenis Tumbuhan Familia Verbenaceae di Cagar Alam Pananjung Pangandaran

No	Spesimen	Alkaloid	Terpenoid	Steroid	Saponin	Flavonoid	Tanin
1	<i>Vitex fubescens</i> (Laban/Latex)	-	-	+	+	+	+
2	<i>Tectonia grandis</i> (Jati)	-	+	-	+	+	-
3	<i>Lantana camara</i> (Saliara)	-	-	-	+	+	-
4	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (Jarong)	-	-	+	+	-	-

Keterangan: (+) menunjukkan jenis senyawa kimia yang bersangkutan ada
 (-) menunjukkan jenis senyawa kimia yang bersangkutan tidak ada.

Berdasarkan Tabel 1 di atas diketahui bahwa beberapa jenis tumbuhan dari familia Verbenaceae yang diteliti tidak mengandung alkaloid, walaupun tumbuhan-tumbuhan tersebut termasuk kelompok angiospermae. Harborne [8] menyatakan bahwa alkaloid terdapat pada tumbuhan angiospermae dari familia Apocynaceae, Compositae, Leguminosae, Loganiaceae, Menispermaceae, Papaveraceae, Ranunculaceae, Rubiaceae, Rutaceae, Solanaceae, Amaryllidaceae, dan Liliaceae. Selain itu, Raffauf [11] menyebutkan bahwa hasil negatif uji senyawa alkaloid terhadap beberapa jenis dari familia Verbenaceae terdapat pada sampel uji *S. jamaicensis*, *T. grandis*, dan *Vitex spp.*

Terpenoid merupakan senyawa yang dikandung tumbuhan yang memiliki bau dan mempunyai peranan penting dalam metabolisme atau pertumbuhan tumbuhan (Croteau *et. Al*, 2000 *dalam* [12]). Berdasarkan penelitian, hanya jati (*T. grandis*) yang menunjukkan adanya senyawa terpenoid dengan ditandai adanya warna ungu ketika ekstrak tumbuhan tersebut diperlakukan dengan pereaksi Lieberman Bochar, yakni dengan cara meneteskan 3 tetes asetat anhidrat dan 1 tetes H₂SO₄. Fenomena ini mungkin sejalan dengan yang disebutkan oleh Harborne [8] bahwa familia tumbuhan yang banyak mengandung minyak atsiri yang bagian utamanya terpenoid adalah familia Compositae, Labiate, Myrtaceae, Pinaceae, Rosaceae, Rutaceae, dan Umbelliferae. Familia Verbenaceae tidak disebutkan mengandung senyawa terpenoid.

Hasil uji senyawa steroid terhadap familia Verbenaceae yang diteliti adalah laban (*V. fubescens*) dan jarong (*S. jamaicensis*) mengandung steroid dengan ditandai adanya warna merah sebagai indikator pada metode pengujian. Sementara itu saliera (*L. camara*) dan jati (*T. grandis*) menunjukkan hasil yang negatif. Secara khusus, hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Indrayani dkk [14] yang menyatakan bahwa skrining fitokimia ekstrak daun *Stachytarpheta jamaicensis* dengan fraksi pelarut heksan untuk alkaloid, flavonoid, dan tanin adalah negatif, sedangkan untuk sterol, salah satu bentuk steroid, menunjukkan hasil yang positif. Namun Kreis dan Muller-Uri [13] menyebutkan bahwa hampir semua jenis tumbuhan mengandung senyawa steroid. Lebih spesifik Harborne [8] menyatakan bahwa sterol terdapat pada setiap jenis tumbuhan tinggi.

Hasil uji senyawa saponin menunjukkan bahwa seluruh spesies tumbuhan dari familia Verbenaceae yang diteliti, yaitu laban (*V. fubescens*), jati (*T. grandis*), saliera (*L. camara*), dan jarong (*S. jamaicensis*) menunjukkan hasil yang positif atau mengandung saponin. Hartati dkk [15] menyebutkan senyawa saponin terdapat pada ekstrak daun tumbuhan jati (*T.a grandis*). Hidayati dkk [16] menyebutkan bahwa saponin yang dikandung pada ekstrak daun *Lantana camara* sangat tinggi, yaitu sebesar 66,22 mg/g. Tschesche dan Wulf (1973 *dalam* [8]) menyebutkan bahwa saponin terdapat pada lebih dari 90 familia tumbuhan. Sementara itu Robinson [17] menyatakan bahwa saponin merupakan senyawa kimia tumbuhan yang pada umumnya terdapat pada familia Liliaceae, Amaryllidaceae, dan Dioscoreaceae.

Hasil uji senyawa flavonoid terhadap laban (*V. fubescens*), jati (*T. grandis*), dan saliera (*L. camara*) menunjukkan hasil yang positif, sedangkan hasil uji terhadap jarong (*S. jamaicensis*) menunjukkan hasil yang negatif. Secara spesifik, hasil ini sejalan dengan hasil penelitian Hartati dkk [15] yang menyimpulkan bahwa pada ekstrak daun tumbuhan jati (*T. grandis*) mengandung senyawa flavonoid. Hasil ini sejalan juga dengan yang disebutkan Hidayati dkk [16] bahwa ekstrak daun *L. camara* mengandung senyawa golongan flavonoid, yaitu sebesar 12,76%. Sementara itu Robinson [17] menyebutkan bahwa flavonoid merupakan senyawa kimia yang terdapat pada hampir seluruh jenis tumbuhan.

Uji senyawa tanin terhadap jati (*T. grandis*), saliera (*L. camara*), dan jarong (*S. jamaicensis*) menunjukkan hasil yang negatif, sedangkan yang menunjukkan reaksi positif adalah pada species laban

(*V. fubescens*) dengan habitus berbentuk pohon atau merupakan tumbuhan berkayu. Harborne [8] menyebutkan bahwa tanin terdapat pada angiospermae, terutama jenis tumbuhan berpembuluh. Taiz & Zeiger [9] menyebutkan bahwa tanin dikandung oleh tumbuhan berkayu.

Kesimpulan

Kandungan kimia atau metabolit sekunder yang terdapat pada spesies tumbuhan dari familia Verbenaceae adalah terpenoid terdapat pada Jati (*T. grandis*); steroid terdapat pada Laban (*V. fubescens*) dan Jarong (*S. jamaicensis*); flavonoid terdapat pada Laban (*V. fubescens*), Jati (*T. grandis*), dan Saliara (*L. camar*); saponin terdapat pada Laban (*V. fubescens*), Jati (*T. grandis*), Saliara (*L. camara*), dan Jarong (*S. jamaicensis*); serta tanin terdapat pada Laban (*V. fubescens*).

Ucapan Terima Kasih

Hasil penelitian ini merupakan wujud karya ilmiah yang tidak hanya melibatkan diri penulis secara personal. Dengan demikian, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung penelitian ini, baik itu perseorangan ataupun instansi.

Referensi

- [1] M. Indrawan, R. B. Primack, dan J. Supriatna, "Biologi Konservasi. Edisi ke-2.", Penerbit Yayasan Obor Indonesia, Jakarta, 2007, p. 455-456
- [2] E. P. Odum, "Dasar-dasar Ekologi. Edisi ke-3. Cetakan ke-4. Penerjemah Tjahjono Samingan", Penerbit Gajah Mada University Press., Yogyakarta, 1998
- [3] N. Anshoriy Ch dan Sudarsono, "Kearifan Lingkungan dalam Perspektif Budaya Jawa. Edisi Pertama", Penerbit Yayasan Obor Indonesia, Jakarta, 2008
- [4] Y. Sutrian, "Pengantar Anatomi Tumbuh-tumbuhan (tentang Sel dan Jaringan). Edisi Revisi. Cetakan ke-2", Penerbit Rineka Cipta, Jakarta, 2004
- [5] G. Tjitrosoepomo, "Taksonomi Umum (Dasar-dasar Taksonomi Tumbuhan). Cetakan ke-4", Penerbit Gajah Mada University Press, Yogyakarta, 2009, p. 7, 64
- [6] C. Wiart, "Medicinal Plants of Asia and The Pacific", Taylor & Francis Group, Boca Raton, p. 286
- [7] C. G. G. J. V. Steenis, "Flora untuk Sekolah di Indonesia. Cetakan ke-5. Penerjemah Moeso Surjowinoto dkk.", Penerbit PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1988, p. 355-362¹
- [8] J. B. Harborne, "Metode Fitokimia (Penuntun Cara Modern Menganalisis Tumbuhan). Cetakan ke-2. Penerjemah Kosasih Padmawinata dan Iwang Soediro.", Penerbit ITB, Bandung, 1996, p. 1¹, 235², 127³, 148⁴, 151⁵, 102⁶-103⁶
- [9] L. Taiz & E. Zeiger, "Plant Physiology. Third Edition", Sinauer, Sunderland, 2003, p. 286¹, 285¹, 296³
- [10] K. Springob and T. M. Kutchan, "Introduction to the Different Classes of Natural Product", Plant-Derived Natural, Anne E. Osbourn and Virginia Lanzotti (editors), Springer, London, 2009, p. 3
- [11] R. F. Raffaui, "Plant Alkaloids (A Guide to Their Discovery and Distribution)", Food Products Press, New York, 1996, p. 218
- [12] J. Bohlmann and C. I. Keeling, "Terpenoid Biomaterials", The Plant Journal, 54: 656-669, 2008
- [13] W. Kreis and F. Muller-Uri, "Biochemistry of Sterols, Cardiac Glycosides, Brassinosteroids, Phytoecdysteroids and Steroid Saponins", Annual Plant Reviews, 40: 308, 2010
- [14] L. Indrayani, H. Soetjipto, dan L. Sihasale, "Skrining Fitokimia dan Uji Toksisitas Ekstrak Daun Pecut Kuda (*Stachytarpheta jamaicensis* L. Vahl) terhadap Larva Udang *Artemia salina* Leach", Berk. Penel. Hayati, 12: 57-61, 2006
- [15] R. Hartati, A. Gana. S., dan K. Ruslan, "Telaah Flavonoid dan Asam Fenolat Daun Jati (*Tectona grandis* L. f.)", Skripsi, Sekolah Farmasi Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2005, p. 1
- [16] N. A. Hidayati, S. Listyawati, dan A. D. Setiawan, "Kandungan Kimia dan Uji Antiinflamasi Ekstrak Etanol *Lantana camara* L. pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus* L.)", Bioteknologi, 5: 10-17, 2008
- [17] T. Robinson, "Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi. Edisi ke-6. Penerjemah Kosasih Padmawinata", Penerbit ITB, Bandung, 1995, p. 157¹, 191²

Peningkatan Kemampuan Psikomotor Mahasiswa Melalui Pendekatan Saintifik Berbasis Peta Pikiran (*Mind Mapping*) pada Mata Kuliah Fisiologi Hewan di Universitas Tadulako

Dewi Tureni^{1,a}

¹Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA FKIP
Universitas Tadulako, Palu Sulawesi Tengah

^aEmail : dtureni@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan psikomotor mahasiswa dalam mata kuliah fisiologi hewan . Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif . Kemampuan psikomotor yang dinilai terdapat tujuh perilaku diantaranya : persepsi, kesiapan, gerakan terbimbing, gerakan terbiasa, gerakan kompleks, penyesuaian, dan kreativitas. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2014 sampai Juni 2014, di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Tadulako. Subyek penelitian adalah mahasiswa Pendidikan Biologi semester 6 yang mengampuh mata kuliah Fisiologi Hewan. Jumlah mahasiswa 50 orang. Jenis data dalam penelitian ini adalah : Data kualitatif yaitu data hasil observasi aktivitas, data perbuatan, proyek, dan penilaian produk mahasiswa dan dosen. Hasil pengolahan data observasi dosen dan mahasiswa, diperoleh persentase nilai rata-rata (NR) untuk observasi dosen 75%, dan observasi mahasiswa 65%, hal ini dikategorikan dalam kategori **Baik**. Sedangkan hasil penilaian perbuatan adalah **kompeten**. Hasil penilaian proyek dalam kategori **baik** , hasil penilaian produk dalam kategori **baik**. Oleh karena itu dapat disimpulkan pendekatan Saintifik berbasis Peta Pikiran (*mind mapping*) dapat meningkatkan kemampuan psikomotor mahasiswa pada mata kuliah fisiologi hewan di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Tadulako.

Kata Kunci : Kemampuan psikomotor, Pendekatan Saintifik, *Mind mapping*

PENDAHULUAN

Upaya penerapan Pendekatan saintifik/ilmiah dalam proses pembelajaran ini sering disebut-sebut sebagai ciri khas dan menjadi kekuatan tersendiri dari keberadaan Kurikulum 2013, yang tentunya menarik untuk dipelajari dan dielaborasi lebih lanjut [3]. Banyak para ahli yang meyakini bahwa melalui pendekatan saintifik/ilmiah, selain dapat menjadikan mahasiswa lebih aktif dalam mengkonstruksi pengetahuan dan keterampilannya, juga dapat mendorong mahasiswa untuk melakukan penyelidikan guna menemukan fakta-fakta dari suatu fenomena atau kejadian. Artinya, dalam proses pembelajaran, mahasiswa dibelajarkan dan dibiasakan untuk menemukan kebenaran ilmiah, bukan diajak untuk beropini apalagi fitnah dalam melihat suatu fenomena. Mereka dilatih

untuk mampu berfikir logis, runut dan sistematis, dengan menggunakan kapasistas berfikir tingkat tinggi (*High Order Thinking/HOT*) [10].

Dalam era globalisasi dan era informasi, pembaruan pendidikan harus selalu dilakukan, hal ini disebabkan oleh keadaan SDM kita masih belum kompetitif. Hal ini dapat dibuktikan dengan data Education for All (EFA) Global monitoring report yang dikeluarkan UNESCO New York 2011, bahwa kualitas pendidikan Indonesia mengalami penurunan dari tahun 2010 yang dalam urutan 65 menjadi 69 dari 127 negara yang di survey. Sulawesi tengah adalah salah satu provinsi di Indonesia, dimana provinsi ini memiliki kualitas pendidikan rendah, kenyataan ini dibuktikan oleh data University Ranking in Indonesian 2011, bahwa posisi Universitas Tadulako yang merupakan universitas terbesar di Sulawesi Tengah berada dalam urutan 96 dari 154 universitas yang berada di Indonesia, urutan tersebut berada di bawah Universitas Haluoleo (83), Universitas Sam ratulangi (37) dan Universitas Hasanudin (30) [1].

Dengan fenomena ini, mengungkapkan bahwa banyak permasalahan yang dihadapi oleh Sulawesi Tengah, khususnya di Universitas Tadulako. Oleh karena itu perlu dilakukan pembaruan pendidikan sebagai upaya peningkatan kualitas pendidikan. Hal ini mengingat bahwa Universitas Tadulako merupakan perguruan tinggi di Sulawesi Tengah yang mencetak lulusan professional dalam bidangnya serta mampu bersaing secara nasional bahkan internasional. Oleh karena itu mahasiswa sangat dituntut dapat professional dan harus memiliki kompetensi di bidangnya serta dapat mengaplikasikan ilmu hasil pembelajaran di masyarakat.

Pembelajaran sangat erat kaitannya dengan penggunaan otak sebagai pusat aktivitas mental, mulai dari pengambilan, pemrosesan, hingga penyimpulan informasi. Dengan demikian, pembelajaran merupakan proses sinergisme antara otak dan pemikiran untuk menghasilkan daya guna yang optimal. Dalam kegiatan pembelajaran terjadi hubungan antar satu informasi dengan informasi yang lain, serta proses pengingatan kembali terjadi dengan mudah [11].

Berdasarkan observasi, kemampuan mahasiswa dalam memahami konsep dan mengaplikasikannya sangat rendah, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah metode yang digunakan dosen, kurang dapat meningkatkan motivasi mahasiswa, sehingga hasil proses pembelajaran kurang optimal, serta tidak dapat menghasilkan pengalaman belajar yang menarik dan akibatnya hubungan informasi dalam hal ini materi pelajaran menjadi terbatas dan spesifik sehingga mahasiswa tidak mampu mengembangkan kreativitas berpikirnya. Oleh karena itu, untuk memecahkan masalah tersebut perlu adanya strategi pembelajaran untuk menarik minat mahasiswa dalam belajar yaitu dengan menerapkan pendekatan saintifik yang berbasis Mind mapping agar dapat meningkatkan hasil belajar mahasiswa [4].

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka hal tersebut yang melatarbelakangi peneliti melakukan penelitian mengenai penerapan pendekatan saintifik yang berbasis Peta Pikiran (mind mapping) dalam meningkatkan motivasi mata kuliah Perkembangan hewan pada mahasiswa Pendidikan Biologi Universitas Tadulako.

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian deskriptif kualitatif. Kemampuan psikomotor yang dinilai terdapat tujuh prilaku diantaranya : persepsi, kesiapan, gerakan terbimbing, gerakan terbiasa, gerakan kompleks, penyesuaian, dan kreativitas. Instrumen penelitian dan analisis data, diantaranya : lembar observasi dosen dan mahasiswa

Tes Perbuatan / Tindakan

$$\text{Persentase nilai rata-rata} = \frac{\text{Jumlah skor}}{\text{Skor maksimal}} \times 100\%$$

Kriteria tahap keberhasilan tindakan dapat ditentukan sebagai berikut :

90% ≤ NR ≤ 100% : Sangat baik

80% ≤ NR < 90% : Baik

70% ≤ NR < 80% : Cukup

60% ≤ NR < 70% : Kurang

0% ≤ NR < 60% : Sangat Kurang [3]

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2014 sampai Juni 2014, di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Tadulako.

Subyek penelitian adalah mahasiswa Pendidikan Biologi semester 6 yang mengampuh mata kuliah Fisiologi Hewan.

Jenis data dalam penelitian ini adalah :Data kualitatif

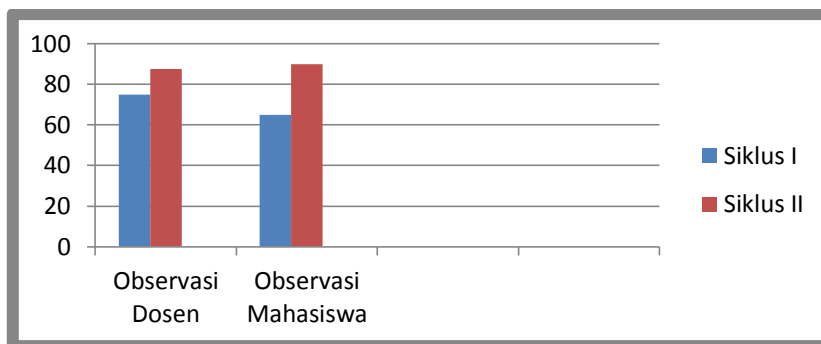
Indikator kinerja keberhasilan penelitian tindakan ini dapat dilihat dari adanya peningkatan aktivitas mahasiswa dalam mengikuti pembelajaran, yang diukur kuisioner (lembar observasi aktivitas) berada dalam kategori baik dan sangat baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data observasi dosen dan mahasiswa, diperoleh persentase nilai rata-rata (NR) pada siklus I untuk observasi dosen 75%, dan observasi mahasiswa 65%, hal ini dikategorikan dalam kategori Baik. Sedangkan pada siklus II untuk observasi dosen 87,5%, dan observasi mahasiswa 90%, hal ini dikategorikan dalam kategori Sangat Baik.

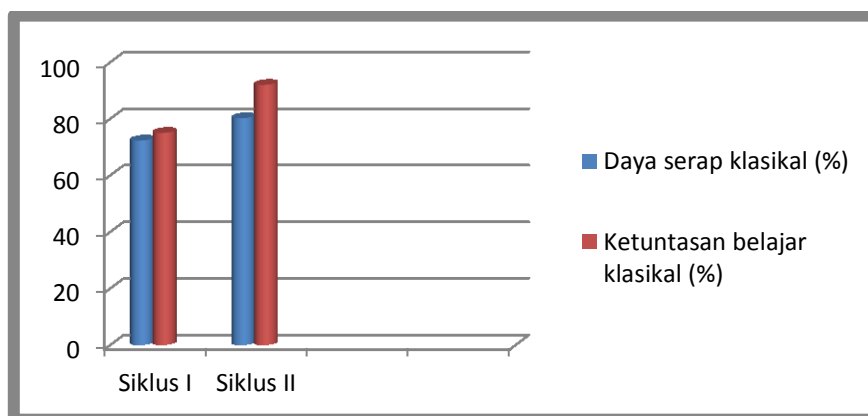
No.	Indikator	Hasil Penelitian		
		3 (baik)	2 (cukup)	1 (kurang)
1	Menyiapkan alat dan bahan	√		
2	Deskripsi pengamatan		√	
3	Menafsirkan peristiwa yang akan terjadi		√	
4	Melakukan praktik		√	
5	Mempresentasikan hasil praktik		√	
Jumlah Skor yang Diperoleh Persentase		14 73 % Kompeten		

Hal ini membuktikan terjadinya peningkatan persentase pada aktivitas dosen maupun mahasiswa. Peningkatan ini disebabkan karena adanya perbaikan pada setiap kelemahan pada siklus I yang dilakukan pada saat refleksi, sehingga hasil observasi aktivitas dosen maupun mahasiswa pada siklus II meningkat dan dikategorikan sangat baik, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar. 2. Persentase Hasil Observasi Aktivitas Dosen dan Mahasiswa Siklus I dan Siklus II

Meningkatnya hasil penilaian observasi dosen dan mahasiswa ini sangat mempengaruhi terhadap hasil belajar mahasiswa. Hasil belajar diperoleh dengan memberikan tes uraian pada akhir tindakan pembelajaran. Hal tersebut menunjukkan persentase ketuntasan daya serap klasikal dan ketuntasan belajar klasikal siklus I sebesar 72,3% dan 75%. Hal ini mengalami peningkatan pada siklus II masing-masing menjadi 80,2% dan 92%, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar.3. Persentase Hasil Belajar Siklus I dan Siklus II

Hasil pelaksanaan tindakan dengan menggunakan pendekatan saintifik berbasis mind mapping, dapat mencapai ketuntasan belajar dalam 2 siklus, melalui kegiatan observasi aktivitas mahasiswa dan dosen dalam proses belajar mengajar, serta evaluasi hasil belajar mahasiswa yang dapat diketahui dengan meningkatnya nilai hasil belajar mahasiswa dari siklus I ke siklus II. Hasil belajar adalah hasil yang dicapai pada mata kuliah tertentu, dengan tes sebagai alat pengukuran keberhasilannya [8]. Evaluasi hasil belajar ini, merupakan tes penilaian hasil belajar yang menekankan kepada diperolehnya informasi tentang seberapa besar perolehan hasil belajar mahasiswa dalam mencapai tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan [9].

Setelah dilakukan tindakan dengan penerapan pendekatan saintifik berbasis mind mapping, dapat menciptakan suasana belajar student center, karena pendekatan ini merupakan sebuah pendekatan yang mengakui dan menunjukkan kondisi nyata alamiah dari teori, dan bukan hanya sekedar melibatkan imajinasi mahasiswa saja. Pendekatan saintifik memiliki landasan filosofi, yaitu

konstruktivisme, yaitu filosofi belajar yang menekankan bahwa belajar tidak hanya sekedar menghafal, tetapi membangun pengetahuan dan keterampilan baru, lewat fakta-fakta atau proposi yang dialami mahasiswa dalam kehidupannya [10]. Pembelajaran dengan teknik Mind mapping memiliki kelebihan, diantaranya: mahasiswa dapat mengemukakan pendapat secara bebas, mahasiswa lebih kreatif, dapat memusatkan perhatian, mengingat lebih baik, dan proses belajar akan lebih cepat dan efisien [6].

Pendekatan saintifik adalah aktivitas dan pembangunan kemampuan sosialisasi mahasiswa, mahasiswa yang melakukan dan mengalami, tidak hanya menonton dan mencatat. Melalui hubungan di dalam dan di luar kelas, pendekatan saintifik menjadikan pengalaman belajar mahasiswa lebih relevan dan berarti dalam membangun pengetahuan yang akan mereka terapkan dalam pengalaman seumur hidup. Hal tersebut disebabkan karena materi pelajaran yang diberikan akan lebih berarti, sesuai dengan konteks kehidupan mereka sehari-hari untuk menghasilkan daya guna yang optimal [7]. Prinsip Penelitian ini dapat memperkuat penelitian sebelumnya yaitu bahwa pembelajaran dengan menggunakan mind mapping dapat mempengaruhi keaktifan belajar siswa sehingga dapat meningkatkan prestasi belajar siswa [6].

Pembelajaran sangat erat kaitannya dengan penggunaan otak sebagai pusat aktivitas mental, mulai dari pengambilan, pemrosesan, hingga penyimpulan informasi. Dengan demikian, pembelajaran merupakan proses sinergisme antara otak dan pemikiran. Untuk menghasilkan daya guna yang optimal. Dalam kegiatan pembelajaran melibatkan pemikiran yang bekerja secara asosiatif, sehingga dalam setiap proses pembelajaran terjadi penghubungan antar satu informasi dengan informasi yang lain, serta proses pengingatan kembali terjadi dengan mudah [11].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa: Penerapan pendekatan Saintifik berbasis mind mapping dapat meningkatkan motivasi mahasiswa pada mata kuliah perkembangan hewan di Program Studi Pendidikan Biologi Universitas Tadulako

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. (2011). <http://www.upscale.utoronto.ca/GeneralInterest/Harrison/Flash/ClassMechanics/> (Diakses tanggal 10 Pebruari 2011).
- [2] Depdiknas.(2001). *Penerapan Model konstruktivisme pada pembelajaran IPA..* Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- [3] Depdiknas. (2004). *Penilaian.* Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- [4] Djohan. (2008). *Aplikasi Real time Buzan Mind Mapping (Online)*, Ind Omindmap Learning Center ILC. Applied RT-MM pdf. Diakses 2 Desember 2011

- [5] Joyce, Bruce. (2000). *Models of Teaching*. Boston: Allyn and Bacon
- [6] Kurniawati. (2010). Skripsi: *Pengaruh Metode Mind Mapping dan Keaiswa terhadap Prestasi Belajar Ilmu Pengetahuan Sosial pada siswa kelas VIII SMP Muhammadiyah 5 Surakarta tahun ajaran 2009/2010*. Program pendidikan Ekonomi Akuntansi FKIP Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [7] Lawson, Anton. (1995). *Science Teaching and the development of thinking*. California: Wadsworth Publishing Company.
- [8] Mappa. (1999). *Teori Belajar Orang Dewasa*. Jakarta: Dikti Depdikbud
- [9] Ratih, Puguh, Slamet. (2012). The Relationship Between IQ, Learning Motivation and Learning Facilities Utilization With Biology Cognitive Learning Achievement of The First Grade Students of SMA Negeri 7 Surakarta. *Bioedukasi Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*. Volume 5 Nomor 2 Agustus 2012: 50-55
- [10] Sudrajat, Akhmad. (2013). <http://akhmadsudrajat.wordpress.com/2013/07/18/pendekatan-saintifikilmiah-dalam-proses-pembelajaran>. (Diakses tanggal 10 Agustus 2013)
- [11] Yovan, P. (2008). *Memori dan Pembelajaran Efektif*. Jakarta: Yrama Widya.
- [12] Wibawa, B. (2004). *Penelitian Tindakan Kelas*. Jakarta: Depdiknas.

Efektivitas Ekstrak Tangkai Daun Pepaya (*Carica papaya* [L.] c.v. *Bangkok* dan c.v. *Callina*) Sebagai *Biorepellent* Terhadap Nyamuk *Aedes aegypti*

Mohamad Nurzaman^{1, a)}, Hikmat Kasmara^{1, b)}, dan Nurina K. Atmono^{2, c)}

¹Program Studi Biologi Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran Bandung

²Mahasiswa Program Studi Biologi (S1) Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: m.nurzaman@mail.unpad.ac.id

^{b)}hikmatkasmara@gmail.com

^{c)}nia.atmono1107@gmail.com

Abstrak

Tangkai daun pepaya belum banyak dimanfaatkan dan masih dianggap sebagai limbah. Penelitian dilakukan dalam upaya untuk mengetahui aktivitas *biorepellent* dari ekstrak tangkai daun pepaya (*Carica papaya* [L.] c.v. *Bangkok* dan c.v. *Callina*) terhadap nyamuk *Aedes aegypti*. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan empat konsentrasi, yaitu 0%, 30%, 60%, 90%. Cara uji *repellent* yang digunakan mengacu kepada Komisi Pestisida Departemen Pertanian, dengan menggunakan tangan probandus yang dimasukkan ke dalam masing-masing kandang uji yang berisi 50 ekor nyamuk, lalu diamati selama lima menit dan dihitung banyaknya nyamuk yang hinggap. Jumlah nyamuk yang hinggap dihitung pada setiap usikan. Jarak dari satu usikan ke usikan berikutnya adalah sepuluh detik. Selanjutnya dilakukan setiap satu jam sampai jam yang ke-8. Pengujian dilakukan pada pukul 06.00-13.00wib, selama 3 hari terhadap 6 probandus yang berlainan. Parameter yang diukur adalah waktu pertama kali nyamuk hinggap dan jumlah nyamuk setiap periode waktu serta daya proteksinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi yang paling efektif untuk setiap jam adalah konsentrasi 90%, untuk masing-masing kultivar. Ekstrak tangkai daun pepaya kultivar 'Bangkok' (*Carica papaya* [L.] c.v. *Bangkok*) memiliki daya proteksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan pepaya kultivar 'Callina' (*Carica papaya* [L.] c.v. *Callina*).

Kata kunci: *Biorepellent*, *Carica papaya*, Tangkai daun, *Aedes aegypti*

Pendahuluan

Indonesia salah satu negara beriklim tropis, yang memiliki lingkungan yang sangat cocok untuk berkembangbiakan nyamuk. Nyamuk merupakan salah satu serangga yang berperan sebagai vektor penyakit, salah satunya adalah nyamuk *Aedes aegypti* sebagai vektor penyakit 'Demam Berdarah Dengue' (DBD). Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) sampai saat ini merupakan salah satu penyakit yang menjadi masalah kesehatan di Indonesia. Menurut Satari [1] hampir di seluruh provinsi ditemukan kasus DBD yang terjadi setiap tahunnya, khususnya di awal musim penghujan.

Penyakit DBD pada manusia disebabkan oleh virus *Dengue*, melalui perantara gigitan nyamuk *Aedes* yang terinfeksi, terutama *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Menurut Nadesul [2] di Indonesia, *Ae. aegypti* lebih sering sebagai pembawa virus *Dengue* dibanding *Aedes albopictus*.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mencegah penularan demam berdarah adalah dengan menggunakan *repellent*. *Repellent* adalah bahan-bahan kimia yang mempunyai kemampuan untuk menjauhkan serangga dari manusia sehingga dapat terhindar dari gigitan atau gangguan oleh serangga.

Repellent digunakan dengan cara menggosokkannya atau menyemprotkannya pada tubuh, oleh karena itu harus memenuhi beberapa syarat yaitu tidak mengganggu pemakainya, tidak melekat atau lengket, baunya menyenangkan pemakainya dan orang sekitarnya, tidak menimbulkan iritasi pada kulit, tidak beracun, tidak merusak pakaian serta daya pengusir terhadap serangga hendaknya bertahan cukup lama.

Beberapa senyawa kimia sintetis yang digunakan sebagai *repellent* pada saat ini memiliki beberapa permasalahan bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Salah satu zat yang terkandung pada *repellent* sintetis dalam bentuk semprot adalah *Propoxur*. *Propoxur* merupakan senyawa karbamat yang telah dilarang penggunaannya di luar negeri karena diduga kuat sebagai zat karsinogenik [3]. Sedangkan *repellent* dalam bentuk oles memiliki kandungan *Diethyltoluamide* atau DEET, yang bersifat sangat korosif, meskipun senyawa tersebut tidak berbau akan tetapi menimbulkan rasa terbakar jika mengenai mata, luka atau jaringan *membranous*. Berdasarkan beberapa hasil penelitian dari Inggris dan Amerika, nyamuk saat ini sudah mulai tidak lagi sensitif terhadap DEET [3].

Penelitian untuk mendapatkan senyawa alami dari ekstrak tumbuhan sebagai *Biorepellent* terus berkembang. *Biorepellent* merupakan bahan-bahan kimia yang terkandung pada makhluk hidup, dalam hal ini tumbuhan, yang berkemampuan untuk mengusir serangga dan terhindar dari gigitan serangga, sehingga bisa digunakan dalam upaya pengendalian hayati. Keuntungan dengan menggunakan cara tersebut adalah lebih aman bagi kesehatan manusia dan lingkungan dibandingkan dengan insektisida sintetis. Hal ini dikarenakan tidak menyebabkan keracunan pada manusia, tidak menyebabkan resistensi terhadap hama, bekerja secara selektif, untuk jangka panjang dinilai lebih murah apabila keadaan lingkungan telah stabil, serta tidak menimbulkan pencemaran lingkungan [4].

Pengembangan penelitian *biorepellent* juga diselaraskan dengan pengetahuan lokal masyarakat yang memanfaatkan tumbuhan secara tradisional sebagai pengendali serangga atau insektisida. Beberapa jenis tumbuhan yang berpotensi memiliki kandungan senyawa bahan aktif yang sudah banyak digunakan sebagai bahan insektisida nabati atau *biorepellent* antara lain akar wangi (*Andropogon zizanoides*) yang akarnya mengandung senyawa ester. bahan aktif alfa dan beta vetiverone; kayu putih (*Melaleuca leucodendron*) yang mengandung bahan aktif yang terdiri dari terpenoid, pinene, dan limonene [5]. Selain itu juga daun Kipait (*Tithonia diversifolia*), yang mengandung senyawa sekuiterpen, yaitu suatu terpenoid yang mempunyai aktivitas sebagai insektisida, dan ekstrak kulit jeruk siam (*Citrus nobilis*) mengandung senyawa golongan flavanoid yang memiliki aktivitas insektisida terhadap nyamuk *Aedes aegypti* [6].

Pepaya juga termasuk salah satu tumbuhan yang dapat digunakan sebagai bahan *biorepellent*, karena daun pepaya (*Carica papaya* L.) memiliki kandungan alkaloid karpain, glukosida karpain, sedikit damar, enzim proteolitik, dan saponin, serta memiliki kandungan triterpenoid [7]. Alkaloid, saponin dan triterpenoid termasuk senyawa dalam tanaman yang dapat berperan sebagai penolak nyamuk. Alkaloid dan saponin termasuk dalam kelompok zat yang tidak disukai oleh nyamuk, sedangkan triterpenoid berfungsi sebagai pelindung untuk menolak serangga [8].

Berdasarkan hasil penelitian Komalasarini [9] yang melakukan pengujian potensi ekstrak daun pepaya dengan menggunakan ekstrak etanol daun pepaya pada konsentrasi yang berbeda yaitu 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 60% dapat menurunkan jumlah nyamuk *Aedes aegypti* yang hinggap pada

tangan manusia mencapai 99% dengan konsentrasi yang paling efektif adalah 60%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Febiani [10], menunjukkan bahwa ekstrak daun pepaya memiliki kemampuan sebagai penolak nyamuk *Aedes aegypti*. Konsentrasi ekstrak daun pepaya yang paling efektif adalah 60 % dengan daya proteksi 93,26 % hingga jam ke-4.

Pepaya yang tumbuh di Indonesia memiliki berbagai kultivar dan sangat mudah untuk diperoleh tetapi pemanfaatannya oleh masyarakat baru sebatas sebagai bahan pangan (buah dan daun). Saat ini penelitian pepaya sebagai anti-nyamuk juga hanya terbatas pada daun. Sedangkan tangkai daun, biji, dan kulit buah dianggap sebagai limbah. Biasanya masyarakat Indonesia membuang tangkai daun karena dianggap tidak bisa dimanfaatkan, karena tidak bisa dikonsumsi. Padahal tangkai daun memiliki kandungan senyawa yang hampir sama dengan kandungan daun pepaya [11], sehingga dapat berpotensi sebagai bahan obat dan *biorepellent* seperti halnya daun. Saat ini pengolahan limbah tangkai daun hanya sebatas dijadikan sebagai pakan ikan atau hewan ternak dan pupuk kompos.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui aktivitas *biorepellent* dari ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok (*Carica papaya* [L.] c.v. *Bangkok*) dan kultivar Callina (*Carica papaya* [L.] c.v. *Callina*) terhadap gigitan nyamuk *Aedes aegypti*.

Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menginformasikan mengenai potensi ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok (*Carica papaya* [L.] c.v. *Bangkok*) dan kultivar Callina (*Carica papaya* [L.] c.v. *Callina*) pada nyamuk *Aedes aegypti*.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, Uji *repellent* menggunakan ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina yang terdiri dari empat konsentrasi yaitu : 0%, 30%, 60%, 90%. Masing-masing konsentrasi diujikan pada tangan probandus yang dimasukkan ke dalam masing-masing kandang uji yang berisi 50 ekor nyamuk, lalu diamati selama lima menit dan dihitung banyaknya nyamuk yang hinggap. Jumlah nyamuk yang hinggap dihitung pada setiap usikan. Jarak dari satu usikan ke usikan berikutnya adalah sepuluh detik. Selanjutnya dilakukan setiap satu jam sampai jam yang ke-8. Pengujian dilakukan selama 3 hari terhadap 6 probandus yang berlainan. Parameter yang diukur adalah waktu pertama kali nyamuk hinggap dan jumlah nyamuk setiap periode waktu serta daya proteksinya

Prosedur Penelitian

Penyediaan Ekstrak Tangkai Daun Pepaya

Tangkai daun pepaya masing-masing kultivar dikeringkan di dalam oven (suhu 40⁰C) hingga berat kering tidak berubah, kemudian dipotong-potong menjadi potongan kecil, lalu dicacah menggunakan blender hingga menjadi serbuk. Setelah menjadi serbuk lalu ditimbang dan dicatat. Serbuk tersebut dimasukkan ke dalam bejana untuk dimaserasi dengan menambah pelarut ethanol 95% teknis, dengan perbandingan tangkai daun dan ethanol 1:3. Maserasi dilakukan selama 3 hari. Kemudian disaring sehingga didapat filtrat. Filtrat tersebut dievaporasi dengan menggunakan *Rotary Evaporator* sehingga didapat ekstrak tangkai daun dalam bentuk gel yang akan digunakan pada

penelitian ini. Evaporasi dilakukan pada suhu 40°C. Berbagai konsentrasi yang diperlukan diperoleh dengan melakukan pengenceran menggunakan pelarut ethanol.

Penyediaan Hewan Uji

Hewan uji yang digunakan adalah nyamuk *Aedes aegypti* betina dewasa berusia 3-5 hari diperoleh dari Loka Litbang P2B2 Ciamis. Digunakan tiga kandang uji nyamuk, dengan 50 nyamuk betina pada masing-masing kandang uji. Nyamuk dipelihara hingga mencapai usia 7 hari, selama waktu tersebut nyamuk diberi makan air madu [12].

Uji Repellent

Uji repellent dilakukan dengan menggunakan empat tingkat konsentrasi, yaitu 30%, 60%, dan 90% serta ditambah 1 konsentrasi yang digunakan sebagai kontrol yaitu 0%. Pengujian efektivitas dilakukan dengan mengoleskan pada tangan probandus sebanyak 3 ml ekstrak secara merata dari sendi pergelangan tangan hingga ke siku probandus. Kemudian ekstrak didiamkan mengering pada suhu kamar. Selanjutnya, tangan tersebut dimasukkan ke dalam kurungan yang berisi 50 ekor nyamuk uji. Tangan berada di dalam kandang uji selama 5 menit. Jarak dari satu usikan ke usikan lainnya adalah sepuluh detik sesuai dengan waktu yang dibutuhkan nyamuk sampai hinggap. Pengamatan dilakukan selama 8 jam.

Parameter yang diukur adalah waktu pertama kali nyamuk hinggap dan jumlah nyamuk setiap periode waktu serta daya proteksinya. Daya proteksi dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Daya Proteksi} = (K-R)/K \times 100\%$$

K = banyaknya nyamuk yang hinggap pada lengan kontrol

R = banyaknya nyamuk yang hinggap pada lengan perlakuan

Hasil dan Diskusi

Ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina masing-masing dianalisis secara kualitatif untuk mengetahui kandungan senyawa kimianya. Adapun hasil analisis secara kualitatif terhadap kandungan alkaloid, flavanoid, tanin, saponin, triterpenoid, steroid dan fenol dari ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina adalah sebagai berikut :

Tabel. 1 Kandungan Fitokimia Ekstrak Tangkai Daun Pepaya kultivar Bangkok dan Callina

No.	Gol. Senyawa	Nama sampel Uji	
		Tangkai Daun Pepaya kultivar Bangkok	Tangkai Daun Pepaya kultivar Callina
1.	Alkaloid	+	+
2.	Flavanoid	++	++
3.	Tanin	++	++
4.	Saponin	++++	+++
5.	Triterpenoid	+	++
6.	Steroid	+	++
7.	Fenol	++++	+++

Keterangan:

++++ : sangat banyak

+++ : banyak

++: sedikit

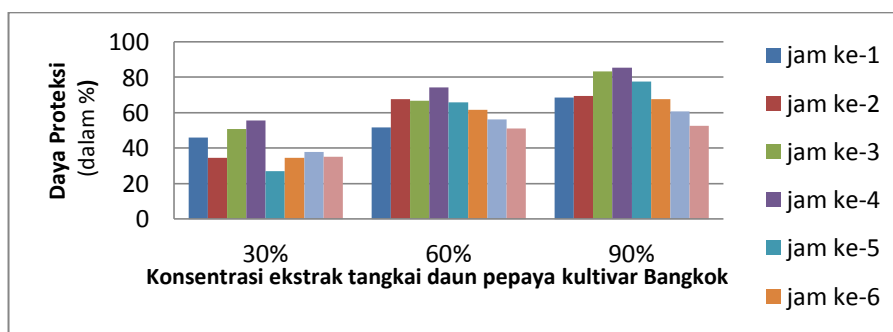
+ : sangat sedikit

- : tidak ada

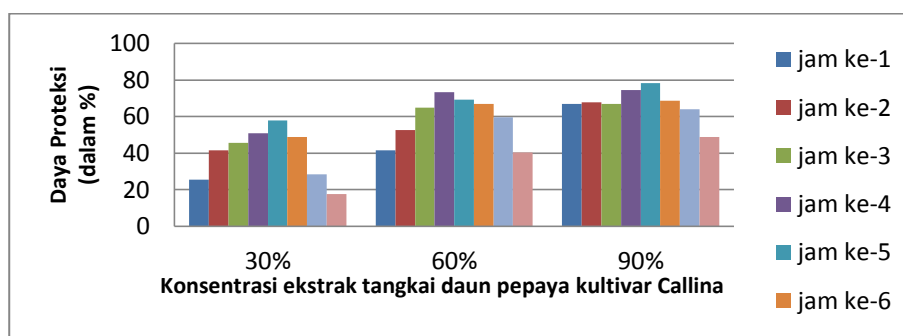
Ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina memiliki kandungan kimia berupa Alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, alkaloid, triterpenoid, steroid, dan fenol. Saponin dan Fenol merupakan zat metabolit sekunder yang paling banyak terkandung pada ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina.

Menurut Aminah dkk. [13], saponin adalah golongan senyawa glikosida yang mempunyai struktur steroid yang berkemampuan sebagai *repellent* terhadap nyamuk *Aedes aegypti*. Kandungan lain yang diduga sebagai *repellent* lainnya adalah alkaloid. Alkaloid bekerja dengan mempengaruhi sistem saraf serangga. Hasil penelitian Aminah dkk. [13] menunjukkan bahwa alkaloid yang terdapat pada daun kecubung dapat mengusir nyamuk. Mustanir dan Rosnani [7], berdasarkan hasil penelitiannya menyatakan bahwa alkaloid yang terkandung dalam tanaman Legundi (*Vitex trifolia*) mempunyai aktifitas sebagai *repellent* nyamuk. Selain saponin dan alkaloid, kandungan lainnya yang dapat dijadikan sebagai *repellent* nyamuk adalah triterpenoid. Triterpenoid adalah senyawa metabolit sekunder yang sering memiliki gugus alkohol, aldehida, atau asam karboksilat. Triterpenoid merupakan komponen yang terkandung pada tumbuhan yang menimbulkan bau tajam atau khas yang ampuh sebagai pengusir nyamuk *Ae. aegypti* [14].

Adapun daya proteksi hasil pengujian ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina terhadap nyamuk *Aedes aegypti* disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Daya proteksi ekstrak tangkai daun pepaya kultivar bangkok



Gambar 1. Daya proteksi ekstrak tangkai daun pepaya kultivar bangkok

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok memiliki daya proteksi yang berbeda pada setiap konsentrasinya untuk setiap jam perlakuan. Konsentrasi 30% memiliki daya proteksi yang terendah dibandingkan dengan konsentrasi 60% dan 90%. Sedangkan konsentrasi 90% memiliki daya proteksi yang tertinggi. Begitu pula halnya dengan gambar 2. terlihat bahwa ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Callina dengan konsentrasi 30% juga memiliki daya proteksi yang terendah dibandingkan dengan konsentrasi 60% dan 90%. Sedangkan daya proteksi yang tertinggi terlihat pada konsentrasi 90%. Dengan demikian kedua ekstrak tangkai daun pepaya

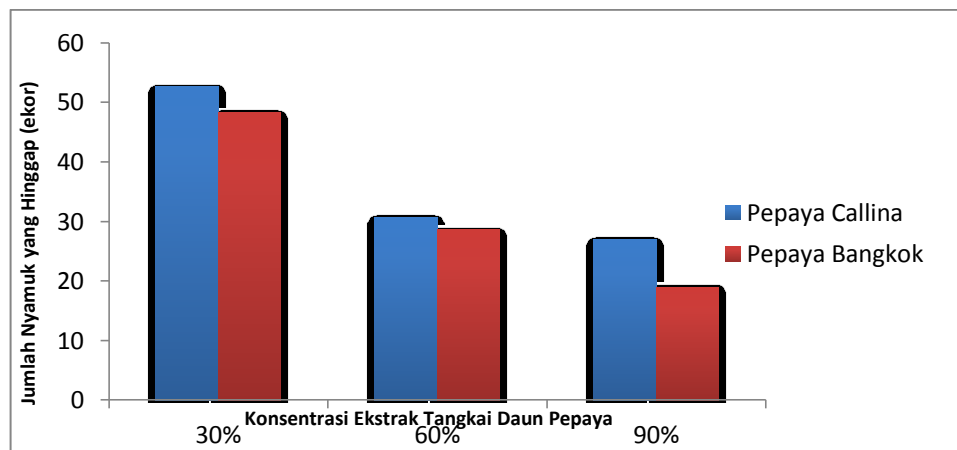
tersebut memiliki daya proteksi yang paling tinggi pada konsentrasi 90% ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi akan semakin tinggi pula daya proteksinya. Hal ini sesuai dengan pernyataan Ghershenzon dkk. [15], bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak suatu tumbuhan maka semakin meningkat kandungan *volatile*, dan semakin banyak komponen *volatile* yang terkandung maka semakin banyak yang berikatan dengan *odorants receptor proteins* pada serangga. Hal tersebut menyebabkan gangguan pada proses pernapasan serangga, sehingga serangga menjauhi sampel.

Pada gambar 1. terlihat pula bahwa ternyata jam ke-4 merupakan daya proteksi tertinggi pada masing-masing konsentrasi baik konsentrasi 30%, 60%, dan 90%. Berdasarkan hal tersebut dapat dinyatakan bahwa jam ke-4 merupakan waktu yang optimum bagi ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok. Hasil yang tidak jauh berbeda juga ditunjukkan pada ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Callina (gambar 2.), yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi 30% dan 90% waktu yang optimumnya pada jam ke-5 sedangkan pada 60% waktu optimumnya pada jam ke-4.

Dengan demikian terlihat bahwa waktu optimum dari kedua ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina pada jam ke-4 dan jam ke-5. Hal ini berarti hingga jam ke-4 sampai jam ke-5 jumlah nyamuk yang hinggap lebih rendah. Sedangkan pada jam ke-1 sampai jam ke-3 serta pada jam ke-5 hingga jam ke-8 jumlah nyamuk yang hinggap lebih tinggi. Ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan pepaya kultivar Callina pada jam ke-1 sampai jam ke-3 mempunyai daya proteksi rendah yang disebabkan jumlah nyamuk yang hinggap tinggi. Hal ini diduga karena senyawa yang terdapat pada ekstrak tangkai daun sebagai *biorepellent* belum berfungsi dengan optimal atau terdeteksi oleh nyamuk *Aedes aegypti*. Hal ini didukung oleh pendapat Mustanir dan Rosnani [7], yang menyatakan bahwa nyamuk membutuhkan waktu sekitar 2-3 jam untuk dapat mendeteksi adanya alkaloid pada kulit manusia. Alkaloid memiliki rasa pahit, berbeda dengan kandungan fitokimia lainnya yang memiliki senyawa aromatik untuk mengusir nyamuk, sehingga nyamuk membutuhkan waktu untuk mengenali alkaloid pada kulit manusia. Menurut Mustanir & Rosnani [7], selain alkaloid yang memiliki rasa pahit, saponin juga memiliki rasa pahit sebagai penolak nyamuk. Sedangkan peningkatan jumlah nyamuk yang hinggap pada jam ke-5 hingga ke-8 terjadi karena adanya penurunan efektivitas ekstrak tangkai daun pepaya Bangkok. Pada awalnya ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan Callina meresap ke pori-pori kulit probandus, namun akibat adanya panas tubuh probandus maka semakin lama, ekstrak pun menguap, yang menyebabkan terjadi penurunan efektivitas ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina.

Dari kedua hasil tersebut (gambar 1 dan gambar 2.) dapat disimpulkan bahwa ekstrak tangkai daun pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina dapat dijadikan sebagai *repellent* selama 5 jam. Ekstrak tangkai daun pepaya Bangkok dan pepaya Callina mempunyai potensi sebagai *biorepellent* meskipun belum memenuhi kriteria yang telah ditetapkan oleh Komisi Pestisida Nasional, yaitu memiliki daya proteksi sebesar lebih atau sama dengan 90%. Produk dengan bahan-bahan alami umumnya lebih aman dibanding *repellent* sintetik. Produk dengan bahan-bahan alami umumnya lebih aman jika dibandingkan dengan *repellentsintetik* karena tidak menimbulkan resistensi pada nyamuk. Alkaloid, saponin, terpenoid, fenol bisa saling mendukung sebagai anti-nyamuk. Hal ini serupa dengan pernyataan Gunandini (2006) bahwa pada tumbuhan memiliki berbagai kandungan fitokimia yang saling terkait sebagai *repellent* sehingga bisa meminimalisir terjadinya resistensi pada nyamuk.

Untuk mengetahui ekstrak tangkai pohon pepaya kultivar mana yang lebih baik diantara pepaya kultivar Bangkok dan kultivar Callina dapat dilihat dengan menggunakan perbandingan jumlah nyamuk yang hinggap pada jam ke-4 untuk setiap konsentrasi seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Perbandingan Jumlah Rata-rata nyamuk yang hinggap pada Jam ke- 4

Pada gambar 3. terlihat adanya perbedaan jumlah rata-rata nyamuk yang hinggap pada jam ke-4 untuk masing-masing kultivar. Pada konsentrasi 30%, 60% dan 90%, jumlah nyamuk yang hinggap pada lengan probandus yang diolesi ekstrak tangkai daun pepaya kultivar callina lebih banyak dari lengan probandus yang diolesi ekstrak tangkai daun papaya kultivar Bangkok. Perbedaan jumlah nyamuk yang hinggap ini diduga karena diakibatkan oleh perbedaan jumlah kadar fenol dan saponin pada kedua ekstrak tersebut. Ekstrak tangkai daun pepaya Bangkok memiliki kadar fenol dan saponin yang lebih banyak dibanding ekstrak tangkai daun pepaya Callina. Saponin, dan fenol merupakan senyawa utama yang sering dimanfaatkan sebagai *repellent*. Hasil penelitian Aminah dkk. [13] menunjukkan bahwa saponin merupakan kandungan utama pada tumbuhan yang berfungsi sebagai repellent. Selain itu adanya kombinasi kandungan senyawa lain dengan kadar lebih banyak dapat lebih mengoptimalkan fungsi sebagai *repellent*. Hal ini juga sejalan dengan pernyataan Gunandini (2006) bahwa pada tumbuhan memiliki berbagai kandungan fitokimia yang saling terkait sebagai *repellent* sehingga bisa meminimalisir terjadinya resistensi pada nyamuk.

Kesimpulan

1. Konsentrasi tangkai daun pepaya Bangkok (*Carica papaya* [L.] var. *bangkok*) dan tangkai daun pepaya Callina (*Carica papaya* [L.] var. *callina*) yang memiliki daya proteksi paling tinggi adalah 90%
2. Ekstrak tangkai daun pepaya Bangkok (*Carica papaya* [L.] var. *bangkok*) memiliki daya proteksi yang lebih tinggi dibanding dengan ekstrak tangkai daun pepaya callina (*Carica papaya* [L.] var. *callina*)

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Loka Penelitian dan Pengembangan Pengendalian Penyakit Bersumber Binatang (P2B2), Ciamis, yang telah memberikan bantuan fasilitas selama penelitian kepada penulis.

Referensi

- [1] Satari, H. 2004. *Demam Berdarah : Perawatan di Rumah dan Rumah Sakit*. Puspa Swara. Jakarta.
- [2] Nadesul, H. 2007. *Cara Mudah Mengalahkan Demam Berdarah*. Penerbit Kompas. Jakarta.
- [3] Rita. 2012. *Studi Perilaku Berkembangbiak Nyamuk **Aedes aegypti** (Diptera: Culicidae) pada Berbagai Tipe Habitat* [Skripsi]. Program Sarjana FMIPA Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [4] Jumar. 2000. *Entomologi Pertanian*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- [5] Kardinan. 2005. *Pestisida Nabati: Ramuan dan Aplikasi*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- [6] Umaroh, F.N., R. Tjokronegoro, dan Y. Wayuni. 2004. *Penelusuran Senyawa Aktif Insektisida dari Fraksi Nonvolatil Ekstrak etil Asetat Kulit Jeruk Siam (*C. nobilis* var. *microcarpa*) dengan Bioindikator Nyamuk *Aedes aegypti**. [Laporan Penelitian]. FMIPA UNPAD. Jatinangor.
- [7] Mustanir & Rosnani. 2008. *Isolasi Senyawa Bioaktif Penolak (Repellent) Nyamuk Dari Ekstrak Aseton Batang Tumbuhan Legundi (*Vitex trifolia*)*. Bul. Littro. Vol. XIX No. 2, 174 –180
- [8] Henry. 2003. *Efektifitas Ekstrak Tumbuhan Serai (*Cymbopogon nordus*. L), Jara (*Jatropha curca* L.) dan Mindi Terhadap Jumlah Ppopulasi Nyamuk *Aedes aegypti**. Balai Penelitian Vektor dan Reservoir Penyakit. Salatiga.
- [9] Komalasari, D. 2007. *Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Daun Pepaya (**Carica papaya**) Terhadap Jumlah Nyamuk *Aedes aegypti* Yang Hinggap Pada Tangan Manusia..* Tersedia: <http://etd.eprints.ums.ac.id/>. (diakses pada 4 September 2013).
- [10] Febiani, S. 2012. *Potensi Ekstrak Daun Pepaya (*carica Papaya* L.) Sebagai Penolak Nyamuk *Aedes Aegypti**. [Skripsi]. Universitas Kristen Duta Wacana.
- [11] Atmono, N.K. 2013. *Efektivitas Ekstrak Tangkai Pepaya (*Carica papay* L.) yang Dikombinasikan dengan Kenanga (*Cananga odorata*) sebagai Anti-Nyamuk*. [Laporan Kerja Praktek]. Biologi Universitas Padjadjaran. Sumedang.
- [12] WHOPEs. 2009. *Guidelines for efficacy testing of mosquito repellents for human skin*. Geneva
- [13] Aminah, N., S. Sigit, Partosoedjono, H., Chaerul. S. 2001. *S. rarak, D. metel dan E. Prostata sebagai Larvisida dan Repellent *Aedes aegypti**. Cermin Dunia Kedokteran No 131, Tahun
- [14] Johannes, E., S. Wahid., I. Wakidah. *Uji Efektifitas Repelen Gel Ekstrak Bunga Kenanga (*Canangium odoratum*) terhadap Nyamuk *Aedes aegypti**. Majalah Farmasi dan Farmakologi Vol. 13, No. 3, Nopember 2009.
- [15] Gershenzon, J., M.E. McConkey & R.B. Croteau. 2000. *Regulation of monoterpane accumulation in leaves of peppermint*. Plant Physiol. 129: 1296-1307
- [16] Chaerningrum, R. 2010. *Analisis Usaha Tani Pepaya California (Kasus: Desa Cikopo Mayak, Kecamatan Jasinga, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat)*. [Skripsi] Bogor: Program Sarjana Departemen Agribisnis Fakultas Ekonomi Manajemen Institut Pertanian Bogor . Bogor.
- [17] Christopher. 2009. *Nyamuk sebagai vektor penyakit*. Faculty of Medicine, University of Riau. Riau.
- [18] Fradin, M.S., dan J.F. Day. 2002. *Comparative Efficacy of Insect Repellents Againsts Mosquito Bites*. The New England Journal of Medicine, 347: 13-18 . <http://www.content.nejm.org>. Diakses tanggal 11 April 2014.
- [19] Hadi, U.K. dan F.X. Koesharto, 2006. *Nyamuk Hama Pemukiman Indonesia*. Unit Kajian pengendalian Hama Pemukiman (UKPHP) FKH-IPB. Bogor.
- [20] Komisi Pestisida. *Metode Standar Pengujian Efikasi Pestisida*. Departemen Pertanian. 1995

Pemanfaatan Ekstrak Sayuran Familia Brassicaceae untuk Menangkal Efek Mutagenik Timbal Asetat

Madihah^{1, a)}, Maya Fadhillah^{1, b)} dan Supartini Syarief^{1, c)}

¹Program Studi Biologi FMIPA UNPAD

Jl. Raya Bandung-Sumedang KM. 21 Jatinangor 45363

^{a)}penulis yang berkorespondensi: madihah23@yahoo.com

^{b)}maya.fadhillah@gmail.com

^{c)}supartini_syarief@yahoo.co.id

Abstrak

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti baterai, cat, pennis keramik selain sebagai aditif bahan bakar. Hal ini dapat meningkatkan konsentrasi timbal dan berakibat terjadinya pencemaran lingkungan. Timbal dapat terakumulasi dalam tubuh, sehingga menyebabkan keracunan pada manusia. Penelitian ini dilakukan untuk menguji potensi ekstrak sayuran dari familia Brassicaceae, yaitu keciwis, pakcoy dan petsai dalam menangkal efek mutagenik timbal asetat pada mencit dengan metode eksperimental menggunakan RAL yang terdiri atas lima perlakuan dan lima pengulangan. Pemberian ekstrak dilakukan pada hari ke-1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13 dengan total dosis 156 mg/kg bb, sedangkan timbal asetat diberikan pada hari ke 5, 9, dan 13 dengan total dosis 150 mg/kg bb. Parameter yang diamati adalah frekuensi mikronukleus pada eritrosit polikromatik (MNPCE) dari sumsum tulang dan persentase inhibisi. Dari hasil penelitian diperoleh frekuensi MNPCE pada perlakuan ekstrak keciwis, pakcoy dan petsai berturut-turut adalah $0,073 \pm 0,013$, $0,111 \pm 0,019$, dan $0,166 \pm 0,024$ yang lebih rendah daripada perlakuan kontrol positif (timbal asetat) sebesar $0,299 \pm 0,051$ ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa ketiga jenis ekstrak sayuran Brassicaceae tersebut memiliki aktivitas antimutagenik dengan menangkal pembentukan mikronukleus di sumsum tulang akibat pendedahan timbal asetat. Efek penghambatan pembentukan mikronukleus tertinggi terdapat pada perlakuan ekstrak keciwis dengan persentase inhibisi 75,67%.

Kata kunci: frekuensi MNPCE, mencit, keciwis, pakcoy, petsai,

Pendahuluan

Faktor internal maupun eksternal, termasuk polutan di lingkungan, dapat menginduksi berbagai macam kerusakan genetik yang menyebabkan proses metabolisme di dalam tubuh terganggu. Logam berat seperti timbal (Pb) adalah zat toksik dan merupakan polutan lingkungan yang banyak digunakan dalam berbagai industri seperti baterai, cat, pennis keramik dan sebagai aditif bahan bakar karena bermutu baik. Peningkatan konsentrasi logam Pb berakibat pada terjadinya pencemaran lingkungan baik di udara, tanah dan air yang berdampak buruk terhadap kesehatan karena timbal dapat terakumulasi dalam tubuh manusia. Mekanisme masuknya timbal ke dalam tubuh manusia dapat melalui saluran pernafasan, pencernaan, ataupun langsung melalui permukaan kulit [1]. Kandungan timbal yang tinggi dalam darah (lebih dari $80 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$) dapat meningkatkan risiko kematian akibat penyakit *cerebrovascular*, *nephritis* kronis dan kanker [2]. Salah satu bentuk senyawa

timbal adalah timbal asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) yang diketahui bersifat karsinogenik, genotoksik, mutagenik karena meningkatkan terjadinya kerusakan genetik yang dapat memicu kanker [3] [4] [5].

Timbal merupakan unsur yang dapat meningkatkan pembentukan radikal bebas dan menurunkan kemampuan antioksidan tubuh, sehingga dapat meningkatkan reaktivitas kimia dari molekul itu sendiri yang selanjutnya akan menghasilkan reaksi ikatan berantai yang menyebabkan mutasi DNA dan kerusakan sel [6]. Mutasi merupakan salah satu penyebab kerusakan DNA, sehingga dapat terbentuk mikronukleus pada sel. Mikronukleus adalah massa kromatin yang tertinggal pada saat pembelahan sel. Secara morfologis, mikronukleus berukuran lebih kecil, yaitu sekitar sepertiga sampai seperenam dari inti sel yang utama dan berbentuk oval atau bulat. Mikronukleus merupakan salah satu indikator terjadinya kerusakan DNA dan kerusakan sel yang dapat memicu terjadinya kanker [7].

Kerusakan DNA dapat dicegah dengan menggunakan senyawa antimutagenik. Sayuran merupakan bahan pangan yang dibutuhkan manusia merupakan sumber gizi, vitamin, mineral dan pada umumnya mengandung protein dan lemak rendah. Sayuran dari familia Brassicaceae diketahui mengandung senyawa glukosinolat, isotiosianat, fenetilisotiosianat, dan alil isotiosianat. Beberapa tanaman dari genus *Brassica* telah dilaporkan memiliki senyawa antimutagenik tersebut, diantaranya *Brassica juncea* dan *Brassica oleraceae*. Ekstrak biji *B.juncea* mempunyai potensi sebagai antimutagenik, karena dapat menurunkan presentase aberasi kromosom pada akar *Allium cepa* (bawang) yang telah diinduksi merkuri (Hg) sebesar 95.3% dibandingkan dengan yang kontrol [8]. (*Brassica oleraceae* var. *botrytis*) juga diketahui mengandung senyawa isotiosianat yang dapat melindungi sel tubuh dari beberapa jenis kanker, salah satunya adalah kanker payudara [9]. Senyawa isotiosianat terbentuk apabila jaringan dari suatu tanaman Brassicaceae rusak, sehingga mengeluarkan senyawa glukosinolat yang akan dihidrolisis oleh enzim mirosinase menjadi senyawa isotiosianat [10].

Sayuran familia Brassicaceae memiliki banyak jenis yang diduga juga memiliki senyawa antimutagenik, sehingga dapat digunakan mencegah terjadinya kerusakan genetik yang dapat memicu kanker. Pada penelitian ini digunakan tiga spesies sayuran familia Brassicaceae yaitu keciwis (*Brassica oleraceae* var. *capitata*), pakcoy (*Brassica rapa* var. *chinensis*) dan petsai (*Brassica. rapa* var. *pakinensis*). Ketiga jenis sayuran ini mudah di dapat dan sudah dikenal luas oleh masyarakat, sehingga lebih mudah untuk diaplikasikan oleh masyarakat umum sebagai sayuran penangkal polutan penyebab kerusakan genetik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ekstrak sayuran dari familia Brassicaceae terhadap frekuensi mikronukleus pada sel darah sumsum tulang mencit (*M. musculus* L.) Swiss-Webster yang dipapar timbal asetat.

Eksperimen

Bahan

Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbal asetat ($\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Merck), ekstrak sayuran keciwis (*Brassica oleraceae* var. *capitata*), pakcoy (*Brassica rapa* var. *chinensis*) dan petsai (*Brassica. rapa* var. *pakinensis*). Hewan uji pada penelitian ini adalah mencit (*Mus musculus* L.) jantan dengan umur 8-10 minggu yang memiliki berat badan antara 20-25 gram diperoleh dari Departemen Biologi FMIPA-UNPAD. Mencit diberi butiran pakan anak babi (CP 551) produksi PT. Charoen Pokphand Indonesia dan diberi minum air ledeng secara *ad libitum*. Kandang diberi alas sekam dan ditempatkan di dalam ruangan dengan pencahayaan lampu selama 12 jam (pukul 06.00 - 18.00).

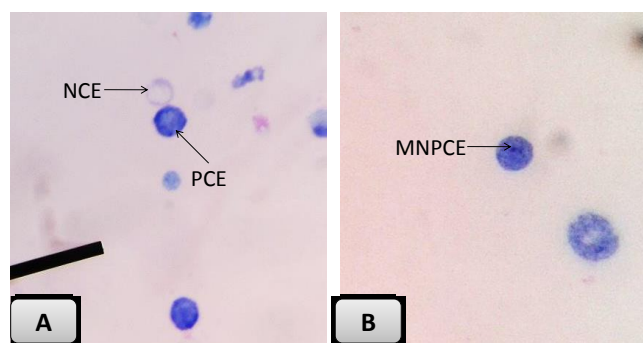
Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari lima perlakuan dengan lima pengulangan, yaitu tiga perlakuan yang diberi ekstrak kiciwis (KC) atau ekstrak pakcoi (PK) atau ekstrak petsai (PT) dosis total 156 mg/kg bb [11] dan timbal asetat dosis total 150 mg/kg bb, dan dua kelompok kontrol yaitu kontrol positif (KP) yang hanya diberi timbal asetat dosis 150 mg/kg bb (3) dan kontrol negatif (KN) yang hanya diberi CMC 0,5% sebagai pengemulsi timbal asetat.

Mencit dipuaskan terlebih dahulu selama \pm 8 jam dengan hanya diberi minum. Mencit dari kelompok KC, PK atau PT diberi ekstrak keciwis, pakcoi dan petsai pada hari ke-1, 3, 5, 7, 9, 11, dan 13, sedangkan dari kelompok KP dan KN hanya diberi akuades. Timbal asetat diberikan pada mencit dari kelompok KC, PK, PT dan KP di hari ke-5, 9, dan 13, sedangkan mencit KN diberi CMC 0,5%. Semua perlakuan diberikan secara oral dengan cara *gavage*. Pada hari ke-14, mencit dari semua perlakuan dikorbankan dengan cara dislokasi leher untuk diisolasi tulang femur. Femur mencit dibersihkan menggunakan larutan NaCl 0,9%. Pembuatan preparan apusan sumsum tulang dilakukan berdasarkan metode dari Schmid tahun 1975 [12] dengan beberapa modifikasi. Sumsum tulang dikeluarkan dari keempat tulang femur dengan menggunakan *syringe* berisi FBS (*Fetal Bovine Serum*, Gibco) sebanyak 1 ml dan dimasukkan ke dalam tabung sentrifugasi. Suspensi sumsum tulang disentrifugasi pada 1500 rpm selama 5 menit. Sebagian besar supernatan dibuang, dan sedikit supernatan dihomogenisasikan dengan pelet sel darah. Homogenat diapus di atas kaca objek, lalu dikeringkan pada suhu ruang. Preparat apusan sumsum tulang kemudian difiksasi dengan metanol absolut di dalam *staining jar* selama 10 menit dan dikeringkan pada suhu ruang. Apusan sel darah sumsum tulang diwarnai dengan pewarna Giemsa 2,5% selama 30 menit, dibilas dengan air mengalir dan dikeringkan pada suhu ruang. Preparat selanjutnya diamati dengan menggunakan mikroskop cahaya perbesaran 1000x. Parameter yang diukur adalah frekuensi mikronukleus pada sel eritrosit polikromatik (MNPCE) dari 5000 sel eritrosit polikromatik dan persentase inhibisi (I%) [13]. Data dianalisis secara statistik menggunakan analisis varian (ANOVA) dengan taraf kepercayaan 95%. Apabila terdapat perbedaan antar perlakuan, analisis data dilanjutkan dengan Uji Jarak Berganda Duncan [14].

Hasil dan Diskusi

Hasil pengamatan pada sediaan apusan sumsum tulang femur mencit (*Mus musculus* L.) didapatkan sel eritrosit normokromatik (NCE), eritrosit polikromatik (PCE) dan eritrosit polikromatik yang mengandung mikronukleus (MNPCE). NCE merupakan sel eritrosit dewasa yang terwarnai ungu muda-bening oleh pewarna Giemsa. PCE merupakan sel eritrosit muda yang terwarnai biru-ungu oleh pewarna Giemsa. Menurut Khrisna *et al.* (1994 *dalam* [15]) mengemukakan bahwa PCE berukuran sedikit lebih besar dari NCE dan hal ini sesuai dengan hasil pengamatan yang ditampilkan pada Gambar 1A. Mikronukleus dapat teramati pada PCE, yaitu dengan terdapatnya struktur berbentuk bulat kecil yang menyerupai inti sel dengan seperenam sampai seperduapuluh dari inti utama [16] seperti yang tampak pada Gambar 1B.



Gambar 1. Morfologi Sel Eritrosit pada Sediaan Apusan Sumsum Tulang Mencit (*Mus musculus L.*) Swiss-Webster Jantan yang Didedahkan Timbal Asetat. Pewarnaan Giemsa 2,5%. Pembesaran 1000x.

Pengaruh ekstrak sayuran familia Brassicaceae yaitu keciwis, pakcoy, dan petsai terhadap trekuensi mikronukleus pada eritrosit polikromatik (MNPCE) dan persentase inhibisi pada sumsum tulang mencit (*Mus Musculus L.*) Swiss-Webster jantan yang didedahkan timbal asetat ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Frekuensi MNPCE dan Persentase Inhibisi pada Sediaan Sumsum Tulang Femur Mencit (*Mus musculus L.*) Swiss-Webster Jantan yang Didedahkan Timbal Asetat.

Perlakuan	Total Sel yang Diamati	Sel Eritrosit		Frekuensi MNPCE (X±SD)	Persentase Inhibisi (%)
		Total PCE	Total MNPCE		
KP	5000	3054	1496	0,299± 0,051 ^a	-
KN	5000	4802	171	0,034± 0,003 ^c	-
KC	5000	4636	364	0,073± 0,013 ^c	75,67
PK	5000	4444	556	0,111± 0,019 ^{bc}	62,83
PT	5000	4170	830	0,166± 0,024 ^b	44,52

Ket.: KN = CMC 0,5 %; KP = timbal asetat dosis 150 mg/kg bb; KC = ekstrak Kiciwis dosis 156 mg/kg dan timbal asetat dosis 150 mg/kg bb; PK = ekstrak Pakcoi dosis 156 mg/kg dan timbal asetat dosis 150 mg/kg bb; PT = ekstrak Petsai dosis 156 mg/kg dan timbal asetat dosis 150 mg/kg bb. Data diuji dengan ANAVA dan Uji Lanjut Jarak Berganda Duncan dengan taraf kepercayaan 95%. Huruf yang berbeda pada satu kolom menunjukkan perbedaan nyata (p<0,05).

Berdasarkan hasil perhitungan pada total 5000 sel PCE diketahui bahwa perlakuan kontrol positif (KP) yaitu timbal asetat dengan dosis total 150 mg/kg bb meningkatkan jumlah mikronukleus secara signifikan dengan rata-rata frekuensi mikronukleus yaitu sebesar 0,299±0,051 dibandingkan dengan perlakuan kontrol negatif (KN) yaitu sebesar 0,034±0,003 (p<0,05). Pada kontrol negatif terbentuknya mikronukleus dapat disebabkan oleh mutasi spontan yang secara normal dapat terjadi pada setiap individu. Mutasi spontan terjadi kemungkinan disebabkan terjadinya kesalahan selama replikasi, perbaikan atau rekombinasi DNA yang mengarah pada terjadinya substitusi, insersi atau delesi pasangan basa [17].

Frekuensi MNPCE yang tinggi pada KP menunjukkan efek mutagenik dari timbal asetat terhadap sel-sel darah di sumsum tulang mencit. Ion-ion timbal dapat diketahui berperan dalam reaksi fenton yang akan memicu terbentuknya ROS (*Reactive Oxygen Spesies*) dan menghasilkan reaksi berantai dari radikal bebas (Paton, 1973 dalam [17]). Radikal bebas seperti ion hidrogen peroksida, ion

superoksida, ion hidroksil, ion peroksil, ion alkoksil, radikal nitrogen dioksida, dan radikal peroksinitrit yang terbentuk akan menyerang DNA melalui proses oksidasi, metilasi, deaminasi dan depurinasi. Proses oksidasi, metilasi dan deaminasi menyebabkan perubahan struktur pada basa DNA, sedangkan depurinasi menyebabkan pelepasan basa purin dari untai DNA. Mekanisme ini menyebabkan patahnya untai tunggal DNA, selain itu terjadi pula kerusakan oksidatif gula dan residu basa sehingga mengakibatkan untai ganda DNA patah. Kerusakan pada DNA yang disebabkan oleh *double strand break* (DSB) dan *clustered damage* dapat mengakibatkan terjadinya patahan kromosom [19], [20], [21], [22]. Mikronukleus terbentuk dari kerusakan kromosom berbentuk fragmen asentrik yang disebabkan oleh tidak adanya kinetokhor, yang bersatu dan terbawa pada sel anak pada saat pembelahan sel (Walker *et al.*, 1996 dalam [18]).

Timbal diketahui dapat menghambat aktivitas enzim detoksifikasi fase II seperti glutathion peroksidase, katalase dan superoksidase selanjutnya menyebabkan terjadinya stress oksidatif (Bolin *et al.*, 2006 dalam Arif *et al.*). Secara normal sel dapat melawan kerusakan akibat ROS melalui sistem enzim tersebut. Timbal menghambat aktivitas enzim-enzim tersebut dan selanjutnya menyebabkan terjadinya stres oksidatif yang memberikan kontribusi terhadap penyakit yang diakibatkan oleh paparan timbal (Bolin *et al.*, 2006 dalam [23]).

Frekuensi MNPCE dari perlakuan ekstrak keciwis (KC), pakcoy (PK) dan petsai (PT) dosis total 156 mg/kg bb berturut-turut adalah $0,073 \pm 0,013$, $0,111 \pm 0,019$, dan $0,166 \pm 0,024$ yang lebih rendah daripada perlakuan kontrol positif (timbal asetat dosis total 150 mg/kg bb) sebesar $0,299 \pm 0,051$ ($p < 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian ketiga jenis ekstrak sayuran tersebut dapat menangkalkan efek mutagenik dari timbal asetat. Di antara ketiga perlakuan ekstrak tersebut, ekstrak keciwis dan pakcoy memiliki efektivitas yang sama dengan perlakuan kontrol negatif (KN) terhadap penghambatan pembentukan mikronukleus akibat diberi timbal asetat. Data mengenai persentase inhibisi menunjukkan bahwa perlakuan ekstrak keciwis, pakcoy, dan petsai dapat menghambat terbentuknya mikronukleus pada eritrosit polikromatik (PCE) akibat dipapar timbal asetat. Perlakuan ekstrak keciwis memiliki daya hambat paling tinggi terhadap pembentukan mikronukleus pada PCE dengan persentase inhibisi 75,67%.

Efek penghambatan pembentukan mikronukleus pada PCE oleh ekstrak keciwis, pakcoy, dan petsai diduga disebabkan oleh adanya senyawa antimutagenik berupa glukosinolat. Proses pemotongan dan maserasi menyebabkan senyawa glukosinolat (terutama sinigrin dan glukonasturtin) yang terkandung dalam daun sayuran didegradasi secara non-enzimatik dan enzimatik oleh enzim mirosinase sehingga menghasilkan senyawa isotiosianat, nitril, dan tirosianat [24]. Secara umum semua jenis sayuran yang termasuk ke dalam familia Brassicaceae mengandung prekursor senyawa bioaktif glukosinolat. Hasil hidrolisis dari glukosinolat pada setiap spesies berbeda beda. Pada semua spesies terdapat prekursor glukosinolat berupa *glucobrassicin* yang menghasilkan produk hidrolisis berupa *indole-3-carbinol* (I3C). Pada *Brassica oleraceae* (keciwis) terdapat prekursor glukosinolat lain berupa sinigrin yang menghasilkan produk hidrolisis berupa *phenethylisothiocyanates* (PEITC). Pada species *Brassica rapa* (pakcoy dan petsai) terdapat prekursor berupa *gluconasturtiin* yang menghasilkan *allylisothiocyanates* (AITC) sebagai produk hidrolisisnya [25]. Senyawa isotiosianat bersifat lipofilik sehingga mudah diabsorpsi oleh membran sel epitel usus secara difusi. Di dalam sel, senyawa isotiosianat akan masuk ke dalam proses metabolisme sel untuk mengaktifasi enzim detoksifikasi enzim detoksifikasi fase II yaitu *glutathione-S-transferase* (GST), *quinine reductase* (QR), dan *UDP-glucuronosyl transferase* (UGT). Enzim-enzim tersebut berfungsi untuk melindungi DNA serta makromolekul lain seperti RNA dan protein dari aktivitas ROS [26].

Glukosinolat dan produk hidrolisisnya mengatur aktivitas metabolisme xenobiotik, dalam hal ini adalah ion timbal, oleh enzim detoksifikasi fase I dan fase II. Sistem detoksifikasi pada fase I, terdiri atas kelompok enzim sitokrom P450 yang merupakan pertahanan enzimatik pertama terhadap senyawa asing. Kebanyakan obat-obatan dimetabolisme melalui biotransformasi (fase I). Pada Fase I enzim sitokrom P450 (CypP450) menggunakan oksigen dan NADH sebagai kofaktor untuk menambah gugus reaktif, seperti radikal hidroksil. Jika molekul reaktif tersebut tidak dimetabolisme oleh enzim fase II yaitu tahap konjugasi, maka aktivitas molekul tersebut menyebabkan kerusakan protein, RNA, dan DNA dalam sel. Pada fase II yaitu tahap konjugasi, enzim akan mengubah xenobiotik menjadi senyawa yang larut dalam air sehingga dapat dibuang melalui urin atau cairan empedu. Beberapa jenis reaksi konjugasi yang terdapat dalam tubuh, yaitu glukoronidasi, sulfasi, serta konjugasi glutathion dan asam amino. Reaksi-reaksi tersebut memerlukan kofaktor yang berasal dari sumber makanan sehari-hari. Peningkatan aktivitas enzim fase I atau penurunan aktivitas enzim fase II dapat memicu terjadinya kanker, lupus eritematosus sistemik, dan Parkinson [27].

Senyawa isotiosianat seperti PEITC dan Sulforafan terbukti dapat menghambat enzim fase I, yaitu sitokrom P450 1A1, 2B1/ 2,3A4 dan 2E1 secara *in vitro*. Sulforafan dapat meningkatkan enzim fase II seperti *quinone reductase* (QR) dan *glutathione-S-transferase* (GST) (25). GST yang memiliki gugus SH yang berpotensi reduktif, sehingga dapat melindungi sel dari stress oksidatif. Sulforafan dapat meregulasi fase II enzim detoksifikasi seperti QR, GST dan *Glucosyl Transferase* (GT), dan menghambat detoksifikasi fase I. Dengan adanya potensi sebagai antioksidan, sulforafan juga berperan sebagai antiinflamasi dan dapat menekan penyakit yang diakibatkan oleh proses degenerasi dan menghambat terjadinya stres oksidatif dan menghambat kerusakan DNA. Jika materi genetik di dalam terlindungi, maka terjadinya kerusakan kromosom dan terbentuknya mikronukleus dapat dicegah [28]. Dengan demikian, dengan mengonsumsi sayuran familia Brassicacea, misalnya Keciwis, Pakcoy, dan Petsai, diharapkan dapat meningkatkan sistem antioksidan tubuh sehingga akan mengurangi dampak negatif dari pendedahan polutan lingkungan, misalnya timbal yang diketahui memiliki efek mutagenik.

Kesimpulan

Ekstrak keciwis (*Brassica oleracea* var. *capitata*), pakcoy (*Brassica rapa* var. *chinensis*) dan petsai (*Brassica rapa* var. *pekinensis*) dengan dosis total 156 mg/kg bb dapat menurunkan frekuensi mikronukleus akibat pemberian timbal asetat pada mencit Swiss-Webster jantan, yang menunjukkan aktivitas antimutagenik dari ketiga jenis sayuran tersebut. Pemberian ekstrak keciwis dan pakcoy memiliki efektivitas yang sama dalam menghambat efek mutagenik akibat dipapar timbal asetat. Efek penghambatan pembentukan mikronukleus tertinggi terdapat pada perlakuan ekstrak keciwis dengan persentase inhibisi 75,67%.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Padjadjaran yang telah mendanai melalui Dana DIPA BLU Unpad dengan SK Rektor No. 1039/UN6.RKT/KP/2012 Tanggal 02 Februari 2012. Kami pun mengucapkan terima kasih kepada Kepala Lab. Penelitian Kimia, Program Studi Kimia FMIPA UNPAD karena telah membantu proses ekstraksi, serta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- [1] Naria, E. 2005. Mewaspada Dampak Bahan Pencemar Timbal (Pb) di Lingkungan Terhadap Kesehatan. *Jurnal Komunikasi Penelitian*. 17 (4): 66-72.
- [2] Reffiane, F., M.N. Arifin dan B. Santoso. 2011. Dampak Kandungan Timbal (Pb) Dalam Udara Terhadap Kecerdasan Anak Sekolah Dasar. *e-jurnal ikippgrismg*. 2 (1): 97-107.
- [3] Aly, F.A.E. 2002. Potential Mutagenic Effect of Lead Acetate in Mouse Bone Marrow and Culture Mouse Spleen Cells. [Abstract] *Cytologia*. 1 (67): 1-7.
- [4] Kasuba, V., R. Rosgaj, A. Fucic, V.M. Varnai and M. Piasek. 2004. Lead Acetate genotoxicity in suckling rats. *Biologia Bratislava*. 5916:779-785.
- [5] Poma, A., E. Pittaluga, and A. Tucci. 2003. Lead Acetate Genotoxicity on Human Melanoma Cells. *Melanoma Research*. 13(6): 563-566.
- [6] Halliwell, B. 1994. Free radicals, antioxidants, and human disease: curiosity, cause, or consequence? *The Lancet*. 344 (8924): 721-724.
- [7] Rajkokila, K., S. Shajithanoop and M.V. Usharani. 2010. Nuclear Anomalies in Exfoliated Buccal Epithelial Cells of Petrol Station Attendants in Tamilnadu, South India. *Journal of Medical Genetics and Genomics*. 2 (2): 18-22
- [8] Sharma, S., A. Nagpal, and A.P. Vig. 2012. Genoprotective potential of *Brassica juncea* (L.) Czrn. Against Mercury-induced Genotoxicity in *Allium cepa* L. *Turkish Journal of Biology*. 36: 62-69.
- [9] Subramanian, V. and S. Gowry. 2011. Antitumor Activity and Antioxidant Role of *Brassica oleracea Italica* against ehrlich ascites Carcinoma In Swiss Albino Mice. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological, and Chemical Sciences*. 2 (3): 275-281.
- [10] Ivana, R.R., T. Gliveti, K. Delonga, and J. Vorkapi. 2008. Glucosinolates and Their Potential Role in Plant. *Periodicum Biologorum*. 110 (4): 297-309.
- [11] Syarif, S., N. Ratningsih, dan S. Kristanti. 2011. Evaluasi Potensi Mutagenik Dari Polutan lingkungan Dengan Uji Aberasi Kromosom. Seminar Nasional " Keaneka-an Hayati dan Layanan Ekosistem" Universitas Padjadjaran, 20 September 2011.
- [12] Schmid, W. 1975. The Micronucleus Test. *Mutation Research*. 31 (1): 9-15.
- [13] Vilar, J.B., K.R. Leite, and L. Chen. 2009. Antimutagenicity Protection of *Ginkgo biloba* Extract (Egb 761) Againsts Mitomycin C and Cyclophosphamide in Mouse Bone Marrow. *Genetics and Molecular Research*. 8 (1): 328-333.
- [14] Sudjana. 2012. Desain dan Analisis Eksperimen. Tarsito. Bandung. Hal 1-53.
- [15] Hakam, J. 2012. Uji Potensi Antikanker Ekstrak Kasar *Holothuria atra* Jaeger Menggunakan Uji Mikronukleus dari Sumsum Tulang Mencit *Mus musculus* L. Jantan Galur DDY. [Skripsi]. Fakultas Matematika dan Pengetahuan Alam, Departemen Biologi, Universitas Indonesia.
- [16] Heddle, J. A., M. Hite, B. Kirkhart, K. Mavournin, J.T. MacGregor, G.W. Nevel and M.F. Salamone. 1983. The induction of micronuclei as a measure of genotoxicity, A report of the US Environmental Protection Agency Gene-Tox Program. *Mutation Research*. 123: 61-118.
- [17] Campbell, N.A., J.B. Reece and L.G. Mitchell. 2002. *Biology* Jilid I. Penerjemah R. Lestari, E. I.M. Adil, N. Anita, W. F. Wibowo, dan W. Manalu. Erlangga. Jakarta. Hal 333-335.
- [18] Hanan, A.A and M.R. Riham. 2012. Effects of Lead Toxicity on Clastogenicity, Biochemical Constituents and Tissue Residue with Protective Role of Activated Charcoal and Casein in Male Rats. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 6 (7): 497-509.
- [19] Fracasso, M.E., L. Perbelini, S. Saldo; G. Talamini and P. Franceschetti. 2002. Lead Induced DNA Strand breaks in lymphocytes of exposed worker: role of reactive oxygen species and protein kinase C. *Mutation Research* (515): 159-169.

- [20] Acharya, U.R., Acharya, S., and Mishra, M. 2003. Lead Acetate Induced Cytotoxicity In Male Germinal Cells of Swiss Mice. *Industrial Health*. 41:291-294.
- [21] Poma, A. Pittaluga E; Tucci.A. 2003. Lead Acetate Genotoxicity on Human Melanoma Cells. *Melanoma Research*. 13(6): 563-566.
- [22] Rao, B.S.S.; R. Shanboge; D.Upadhyay; GC Jagetia; S.K. Adiga; P.Kumar; K. Guruprasad and P. Gayathri, 2006. Antioxidant, anticlastogenic and radioprotective effect of *Coleus aromaticus* on Chinese hamster fibroblast cells (V79) exposed to gamma radiation. *Mutagenesis* 21(4):237-242.
- [23] Arif, M.; Y. Kabir; F. Hassan; T. M. Z Waise; Md. E. H. Mazumder and S. Rahman. 2008. Increased DNA damage in blood cells of rat treated with lead as assessed by comet assay. *Bangladesh J. Pharmacol* (3):97-101.
- [24] Jongen,W.M.F. 1996. Glucosinolates in Brassica: Occurrence and Significance as Cancer-modulating agents. *Proceeding of the Nutrition Society* (55):433-446.
- [25] Keck, A.S., and J.W. Finley. 2004. Cruciferous Vegetables: Cancer Protective Mechanism of Glucosinolate Hydrolysis Products and Selenium. *Integrative Cancer Therapies*. 3 (1): 5-12.
- [26] Talalay, P. and J.W. Fahey.2001. Phytochemicals from Cruciferous Plants Protect against Cancer by Modulating Carcinogen Metabolism. *The Journal of Nutrition* (131): 3027-3033
- [27] Liska, D.J. 1998. The Detoxification Enzyme Systems. *Alternative Medicine Review*. 3 (3) : 187 – 198.
- [28] Jeffery E.H., Araya M. 2009. Physiological Effects of Broccoli Consumption. *Phytochemistry Review*. 8 (1): 283-298.

Potensi Jamur Entomopatogen *Beauveria bassiana* Bals. dan Insektisida Nabati Mimba (*Azadirachta indica*) dalam Pengendalian Hama Kakao *Helopeltis antonii* Signoret. (Hemiptera: Miridae) yang Ramah Lingkungan

Melanie¹⁾, Hikmat Kasmara¹⁾, Lisnawati²⁾, Mahrita Willis¹⁾

¹Program Studi Biologi FMIPA UNPAD

¹BALITRO

Abstrak

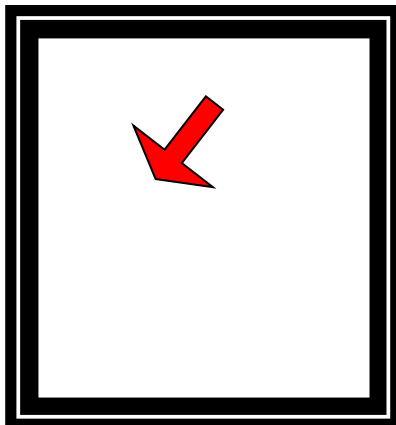
Penggunaan insektisida kimia saat ini menimbulkan masalah resistensi hama dan residu kimia di produk tanaman maupun lahan budidaya yang mengurangi nilai saing komoditas di pasaran dan berdampak bagi lingkungan. Pengendalian hayati melalui pemanfaatan entomopatogen salah satunya yang marak dikembangkan dalam meminimalisasi terjadinya resistensi hama serangga. Pemanfaatannya dapat dikombinasikan dengan penggunaan insektisida nabati yang mudah terurai dan tanpa residu namun dapat mengefektifkan pengendalian populasi hama. *Beauveria bassiana* Bals. merupakan jamur entomopatogen yang diketahui berpotensi mengendalikan berbagai serangga hama dan perkebunan salah satunya *Helopeltis antonii* Signoret hama penghisap buah pada tanaman kakao, pada penelitian diaplikasikan bersama dengan insektisida nabati Mimba bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan pada waktu yang berbeda terhadap mortalitas *H. Antonii*. Penelitian dilakukan di rumah kaca dengan metode eksperimental menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 7 perlakuan dan 4 kali ulangan. Aplikasi menggunakan metode semprot pakan (*poliar spray*). Hasil penelitian pada perlakuan strain jamur *B.bassiana* (ED6, ED7, dan Bb Lundi) dan insektisida nabati mimba memiliki pengaruh yang sama terhadap mortalitas *H. Antonii*. Pada perlakuan yang dikombinasikan, kedua perlakuan tersebut memiliki pengaruh yang berbeda terhadap mortalitas *H. Antonii*. Perlakuan campuran insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* ED6 pengaruhnya tinggi sebesar 90% dan perlakuan insektisida mimba dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda pengaruhnya rendah sebesar 35%.

Kata kunci : *Beauveri bassiana*, *Helopeltis antonii* , insektisida nabati mimba, mortalitas

Pendahuluan

Kakao (*Theobromae cacao* L.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan cukup penting sebagai sumber pendapatan dan devisa negara [1]. Perkembangan agribisnis kakao, masih menghadapi berbagai masalah. Hal ini terlihat dari rendahnya produktivitas yaitu sebesar 700 kg/ha/tahun. Salah satu penyebabnya adalah karena serangan hama penghisap buah kakao (*Helopeltis antonii* Signoret). *Helopeltis antonii* (Hemiptera: Miridae) merupakan salah satu kendala utama pada budidaya kakao di Indonesia [2]. *Helopeltis antonii* juga dapat menyerang

tanaman teh dan jambu mete. Serangan hama ini dapat menurunkan produksi buah 50-60 % [3]. Gejala serangan ditandai adanya bercak hitam pada buah (Gambar.1).



Gambar 1. *Helopeltis antonii* Signoret hama penghisap buah kakao

Secara umum pengendalian hama yang dilakukan petani menggunakan insektisida sintetik secara terus menerus, tentu akan menimbulkan masalah, diantaranya terbunuhnya musuh alami, terjadinya resurgensi, peledakan hama sekunder dan pencemaran lingkungan [4]. Pengendalian hama yang berkelanjutan meliputi konsep berbagai pengendalian yang kompatibel dengan tujuan memaksimalkan produktivitas tetapi dengan dampak negatif terhadap lingkungan sekecil-kecilnya. Strategi ini diantaranya dengan mengaplikasi pengendalian hayati dan penggunaan insektisida nabati berbahan dasar metabolit sekunder tumbuhan. Pengendalian hayati memanfaatkan penggunaan musuh alami diantaranya nematoda, protozoa, jamur, bakteri, dan virus mikoplasma yang bersifat entomopatogen terhadap serangga hama. *Beauveria bassiana* Basl adalah patogen dari jenis jamur, berwarna putih menyerupai kapur sehingga disebut “*White Muscardine Disease*” (Steinhaus, 1973). *B. bassiana* memiliki jenis inang terbanyak di antara jamur entomopatogen lain. Inangnya terutama adalah serangga dari ordo Lepidoptera, Coleoptera, Hemiptera, Diptera dan Hymenoptera [5]. Strain atau isolat berasal dari berbagai spesies serangga hama yang merupakan inang spesifiknya, Jenis strain *B. bassiana* yang telah berhasil di kultur oleh Balitro digunakan dalam penelitian diantaranya adalah ED6, ED3, ED2, ED9.

Insektisida nabati adalah salah satu jenis pestisida yang potensial digunakan dalam mengendalikan hama diperoleh dari ekstrak tanaman berfungsi sebagai senyawa pembunuh, penolak, pengikat dan penghambat pertumbuhan. Tanaman mimba (*Azadirachta indica* A. Juss) dari familia Meliaceae adalah tumbuhan yang dapat digunakan sebagai pestisida nabati karena mengandung beberapa komponen aktif antara lain azadirachtin, salannin, azadiradion, salannol, gedunin, nimbinen dan deacetyl nimbinen. Biji mimba memiliki kandungan bahan aktif pestisida lebih banyak dibandingkan dengan daunnya.

Pendekatan tunggal dalam pengendalian hama tidak selalu dapat memberikan hasil yang memuaskan. Oleh karena itu perlu dikembangkan sarana lain yang dapat digunakan secara serasi dengan jamur tersebut. Salah satu sarana yang dilakukan adalah mengkombinasikan jamur dan insektisida nabati. Berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pemberian beberapa strain jamur *B. bassiana* (ED6, ED7, BB lundi), insektisida nabati mimba, pemberian strain jamur ED6 yang dicampur dengan insektisida nabati mimba serta pemberian strain jamur BB lundi dan insektisida nabati mimba dengan interval waktu terhadap mortalitas *H. antonii*.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk melakukan uji hayati kompatibilitas atau kesesuaian antara penggunaan *B. bassiana* (ED6, ED7, BB lundi) dengan insektisida nabati mimba. Adapun tujuannya adalah untuk mengetahui perlakuan yang efektif terhadap mortalitas *H. antonii*.

Bahan dan Metode

Bahan yang digunakan adalah *Helopeltis antonii* Signoret. nimfa instar 4, tanaman kakao, tiga strain jamur entomopatogen *Beauveria bassiana* Bals. terdiri dari ED6, ED7, BB lundi dan insektisida nabati mimba, tween 20 0,2 ml, adapun bahan untuk kultur hewan uji dalam penelitian ini adalah air, buah mentimun. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, *handsprayer*, gelas ukur, kain kassa, karet, kuas, sungkup, label, *micro pipet*, toples \varnothing 16 cm, tinggi 16,3 cm, cawan petri, mikroskop, kaca penutup, objek glass, haemositometer, kompor, panci, wadah besar, jarum ose, bunsen, *autoclave*, *laminar bench*.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dengan uji hayati. Rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL), dengan faktor tunggal dengan 7 taraf yaitu perlakuan strain jamur *B. bassiana* ED6, ED7, Bb lundi, insektisida nabati mimba, perlakuan campuran insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* ED6, perlakuan insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda (penyemprotan dengan insektisida nabati mimba dilakukan pada pagi hari pkl 07.00 dan penyemprotan dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi dilakukan sore hari pkl 15.00) dan kontrol, masing-masing dengan 4 kali ulangan. Aplikasi dilakukan dengan metode *poliar spray* (semprot pakan) gambar.2. Parameter yang diamati adalah mortalitas *H. antonii*. Analisis data dilakukan dengan uji ANAVA dengan taraf kepercayaan 95% ($p < 0,05$). Apabila terdapat perbedaan nyata dilanjutkan dengan menggunakan uji Jarak Berganda Duncan dengan taraf 5%.



Hasil dan Pembahasan

A. Mortalitas *Helopeltis antonii* Signoret yang Diberi Perlakuan Strain Jamur *Beauveria bassiana* Bals. (ED6, ED7, Bb lundi) dan Insektisida Nabati Mimba

Perlakuan terhadap aplikasi jamur *B. bassiana* yang terdiri dari 3 strain yaitu ED6, ED7 dan Bb lundi, yang diinfeksi pada serangga *H. antonii* dengan waktu uji selama 10 hari. Diketahui persentase mortalitas yang diberi perlakuan strain jamur *B. bassiana* ED6 (77,5%), ED7 (77,5%) dan Bb lundi (70%). Adapun hasil mortalitas *H. antonii* terhadap aplikasi insektisida nabati mimba 10ml/L dengan waktu uji selama 10 hari. Diketahui persentase mortalitas sebesar 100%. Hasil uji ANAVA menunjukkan bahwa faktor perlakuan strain jamur *B. bassiana* dan insektisida nabati mimba yang diaplikasikan pada tanaman kakao berpengaruh terhadap mortalitas *H. antonii* ($p < 0,05$).

Selanjutnya untuk mengetahui kelompok perlakuan yang menunjukkan pengaruh paling kuat dilakukan uji Jarak Berganda Duncan dapat dilihat pada Tabel 1

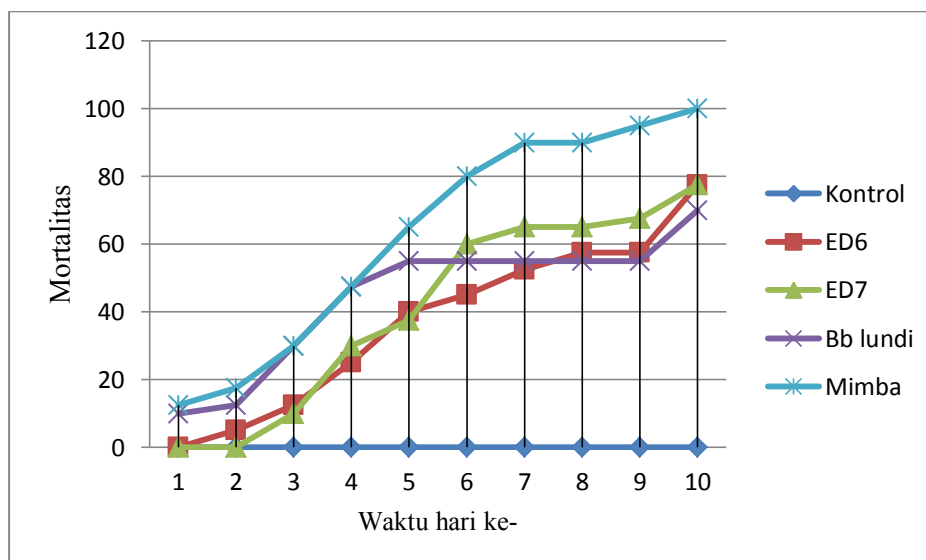
Tabel 1. Persentase Rata-rata Terhadap Mortalitas *H. antonii* yang Diberi Perlakuan dengan Strain Jamur *B. bassiana* dan Insektisida Nabati Mimba.

Perlakuan	Rataan Mortalitas (%)
Kontrol	0 a
Strain jamur Bb lundi	70 b
Strain jamur ED6	77,5 b
Strain ED7	77,5 b
Mimba 10 ml/L	100 b

Keterangan: Huruf yang sama dalam tiap kolom tidak berbeda nyata pada taraf 5% dalam uji Duncan.

Perlakuan yang menggunakan 3 strain jamur *B. bassiana* ED6 (77,5%), ED7 (77,5%), Bb lundi (70%) dan insektisida nabati mimba tidak berbeda nyata atau sama kuatnya, namun berbeda nyata dengan perlakuan kontrol (0%). Dengan demikian perlakuan baik dengan menggunakan strain jamur *B. bassiana* ataupun insektisida nabati mimba memiliki kemampuan yang sama dalam mengakibatkan mortalitas terhadap *H. antonii*.

Selanjutnya pengaruh perlakuan strain jamur *B. bassiana* dan insektisida nabati mimba mengalami pengaruh yang berbeda terhadap waktu kematian *H. antonii* dapat dilihat pada Gambar .3



Gambar 3. Grafik Mortalitas *Helopeltis antonii* Signoret yang Diberi Perlakuan dengan Strain Jamur *B. bassiana* dan Insektisida Nabati mimba

Berdasarkan gambar.3 perlakuan yang menggunakan insektisida nabati mimba pada hari ke-1 sudah mengalami kematian dan menunjukkan peningkatan lebih tinggi pada hari selanjutnya. Perlakuan dengan menggunakan strain jamur *B. bassiana* baik ED6, ED7 dan Bb lundi mengalami kematian serangga *H. antonii* rata-rata pada hari ke-2 dan ke-3. Dengan demikian, perlakuan menggunakan insektisida nabati mimba menunjukkan mortalitas lebih cepat dibandingkan dengan

perlakuan dengan strain jamur *B. bassiana*. Hal ini disebabkan azadirachtin masuk ke dalam tubuh serangga bersamaan dengan makanan melalui mulut ataupun melalui kontak fisik, kemudian menyebar ke seluruh jaringan tubuh serangga. Pada penelitian ini azadirachtin mempunyai potensi toksisitas akut terhadap serangga, karena ekstrak dapat mematikan serangga dengan dosis tunggal dalam waktu kurang dari 24 jam. Mekanisme kematian serangga diperkirakan berhubungan dengan fungsi senyawa alkaloid dan flavonoid yang dapat menghambat daya makan serangga uji

Cara kerja senyawa-senyawa tersebut adalah dengan bertindak sebagai racun perut (*stomach poisoning*). Oleh karena itu, bila senyawa ini masuk ke dalam tubuh serangga akan mengganggu alat pencernaan dan menghambat reseptor perasa pada daerah mulut serangga. Ekstrak mimba yang masuk ke tubuh serangga juga bisa masuk ke organ pencernaan kemudian terserap dinding usus dan mengalir bersama darah yang akan mengganggu metabolisme. Metabolisme yang terganggu dapat menyebabkan serangga kekurangan energi untuk hidupnya [6].

Pada perlakuan dengan menggunakan strain jamur *B. bassiana* terhadap serangga *H. antonii* menunjukkan mortalitas lebih lambat. Hal ini disebabkan karena, infeksi *B. bassiana* pada serangga *H. antonii* melalui integumen membutuhkan rentang waktu hingga berhasil menginfeksi serangga sehingga akan merusak sistem pertahanan tubuh serangga. Lama waktu yang dibutuhkan isolat jamur entomopatogen mulai dari infeksi jamur hingga serangga mati dapat berkisar 1-10 hari pada kondisi lingkungan yang sesuai [7]. Lamanya waktu kematian hama akibat infeksi jamur entomopatogen disebabkan karena jamur membutuhkan proses dan tahapan-tahapan untuk menginfeksi dan mematikan serangga, yaitu inokulasi (kontak antara propagul cendawan dengan tubuh serangga), penempelan dan perkecambahannya, penetrasi, destruksi dan kolonisasi, menginfeksi saluran makanan dan sistem pernafasan baru kemudian serangga akan mati.

Aplikasi dengan menggunakan jamur *B. bassiana* dengan strain yang berbeda menunjukkan mortalitas yang berbeda pula, namun tidak terlalu jauh. Perlakuan dengan menggunakan strain jamur *B. bassiana* ED6 mengalami kematian pada hari kedua, sedangkan pada strain jamur *B. bassiana* ED7 kematian muncul pada hari ketiga. Namun, untuk strain jamur *B. bassiana* Bb lundi sudah terlihat kematian di hari pertama. Hal ini bisa disebabkan karena kemampuan virulensi spora dalam menginfeksi serangga *H. antonii* sangat tinggi. Faktor lain bisa disebabkan oleh kerapatan spora *B. bassiana*. Sebelumnya telah dihitung kerapatan spora pada masing-masing strain jamur yaitu ED6 ($4,176 \times 10^8$ spora.ml⁻¹), ED7 ($3,146 \times 10^8$ spora.ml⁻¹) dan Bb lundi ($1,752 \times 10^8$ spora.ml⁻¹). Kerapatan spora yang paling tinggi adalah strain ED6. Dunn dan Mechals [8], menyatakan bahwa semakin tinggi kerapatan spora semakin tinggi pula kematian serangga uji. Banyaknya spora yang menempel pada tubuh serangga makin besar peluang spora tersebut untuk tumbuh dan berkembang pada serangga sasaran yang selanjutnya dapat mematikan serangga [9].

B. Mortalitas *H. antonii* yang Diberi Perlakuan oleh Campuran Mimba dengan Strain Jamur *B. bassiana* ED6 dan Mimba dengan Strain Jamur *B. bassiana* Bb lundi yang Diaplikasi Bersama dengan Waktu yang Berbeda

Uji mortalitas antara strain jamur *B. bassiana* dan insektisida nabati mimba yang dikombinasikan terdiri 2 perlakuan. Perlakuan yang pertama adalah campuran insektisida nabati mimba 10ml/L dengan strain jamur *B. bassiana* ED6 dengan waktu uji selama 10 hari. Diketahui persentase mortalitas sebesar 90%. Perlakuan yang kedua adalah perlakuan yang diaplikasi secara bersama dengan waktu yang berbeda antara insektisida nabati mimba 10 ml/L dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi (penyemprotan insektisida nabati mimba pukul 07.00 dan strain jamur *B. bassiana*

Bb lundi pukul 15.00) dengan waktu uji selama 10 hari. Diketahui persentase mortalitas yang dihasilkan adalah sebesar 35%.

Hasil uji ANAVA untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan nyata mortalitas *H. antonii* antara perlakuan campuran insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* ED6 dan insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu berbeda. menunjukkan bahwa faktor perlakuan campuran insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 serta perlakuan insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda berpengaruh terhadap mortalitas *H. antonii*. Hasil tersebut diperoleh F hitung > F tabel. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemberian perlakuan strain jamur *B. bassiana* dan insektisida nabati mimba baik yang dicampur ataupun tidak, menunjukkan perbedaan yang nyata ($p < 0,05$). Selanjutnya untuk mengetahui kelompok perlakuan yang menunjukkan pengaruh paling kuat dilakukan Uji Jarak Berganda Duncan dapat dilihat pada

Tabel. 2 Persentase Rata-rata Terhadap Mortalitas *H. antonii* yang Diberi Perlakuan Campuran Mimba dan Strain Jamur ED6 serta Perlakuan Mimba dan Bb lundi yang Diaplikasi Bersama dengan Waktu yang Berbeda

Perlakuan	Rataan Mortalitas (%)
Kontrol	0 a
Aplikasi Campuran mimba dan ED6	90 c
Aplikasi bersama dengan waktu berbeda mimba dan Bb lundi	35 b

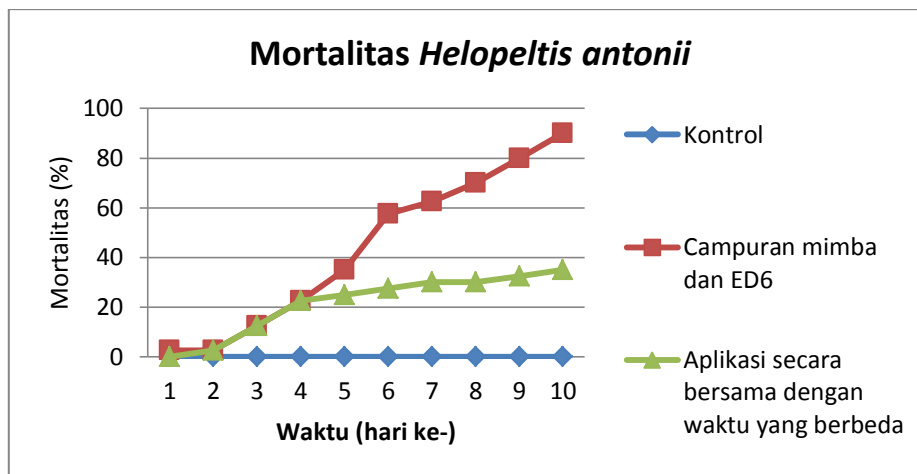
Keterangan : Huruf yang sama dalam tiap kolom berbeda nyata pada taraf 5% dalam uji *Duncan*

Berdasarkan hasil yang diperoleh ketiga perlakuan tersebut masing-masing menunjukkan perbedaan terhadap mortalitas *H. antonii*. Perlakuan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 berbeda nyata dengan perlakuan insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu berbeda. Perlakuan kontrol berbeda nyata dengan perlakuan campuran dan perlakuan yang diaplikasi secara bersama dengan waktu yang berbeda.

Perlakuan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 pengaruhnya lebih kuat terhadap mortalitas *H. antonii* yaitu sebesar 90%, sedangkan untuk perlakuan yang diaplikasi secara bersama dengan waktu yang berbeda pengaruhnya lemah terhadap mortalitas *H. antonii* yaitu sebesar 35%. Dengan demikian, untuk perlakuan campuran lebih baik dibandingkan dengan perlakuan aplikasi bersama dengan waktu yang berbeda. Sebelumnya telah dilakukan uji pendahuluan antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* dengan cara dicampur pada PDA (media agar). Berdasarkan hasil uji pendahuluan menunjukkan bahwa jamur *B. bassiana* yang dicampur dengan insektisida nabati mimba pertumbuhannya tidak terhambat. Semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka diameter koloni jamur mengalami penambahan. Maka perlakuan yang di campur tersebut dikatakan sinergis dan bisa digunakan untuk perlakuan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* terhadap mortalitas hama serangga *H. antonii*.

Hasil uji pencampuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* diatas menunjukkan bahwa keberadaan kandungan bioaktif yang ada dalam insektisida nabati mimba dapat ditolerir oleh *B. bassiana*. Dimana pada konsentrasi 3% yang digunakan sebagai konsentrasi tertinggi

tidak menunjukkan penghambatan yang signifikan sehingga pertumbuhan jamur tidak terhambat atau bisa juga disebabkan mimba berperan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan jamur *B. bassiana*. Perlakuan insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* baik yang dicampur dan tidak dicampur mengalami pengaruh yang berbeda terhadap waktu kematian *H. antonii* dapat dilihat pada Gambar .4



Gambar. 4 Grafik Mortalitas *Helopeltis antonii* Signoret. Terhadap Aplikasi Campuran Mimba dan Strain Jamur *B. bassiana* ED6 serta Mimba dan Strain Jamur *B. bassiana* Bb lundi yang Diaplikasi Bersama dengan Waktu yang Berbeda.

Berdasarkan gambar.4, perlakuan yang menggunakan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6, pada hari ke-1 sudah muncul kematian dan terjadi peningkatan kematian pada hari selanjutnya. Perlakuan insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda, waktu kematian terjadi pada hari ke-2 dan tidak menunjukkan peningkatan kematian pada hari berikutnya. Hal tersebut menunjukkan bahwa mortalitas dengan menggunakan campuran insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 lebih baik dibandingkan dengan perlakuan insektisida nabati mimba dengan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda, ini disebabkan karena pada perlakuan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 terjadinya interaksi langsung diantara keduanya. Insektisida nabati mimba akan langsung terpapar dan jamur akan langsung terstimulir sehingga menyebabkan virulensi jamur tinggi. Maka campuran insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 bersifat sinergis.

Perlakuan insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda mortalitasnya rendah. Hal ini terjadi karena insektisida nabati mimba yang diberikan pertama kali kemudian disusul oleh strain jamur *B. bassiana* Bb lundi tidak terjadinya interaksi langsung, sehingga jamur tidak dapat menstimulir dan menyebabkan virulensi jamur lemah karena adanya rentang waktu dalam penyemprotan. Dengan demikian, insektisida nabati mimba terhadap jamur yang diaplikasikan dengan waktu yang berbeda bersifat lemah dan berdampak terhadap mortalitas *H. antonii* yang rendah. Penggunaan strain jamur *B. bassiana* ED6 dan Bb lundi menyebabkan mortalitas yang berbeda. Strain jamur *B. bassiana* ED6 memiliki kemampuan virulensi yang lebih tinggi dalam menginfeksi serangga hama yaitu selama 2-3hari, sedangkan perlakuan yang menggunakan strain jamur *B. bassiana* Bb lundi tingkat virulensinya lemah dalam menginfeksi serangga yaitu selama 7 hari [10].

Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada masing-masing perlakuan terdapat serangga *H. antonii* yang tidak mengalami kematian. Pada perlakuan pemberian strain jamur *B. bassiana* dan perlakuan campuran antara insektisida nabati mimba dan strain jamur *B. bassiana* ED6 menghasilkan mortalitas lebih dari 50% maka terdapat serangga *H. antonii* yang mampu bertahan mencapai imago. Pada perlakuan dengan menggunakan insektisida nabati mimba serangga *H. antonii* mengalami mortalitas 100%, sehingga tidak terdapat serangga yang bertahan mencapai fase imago. Perlakuan mimba dan Bb lundi yang diaplikasi bersama dengan waktu yang berbeda, hasil mortalitas kurang dari 50%, sehingga serangga *H. antonii* mampu bertahan mencapai fase imago hanya sedikit.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, perlakuan dengan menggunakan insektisida nabati ataupun strain jamur baik yang diaplikasi secara *single* ataupun kombinasi memiliki pengaruh yang tidak sama dilihat dari hasil mortalitas serangga *H. antonii*. Perbedaan tersebut disebabkan karena masing-masing perlakuan mempunyai kemampuan yang berbeda. Penggunaan insektisida nabati dan agensia hayati diharapkan, mampu memberikan dampak positif terhadap pengendalian serangga hama tanaman dan keselamatan lingkungan. Oleh karena itu, teknologi ini perlu dilakukan dalam skala lapangan sebagai pengendali serangga hama yang ramah lingkungan.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini terselenggara melalui peran teknis dan bimbingan ibu Mahrita Willis selaku staf peneliti dari Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat (Balitro), bertempat di Laboratorium Kelti Hama dan Penyakit serta rumah kaca milik Balitro di Jl. Tentara Pelajar No. 3 Cimanggu, Bogor 16111, untuk dukungan sarannya kami selaku tim peneliti menghaturkan terimakasih sebesar-besarnya.

Referensi

- [1] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2007. Peningkatan Mutu Kakao Nasional Menjadi Salah Satu Fokus Kegiatan Gernas Kakao. Ditjenbun, Jakarta.
- [2] Borrer, D.J., C.A.Tripelchoran & N.F.Johnson. 1992. Pengenalan Pelajaran Serangga. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [3] Atmadja, W.R. 2003. Status *Helopeltis antonii* sebagai hama pada tanaman perkebunan dan pengendaliannya. Jurnal Litbang Pertanian 22(2): 67.
- [4] Rauf, A.W., T. Syamsuddin, S. R. Sihombing. 2000. Peranan Pupuk NPK pada Tanaman Padi. Loka Pengkajian Teknologi Pertanian No. 01/LPTP/IRJA/99-00. Hal. 1-9.
- [5] Tanada, Y. and H.K. Kaya. 1993. Insect Pathology. Academic Press, San Diego, CA.
- [6] Ropiqa M, 2010. Uji Ketoksikan Ekstrak Etanol Daun Ekor Kucing (*Acalypha hirsuta*) Terhadap Larva *Artemia salina leach*. Skripsi. Tidak dipublikasikan.
- [7] Herlinda, S., E.M. Sari, Y. Pujiastuti, Suwandi, E. Nurnawati & A. Riyanta. 2005. Variasi virulensi strain-strain *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. terhadap larva *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). *Agritrop* 24:52-57.
- [8] Dunn, D.H. and B.J. Mechalas 1963. The Potential of *Beauveria Bassiana* (Balsamo) Vuillemin as Microbial Insecticide. *Journal of Insect Pathology*, 5 ; 451-459.
- [9] Feron, P. 1981. Pest Control by the fungi *Beauveria* and *Metharizium*. In H.D. Burges.(Ed), *Microbial Control of pest and plantdiseases*. New York, Academic Press. 465–482.
- [10] Atmadja, W. R., T.E. Wahyono dan N. Tarigan. 2009. Efektivitas patogen serangga sebagai agensia hayati untuk mengendalikan *Maenas maculifascia* pada tanaman Ylang ylang (*Canangium odoratum*). *Bul. Littro*. Vol. 20 No. 1, 2009, 68 – 76. 57-63.

Keanekaragaman Flora Dan Fauna Di Pulau Biawak Indramayu Jawa Barat

Nurullia Fitriani^{1, a)} dan Budi Irawan^{2, b)}

^{1,2} Program Studi Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran

^{a)} penulis yang berkorespondensi : kanoefit_88@yahoo.com

^{b)} budi_irawan@unpad.ac.id

Abstrak

Pulau Biawak merupakan pulau yang berada di sebelah utara Indramayu. Pulau ini mulai dikembangkan oleh pemerintah daerah sebagai tujuan wisata bahari karena memiliki potensi keindahan alam yang eksotik. Penelitian ini merupakan penelitian dasar untuk mengetahui keanekaragaman flora dan fauna di Pulau Biawak. Penelitian dilakukan dengan metode survey dengan cara menjelajahi Pulau biawak. Daerah yang dijelajahi terdiri dari daerah pesisir pantai dengan kedalaman 0.5 – 5 meter, hutan magrove dengan luas yang diamati 100 meter ke arah dalam garis pantai, dan daerah di sekitar area penginapan Pulau Biawak. Terdapat 5 species tumbuhan mangrove, 10 species flora yang menjadi ciri khas wilayah pesisir dan 7 species tanaman budidaya yang ditanam di sekitar penginapan Pulau Biawak, 1 species tumbuhan lamun dan 6 species makroalga. Selain biawak (*Varanus salvator*), ditemukan juga 6 species burung serta 15 genus ikan. Invertebrata yang ditemukan terdiri dari beberapa species dari gastropoda, bivalvia, echinodermata, maxillopoda dan beberapa terumbu karang. Dari hasil penelitian ini, dapat dikatakan bahwa Pulau Biawak merupakan daerah yang memiliki potensi keanekaragaman biologi dan dapat dikembangkan sebagai daerah ekowisata dengan pengelolaan yang terpadu dan berkelanjutan.

Kata kunci : keanekaragaman, flora, fauna, species

Pendahuluan

Kepulauan Biawak adalah sebuah pulau yang terletak di sebelah utara semenanjung Indramayu dan secara administratif termasuk ke dalam Kabupaten Indramayu. Kepulauan Biawak terdiri atas Pulau Biawak, Pulau Cendekian dan Pulau Gosong. Dari ketiga pulau tersebut, Pulau Biawak merupakan satu-satunya pulau yang berpenghuni dan telah dijadikan daerah tujuan wisata oleh pemerintah daerah Kabupaten Indramayu.

Pulau Biawak dan sekitarnya pada tahun 2004 ditetapkan sebagai Kawasan Konservasi dan Wisata Laut. Penetapan ini didasari oleh keberadaan beberapa ekosistem penyusun pulau yaitu hutan mangrove, hutan dataran rendah (pantai), terumbu karang dan padang lamun. Keunikan ekosistem di Pulau Biawak menyebabkan pulau tersebut memiliki daya tarik wisatawan yang jumlahnya semakin meningkat setiap tahunnya. Peningkatan jumlah wisatawan ke Pulau Biawak berpotensi dapat mengganggu keberadaan flora dan fauna di wilayah tersebut sehingga pengelolaan ekowisata berkelanjutan menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini dapat dijadikan langkah awal dalam memonitoring keberadaan flora dan fauna di Pulau Biawak dan menjadi acuan pengelolaan pariwisata yang akan dikembangkan oleh Pemerintah Kabupaten Indramayu.

Teori

Keanekaragaman flora dan fauna erat kaitannya dengan istilah keanekaragaman hayati (biodiversitas) yaitu keanekaragaman organisme yang menunjukkan keseluruhan atau totalitas variasi gen, jenis, dan ekosistem pada suatu daerah. Keanekaragaman hayati menyatakan keragaman dan kekayaan species serta menjadi indikator dalam ukuran kesehatan ekosistem. Keanekaragaman hayati di setiap wilayah berbeda tergantung dari iklim, ketinggian, geografi tanah dan kehadiran species lainnya.

Penelitian mengenai flora dan fauna di Pulau Biawak dilakukan pada bulan Agustus 2014. Penelitian dilakukan dengan metode survey dengan cara menjelajahi pulau bagian luar terdiri dari pantai dengan kedalaman 0,5 – 5 meter, hutan pantai di sekitar tempat penginapan Pulau Biawak dan hutan mangrove berjarak 100 m dari tepi pantai. Peta wilayah survey disajikan pada lampiran 1.

Flora dan fauna yang diamati adalah tumbuhan dan hewan yang berada di jalur penjelajahan. Tumbuhan yang ditemukan diidentifikasi atau dibuat herbarium untuk diidentifikasi lebih lanjut di laboratorium. Hewan yang diamati terdiri dari species burung, ikan dan beberapa invertebrata (gastropoda, bivalvia, echinodermata, maxillopoda dan beberapa terumbu karang). Hewan yang belum diidentifikasi akan dikoleksi untuk diidentifikasi lanjut di laboratorium. Pengamatan burung hanya dilakukan sehari 2 kali yaitu antara pukul 05.30 – 08.00 dan antara pukul 16.00 – 18.00 di wilayah sekitar penginapan dan hutan mangrove bagian luar pulau. Koleksi ikan dilakukan dengan cara memancing ikan di wilayah hutan mangrove dan pantai serta pengamatan langsung pada wilayah terumbu karang dengan kedalaman 1 – 5 meter di sekitar pulau. Sedangkan untuk pengamatan invertebrata dilakukan dengan cara penjelajahan pada daerah pantai dengan kedalaman 0,5 – 5 m. Setiap invertebrata yang ditemukan akan diidentifikasi dan dikoleksi.

Hasil dan Diskusi

Keanekaragaman ekosistem yang ditemukan di Pulau Biawak terdiri dari kawasan binaan (daerah sekitar penginapan Pulau Biawak), pantai yang terdiri dari ekosistem terumbu karang dan padang lamun, hutan pantai dan hutan mangrove. Keseluruhan ekosistem tersebut dihuni oleh berbagai species flora dan fauna. Salah satu yang menjadi daya tarik pulau ini adalah ditemukannya species biawak (*Varanus salvator*) yang merupakan species endemik dan berdasarkan data IUCN termasuk hewan yang tidak dilindungi (*least concern*).



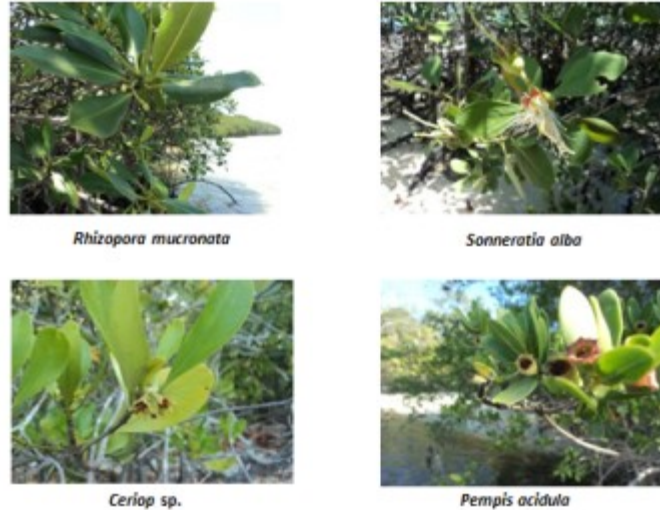
Gambar 1. Biawak (*Varanus salvator*)

KEANEKARAGAMAN FLORA

Keanekaragaman Tumbuhan Tinggi

Tumbuhan yang ditemukan di Pulau Biawak sangat bervariasi, yang paling dominan ditemukan di sepanjang pantai adalah tumbuhan mangrove yang terdiri dari *Rhizophora mucronata*, *Sonneratia alba*, *Pempis acidula*, *Bruguiera* sp. dan *Ceriop* sp. Jenis tumbuhan lain yang ditemukan dan menjadi ciri khas tumbuhan dataran rendah adalah *Terminalia cattapa* (ketapang), *Casuarina* sp. (cemara

laut), *Hibiscus tiliaceus* (waru laut), dan *Thepesia populnea* (kemiri laut), *Pandanus tectorius* (pandan laut), *Schleichera oleosa* (kusum), *Morinda citrifolia* (buah noni), *Vitex* sp., *Sarcobolus glabosus*, dan *Cayratia trifolia*. Beberapa tanaman merupakan tanaman introduksi yang dibawa ke pulau biawak untuk dibudidayakan yaitu *Annona muricata* (sirsak), *Syzygium aqueum* (jambu air), *Psidium guajava* (jambu batu), *Mangifera indica* (mangga), *Leucana leucocephala* (lamtoro), *Senna siamea* (johar), dan *Carica papaya* (pepaya). Tanaman introduksi ini hanya ditemukan pada daerah di sekitar penginapan Pulau Biawak.



Gambar 2. Tumbuhan Mangrove di Pulau Biawak

Keanekaragaman Lamun

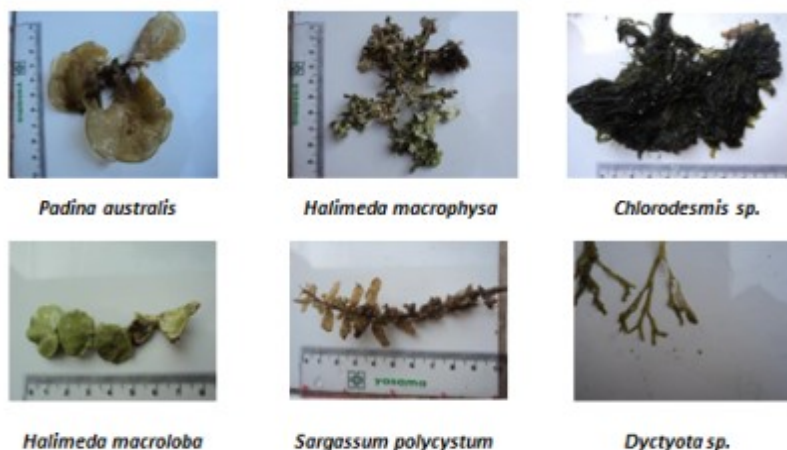
Lamun yang ditemukan di Pulau Biawak hanya terdiri dari satu species yaitu *Enhalus acoroides* yang berasal dari family hydrocharitaceae.



Gambar 3. *Enhalus acoroides*

Keanekaragaman Jenis Makroalga

Makroalga yang ditemukan di Pulau Biawak adalah *Padina australis*, *Halimeda* sp., *Halimeda macroloba*, *Sargassum polycystum*, *Chlorodesmis* sp., dan *Dyctiota* sp.



Gambar 4. Makroalga di Pulau Biawak

KEANEKARAGAMAN FAUNA

Keanekaragaman Gastropoda

Gastropoda adalah hewan bertubuh lunak. Gastropoda yang ditemukan di Pulau Biawak terdiri dari 4 species yang berasal dari daerah pantai dan 2 species yang berasal dari kawasan mangrove. Gastropoda pantai yang ditemukan yaitu *Nerita polita* dan *Nerita costata* yang berasal dari family neritidae, *Lambis* sp. yang berasal dari family strombidae, *Conus* sp. yang berasal dari family conidae. *Nerita polita* memiliki cangkang yang tipis tetapi berat, bagian atas cangkang hampir rata, memiliki beberapa variasi warna krem keabu-abuan, krem kemerah-merahan, berwarna belang hitam-putih. *Nerita costata* memiliki cangkang yang kasar dan berparut dengan variasi warna putih kemerahan atau krem keabuan. Kedua gastropoda ini ditemukan pada pantai yang berpasir menempel pada sisa-sisa koral. Gastropoda yang ditemukan di mangrove ada dua species yaitu *Littoraria* sp. yang berasal dari family Littorinidae dan *Cerithium* sp yang berasal dari family cerithiidae.



Gambar 5. Gastropoda di Pulau Biawak

Keanekaragaman Bivalvia

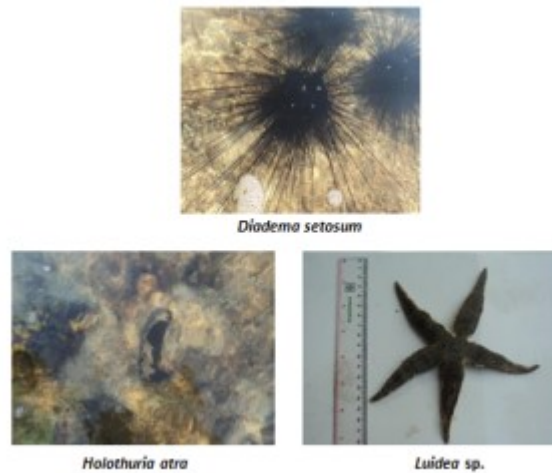
Bivalvia yang ditemukan *Grafrarium tumidum* dari family veneridae, *Mactra* sp. dari family mactridae, *Hippopus hippopus* dan *Tridacna* sp. dari family tridacnidae yan memiliki ukuran yang besar dan anggotanya sedikit sehingga termasuk hewan yang dilindungi.



Gambar 6. Bivalvia di Pulau Biawak

Keanekaragaman Echinodermata

Echinodermata yang ditemukan terdiri dari kelas echinoidea (bulu babi) yaitu species *Diadema setosum* yang berasal dari family diadematidae, kelas asteroidea (bintang laut) yaitu species *Luidea* sp dari family astroidea, kelas holoehuroidea (teripang) yaitu species *Holothuria atra* dari family holotruidae.



Gambar 7. Echinodermata di Pulau Biawak

Keanekaragaman Terumbu Karang

Terumbu karang adalah ekosistem di perairan yang dibangun oleh biota laut penghasil kapur khususnya jenis karang batu dan alga berkapur. Terumbu karang menjadi ekosistem yang ideal bagi biota laut lainnya sebagai sumber makanan, tempat berlindung dan tempat berkembang biak.

Jenis koral yang ditemukan di Pulau Biawak berdasarkan Ongkosongo (1988) dalam [1]Suharsono (1996) adalah tipe *branching* (bercabang), *massive* (padat), *encrusting* (kerak), *tabulate* (meja) dan *foliose* (daun). Jenis jamur pada saat penjelajahan tidak ditemukan. Species yang

ditemukan ada 11 dari 7 family adalah *Tubifora musica*, *Heliopora* sp., *Acropora digitata*, *Acropora millepora*, *Acropora formosa*, *Pavona* sp., *Sinularia* spp., *Favia* sp., *Goniastrea* sp., *Platygyra* sp., *Merulina* sp. Family terbanyak yang ditemukan adalah family acropoidea dan faviidae.



Gambar 8. Kondisi Terumbu Karang di Pulau Biawak

Keanekaragaman Maxillopoda

Kelas maxillopoda termasuk ke dalam subphylum crustaceae. Maxillopoda yang dapat ditemukan di Pulau Biawak adalah bebek bernakel (*Lepas* sp.) yang biasanya menempel pada perahu-perahu atau bongkahan kayu. *Lepas* sp. ini ditemukan pada bongkahan bambu yang terdampar di pantai Pulau Biawak.



***Lepas* sp.**

Keanekaragaman Ikan

Jenis ikan yang ditemukan adalah Kiper (*Scatophagus argus*), *Arius* sp., samadar (*Siganus verniculator*), kerapu (*Chromileptes* sp.), doktor (*Labroides dimidiatus*), kakatua (*Callyodon ghabbon*), kupu-kupu (*Chaetodon chrysurus*), *Desayllus reticulates*, *Thalassoma* sp., Sersan mayor (*Abudefduf* spp.), kerapu lumpur (*Cheilinus* sp.), ekor kuning (*Caesio* sp.) *Plectorhynchus* sp., *Lutjanus* sp., dan *Valamugil* sp.

Keanekaragaman Burung

Jenis burung yang ditemukan diantaranya adalah trinil pantai (*Bubulcus ibis*), cangak abu (*Ardea cinerea*), cangak laut (*Ardea sumatrana*), cekaka (*Halycon chloris*), trulek (*Pluvialis dominica*), dan burung udang biru (*Alcedo caeruleascens*).

Kesimpulan

Keanekaragaman di Pulau Biawak terdiri dari 5 species tumbuhan mangrove, 10 species flora yang menjadi ciri khas wilayah pesisir dan 7 species tanaman budidaya yang ditanam di sekitar penginapan Pulau Biawak, 1 species tumbuhan lamun dan 6 species makroalga. Selain biawak (*Varanus salvator*), ditemukan juga 6 species burung serta 15 genus ikan. Invertebrata yang ditemukan terdiri dari beberapa species dari gastropoda (5 species), bivalvia (4 species), echinodermata (3 species), maxillopoda (1 species) dan beberapa terumbu karang.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih, penulis sampaikan kepada Program Studi Biologi FMIPA Universitas Padjadjaran dan Dinas Pariwisata Kabupaten Indramayu.

Referensi

- [1] Suharsono, 1996. Jenis-Jenis Karang yang Umum Dijumpai di Perairan Indonesia. P3-O LIPI, Proyek Penelitian dan Pengembangan Daerah Pantai, Jakarta.
- [2] Dharma, B.1988. Siput dan Kerang Indonesia I (Indonesian Sheel). Jakarta. PT Sarana Graha
- [3] Dharma, B. 1992. Siput dan Kerang Indonesia II (Indonesian Sheel). Jakarta. PT Sarana Graha
- [4] Levinton, J. S. 1995. Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology. New York: Oxford University Press
- [5] Moore, J. 2006. An Introduction to Invertebrate. Cambridge University Press.
- [6] Sala, Osvaldo E.; Meyerson, Laura A.; Parmesan, Camille. 2009. *Biodiversity change and human health: from ecosystem services to spread of disease*. Island Press. hlm. 3–5. ISBN 978-1-59726-497-6. Diakses 2012.

Pembelajaran *Guided Inquiry* Dalam Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Calon Guru Pada Mata Kuliah Botani Phanerogamae

Hadiansah^{1,a)}

¹ Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung

^{a)} e-mail : biohdysachuin@gmail.com

Abstrak

Proses pembelajaran dan keterampilan sebagai bagian dari hasil proses pembelajaran akan efektif dan efisien diantaranya apabila memperhatikan dua aspek penting, yakni metode mengajar dan media pembelajaran sebagai alat bantu pembelajaran. Salah satu metode atau model yang terus diinovasi oleh para ahli yaitu pembelajaran inkuiri. Terdapat beberapa macam inkuiri, yaitu inkuiri bebas, inkuiri terbimbing dan inkuiri bebas dimodifikasi. Kegiatan pembelajaran inkuiri dalam botani dapat meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa. Dalam penelitian ini akan diteliti pengaruh pembelajaran *guided inquiry* dalam meningkatkan keterampilan proses sains calon guru biologi di UIN SGD Bandung. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembelajaran inkuiri terbimbing dalam meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa pada mata kuliah Botani phanerogamae. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuasi eksperimen. Desain penelitian yang digunakan berbentuk *pretest-posttest-control group design*, yaitu desain kelompok kontrol pretes dan postes yang melibatkan dua kelompok. Dua kelompok tersebut, yaitu kelompok eksperimen dengan inkuiri terbimbing dan kelompok kontrol dengan inkuiri bebas. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan keterampilan proses sains calon guru biologi yang mendapat pembelajaran dengan inkuiri terbimbing dibandingkan mahasiswa yang mendapat perkuliahan inkuiri bebas pada mata kuliah botani phanerogamae dan tergolong signifikan

Kata kunci: inkuiri terbimbing (*guided inquiry*), keterampilan proses sains, Botani phanerogamae

Pendahuluan

Latar Belakang Penelitian

Biologi sebagai salah satu ilmu dasar yang selalu mengalami perkembangan apalagi pada abad 21 sudah dapat diduga bahwa biologi akan berkembang pesat. Pendidikan biologi merupakan suatu kegiatan baik sebagai aktivitas maupun fenomena yang berlangsung untuk mempelajari segala sesuatu tentang makhluk hidup yang diharapkan dapat memperbaiki sikap hidup, pandangan hidup, keterampilan hidup secara praktis, mental maupun sosial baik perorangan maupun masyarakat secara luas.

Sebagai bagian dari rumpun IPA, pembelajaran biologi tidak terlepas dari hakikat IPA sebagai produk, proses dan pembentukan sikap ilmiah. IPA pada hakekatnya merupakan usaha manusia untuk mengungkap rahasia alam. Ilmu Pengetahuan Alam berkembang dari kegiatan-kegiatan observasi, maka konsekuensi ilmu ini dalam pendidikan adalah bahwa penjelasan guru yang hanya dengan lisan atau tertulis tidak sesuai dengan hakekat IPA [1].

Dimensi proses sangat memegang peranan penting dalam menunjang proses perkembangan peserta didik secara utuh, karena dapat melibatkan aspek kognitif, afektif dan psikomotor. Dalam pendidikan IPA, proses belajar mengajar melalui metode praktikum merupakan metode yang diharuskan agar siswa memperoleh pengalaman berinteraksi dengan alat dan bahan untuk mengamati gejala alam secara langsung. Praktikum dapat berupa percobaan atau penelitian yang bersifat verifikasi atau penemuan. Kegiatan praktikum sebagai proses IPA sudah menjadi tuntutan pendidikan di semua jenjang pendidika yang mengajarkan biologi, sehingga dapat membantu siswa memahami Biologi secara baik dan mengembangkan sikap ilmiah [1].

Anggraeni [2] mengemukakan bahwa sedikit sekali guru yang merealisasikan kerja ilmiah ke dalam tujuan pembelajarannya. Hal ini dikarenakan kemampuan calon guru dalam menjabarkan kompetensi dasar masih sangat lemah atau mungkin kompetensi dasar itu sendiri yang kurang mampu mengkomunikasikan tuntutan melak-sanakan pembelajaran yang sesuai dengan hakekat sains.

Model pembelajaran inkuiri adalah suatu model pembelajaran yang dirancang untuk mengajarkan kepada peserta didik bagaimana cara meneliti permasalahan atau pertanyaan fakta-fakta. Pembelajaran inkuiri memerlukan lingkungan kelas dimana peserta didik merasa bebas untuk berkarya, berpendapat, membuat kesimpulan dan membuat dugaan. Suasana seperti itu amat penting karena keberhasilan pembelajaran bergantung pada kondisi pemikiran peserta didik.

Berdasarkan penelitian Anggraeni [3] diperoleh informasi bahwa kemampuan peserta didik tingkat satu di universitas dalam melakukan inkuiri bebas masih dalam taraf pemula, namun mereka masih menunjukkan antusiasme dan keterlibatan yang cukup tinggi, serta meningkatnya minat untuk melanjutkan kegiatan penelitian, terbiasa mengemukakan pendapat, menerima kritik, mampu menjelaskan dan memuaskan rasa ingin tahu mereka.

Sund & Throwbridge [4] mengemukakan 3 macam *inquiry*, yaitu *free inquiry* (inkuiri bebas), *guided inquiry* (inkuiri terbimbing) dan *modified free inquiry* (inkuiri bebas yang dimodifikasi). *Free inquiry* atau inkuiri bebas adalah tipe pembelajaran inkuiri dimana peserta didik melakukan penelitian seolah-olah sebagai seorang ilmuwan. *Guided inquiry* atau inkuiri terbimbing yakni guru memiliki peran penting untuk menyediakan kesempatan bimbingan atau petunjuk yang cukup luas kepada peserta didik, dalam hal ini peserta didik tidak merumuskan masalah dan petunjuk yang cukup luas tentang bagaimana menyusun dan mencatat hasil eksperimen. Sedangkan *modified free inquiry* adalah kola-borasi atau modifikasi dari tipe pembelajaran inkuiri terbimbing dan inkuiri bebas. Meskipun begitu permasalahan yang akan dijadikan topik untuk diselidiki tetap diberikan atau mempedomani acuan kurikulum yang telah ada.

Dalam pembelajaran berbasis inkuiri, terdapat aktivitas siswa yang dapat diukur keterampilannya. Sesuai dengan standar penilaian pada kurikulum 2013 yang lebih menekankan pada penilaian proses dan hasil belajar, pembelajaran inkuiri dapat mengembangkan keterampilan proses. Keterampilan proses ini dalam IPA dikenal sebagai keterampilan proses sains (*scientific process skills*).

Keterampilan proses sains yang dituntut untuk dimiliki dan dikembangkan oleh pe-serta didik dalam mengembangkan kemampuan berpikirnya, yaitu: 1) merencanakan percobaan, 2) melakukan pengamatan atau observasi, 3) mengelompokkan atau klasifikasi, 4) menafsirkan atau interpretasi, 5) me-ramalkan atau prediksi, 6) mengajukan pertanyaan, 7) berhipotesis, 8) merencanakan percobaan, 9) menggunakan alat atau bahan, 10) menerapkan konsep, dan 11) berkomunikasi [5].

Botani phanerogamae merupakan kajian mengenai dunia tumbuhan dan merupakan mata kuliah yang menuntut kegiatan praktikum pada peserta didik calon guru biologi di perguruan tinggi.

Kegiatan praktikum botani phanerogamae merupakan suatu pembelajaran yang dapat meningkatkan dan mengembangkan keterampilan proses sains peserta didik khususnya calon guru biologi.

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah “Bagaimana pengaruh pembelajaran *Guided Inquiry* terhadap keterampilan proses sains calon guru pada mata kuliah Botani Phanerogamae?”. Sedangkan tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai pengaruh pembelajaran *Guided Inquiry* terhadap keterampilan proses sains calon guru pada mata kuliah Botani Phanerogamae.

Teori

Suatu pembelajaran pada umumnya akan lebih efektif bila diselenggarakan melalui model-model pembelajaran yang termasuk rumpun pemrosesan informasi. Hal ini dikarenakan model-model pemrosesan informasi menekankan pada bagaimana seseorang berpikir dan bagaimana dampaknya terhadap cara-cara mengolah informasi (Trianto, 2010). Salah satu model pemrosesan informasi adalah model pembelajaran inkuiri.

Inkuiri yang dalam bahasa Inggris *inquiry* berarti pertanyaan, atau pemeriksaan, penyelidikan. Inkuiri sebagai suatu proses umum yang dilakukan manusia untuk mencari atau memahami informasi. Menurut Trianto (2010) sasaran utama kegiatan pembelajaran inkuiri adalah (1) keterlibatan peserta didik secara maksimal dalam proses kegiatan belajar; (2) keterarahan kegiatan secara logis dan sistematis pada tujuan pembelajaran; dan (3) mengembangkan sikap percaya pada diri peserta didik tentang apa yang ditemukan dalam proses inkuiri.

Gulo (2002) dalam Trianto (2010) menyatakan bahwa inkuiri tidak hanya mengembangkan kemampuan intelektual tetapi seluruh potensi yang ada, termasuk pengembangan emosional dan keterampilan inkuiri merupakan suatu proses yang bermula dari merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, mengumpulkan data, dan membuat kesimpulan.

Sund & Throwbridge [4] mengemukakan 3 macam *inquiry*, yaitu *free inquiry* (inkuiri bebas), *guided inquiry* (inkuiri terbimbing) dan *modified free inquiry* (inkuiri bebas yang dimodifikasi). Dalam pembelajaran berbasis inkuiri, terdapat aktivitas siswa yang dapat diukur keterampilannya. Sesuai dengan standar penilaian pada kurikulum 2013 yang lebih menekankan pada penilaian proses dan hasil belajar, pembelajaran inkuiri dapat mengembangkan keterampilan proses. Keterampilan proses ini dalam IPA dikenal sebagai keterampilan proses sains (*scientific process skills*).

Keterampilan proses sains yang dituntut untuk dimiliki dan dikembangkan oleh peserta didik dalam mengembangkan kemampuan berpikirnya, yaitu: 1) merencanakan percobaan, 2) melakukan pengamatan atau observasi, 3) mengelompokkan atau klasifikasi, 4) menafsirkan atau interpretasi, 5) meramalkan atau prediksi, 6) mengajukan pertanyaan, 7) berhipotesis, 8) merencanakan percobaan, 9) menggunakan alat atau bahan, 10) menerapkan konsep, dan 11) berkomunikasi (Rustaman, dkk. 2005).

Berdasarkan hasil penelitian Schelencer (1976) dalam Sudargo dan Asiyah [6], melalui pelatihan inkuiri terjadi peningkatan dalam pemahaman konsep, produktivitas dalam berpikir kreatif dan keterampilan untuk memperoleh dan menganalisis informasi. Keterampilan proses sains merupakan serangkaian kegiatan yang dapat diukur sebagai hasil dari kegiatan praktikum maupun kegiatan *hands on/minds-on*, dimana peserta didik berhadapan langsung dengan alam dan kegiatan praktikum merupakan sarana terbaik dalam mengembangkan keterampilan proses sains peserta didik. Praktikum yang memberikan pengalaman langsung seperti praktikum Gymnospermae dan angiospermae ini sangat diperlukan karena akan membuat peserta didik lebih memahami konsep yang didapatkan di kelas. Berdasarkan hal tersebut, praktikum gymnospermae dan angiospermae

dengan menggunakan model pembelajaran *guided inquiry* dapat meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik. Hipotesis penelitian ini yaitu pembelajaran *guided inquiry* berpengaruh meningkatkan keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah botani phanerogamae.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Quasi Eksperimental. Quasi Eksperimental mempunyai kelompok kontrol, tetapi tidak dapat berfungsi sepenuhnya mengontrol variabel-variabel luar yang mempengaruhi pelaksanaan eksperimen [7]. Dengan menggunakan metode ini, dicoba untuk menganalisis pengaruh pembelajaran *guided inquiry* terhadap keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah Botani Phanerogamae. Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah "*nonequivalen control-Group Pretest-Posttest Design*". Penggunaan pembelajaran *guided inquiry* ini diterapkan pada satu kelas eksperimen. Pengukuran keterampilan proses sains calon guru dilaksanakan melalui pretes dan postes.

Populasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN SGD Bandung tahun akademik 2013/2014. Sampel yang diambil adalah Mahasiswa pada Semester penyajian mata kuliah Botani phanerogamae. Pemilihan pemilihan ini dilakukan dengan menggunakan teknik *purposive sampling*. Pemilihan sampel dengan teknik *purposive sampling* dilakukan berdasarkan pertimbangan yang sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian (Fraenkel *et al*, 2012). Pada penelitian ini mahasiswa jurusan Pendidikan MIPA khususnya Program Studi Pendidikan Biologi pada semester IV.

Instrumen yang akan dikembangkan dalam penelitian ini antara lain: Tes Keterampilan Proses Sains, Angket mahasiswa (*questionnaires*), Catatan lapangan (*field notes*).

Hasil Penelitian dan Diskusi

Rata-rata skor pretes yang dicapai oleh mahasiswa kelas eksperimen untuk keterampilan proses sains mahasiswa sebesar 41,14. Dan rata-rata skor postes sebesar 61,90. Dan rata-rata *N gain* sebesar 0,33. Rata-rata skor pretes yang dicapai oleh mahasiswa kelas kontrol untuk keterampilan proses sains mahasiswa sebesar 41.06. Rata-rata skor postes sebesar 57,10. sedangkan rata-rata *N-gain* untuk sebesar 0.24.

Rata-rata postes keterampilan proses sains mahasiswa kelas eksperimen sebesar 61.11 sedangkan rata-rata kelas kontrol sebesar 57.10. Rata-rata *N Gain* kelas eksperimen sebesar 0.33 sedangkan rata-rata *N Gain* kelas kontrol sebesar 0.24. Data tersebut menunjukkan rata-rata nilai postes jauh lebih tinggi, daripada rata-rata nilai pretes. Hal itu menjelaskan terjadinya peningkatan keterampilan proses sains mahasiswa setelah melaksanakan pembelajaran baik dengan inkuiri terbimbing maupun inkuiri bebas

Hasil Penelitian

Uji Normalitas dan Uji Homogenitas

Untuk melihat apakah data hasil skor pretes, postes dan *N Gain* keterampilan proses sains mahasiswa berdistribusi normal maka dilakukan uji normalitas dengan menggunakan uji Chi-kuadrat. Sedangkan uji homogenitas uji F. Dari Hasil uji menunjukkan data pretes, postes dan *N Gain* keterampilan proses sains mahasiswa berdistribusi normal dan homogen, dengan demikian untuk menguji perbedaan rata-ratanya menggunakan uji-t.

Uji Perbedaan Rata-rata Postes dan N-gain Keterampilan Proses Sains mahasiswa Kelas Eksperimen dan Kontrol

Uji perbedaan rata-rata antara kelas eksperimen dan kelas kontrol digunakan untuk melihat perbedaan keterampilan proses sains calon guru antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Sebelum dilakukan uji t, maka dilakukan analisis perbandingan per indikator soal keterampilan proses sains yang diberikan pada kedua kelompok peserta didik tersebut pada tes akhir, sehingga didapatkan hasil rata-rata pencapaian indikator tes akhirnya pada kelas eksperimen maupun pada kelas kontrol.

Berdasarkan hasil pengolahan data, diketahui bahwa rata-rata pencapaian indikator keterampilan proses sains kelas *free inquiry* adalah sebesar 55,76% dengan kualifikasi kurang sedangkan pada kelas *guided inquiry* adalah sebesar 60,15% dengan kualifikasi cukup. Berdasarkan rata-rata tersebut dapat diketahui bahwa pencapaian indikator keterampilan proses sains kelas *guided inquiry* lebih baik dibandingkan dengan kelas *free inquiry*.

Berdasarkan pengolahan data juga diperoleh informasi bahwa nilai rata-rata yang diperoleh kelas kontrol adalah 56,70 dengan skor maksimum 73 dan minimum 33. Sedangkan nilai rata-rata yang diperoleh kelas eksperimen adalah 61,90 dengan skor maksimum 87 dan skor minimum 40. Pada tabel terlihat pula standar deviasi yang diperoleh masing-masing kelas tersebut adalah 10,60 dan 12,46. Berdasarkan hasil pengolahan data pula terlihat bahwa data tes akhir kelas *guided inquiry* dan *free inquiry* merupakan data yang berdistribusi normal dengan $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{tabel}$ dan merupakan data yang homogen karena nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ berarti bahwa tidak terdapat perbedaan variansi antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol. Sedangkan berdasarkan uji hipotesis terlihat bahwa $t_{hitung} = 2,61 \geq t_{tabel} = 2,38$ sehingga dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan keterampilan proses sains peserta didik yang signifikan antara kelas *free inquiry* dengan kelas *guided inquiry*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa keterampilan proses sains peserta didik pada kelas *guided inquiry* lebih baik dibandingkan dengan pada kelas *free inquiry*. Dengan kata lain bahwa pembelajaran inkuiri terbimbing (*guided inquiry*) berpengaruh terhadap pencapaian keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah Botani Phanerogamae.

Pembahasan/Analisis/Temuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *guided inquiry* terhadap keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah botani phanerogamae. Hasil uji perbedaan rata-rata pretes, menunjukkan bahwa keterampilan proses sains awal calon guru pada kelas eksperimen dan kontrol tidak terdapat perbedaan, meskipun jika dilihat dari nilai rata-rata antara kelas eksperimen dan kelas kontrol memiliki perbedaan tetapi tidak besar dan secara statistik dinyatakan tidak signifikan.

Rata-rata skor pretest kelas eksperimen memiliki sebesar 41,14 dan kelas kontrol memiliki rata-rata skor pretes sebesar 41,06. Tidak adanya perbedaan kemampuan awal kelas eksperimen dan kontrol ini menunjukkan kondisi keterampilan proses sains calon guru dari kelas eksperimen dan kelas kontrol sama. Keterampilan proses sains akhir calon guru dapat diketahui dari skor tes akhir yang diberikan setelah kedua kelas mendapatkan perlakuan berupa pembelajaran inkuiri terbimbing (*guided inquiry*) untuk kelas eksperimen dan pembelajaran inkuiri bebas (*free inquiry*) pada kelas kontrol.

Berdasarkan analisis pencapaian indikator keterampilan proses sains dari masing-masing indikator diketahui bahwa dari keseluruhan indikator keterampilan proses sains yang diujikan melalui soal yang diberikan pada tes akhir diketahui bahwa rata-rata pencapaian indikator keterampilan proses sains kelas *guided inquiry* lebih tinggi dibandingkan dengan kelas *free inquiry*. Adapun pada

kelas *free inquiry* keterampilan berkomunikasi memiliki pencapaian tertinggi dibandingkan dengan keterampilan proses sains lainnya yang diujikan sedangkan pada kelas *guided inquiry* keterampilan menafsirkan/ interpretasi memiliki pencapaian tertinggi dibandingkan dengan keterampilan proses sains lainnya yang diujikan.

Rata-rata skor tes keterampilan proses sains akhir (*posttest*) calon guru pada kelas eksperimen sebesar 61,9 dan rata-rata skor tes akhir kelas kontrol sebesar 56,7. Adanya perbedaan kemampuan awal kelas eksperimen dan kelas kontrol ini menunjukkan kondisi keterampilan proses sains calon guru dari kelas eksperimen dan kelas kontrol berbeda.

Hasil uji perbedaan rata-rata (uji-t) skor postes antara kelas eksperimen dengan kelas kontrol menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Peningkatan keterampilan proses sains calon guru pada kelas eksperimen dan kontrol dapat diketahui melalui *N-Gain*. Rata-rata skor *N-Gain* keterampilan proses sains calon guru pada kelas eksperimen 0.33 dan rata-rata skor *N-Gain* kelas kontrol sebesar 0.24. Setelah dilakukan uji perbedaan rata-rata (uji t) terhadap skor *N-Gain* keterampilan proses sains calon guru ini diperoleh perbedaan yang signifikan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pembelajaran inkuiri terbimbing (*guided inquiry*) dapat meningkatkan keterampilan proses sains calon guru dibanding model pembelajaran inkuiri bebas (*free inquiry*).

Terjadinya peningkatan keterampilan proses sains calon guru menggunakan model pembelajaran *guided inquiry* karena model pembelajaran *guided inquiry* memiliki beberapa kelebihan diantaranya dapat membantu peserta didik mengembangkan atau memperbanyak persediaan dan penguasaan keterampilan dan proses kognitifnya selain itu, pembimbing menjadi teman belajar, terutama dalam situasi penemuan yang jawabannya belum diketahui. Selain itu Suryobroto juga menambahkan kelebihan model pembelajaran *guided inquiry* dapat membangkitkan gairah sehingga peserta didik dapat lebih aktif dan memberikan motivasi pada peserta didik misalkan peserta didik dapat merasakan jerih payah penyelidikannya, menemukan keberhasilan dan kadang-kadang kegagalan. Selain itu, dengan adanya bimbingan ini dapat membantu memperkuat pribadi peserta didik dengan bertambahnya kepercayaan pada diri sendiri melalui proses-proses penemuan [8].

Menurut Rustaman [9] persoalan lain yang dihadapi adalah bagaimana memotivasi peserta didik calon guru agar tetap mau menerapkan perolehan pengetahuan (konsep ilmiah, prinsip) dan kemampuan (keterampilan dasar mengajar, bekal pengalaman ber-*inkuiri*, dan berproses) di lapangan, dan tidak terpengaruh oleh guru-guru di lapangan.

Berdasarkan hasil angket mengenai respon calon guru yang diberikan secara keseluruhan calon guru memberikan respon kuat terhadap kegiatan praktikum botani phanerogamae dengan menggunakan model pembelajaran *guided inquiry*. Menurut Hobri (2009) dalam Lissa, dkk [10] bahwa kepraktisan perangkat pembelajaran ditentukan dari respon peserta didik dalam pembelajaran. Jika 80% peserta didik atau lebih memberi respon positif terhadap model pembelajaran maka dikatakan perangkat pembelajaran tersebut adalah praktis digunakan. Respon positif yang diberikan oleh peserta didik menunjukkan ketertarikannya terhadap model pembelajaran yang digunakan. Ketertarikan inilah yang dapat mendorong peserta didik untuk lebih berminat dan meningkatkan keterampilan proses sainsnya.

Dengan menggunakan model pembelajaran *guided inquiry* pada kegiatan praktikum botani phanerogamae dapat membuat tingginya motivasi dan minat peserta didik serta memberikan rasa senang dalam mengikuti kegiatan pembelajaran. Sesuai dengan teori *law of effect* dari Thorndike dalam Sardiman [11] yang menyatakan bahwa motivasi akan bertambah apabila belajar disertai rasa senang dan puas. Adapun berdasarkan hasil respon pada kedua kelas tersebut bahwa peserta didik

yang menggunakan model pembelajaran *guided inquiry* memiliki respon yang lebih kuat dibandingkan dengan peserta didik yang menggunakan model pembelajaran *free inquiry*.

Penelitian juga didukung oleh penelitian terdahulu dari Paidi [12] yang menyatakan pemberian bimbingan kepada peserta didik melakukan proses sains menggunakan panduan tertulis dan panduan lisan, serta bimbingan selama proses pembuatan rancangan percobaan serta pelaksanaannya, mampu meningkatkan keterampilan proses sains (*scientific process skill*) para peserta didik. Sedangkan penelitian yang dilakukan Haryono (2006) dalam Ambarsari [13] menyimpulkan bahwa model pembelajaran berbasis peningkatan keterampilan proses sains adalah bentuk pembelajaran yang mengintegrasikan keterampilan proses sains pada rangkaian proses belajar mengajar guna mengarahkan peserta didik pada proses konstruksi pengetahuan secara mandiri.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan, analisis dan pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa Terjadi peningkatan keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah botani phanerogamae setelah melaksanakan pembelajaran inkuiri terbimbing (*guided inquiry*), dan pengaruh pembelajaran *guided inquiry* terhadap keterampilan proses sains calon guru biologi pada mata kuliah botani phanerogamae dan tergolong signifikan

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Drs. R. Ading Pramadi, MS., yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam mata kuliah botani phanerogamae; kepada Dr. Hj. Tuti Kurniati, M.Pd., selaku ketua Prodi yang telah memberikan motivasi dalam menghasilkan penelitian., dan juga kepada para asisten praktikum yang telah membantu proses perkuliahan praktikum khususnya, juga kepada mahasiswa yang dijadikan subjek penelitian ini. Semoga Allah membalas semua amal baik kita.

Referensi

- [1] Pramadi. R.A. (2010). *Phanerogamae Sistem Cronquist dan APG*. Pendidikan Biologi Jur PMIPA FTK UIN SGD Bandung.
- [2] Anggraeni, S. (2007). *Sudahkah calon guru biologi merencanakan pembelajaran biologi sesuai hakekat dengan hakekat sains?*. Jurusan Pendidikan Biologi-FPMIPA UPI : Tidak diterbitkan.
- [3] Anggraeni, S. (2005). *Kemampuan Melakukan Inkuiri Bebas dan Dampaknya terhadap Sikap Ilmiah dari Calon Pendidik Biologi*. Jurusan Pendidikan Biologi-FPMIPA-UPI : tidak diterbitkan.
- [4] Sund, R. B & Trowbridge, L. W.(1973). *Teaching science by inquiry in the secondary school*. Ohio:Charles E.Merril Publishing Company.
- [5] Rustaman, N .(2005). *Perkembangan Penelitian Pembelajaran Inkuiri dalam Pendidikan Sains*. Fakultas FMIPA UPI Bandung :Tidak diterbitkan.
- [6] Sudargo, F & Asiyah, S .(2009). *Pembelajaran Biologi Berbasis Praktikum Untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan keterampilan proses sains siswa SMA*. BIO-UPI : Tidak diterbitkan. [online]tersedia: http://file.upi.edu/direktori/fpmipa/jur. pend. biologi/195107261978032fransisca_sudargo/artikel_hk_09_fransisca/artikel_hibah_kompetitif.pdf [10 Maret 2014]
- [7] Sugiyono.(2011). *Statistik Penelitian*. Bandung: Alfabeta
- [8] Suryobroto. (2009). tersedia [online] di <http://digilib.unimed.ac.id/public/UNIMED-Undergraduate-22306-FILE%205.pdf> [01 mar 2014]
- [9] Rustaman, N. (2005). *Strategi Belajar Mengajar Biologi*. Malang:UM Press.

- [10] Lissa, dkk. (2012). *Pengembangan Instrumen Penilaian Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi Materi Sistem Respirasi Dan Ekskresi*. [online] tersedia : <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/LIK> [02 April 2014]
- [11] Sardiman. (2011). *Interaksi dan motivasi belajar mengajar*. tersedia [online] di http://jurnal.upi.edu/file/Euis_Yuniastuti.pdf [01 juli 2013]
- [12] Paidi. (2009). *"Peningkatan Scientific Skill Siswa Melalui Implementasi Metode Guided Inquiry Pada Pembelajaran Biologi"*. Yogyakarta: FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- [13] Ambarsari, W. (2012). *Penerapan Pembelajaran Inkuiri Terbimbing Terhadap Keterampilan Proses Sains Dasar Pada Pelajaran Biologi Siswa Kelas VIII SMP Negeri 7 Surakarta*. Jurnal Pendidikan Biologi Universitas Sebelas Maret Surakarta: Tidak diterbitkan
- [14] Arikunto, S. (2010). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- [15] Arikunto, S. (2011). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Bumi Aksara.
- [16] Aunurrahman. (2011). *Belajar dan Pembelajaran*. Bandung: Alfabeta
- [17] Cronquist, A. (1981). *An Integrated system of classification of flowering plants*. New York: Columbia University Press
- [18] Dewi, S. (2008). *Keterampilan Proses Sains*. Bandung: Tinta Emas Publishing
- [19] Fraenkel, J. R., Wallen, Norman E., Hyun, Helen H. (2012). *How to design and evaluate research in education, 8th Edition*. McGraw Hill Inc.
- [20] Khumar & Bendre. (2010). *A textbook of practical botany 2*. India: Rastogi Publication
- [21] Kurniawan. (2012). *Keterampilan Berkomunikasi*. UNESA : Tidak diterbitkan. [online] tersedia : <http://www.slideshare.net/officialbery/bery-toya-toya-keterampilan-komunikasi> (13 maret 2014)
- [22] Pramadi. R.A. (2010). *Pengetahuan Laboratorium*. Pendidikan Biologi Jur PMIPA FTK UIN SGD Bandung.
- [23] Pramadi. R.A. (2013). *Sistematika Tumbuhan Phanerogamae*. Pendidikan Biologi Jur PMIPA FTK UIN SGD Bandung.
- [24] Purwanto, N. (2006). *Prinsip-prinsip dan teknik evaluasi pengajaran*. Bandung: PT. Rosdakarya
- [25] Rustaman, N, dkk. (2003). *Strategi Belajar Mengajar Biologi. Common Text Book (Edisi Revisi)*. Jakarta: JICA IMSTEP.
- [26] Sanjaya, W. (2012). *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. Jakarta: Kencana Prenada Media Grup
- [27] Semiawan, Conny, dkk. (1992). *Pendekatan Keterampilan Proses*. Jakarta : PT Gramedia
- [28] Simpson, M.G. (2006). *Plant Systematics*. USA: Elsevier Academic Press
- [29] Singh, Gurcharan. (2010). *Plant systematics An Integrated Approach*. India: Science publisher
- [30] Subana. (2000). *Statistika Pendidikan*. Bandung: CV Pustaka Setia
- [31] Sudjana. (2005). *Metoda Statistika*. Bandung: Tarsito.
- [32] Sugiyono. (2009). *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta
- [33] Takhjatan, A. (2009). *Flowering Plants*. Rusia: Springer

Strategi Inkuiri Dipadu ARCS Dalam Pembelajaran Biologi Dan Pengaruhnya Terhadap Keterampilan Berpikir Kritis Siswa

Lilies^{1,a)}

¹Jurusan Pendidikan MIPA, Program Studi Pendidikan Biologi, FKIP, Universitas Tadulako Palu.

^{a)}E-mail:liliestangge@yahoo.com.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh strategi inkuiri dipadu ARCS dalam pembelajaran biologi terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMAN di Kabupaten Sigi. Jenis penelitian ini adalah eksperimen semu atau *quasi* eksperimental. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas X SMAN di Kabupaten Sigi. Sampel penelitian berjumlah 180 siswa dengan kemampuan akademik berbeda yang tersebar dalam 6 kelas. Rancangan penelitian ini adalah *Pretest-postest Nonequivalen Control Group Design* dengan menggunakan rancangan faktorial 3 x 2. Variabel bebas adalah strategi pembelajaran terdiri atas 3 yaitu strategi inkuiri dipadu ARCS, strategi inkuiri tanpa ARCS, dan strategi konvensional. Variabel terikatnya yaitu keterampilan berpikir kritis. Data dianalisis secara deskriptif dan inferensial dengan Anakova. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pengaruh strategi inkuiri dipadu ARCS dalam pembelajaran biologi terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Ada perbedaan keterampilan berpikir kritis antara siswa yang mengikuti pembelajaran dengan strategi inkuiri dipadu ARCS, strategi inkuiri tanpa ARCS, dan strategi konvensional. Pembelajaran biologi dengan strategi inkuiri dipadu ARCS dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis lebih tinggi dari pembelajaran dengan strategi inkuiri tanpa ARCS, dan strategi konvensional.

Kata kunci: inkuiri , ARCS, pembelajaran biologi, berpikir kritis.

Pendahuluan

Sekolah sebagai lembaga pendidikan memegang peranan penting dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang berkualitas melalui kegiatan pembelajaran. Biologi sebagai salah satu bagian dari ilmu pengetahuan alam mempunyai peran strategis dalam meningkatkan pengetahuan, keterampilan dan nilai-nilai pada diri siswa. Pembelajaran Biologi di tingkat sekolah menengah mengisyaratkan enam pertimbangan penting yang harus diperhatikan oleh guru, yaitu 1) empat pilar pendidikan, 2) belajar melalui inkuiri, 3) teori konstruktivisme, 4) sains, teknologi, dan masyarakat, 5) pemecahan masalah, dan 6) pembelajaran biologi yang bermuatan nilai [1]. Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, guru dapat berperan sebagai fasilitator dan dapat memberikan motivasi agar siswa berusaha untuk membangun pengetahuannya secara mandiri.

Pembelajaran biologi tidak terbatas pada aspek produk tapi juga proses. Mata pelajaran Biologi sebagai bagian dari sains, menuntut kompetensi belajar pada ranah pemahaman tingkat tinggi yang komprehensif, namun kenyataan saat ini peserta didik cenderung menghafal dari pada

memahami, padahal pemahaman merupakan modal dasar bagi penguasaan selanjutnya. Hal ini menyebabkan lemahnya proses dalam pembelajaran biologi. Guru sebagai komponen penting dari tenaga kependidikan, memiliki tugas untuk melaksanakan proses pembelajaran. Dalam pelaksanaan pembelajaran tersebut, guru diharapkan bisa menerapkan strategi pembelajaran seperti apa yang dibutuhkan dalam proses pembelajaran di kelas.

Upaya yang dapat dilakukan dalam pembaharuan paradigma pendidikan untuk meningkatkan kualitas pendidikan seorang guru harus mampu membuat proses pembelajaran yang dapat merangsang siswa menjadi lebih aktif dalam proses pembelajaran dan menggunakan penalaran formalnya dalam setiap kegiatan belajar mengajar. Sehubungan dengan itu, maka dalam pembelajaran harus memusatkan perhatian pada berpikir atau proses mental anak dan mengutamakan peran siswa dalam berinisiatif serta keterlibatannya dalam kegiatan pembelajarannya. Pembelajaran yang diharapkan berlangsung adalah pembelajaran yang berpusat pada peserta didik, dan peserta didik sebagai subyek belajar, sedang guru menempatkan diri sebagai fasilitator [1] [2]. Hal ini sejalan dengan pendapat Trilling dan Hood [3] yang menyebutkan salah satu ciri pembelajaran yang diharapkan di era pengetahuan ini adalah guru sebagai fasilitator, dan pembelajaran berpusat pada peserta didik.

Kabupaten Sigi merupakan salah satu kabupaten yang berada di Propinsi Sulawesi Tengah, baru berdiri lima tahun yang merupakan hasil pemekaran dari Kabupaten Donggala. Pada saat ini Pemerintah daerah sedang membangun di berbagai bidang dan menata daerah ini agar bisa mengejar ketertinggalan pembangunan dengan daerah-daerah lain. Salah satu prioritas pembangunan di daerah ini adalah bidang pendidikan. Untuk membangun daerah ini dibutuhkan sumber daya manusia yang berkualitas. Pada abad 21 atau era pengetahuan ini sumber daya manusia yang dibutuhkan adalah sumber daya manusia yang berkualitas yang memiliki pengetahuan, mampu belajar mandiri, dan mampu berpikir kritis [3]. Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu komponen kecakapan hidup yang dapat dikembangkan melalui proses pembelajaran [4]. Pembelajaran Biologi di sekolah dapat menjadi sarana yang efektif untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa.

Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu keterampilan tingkat tinggi yang dapat diberdayakan kepada siswa dalam pembelajaran biologi. Menurut Fisher [5], keterampilan berpikir kritis adalah interpretasi dan evaluasi yang terampil dan aktif terhadap observasi dan komunikasi dan argumentasi. Berpikir kritis adalah pemikiran yang masuk akal yang reflektif yang berfokus untuk memutuskan apa yang mesti dipercayai atau dilakukan [6]. Keterampilan berpikir kritis penting dimiliki oleh siswa karena berpikir kritis bermanfaat dalam menyelesaikan masalah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rosyada [7] bahwa manfaat keterampilan berpikir kritis antara lain, siswa mampu mengakses berbagai informasi lain dari berbagai sumber dan siswa mampu menyelesaikan masalah. Menurut Dike [8] keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran mempunyai peran dan manfaat antara lain siswa mampu mengakses informasi dan juga mampu menyusun dan merumuskan pertanyaan secara tepat, berani mengungkapkan ide, gagasan sertai menghargai perbedaan pendapat. Dengan demikian untuk menyelesaikan masalah diperlukan keterampilan berpikir kritis. Dengan demikian penting memberdayakan keterampilan berpikir kritis untuk dapat menyelesaikan masalah.

Fakta pembelajaran biologi di SMAN berdasarkan hasil survai menunjukkan bahwa guru biologi belum semuanya memahami pembelajaran yang berorientasi konstruktivisme, guru masih kurang terbiasa menerapkan pembelajaran konstruktivisme, guru masih menggunakan metode ceramah dalam pembelajaran menyebabkan pembelajaran biologi hanya terbatas pada aspek produk,

dan pemberdayaan keterampilan berpikir belum dengan sengaja dilakukan sehingga keterampilan berpikir siswa SMAN di Kabupaten Sigi masih rendah.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memilih dan menerapkan strategi pembelajaran yang tepat, yaitu menerapkan strategi pembelajaran berbasis konstruktivis. Pembelajaran konstruktivis memandang bahwa setiap siswa memiliki kemampuan untuk mengkonstruksi sendiri pengetahuannya, dalam hal ini pembelajaran bukan memindahkan pengetahuan hasil pikiran guru kepada siswa. sehingga proses pembelajaran berlangsung optimal. Proses pembelajaran sangat penting peranannya dalam pencapaian tujuan pendidikan. Melalui proses pembelajaran yang baik dan tepat, akan diperoleh hasil belajar yang optimal. Proses pembelajaran yang efektif, di antaranya dicirikan oleh keterlibatan aktif siswa dalam belajarnya. Penerapan strategi inkuiri dan ARCS diharapkan dapat mengatasi permasalahan poses pembelajaran biologi di kelas, peserta didik diberikan kesempatan untuk mencari dan menemukan pengetahuan secara mandiri, dengan demikian akan meningkatkan kualitas proses dan hasil pembelajaran biologi.

Inkuiri adalah suatu strategi belajar dimana siswa menemukan dan menggunakan berbagai sumber informasi dan ide-ide untuk meningkatkan pemahaman mereka tentang suatu topik, masalah atau isu [9]. Strategi inkuiri dalam pembelajaran dapat lebih membiasakan siswa untuk membuktikan sesuatu mengenai materi pelajaran yang sudah dipelajari [2]. Strategi inkuiri merupakan proses pembelajaran dimana pembelajaran tersebut diawali dengan kegiatan merumuskan masalah, mengembangkan hipotesis, mengumpulkan bukti, menguji hipotesis, menarik kesimpulan sementara dan menguji kesimpulan agar diyakini oleh siswa [10]. Menurut Marzano [11], dengan strategi inkuiri terbimbing materi yang dipelajari siswa dapat mencapai tingkat kemampuan yang tinggi dan lebih lama membekas karena siswa dilibatkan dalam proses penemuannya. Beberapa hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa strategi pembelajaran inkuiri merupakan salah satu strategi yang berpotensi mengembangkan keterampilan berpikir di sekolah menengah [10] [12]. Strategi pembelajaran inkuiri terbukti efektif meningkatkan keterampilan berpikir, sikap minat, hasil belajar kognitif dan motivasi belajar siswa [13] [14].

Strategi motivasional ARCS adalah suatu bentuk pembelajaran yang mengutamakan perhatian siswa, menyesuaikan materi pembelajaran dengan pengalaman belajar siswa, menciptakan rasa percaya diri dalam diri siswa, dan menimbulkan rasa puas dalam diri siswa tersebut. Berdasarkan strategi ARCS [15], mahasiswa akan termotivasi untuk belajar jika pembelajaran menarik minatnya, relevan dengan kebutuhannya, meningkatkan kepercayaan diri dan menyebabkan mahasiswa puas.

Salah satu syarat pelaksanaan inkuiri yaitu guru harus terampil menumbuhkan motivasi belajar siswa dan menciptakan situasi belajar yang menyenangkan, maka perlu strategi inkuiri dipadukan dengan ARCS, karena ARCS adalah strategi motivasional yang dapat menumbuhkan motivasi belajar siswa. Menurut Medsker & Holdsworth [16], ARCS bukanlah strategi yang dilakukan secara mandiri tetapi sebaliknya adalah sebagai strategi yang didesain untuk melengkapi strategi desain pembelajaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan pengaruh strategi inkuiri dipadu ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*) dalam pembelajaran biologi terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMAN di Kabupaten Sigi.

Teori

Inkuiri adalah suatu strategi dimana peserta didik menemukan dan menggunakan berbagai sumber informasi dan ide untuk meningkatkan pemahaman mengenai masalah yang dipelajari.

Inkuiri merupakan kegiatan pembelajaran yang membelajarkan siswa untuk mencari dan menemukan serta melaporkan tentang apa yang ditemukannya [9].

ARCS (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*), dikembangkan oleh Keller [17] sebagai jawaban pertanyaan bagaimana merancang pembelajaran yang dapat mempengaruhi motivasi berprestasi dan hasil belajar. Strategi motivasional ARCS adalah metode untuk meningkatkan daya tarik motivasional pengajaran.

Berpikir kritis adalah salah satu komponen dalam proses berpikir tingkat tinggi, menggunakan dasar analisis argument dan wawasan terhadap tiap-tiap makna dan interpretasi untuk mengembangkan penalaran yang kohesif [18]. Ennis [6] mengemukakan bahwa berpikir kritis merupakan berpikir logis dan masuk akal yang difokuskan pada pengambilan kesimpulan tentang apa yang dipercaya dan dilakukan. Berarti berpikir kritis merupakan proses mental yang terorganisasi dengan baik dan berperan dalam proses pengambilan keputusan untuk memecahkan masalah dengan menganalisis dan menginterpretasi data dalam kegiatan inkuiri ilmiah. Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu modal dasar atau modal intelektual yang sangat penting bagi setiap orang [1] [3] [19] Oleh karena itu pengembangan keterampilan berpikir kritis menjadi sangat penting bagi siswa di setiap jenjang pendidikan.

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen semu atau *quasi* eksperimental. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Pretest-posttest Nonequivalen Control Group Design* dengan menggunakan rancangan faktorial 3 x 2 pada Tabel 1 [20].

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh SMA Negeri di Kabupaten Sigi Tahun ajaran 2011/2012. Jumlah SMA Negeri yang ada di kabupaten Sigi sebanyak 8 sekolah. Sampel penelitian adalah sejumlah individu dilakukan dengan menggunakan *stratified random sampling*. Sampel dalam penelitian ini adalah dua sekolah yaitu SMA Negeri 1 Biromaru dan SMA Negeri 2 Biromaru. Setiap sekolah diambil 3 (tiga) kelas. Dengan demikian jumlah kelas yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6 kelas.

Tabel 1. Rancangan Penelitian Eksperimen Faktorial 3 x 2

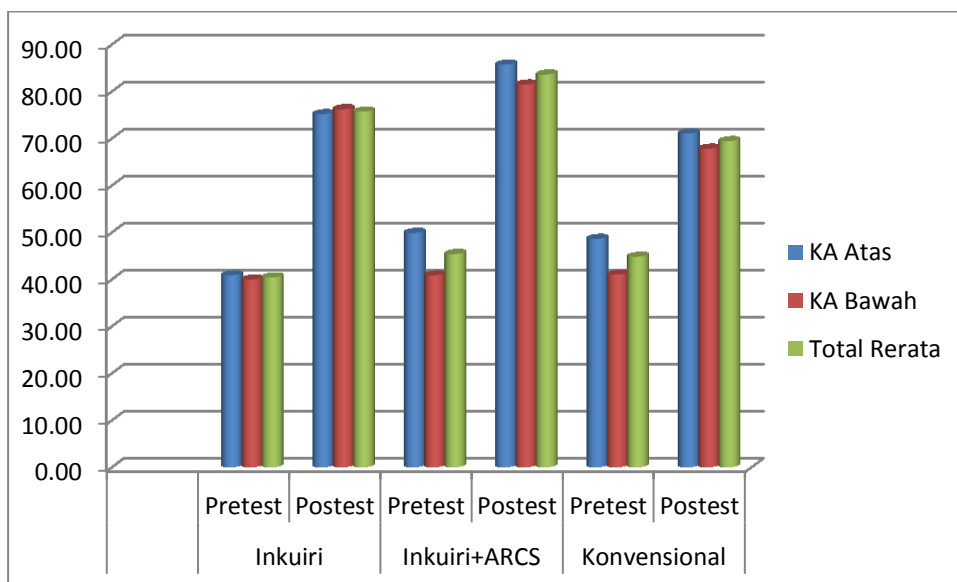
Strategi pembelajaran	Kemampuan	Akademik (Y)
	Atas (Y1)	Bawah (Y2)
Inkuiri (X1)	X1Y1	X1Y2
Inkuiri dipadu ARCS (X2)	X2Y1	X2Y2
Konvensional (X3)	X3Y1	X3Y2

Instrumen yang digunakan untuk mengukur variabel terikat dalam penelitian ini adalah tes, digunakan untuk memperoleh data keterampilan berpikir kritis. Prosedur pengumpulan data penelitian dilakukan melalui langkah-langkah sebagai berikut: 1) melakukan *pretest* pada seluruh kelas sampel penelitian sebelum kegiatan pembelajaran, 2) melakukan *posttest* pada akhir proses pembelajaran untuk mengetahui keterampilan berpikir kritis. Data hasil penelitian yang terkumpul dianalisis menggunakan statistik deskriptif dan inferensial. Analisis deskriptif digunakan untuk deskripsi hasil belajar. Analisis inferensial menggunakan Anakova diperlukan untuk menguji hipotesis penelitian. Skor *pretest* digunakan sebagai kovariat. Data dianalisis dengan menggunakan program *SPSS 17,0 for windows* pada taraf signifikan 5%.

Hasil dan Diskusi

Keterampilan berpikir kritis siswa diukur sebelum dan setelah proses pembelajaran. Selanjutnya data dianalisis dengan statistik deskriptif untuk mengetahui rerata dan persentase perubahan nilai keterampilan berpikir kritis. Ringkasan data rerata skor keterampilan berpikir kritis *pretest* dan *posttest* pada setiap strategi pembelajaran divisualisasikan pada Gambar 1.

Rerata skor keterampilan berpikir kritis dapat dijelaskan sebagai berikut. Berdasarkan strategi pembelajaran, rerata skor keterampilan berpikir kritis *pretest* tertinggi diperoleh pada strategi pembelajaran Inkuiri dipadu ARCS yaitu 45,40 pada siswa berkemampuan akademik atas yaitu 49,90. Rerata skor keterampilan berpikir kritis *posttest* tertinggi diperoleh pada strategi pembelajaran inkuiri dipadu ARCS yaitu 83,60 dan rerata skor keterampilan berpikir kritis yang terendah pada strategi pembelajaran konvensional yaitu 69,44. Rerata skor keterampilan berpikir kritis baik *pretest* maupun *posttest* tertinggi pada siswa berkemampuan akademik atas yaitu 46,46 dan 77,31.



Gambar 1. Rerata Skor Keterampilan Berpikir Kritis *Pretest-Posttest* pada Setiap Strategi Pembelajaran Menurut Kemampuan Akademik.

Berdasarkan Gambar 1 disimpulkan bahwa rerata skor keterampilan berpikir kritis siswa pada *pretes* maupun *posttes* untuk setiap strategi pembelajaran hampir sama, baik pada siswa berkemampuan akademik atas maupun bawah. Skor keterampilan berpikir kritis siswa pada *posttest* tertinggi terjadi pada strategi inkuiri dipadu ARCS dan terendah pada strategi konvensional.

Hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa perbedaan strategi pembelajaran berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Dengan demikian ada perbedaan keterampilan berpikir kritis antara siswa yang dibelajarkan dengan strategi inkuiri, inkuiri dipadu ARCS, dan konvensional. Berdasarkan hasil uji BNT diketahui bahwa perlakuan strategi inkuiri dipadu ARCS berbeda signifikan dengan perlakuan strategi lainnya. Rerata terkoreksi skor keterampilan berpikir kritis pada strategi inkuiri dipadu ARCS lebih tinggi 10,06% dari strategi pembelajaran inkuiri. Rerata skor terkoreksi keterampilan berpikir kritis pada strategi inkuiri lebih tinggi 8,97% dari strategi konvensional.

Berdasarkan hasil uji Anakova, diketahui bahwa strategi pembelajaran yang diterapkan dalam penelitian ini berpengaruh secara signifikan terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Setelah dilakukan uji BNT, diketahui bahwa perlakuan strategi inkuiri dipadu ARCS berbeda secara signifikan dengan perlakuan strategi inkuiri, dan perlakuan dengan strategi konvensional. Perlakuan strategi

inkuiri berbeda signifikan dengan strategi konvensional. Rerata terkoreksi skor keterampilan berpikir kritis yang dibelajarkan dengan strategi inkuiri dipadu ARCS lebih tinggi dibandingkan dengan rerata skor keterampilan berpikir kritis dengan strategi inkuiri dan strategi konvensional. Secara berurutan rerata skor keterampilan berpikir kritis dari yang tertinggi ke yang terendah diperoleh dari perlakuan strategi inkuiri dipadu ARCS, strategi inkuiri, dan strategi konvensional.

Temuan ini secara keseluruhan memberikan gambaran bahwa strategi pembelajaran inkuiri dipadu ARCS terbukti lebih efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan dengan strategi konvensional. Hasil penelitian sebelumnya yang sejalan dengan hasil penelitian ini dilaporkan oleh [14]; [21]; dan [22], bahwa penerapan strategi inkuiri terbukti efektif dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Pembelajaran berbasis inkuiri (PBI) telah terbukti efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis [23]. Hasil penelitian ini mendukung teori yang mengatakan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa akan mengalami peningkatan seiring dengan strategi pembelajaran yang digunakan guru [24].

Penerapan strategi inkuiri dipadu ARCS terbukti lebih efektif untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa dibandingkan dengan penerapan strategi inkuiri dan strategi konvensional. Hal ini disebabkan adanya perbedaan sintaks pembelajaran. Sintaks pembelajaran inkuiri dipadu ARCS memiliki kelebihan dimana setiap tahapan pembelajaran inkuiri dipadu ARCS memiliki empat kondisi motivasional yaitu *Attention*, *Relevance*, *Confidence*, dan *Satisfaction*. Keempat kondisi ini mempengaruhi motivasi belajar siswa dalam pembelajaran. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Keller [17] bahwa ARCS mengandung strategi yang dapat membantu guru merangsang atau mempertahankan motivasi. Nur [25], mengemukakan guru yang berhasil membuat siswanya merasa senang dan membuat mereka merasa diterima dan dihormati sebagai individu, lebih besar peluangnya untuk membuat siswa menjadi bersemangat untuk belajar, memiliki kesediaan untuk menjadi kreatif, dan terbuka untuk mengeksplorasi ide-ide baru serta inovasi-inovasi yang cemerlang. Dengan demikian keterlibatan aktif siswa dalam kegiatan pembelajaran akan mempengaruhi proses berpikirnya sehingga dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritisnya.

Strategi inkuiri dipadu ARCS merupakan strategi pembelajaran yang mampu mengembangkan keterampilan berpikir kritis siswa. Keterampilan berpikir kritis siswa akan mengalami peningkatan seiring dengan strategi pembelajaran yang digunakan, oleh karena itu pembelajaran harus memberdayakan keterampilan berpikir kritis (Ibrahim dan Nur, 2000). Secara spesifik terkait langsung dengan strategi pembelajaran inkuiri, dinyatakan bahwa strategi tersebut berpotensi memberdayakan kemampuan berpikir siswa sebagaimana yang dikemukakan Renner dan Lawson (1975), Blake (1976) (dalam Lawson [26]).

Strategi inkuiri dipadu ARCS dapat memotivasi dan mendorong siswa secara aktif untuk berpikir, memecahkan masalah secara mandiri tapi terbimbing, menganalisis dan membuat keputusan sehingga siswa memiliki keterampilan berpikir kritis yang lebih baik. Aktivitas siswa dalam melakukan proses inkuiri mulai dari merumuskan masalah, merumuskan hipotesis, merancang percobaan, melakukan percobaan, mengumpulkan dan menganalisis data, sampai membuat kesimpulan dapat melatih proses berpikir siswa sehingga dapat mengembangkan keterampilan berpikir kritisnya. Trna [27] menyatakan bahwa pembelajaran inkuiri adalah pendekatan yang berpusat pada instruksional pelajar dengan dasar penyelidikan mengintegrasikan teori dan praktek, dan mengembangkan pengetahuan dan keterampilan dan solusi suatu masalah. Strategi pembelajaran yang diterapkan bukan hanya berguna untuk menyampaikan materi, tetapi melatih kemampuan peserta didik untuk berpikir, menggunakan struktur kognitifnya secara penuh dan terarah [28].

Kesimpulan

Strategi inkuiri dipadu ARCS berpengaruh terhadap keterampilan berpikir kritis siswa. Berdasarkan hasil uji BNT diketahui bahwa strategi inkuiri dipadu ARCS berbeda signifikan dengan strategi lainnya. Strategi inkuiri dipadu ARCS berbeda nyata dengan inkuiri, dan inkuiri berbeda nyata dengan konvensional. Strategi inkuiri dipadu ARCS meningkatkan keterampilan berpikir kritis lebih tinggi dari strategi inkuiri dan strategi konvensional. Pembelajaran biologi dengan strategi inkuiri dipadu ARCS dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis lebih tinggi dari pembelajaran dengan strategi inkuiri tanpa ARCS, dan strategi konvensional.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan lancar dan baik.

Referensi

- [1] Depdiknas, 2003. *Kurikulum 2004 SMA, Pedoman Khusus Pengembangan Silabus Dan Penilaian Mata Pelajaran Biologi*. Jakarta. Direktorat Pendidikan Menengah Umum Departemen Pendidikan Nasional.
- [2] Sagala S, 2003. *Konsep dan Makna Pembelajaran*. Alfabeta. Bandung
- [3] Trilling, B and Paul Hood, 1999. *Learning, Teknologi, and Education Reform in the Knowledge Age*. Educational Technology. Juni:5
- [4] TIM BBE, 2002. *Pendidikan Berorientasi Kecakapan Hidup Melalui Pendekatan Broad Based Education*. Jakarta; Depdiknas.
- [5] Fisher, A. 2009. *Critical Thinking. An Introduction*. Terjemahan oleh Benyamin Hadinata. Jakarta: Erlangga.
- [6] Ennis, Robert H. 2000. *An Outline of Goals for a Critical Thinking Curriculum and Its Assesment*. On line <http://faculty.ed.uiuc.edu/rhennis>. Diakses 20 Desember 2010.
- [7] Rosyada, D. 2007. *Paradigma Pendidikan Demokratis Sebuah Model Pelibatan Masyarakat Dalam Penyelenggaraan Pendidikan*, Jakarta. Kencana Prenada Media Group.
- [8] Dike D., 2010. Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa dengan Model TASC (Thinking Actively in a Social Context) pada Pembelajaran IPS. *Jurnal Pendidikan*. 15-29. (05-12-2014).
- [9] Kuhlthau, C.C., Maniotes, L.K., DAN Caspari, A.K. 2007. *Guided Inquiry. Learning in the 21st Century*. Wesport, Connecticut: Libraries Unlimited Inc.
- [10] Germann, P.J. 1999. Developing Science Process Skill Through Direct Inquiry. *The American Biology Teacher*. 53(4):243-247.
- [11] Marzano, R.J. 1992. *A Different Kind of Classroom. Teaching With Dimension of Learning*, Alexandria: ASCD.
- [12] Oates, K.K. 2002. *Inquiry Science: Case Study in Antibiotic Prospecting*. *The American Biology Teacher*. 64(3): 184-187.
- [13] Corebima, A.D. 2007. Review On: Learning Strategies Having Bigger Potency To Empower Thinking Skill and Concept Gaining of Lower Academic Students. *Proceedings of the Redesigning Pedagogy: Culture, Knowledge, and Understanding*. Singapura, Mei 2007.
- [14] Setiawan, I.G.A.N. 2005. *Pengaruh Pembelajaran Kontekstual dalam Strategi Inkuiri dan Pembelajaran Berdasarkan masalah untuk meningkatkan Kemampuan Berpikir dan Hasil belajar Biologi SMP di Kecamatan Buleleng Bali*. Disertasi Tidak diterbitkan. Malang: Universitas Negeri Malang.

- [15] Ibrahim, M. 2005. *Kurikulum Berbasis Kompetensi di Perguruan Tinggi*. Makalah disajikan dalam pelatihan KBK di Perguruan Tinggi, Universitas Lambung Mangkurat. Banjarmasin, 4-5 Juli.
- [16] Medsker, K.L and Holdsworth, K.M. 2001. *Models and Strategies for Training Design*. USA. International Society for Performance Improvement.
- [17] Keller J.M. 1983. *ARCS Motivation Model*. Handout yang dikembangkan sebagai bagian dari persyaratan untuk EDTEC 670, Exploratory Learning Through Simulation and Games. (Online, (http://edweb.sdsu.edu/courses/edtec670/archives/cases_F02/edtec540/ARCSModelHandout.pdf). diakses 11 Juni 2013
- [18] Liliyasi, 2003. Peningkatan Mutu Guru Dalam Keterampilan Berpikir Tingkat Tinggi Melalui Model Pembelajaran Kapita Selekta Kimia Sekolah Lanjutan. *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, 3(8).
- [19] Galbreath, J, 1999. Preparing the 21 st Century Worker: The Link Between Computer Based Technology and Future Skill Sets. *Educational Technology*. December 1999.Vol. 19 (5) page 14-22.
- [20] Ary, D.P., Jacobs, L,C & Razavieh, A. 1982. *Pengantar Penelitian dalam Pendidikan*. Terjemahan oleh Arief Furchan. Surabaya; Usaha Nasional.
- [21] Santoso, H. 2007. *Pengaruh pembelajaran Inkuiri dan Strategi Kooperatif terhadap Hasil Belajar Kognitif, Kemampuan Berpikir Kritis, dan Kemampuan Kerja sama Siswa SMA Berkemampuan Atas dan Bawah di kota Metro Lampung*. Disertasi tidak diterbitkan. Malang. Program Pascasarjana Universitas Negeri Malang.
- [22] Ramdani. A, 2012. *Pengembangan Perangkat Pembelajaran Inkuiri melalui Kegiatan Lesson Study serta Pengaruhnya terhadap Hasil Belajar IPA Biologi dan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Berkemampuan Akademik Berbeda di SMP Negeri Kota Mataram*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Negeri Malang.
- [23] Joyce, B.,M. Weil & E. Calhoun, 2000. *Models of Teaching*. 6th edition. Allyn Bacon. Boston. United State America.
- [24] Ibrahim, M, 2003. *Pengembangan Perangkat Pembelajaran*. Materi Pelatihan Terintegrasi Berbasis kompetensi Guru Mata Pelajaran Biologi. Jakarta:Depdiknas.
- [25] Nur, Mohamad, 2003. *Pemotivasian Siswa Untuk belajar*, Surabaya: Pusat Sains dan Matematika Sekolah.
- [26] Lawson, Anton, E. 1992. Development of Reasoning among College Biology Student - A Review of Research. *JCST*: XXI (6) May: 338-344.
- [27] Trna, 2012. Implementation of Inquiry-Based Science Education In Science Teacher Training. *Journal of Educational and Instructional Studies in the World*. Czech Republik: Masaryk University, 2 (23): 199-209.
- [28] Sanjaya.W. 2010. *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. Jakarta. Perdana Kencana.
- [29] Jufri, W. 2009. *Peranan Perangkat Pembelajaran Berbasis Inkuiri dan Implementasinya Terhadap perkembangan Keterampilan Berpikir Kritis*. *Jurnal Pendidikan Biologi* Jilid 1. Nomor 1, Agustus Hal. 81-86.
- [30] Muhiddin. P. 2012. *Pengaruh Integrasi Problem Based Learning dengan Pembelajaran Kooperatif Jigsaw dan Kemampuan Akademik terhadap Metakognisi, Berpikir Kritis, Pemahaman Konsep, dan Retensi Mahasiswa pada Perkuliahan Biologi Dasar*. Disertasi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Negeri Malang.

Mewujudkan Eko Kampus: Model Pengelolaan Sampah Terintegrasi Berbasis Masyarakat Kampus

Teguh Husodo^{1, a)}, Erri N. Megantara¹, M. Nurzaman¹, Nurullia Fitriani¹, M. Satori²

¹Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran.

²Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana Universitas Padjadjaran.

^{a)}email: teguhhusodo@gmail.com.

Abstrak

Limbah padat (sampah) merupakan sumber permasalahan lingkungan yang serius, dengan laju rata-rata 2,5% populasi penduduk telah memicu peningkatan kebutuhan lahan dan resiko kerusakan sumberdaya alam serta degradasi ekosistem. Kondisi tersebut memicu menurunnya daya tampung lingkungan akibat tingginya beban zat pencemar dan salah satu zat pencemar tersebut adalah sampah yang berasal dari rumah tangga dan perkantoran. Issue lingkungan bersumber dari sampah ini mencuat karena adanya kendala kemampuan pengelolaan di tingkat wilayah kota dan kabupaten, baik disebabkan oleh minimnya lahan *sanitary landfill*, konsep dan teknologi *reduce-reuse-recycle* (3R) yang sulit di praktikan serta pengetahuan dan kesadaran masyarakat yang menjadi sumber limbah/pencemar. Perguruan Tinggi adalah salah satu sumber sampah domestik yang memberi kontribusi cukup besar, posisi kampus di wilayah perkotaan dan populasi masyarakat kampus yang besar memberikan data linier dengan tingkat konsumsi dan limbah sebagai outputnya. Kondisi tersebut semakin diperburuk oleh belum adanya standar mutu pengelolaan sampah bagi suatu kampus. Berdasarkan hal tersebut, Universitas Padjadjaran berupaya menjadi kampus yang ramah lingkungan (*green campus*) dengan menerapkan prinsip-prinsip eco-campus (WUIR, 2014), khususnya dalam mengelola limbah kampus. Telah banyak upaya yang dilakukan oleh Unpad, namun bagaimana prinsip 3R dan pengelolaan limbah secara utuh (komprehensif dan holistik) diterapkan belum pernah diteliti. Untuk itu peneliti mencoba menggali potensi timbulan limbah yang ada didalam kampus, sehingga data/informasi mengenai jenis limbah, volume limbah, sumber limbah, sifat atau karakteristik limbah, termasuk bagaimana limbah tersebut dihasilkan perlu dilakukan sebagai bahan dari pengelolaan serta bagaimana potensi dampak yang ditimbulkan jika timbulan limbah tersebut tidak dikelola dengan baik. Aspek-aspek tersebut merupakan parameter yang akan dikumpulkan dari beberapa variable yang diusulkan. Melalui penelitian ini, maka diharapkan akan terdapat model pengelolaan limbah di tingkat domestik sebuah kampus, sehingga dapat membantu menekan sumber pencemar dalam rangka mitigasi permasalahan pencemaran dan lahan yang dihadapi saat ini.

Kata kunci: eko kampus, pengelolaan sampah, *reduce-reuse-recycle*

Pendahuluan

Sampah merupakan salah satu persoalan lingkungan di Indonesia baik dilihat dari kuantitas dan kualitas timbulannya maupun manajemen pengelolaannya. Dilihat dari timbulannya kompleksitas persampahan dipengaruhi oleh tingkat pertumbuhan dan gaya hidup sedangkan dari sisi manajemen pengelolaan dipengaruhi oleh kapasitas atau kemampuan pengelolaan yang

disediakan oleh universitas maupun di tingkat fakultas. Pengelolaan sampah belum dijadikan sebagai persoalan program prioritas bila dibanding dengan pembangunan fisik dan kegiatan ekonomi lainnya, sehingga akibatnya kemampuan pengelolaan atau tingkat pelayanan dalam pengelolaan limbah masih rendah. Hal tersebut tidak hanya terjadi di lingkungan kampus berbagai perguruan tinggi namun juga pada tingkat pemerintah daerah. Data dari JICA (2008) menunjukkan bahwa kemampuan pengelolaan sampah baru mencapai 59% dari total penduduk, sedangkan hasil penelitian di Kesehatan Dasar (2010) memberikan informasi bahwa tingkat pengelolaan sampah oleh pemerintah daerah baru mencapai 23,4%, sedangkan sampah yang dibakar secara liar mencapai 52,1%.

Manajemen pengelolaan sampah di berbagai negara kini telah mengalami pergeseran dari pendekatan ujung pipa (*end of pipe treatment*) ke pendekatan pencegahan (*reducing*), penggunaan ulang (*reusing*) dan daur ulang (*recycling*) atau yang dikenal dengan 3R. Hal ini disebabkan karena laju timbulan sampah yang makin meningkat sementara daya tampung alam dan daya dukung alam yang makin terbatas terutama di wilayah perkotaan. Rendahnya tingkat pelayanan serta berbagai kasus yang mencuat belakangan ini terkait dengan keberadaan tempat pemrosesan sampah, baik ditingkat sementara (TPS) maupun ditingkat akhir (TPA). Seperti juga permasalahan limbah secara umum, limbah didalam kampus juga dihadapkan kepada kendala serupa, yaitu kapasitas dan dampak lingkungan yang terjadi semakin tinggi dibandingkan dengan kemampuan daya dukung alam terhadap laju timbulan limbah.

Kampus Universitas Padjadjaran memiliki tidak kurang 25.000 populasi masyarakat kampus, letaknya di kota satelit pendidikan Jatinangor membuat Unpad menjadi kontributor limbah bagi lingkungan. Data empirik tahun 2011 menunjukkan data bahwa volume sampah dikampus Unpad dalam dua hari menghasilkan tidak kurang dari 2 ton limbah padat/sampah. Hasil penelitian di Universitas Diponegoro (2011), diperoleh informasi bahwa dengan rata-rata jumlah populasi masyarakat kampus yang mencapai 25.000 orang akan menghasilkan timbulan limbah padat (sampah) tidak kurang dari 31,63 m³/hari (1600,94 kg/hari), dan jika menggunakan data yang sama diperkirakan akan dibuang limbah cair sebesar 150.000 ltr *greywater* dan 75.000 ltr *blackwater*. Data tersebut belum termasuk limbah cair laboratorium, termasuk jenis dan karakter limbah yang dibuang. Kondisi tersebut apabila dibiarkan akan menjadi potensi besar terhadap permasalahan-permasalahan lingkungan didalam kampus maupun lingkungan sekitar kampus, tidak hanya aspek estetika, namun juga dampak kesehatan lingkungan mengingat limbah dapat menjadi sumber penyebaran vektor penyakit seperti tikus, lalat, dan nyamuk.

Timbulan limbah yang menjadi permasalahan lingkungan, pengelolaan limbah yang masih dijalankan dengan cara-cara konvensional dan sederhana serta dalam manajemen yang tidak terkoordinir akan meningkatkan permasalahan limbah semakin bertambah rumit dan menjadi sulit teratasi. Hal yang sama juga ditemukan di lingkungan kampus Unpad, meskipun telah dikelola oleh UPT Lingkungan dan K3L, namun tingginya populasi masyarakat kampus dan pola pengelolaan yang konvensional tersebut masih menyebabkan kendala dalam pengelolaan lingkungan. Salah satu upaya untuk menekan hal tersebut diperlukan suatu data/informasi mengenai data dasar dari limbah yang dihasilkan.

Melihat permasalahan persampahan yang makin kompleks maka diberbagai lingkungan kampus dan wilayah pemerintah daerah telah dikembangkan system manajemen pengelolaan limbah secara terpadu (*integrated waste management*). Hal ini disebabkan karena tidak ada teknologi tunggal yang dapat menyelesaikan persoalan persampahan (Tehrani et al., 2009). Konsep pengelolaan limbah secara terintegrasi memberikan menyediakan pilihan pengolahan sampah

secara fleksibel didasarkan jenis dan karakter limbah berbeda seperti plastik, gelas, sampah organik atau sampah yang dapat dikomposkan (Zaman, 2010). Konsep

pengelolaan limbah terpadu merupakan pilihan yang dianggap tepat saat ini dengan teknik dan manajemen yang disesuaikan untuk mencapai tujuan dari pengelolaan limbah itu sendiri (Tchobanoglous, 2002). Konsep keterpaduan dalam pengelolaan limbah terintegrasi harus dilihat dari berbagai aspek, diantaranya aspek metode, teknologi, aspek sosial, hingga aspek perilaku dan aspek keberlanjutan.

Mengacu kepada kebijakan penelitian pemerintah, usulan penelitian ini selaras dengan rencana induk penelitian - RIP Unpad pada bidang Lingkungan Hidup dengan tema Perlindungan dan Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Hidup, dan juga Pilar Penelitian Lingkungan pada *Cluster EcoCampus* (Gambar 1). Pembatasan masalah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut: a) Jenis, komposisi dan besaran serta karakteristik timbulan limbah (padat, cair, B3 dan laboratorium) yang dihasilkan di kampus UNPAD Jatinangor. b) Bagaimana sikap dan perilaku masyarakat kampus berkaitan dengan pengelolaan limbah, c) Identifikasi sistem pengelolaan sampah yang telah berjalan di kampus Unpad Jatinangor dan d) Arahan strategi pengelolaan limbah yang terintegrasi dengan program *Eco Campus*.

Tujuan penelitian adalah identifikasi timbulan limbah didalam kampus sebagai data base dari limbah kampus Unpad sebagai landasan untuk pengelolaan limbah terpadu (*integrated solid waste management*) dan meningkatkan kualitas lingkungan kampus UNPAD terutama berkaitan dengan aspek pengelolaan limbah.

Bahan dan Metode

Kerangka Pemikiran. Penelitian ini pada dasarnya adalah merupakan penelitian dasar dan aplikasi (*applied research*) yaitu mengaplikasikan berbagai teori dasar yang telah dikembangkan dalam sebuah sistem pengelolaan sampah yang terintegrasi. Prinsip sistem pengelolaan sampah tersebut adalah : (a) terintegrasi (*integrated*) yakni mengintegrasikan berbagai konsepsi keilmuan yang telah dikembangkan dalam pengelolaan sampah baik menyangkut konsepsi lingkungan yang berpijak pada tiga pilar pembangunan yaitu ekologi, ekonomi dan sosial; (b) kemprehensif, yaitu konsepsi-konsepsi yang di akan diterapkan adalah lengkap mulai dari hulu (sumber sampah) hingga hilir (*end product*); dan (c) *acceptable*, yaitu dapat diterima oleh pihak-pihak yang berkepentingan terutama yang terlibat di dalamnya.

Secara teknis, sistem pengelolaan limbah yang akan dikembangkan melalui penelitian ini terbagi dalam 3 (tiga) subsistem, yaitu : (a) subsistem pengelolaan di hulu (sumber sampah); (b) subsistem pengumpulan dan pengolahan antara; dan (c) subsistem pengolahan di hilir yakni lebih pada mengembangkan kegiatan usaha pemanfaatan sampah hingga produk akhir. Untuk mengembangkan usaha hilir tersebut dimungkinkan untuk disinergikan dengan kegiatan usaha lain (*business link*) seperti peternakan dan pertanian. Selengkapnya kerangka konseptual penelitian tersebut diperlihatkan dalam Gambar 1 di bawah ini. Seperti terlihat pada Gambar 1, aspek kegiatan usaha lain merupakan pengembangan kerangka penelitian setelah kegiatan utama di hulu dapat dikelola dengan baik.

	2013	2014	2015	2016
Eco Building	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identifikasi kondisi sarana dan prasarana ➢ Identifikasi pengelolaan limbah kampus ➢ Penelitian desain bangunan ramah lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Perancangan bangunan ramah lingkungan ➢ Perancangan pengelolaan limbah kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Penerapan bangunan Unpad menerapkan arsitektur hijau ➢ Infrastruktur bangunan menggunakan teknologi ramah lingkungan dan efisiensi tinggi ➢ Efektifitas pengelolaan limbah kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Tata bangunan Unpad telah memiliki sertifikat ramah lingkungan ➢ Efisiensi sumberdaya energi tinggi ➢ Sertifikasi pengelolaan limbah ➢ Sertifikasi SDM pengelola
Eco Place	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identifikasi kondisi dan peruntukan tata ruang ➢ Penelitian desain tata ruang dan bangunan 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Perancangan tata ruang kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Penerapan tata ruang kampus yang ramah lingkungan 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Tata ruang kampus dengan peran multifungsi
Eco Behaviour	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identifikasi stakeholder 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Perancangan dan model penerapan partisipasi 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Penerapan model partisipasi stakeholder dilingkungan sekitar kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Efektifitas peran dan efektifitas stakeholder dalam lingkungan kampus
Eco Relationship	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identifikasi permasalahan lingkungan selama operasional kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Perancangan dan model penerapan "layanan" kampus ➢ Penyusunan SOP/Protap pencapaian model layanan 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Penerapan model "layanan" Unpad terhadap lingkungan sekitar kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Efektifitas pencapaian dharma pengabdian kepada masyarakat pada lingkungan sekitar kampus
Eco Services	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Identifikasi permasalahan lingkungan selama operasional kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Perancangan dan model penerapan "layanan" kampus ➢ Penyusunan SOP/Protap pencapaian model layanan 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Penerapan model "layanan" Unpad terhadap lingkungan sekitar kampus 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Efektifitas pencapaian dharma pengabdian kepada masyarakat pada lingkungan sekitar kampus

Gambar 1. Road Map Pilar Lingkungan pada Cluster EcoCampus

Road Map Penelitian. Penelitian yang diusulkan ini merupakan rangkaian penelitian yang tidak terpisahkan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dilakukan Pengusul serta penelitian yang akan datang dengan hasil akhir yang ingin dicapai adalah terwujudnya sistem pengelolaan limbah dengan pola 3R menuju sistem *zero waste* yang didukung oleh teknologi ramah lingkungan. Untuk mewujudkan kondisi tersebut maka peta jalan (road map) penelitian tersebut terbagi dalam 3 fase, yaitu: **Fase 1:** Merupakan fase awal dalam mendapatkan data/informasi tentang timbulan limbah yang terdapat didalam kampus Unpad Jatinangor. Fase ini merupakan fase penting untuk membangun konsep pengelolaan yang akan dilakukan. **Fase 2:** Merupakan fase pengembangan dari konsep pengelolaan limbah skala kawasan dengan pola 3R (*reduce, reuse, recycle*) yang didukung teknologi tepat guna. Penelitian yang dilakukan pada fase ini adalah pengembangan teknologi pengelolaan limbah secara teknologi yang dituangkan kedalam desain. **Fase 3:** Merupakan fase pengembangan konsep pengelolaan limbah skala kawasan dengan pola 3R, yaitu dengan mengembangkan instrumen ekonomi sebagai alat kendali. Beberapa pendekatan yang akan dipergunakan dalam instrumen ekonomi ini adalah pengelolaan limbah padat yang menerapkan *deposit refund system*. Misalnya pada kantin-kantin didalam kampus. **Fase 4:** Merupakan fase optimalisasi sistem 3R menuju sistem *zero waste*. Pada fase ini akan dilakukan pengembangan teknologi gasifikasi untuk memanfaatkan residu dari kegiatan daur ulang yang selama ini sering jadi kendala. Fase ini diharapkan terjadi penghematan penggunaan energi bahan bakar minyak, mengembangkan energi alternatif biomasa dari residu sampah yang saat ini tengah dikembangkan oleh pilar PUPT lain di Unpad.

Desain Penelitian

Penelitian ini secara umum menggunakan pendekatan kuantitatif-kualitatif riset, dimana penelitian kuantitatif digunakan untuk mengetahui tingkat timbulan dan karakteristik sampah di UNPAD sedangkan penelitian kualitatif digunakan untuk mengetahui persepsi civitas akademika terhadap pengelolaan sampah UNPAD. Untuk penelitian kondisi eksisting pengelolaan persampahan UNPAD

dilakukan dengan metode survey dengan pengamatan langsung, sedangkan untuk mengetahui timbulan sampah dan persepsi sivitas akademikan dilakukan dengan survey secara acak dengan menggunakan sampling proporsional.

Wawancara. Teknik wawancara terstruktur ini dilakukan dengan panduan wawancara untuk mengetahui kondisi eksisting pengelolaan limbah di kampus UNPAD. Sedangkan untuk mengetahui persepsional civitas akademika menggunakan kuesioner dan wawancara. **Observasi.** Dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung terhadap kegiatan pengelolaan sampah UNPAD serta untuk mengetahui sarana dan prasarana pengelolaan limbah yang ada.

Pengambilan sampel dan pengolahan data. Pengambilan sampel dan pengolahan data ini dilakukan untuk menghitung timbulan limbah eksisting. Teknik pengambilan sampel tersebut berpedoman pada SNI 19-3964-1994 yaitu metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi limbah perkotaan, yang dimodifikasi sesuai dengan kondisi masyarakat kampus.

Operasionalisasi Variabel Penelitian. Operasionalisasi variabel dilakukan untuk membantu dalam pelaksanaan penelitian terutama pembatasan masalah yang diteliti, penetapan variabel penelitian, serta parameter yang akan diukur berikut dengan jenis data yang harus diambil. Secara ringkas operasional variabel penelitian disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Operasional Variabel Penelitian

No	Sasaran Kajian	Dimensi	Variabel	Parameter	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data	Sumber Data
1	Kondisi pengelolaan limbah di sumber	Timbulan dan karakteristik	Timbulan sampah perkantoran (termasuk gedung kuliah dan laboratorium)	Organik, plastik, kertas,ogam dan kaleng,B3, lainnya	Primer	Sampling	Petugas pengumpul sampah
			Timbulan sampah kantin	Organik, plastik, kertas, ogam dan kaleng, B3, lainnya	Primer	Sampling	Petugas pengumpul sampah
			Timbulan sampah taman	Organik, plastik, kertas, ogam dan kaleng, B3, lainnya	Primer	Sampling	Petugas pengumpul sampah
		Sosial-budaya civitas akademika	Civitas akademika	Jumlah mahasiswa, jumlah dosen, jumlah karyawan	Sekunder	Peninjauan Data Sekunder	Laporan profil mahasiswa, dosen dan karyawan UNPAD
			Persepsi civitas akademika		Primer	Sampling proporsional	Mahasiswa, dosen dan karyawan
			Latar belakang budaya	Kelompok etnik, budaya masyarakat	Primer	Wawancara semistruktur dengan informan	Informasi dari tokoh masyarakat
2	Teknik operasional	Pewadahan	Jenis wadah	Bahan/material, jumlah dan kapasitas, terpilah/tercampur	Primer	Pengamatan langsung	Informasi dari petugas kebersihan

No	Sasaran Kajian	Dimensi	Variabel	Parameter	Jenis Data	Teknik Pengumpulan Data	Sumber Data
		Pengumpulan	Cara pengumpulan sampah	Jenis alat/armada, periode pengumpulan, jumlah petugas	Primer	Pengamatan dan wawancara semistruktur dengan informan	Informasi dari informan yang mengetahui
		Pengolahan	Kinerja pengumpulan	Jumlah sampah yang terkumpul, terpilah/tercampur	Primer	Pengamatan langsung dan sampling	Petugas kebersihan kampus
			Sampah organik	Jenis pengolahan, kapasitas pengolahan, teknologi yang digunakan	Primer	Pengamatan langsung	Petugas kebersihan kampus
			Sampah non organik	Jenis pemanfaatan sampah anorganik, jumlah sampah anorganik yang diolah/dimanfaatkan	Primer	Pengamatan langsung	Petugas kebersihan kampus

Tahapan penelitian dijelaskan dengan menggunakan *flowchart* seperti pada Gambar 2. Uraian secara lengkap dari tahapan penelitian pada tahun pertama dan kedua adalah sebagai berikut:

Perumusan Masalah. Perumusan masalah dilakukan berdasar pada hasil pengamatan awal mengenai kondisi pengelolaan limbah yang ada di Kampus Unpad Jatinangor. **Kajian Literatur.** Kajian literature dilakukan dengan mereview literature-literatur yang berkaitan dengan pengelolaan limbah. Teori-teori mengenai program pengolahan sampah dengan konsep 3R serta beberapa aturan dan kebijakan terkait juga menjadi dasar pelaksanaan penelitian ini. Termasuk kajian tentang peraturan perundang-undangan terkait dengan pengelolaan sampah diantaranya : UU No. 18 tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, UU No. 32 tahun 2009 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup, PP No 81 tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, dan lain-lain, diperlukan untuk mendapatkan gambaran kebijakan nasional dalam pengelolaan sampah.

UNPAD Waste Management (UWM) Mapping. Pemetaan ini dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting sistem pengelolaan limbah UNPAD, yang meliputi : timbulan dan karakteristik sampah, teknik operasional (pewadahan, pemilahan, pengumpulan, dan seterusnya) serta sarana dan prasarana yang ada, serta survey tentang persepsi masyarakat kampus terkait dengan persampahan. Penelitian ini dilakukan baik dengan melakukan sampling maupun pengamatan langsung ke lapangan.

Pengolahan dan kompilasi data. Data yang diperoleh kemudian diolah dan dikompilasi sesuai dengan kebutuhan rancangan pada tahap sebelumnya.

Rancangan Manajemen Pengelolaan Limbah UNPAD terpadu. Pada tahap ini rancangan pengelolaan sampah meliputi : sistem pemilahan dan sistem pewadahan, serta sistem pengumpulan sampah dari masing-masing lokasi pewadahan.

Rancangan sistem pengolahan sampah (business plan). Pada tahap ini rancangan akan dikonsentrasikan pada pengembangan usaha dengan bahan baku sampah. Dalam pengembangan

usaha ini terdapat 4 kelompok sampah yang akan dijadikan konsentrasi pengolahan: sampah organik, sampah plastik, sampah kertas, dan sampah logam/kaleng. Selain sampah-sampah tersebut akan digolongkan pada katagori residu dan akan diolah dengan teknologi gasifikasi untuk mendapatkan energi alternatif.

Analisis kelayakan usaha. Karena sistem pengelolaan limbah ini terintegrasi dengan usaha pengolahan dari hulu hingga hilir (*end product*) maka penting kiranya untuk dilakukan kajian kelayakan usaha secara ekonomis.

Implementasi. Setelah semua sistem dinyatakan layak maka langkah selanjutnya menerapkan konsep yang telah disepakati serta diujicobakan dalam sistem ril.

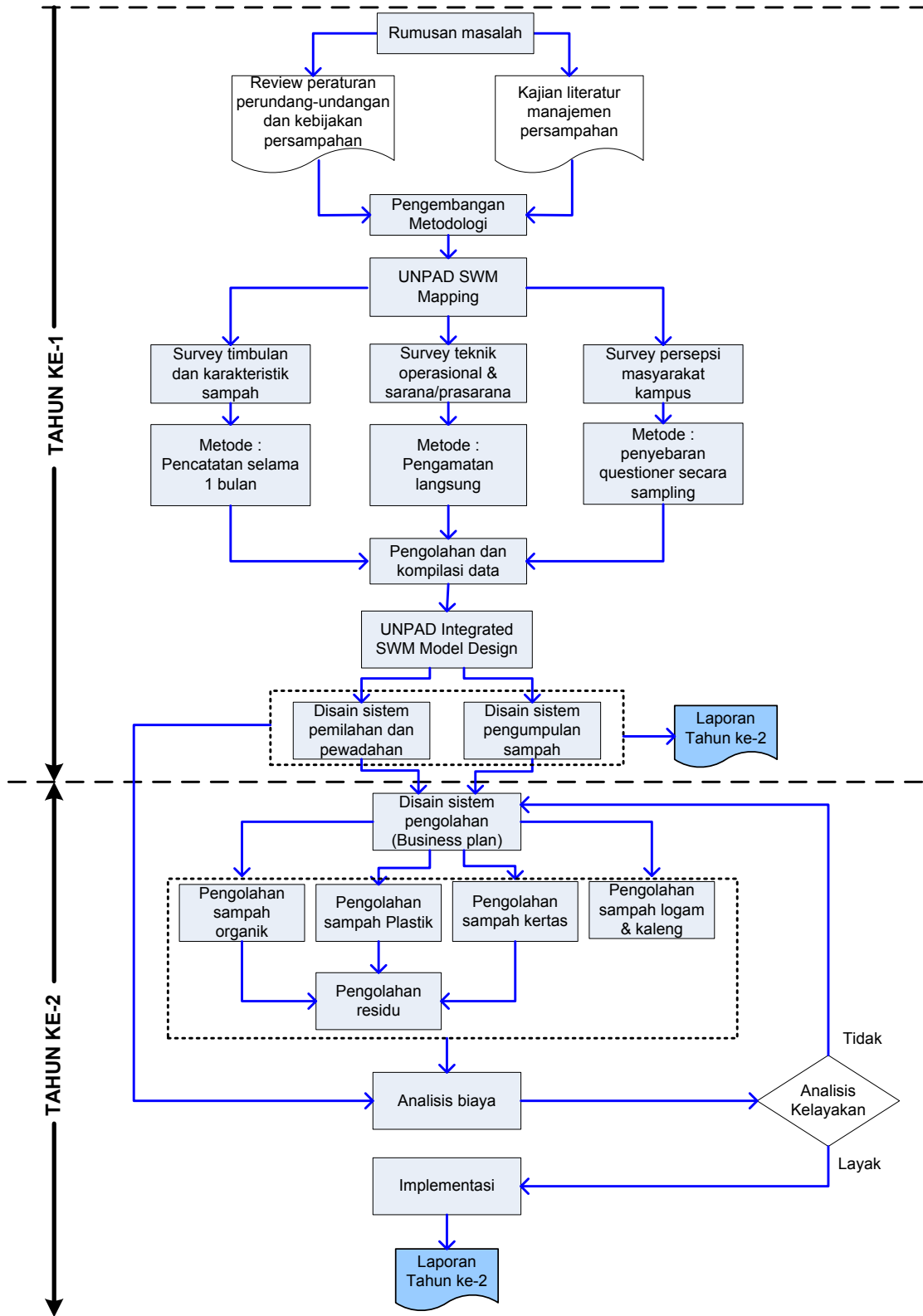
UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Wakil Rektor 3 Unpad dan Ketua LPPM Unpad untuk mendorong penyusunan program Eco Campus Unpad dan Pendanaan PUPT Unpad.

Referensi

- [1] Bandara, N. J., Hettiaratchi, J. P., Wirasinghe, S. C., & Pilapiiya, S. (2007). Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135(1-3), 31-39. <http://dx.doi.org/10.3923/rjasci.2010.183.190>
- [2] Bruck, Wolfram. (2000). Organisation for Economic Cooperation and Development. The OECD observer 221/222 (Summer 2000): 64-65.
- [3] Carvalho, Pedro; Marques, Rui Cunha. (2014). Economies of size and density in municipal solid waste recycling in Portugal. journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman
- [4] Chang, Ni Bin; Shoemaker, Christine A.; and Schuler, Richard E.; 1996. Solid Waste Management System Analysis with Air Pollution and Leachate Impact Limitation. *Waste management & Research*, 1996, 14, pp.463-481
- [5] Chang, N. B., & Lin, Y. T. (1997). An analysis of recycling impacts on solid waste generation by time series intervention modeling. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 201-214. <http://dx.doi.org/10.1108/17506180810891582>
- [6] Chen, H. W., & Chang, N. B. (2000). Prediction analysis of solid waste generation based on grey fuzzy dynamic modeling. *Resources, Conservation and Recycling*, 29(1-2), 1-18. [http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449\(99\)00052-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0921-3449(99)00052-X)
- [7] Cherian, Jacob; Jacob, Jolly. 2012. Management Models of Municipal Solid Waste: A Review Focusing on Socio Economic Factors. *International Journal of Economics and Finance*; Vol. 4, No. 10; 2012 ISSN 1916-971X E-ISSN 1916-9728
- [8] Dalemo, M., Frostell, B., Jönsson, H., Mingarini, K., Nybrant, T., & Sonesson, U. (1997). ORWARE – a simulation model for organic waste handling systems, Part 1: Model description. *Resources, Conservation and Recycling*, 21(1), 17-37. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X06062485>
- [9] Dyson, B., & Chang, N. B. (2005) 'Forecasting municipal solid waste generation in a fast-growing urban region with system dynamics modeling. *Waste Management*, 25(7), 669-679. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2012.31015>
- [10] Folz, David H. 1991. Recycling Program Design, Management and Participation: A National Survey of Municipal Experience. University of Tennessee. ProQuest Research Library pg. 222.
- [11] Folz, D. H. (1995). The economics of municipal recycling: A preliminary analysis. *Public Administration Quarterly*, 19(3), 299. Retrieved from <http://search.proquest.com/docview/226971218?accountid=50656>
- [12] Guerrero, Lilliana Abarca; Maas, Ger; Hogland, William; 2013. Solid waste management challenges for cities in developing countries. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman

- [13] Kato, Takaaki; Pham, Dung Thi Xuan; Hoang, Hai; Xue, Yonghai; Tran, Quang Van. (2012). Food residue recycling by swine breeders in a developing economy: A case study in Da Nang, Viet Nam. journal homepage: www.elsevier.com/locate/wasman
- [14] Karavezyris, V., Timpe, K., & Marzi, R. (2002). Application of system dynamics and fuzzy logic to forecasting of municipal solid waste. *Mathematics and Computers in Simulation*, 60(3-5), 149-158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.06.002>
- [15] Navarro-Esbrí, J., Diamadopoulos, E., & Ginestar, D. (2002). Time series analysis and forecasting techniques for municipal solid waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 35(3), 201-214. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X10396754>
- [16] Nowosielski, R. A; Kania, M. Spilka. (2008). Integrated recycling technology as a candidate for best available techniques. *International Scientific Journal*, published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering.
- [17] Prawiradinata, Rudy S. 2004. Integrated Solid Waste Management Model: The Case Of Central Ohio District. Dissertation, The Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University
- [18] Rathi, Sarika (2007). Optimization model for integrated municipal solid waste management in Mumbai, India. *Environment and Development Economics* 12: 105–121 C_2007 Cambridge University Press doi:10.1017/S1355770X0600341X Printed in the United Kingdom
- [19] Sakai, Kenji; Taniguchi, Masayuki; Miura, Shigenobu; Ohara, Hitomi; Matsumoto, Toru; and Shirai, Yoshihito; (2004). Making Plastics from Garbage A Novel Process for Poly-L-Lactate Production from Municipal Food Waste. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 7 No. 3-4.
- [20] Satori, Mohamad. (2003). Rancangan Sistem Industri Kecil Daur Ulang (IKDU) dalam Mewujudkan Sistem Pengelolaan Sampah Perkotaan Secara Terpadu, Thesis Magister, Program Pasca Sarjana Program Studi Pembangunan, ITB
- [21] Skovgaard, M., Moll, S., Andersen, F. M., & Larsen, H. (2005). Outlook for waste and material flows: baseline and alternative scenarios. Working Paper 1. *European Topic Centre on Resource and Waste Management*, Copenhagen, Denmark
- [22] Surjandari, Isti; Akhmad Hidayatno, Ade Supriatna. (2009). Model Dinamis Pengelolaan Sampah untuk Mengurangi Beban Penumpukan. *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 11, No. 2, Desember 2009, pp. 134-147 ISSN 1411-2485. Fakultas Teknik, Departemen Teknik Industri, Universitas Indonesia Kampus UI Depok, Jakarta 16424.
- [23] Taiwo, Oluwatoyin; Otieno, Fred; Vorster, Kobus; Fowler, Marie; (2009). Integrated solid waste management: an innovative and pragmatic approach to solving dwindling landfill capacity in Johannesburg. Source : http://www.saice.org.za/downloads/monthly_publications/2009/2009-Civil%20Aug/#/0
- [24] Tchobanoglous, George, (2002). Hand book of Solid Waste Management, International Student Edition, McGraw – Hill, Inc.
- [25] Zhang, Qinglin, Dor Liran, Fenigshtein dikla, Yang, Weihong, & Wlodzmierz. (2011). Gasification of municipal solid waste in the Plasma Gasification Melting process. *Applied Energy*
- [26] Zurbrügg, Christian. 2003. Urban Solid Waste Management in Low-Income Countries of Asia How to Cope with the Garbage Crisis. Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC) Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology (EAWAG) P.O. Box 6118600 – Duebendorf Switzerland Syakura, R. 2006. Analisis Vegetasi Hutan Dataran Rendah Dengan Metode Diagram Profil di Blok Nanggorak Cagar Alam Pananjung Pangandaran. [Skripsi] Universitas Padjadjaran, Bandung [Indonesia]
- [27] Whitmore, T.C. 1998. An Introduction to Tropical Rain Forests. Oxford University Press. New York.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Pengaruh Strategi Pembelajaran *Think Talk Write* (TTW) Terhadap Kemampuan Berkomunikasi Siswa Pada Materi Pokok Sistem Ekskresi Manusia (Penelitian pada Siswa Kelas XI SMAN 1 Kawali Ciamis)

Tuti Kurniati^{1, a)}, Tri Wahyu Agustina^{2, b)}, Lina Rosmiati^{3, b)}

¹Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

³Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: tuti.kurniati1959@gmail.com

^{b)}ninaagustina11@yahoo.com

Abstrak

Pembelajaran biologi di sekolah masih didominasi oleh pembelajaran konvensional. Salah satu strategi pembelajaran yang dapat meningkatkan keaktifan siswa dan kemampuan komunikasi adalah TTW. Materi yang dipilih adalah Sistem Ekskresi Manusia. Metode Penelitian dengan *Quasi Experimental and Nonequivalent Control Group Design*. Populasi siswa kelas XI SMAN 1 Kawali Ciamis. Pengambilan sample dengan purposif diperoleh hasil XI IPA 2 sebagai kelas eksperimen dan XI IPA 4 sebagai kelas kontrol. Masing-masing kelas berjumlah 40 siswa. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata kemampuan komunikasi pada kelas eksperimen 40,95 (tes awal), 89,55 (tes akhir) and *N-Gain* 0,82 (kategori tinggi). Rata-rata nilai tertinggi pada indikator membaca gambar sebesar 92,50. Nilai rata-rata kemampuan komunikasi pada kelas kontrol adalah 37,00 (tes awal), 74,95 (tes akhir) and *N-Gain* 0,60 (kategori menengah). Rata-rata nilai tertinggi pada indikator menggambar grafik yaitu 78,50. Kemampuan komunikasi lisan pada kelas eksperimen sebesar 76,00% (kategori baik) dan kelas kontrol sebesar 41,00% (kategori kurang). Hasil uji *Wilcoxon* data *N-Gain* diperoleh hasil Z_{hitung} yaitu 6,15 dan Z_{tabel} sebesar 1,64 berarti $Z_{hitung} > Z_{tabel}$. H_0 ditolak dan H_a diterima. Hal tersebut menunjukkan bahwa strategi pembelajaran TTW berpengaruh positif dan signifikan terhadap kemampuan berkomunikasi siswa pada materi sistem ekskresi manusia.

Kata kunci : pengaruh, TTW, kemampuan komunikasi, sistem ekskresi manusia

Pendahuluan

Proses belajar mengajar pada saat ini banyak didominasi oleh aktivitas menghafal karena belajar masih dianggap sebagai proses mendapatkan pengetahuan saja. Sebuah penelitian mengungkapkan bahwa abad ke-21 menuntut pola berpikir dan bersikap terhadap berbagai informasi dan tantangan yang harus dipersiapkan siswa untuk memahami hakikat sains sebagai proses, produk dan sikap. Untuk mencapai hal tersebut mengharuskan siswa memiliki bekal pengetahuan konsep dan keterampilan berpikir tinggi untuk diterapkan sebagai *life skill* (kecakapan hidup) dalam kehidupan [1].

Hasil observasi awal pada tanggal 11 Maret 2013 di kelas XI IPA 1 SMAN 1 Kawali Ciamis pada materi Sistem Respirasi Manusia menunjukkan bahwa dari 40 siswa hanya dua orang siswa yang mengajukan pertanyaan, dua orang siswa yang mengemukakan pendapat dan tiga orang siswa yang bisa menjawab pertanyaan. Berdasarkan hasil observasi tersebut, masalah pada kelas XI IPA 1 SMAN

1 Kawali Ciamis yang paling penting untuk dicarikan solusinya adalah rendahnya kemampuan berkomunikasi siswa dalam belajar biologi.

Penyebab rendahnya kemampuan berkomunikasi siswa salah satunya adalah strategi pembelajaran yang digunakan dalam mengajar. Menurut Wina Sanjaya [2], strategi pembelajaran adalah suatu kegiatan pembelajaran yang harus dikerjakan guru dan siswa agar tujuan pembelajaran dapat dicapai secara efektif dan efisien.

Salah satu strategi pembelajaran yang digunakan untuk meningkatkan komunikasi siswa adalah *Think Talk Write* (TTW). Penggunaan strategi TTW dapat mendorong siswa untuk berfikir aktif, berkomunikasi baik, siap mengemukakan pendapatnya, menghargai orang lain dan melatih siswa untuk menuliskan hasil diskusinya ke dalam bentuk tulisan secara sistematis [3].

Strategi pembelajaran TTW ini akan efektif apabila diterapkan pada pelajaran biologi sistem ekskresi manusia. Menurut Tim Kashiko [4], ekskresi merupakan proses pengeluaran atau pembuangan ampas hasil metabolisme yang tidak dibutuhkan oleh tubuh. Oleh karena itu, Sistem Ekskresi Manusia merupakan salah satu pelajaran yang penting untuk dipelajari oleh siswa untuk menjaga dan memelihara kesehatan hidup. Dengan demikian, guru harus cermat dalam menentukan strategi pembelajaran yang tepat agar konsep-konsep mengenai sistem ekskresi dapat dipahami dengan baik oleh siswa.

Teori

1. Strategi Pembelajaran Ttw

Strategi pembelajaran TTW adalah salah satu strategi pembelajaran yang dapat meningkatkan aktivitas bertanya dan kemampuan komunikasi diantara siswa [5]. Pembelajaran TTW dimulai dengan bagaimana siswa memikirkan penyelesaian suatu tugas atau masalah, kemudian diikuti dengan mengkomunikasikan hasil pemikirannya tersebut melalui forum diskusi, dan akhirnya melalui forum diskusi tersebut siswa dapat menuliskan kembali hasil pemikirannya. Aktivitas berpikir, berbicara, dan menulis adalah salah satu bentuk aktivitas belajar-mengajar yang memberikan peluang kepada siswa untuk berpartisipasi aktif. Melalui aktivitas tersebut siswa dapat mengembangkan kemampuan berbahasa baik secara lisan maupun tulisan secara tepat, terutama saat menyampaikan ide (Nunun Elida, 2012 : 181). Menurut Miftahul Huda [6], strategi ini memiliki sintak yang sesuai dengan urutan di dalamnya yakni *think* (berfikir), *talk* (berbicara), dan *write* (menulis).

Tahap 1: *Think*

Siswa membaca teks berupa soal. Pada tahap ini siswa secara individu memikirkan kemungkinan jawaban, membuat catatan kecil tentang ide-ide yang terdapat pada bacaan, dan hal-hal yang tidak dipahami dengan menggunakan bahasanya sendiri.

Tahap 2: *Talk*

Siswa diberi kesempatan untuk membicarakan hasil penyelidikannya pada tahap pertama. Pada tahap ini, siswa merefleksikan, menyusun, serta menguji (negosiasi, *sharing*) ide-ide dalam kegiatan diskusi kelompok. Kemajuan komunikasi siswa akan terlihat pada dialognya dalam berdiskusi, baik dalam bertukar ide dengan orang lain ataupun refleksi mereka sendiri yang diungkapkannya kepada orang lain.

Tahap 3: *Write*

Pada tahap ini siswa menuliskan ide-ide yang diperolehnya dari kegiatan tahap pertama dan kedua. Tulisan ini terdiri atas landasan konsep yang digunakan, keterkaitan dengan materi sebelumnya, strategi penyelesaian dan strategi yang diperoleh.

2. Kemampuan Komunikasi

Komunikasi dalam dunia pendidikan sangat diperlukan khususnya pada saat kegiatan pembelajaran berlangsung [7]. Mengkomunikasikan adalah keterampilan menyampaikan hasil berfikir atau penelitian kepada orang lain yang bisa dilaksanakan melalui proses berdiskusi, mengemukakan pendapat, mendramakan, bertanya, mengarang, menjawab, meragakan, mengekspresikan dan melaporkan dalam bentuk lisan ataupun tulisan, gambar, model, tabel, diagram, grafik atau penampilan [8]. Hendaknya kemampuan komunikasi dilatih dan dikembangkan pada diri siswa.

3. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah Metode *Quasi Eksperimen* dengan desain penelitian yang digunakan adalah *Non-Equivalen Control Group Design* [9]. Populasi adalah seluruh siswa kelas XI IPA SMAN 1 Kawali Ciamis. Teknik pengambilan sampel menggunakan *sampling purposive* dan terpilihlah dua kelas dari empat kelas yang tersedia yaitu kelas XI IPA 2 berjumlah 40 orang siswa (kelompok eksperimen) dan kelas XI IPA 4 berjumlah 40 orang siswa (kelompok kontrol).

Jenis data yang diambil dalam penelitian adalah data kuantitatif. Data tersebut dapat diperoleh dari hasil kemampuan berkomunikasi tulisan dan komunikasi lisan siswa pada materi Sistem Ekskresi Manusia dengan menggunakan strategi pembelajaran TTW (eksperimen) dan tanpa TTW (kontrol). Data penunjang diperoleh dari aktivitas guru dan siswa melalui lembar observasi serta respon siswa melalui angket terhadap kelas eksperimen dan kelas kontrol.

Hasil dan Pembahasan

Data hasil analisis kemampuan berkomunikasi tulisan siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol pada Tabel.1 dan Tabel.2 sebagai berikut :

Tabel.1 Kemampuan Berkomunikasi Tulisan Siswa Pada Kelas Eksperimen

No	Nilai	Jumlah	Rata-rata	Kategori
1	Tes Awal	1638	40,95	Kurang
2	Tes Akhir	3580	89,55	Sangat Baik
3	<i>N-Gain</i>	32,79	0,82	Tinggi

Tabel.2 Kemampuan Berkomunikasi Tulisan Siswa Pada Kelas Kontrol

No	Nilai	Jumlah	Rata-rata	Kategori
1	Tes Awal	1480	37,00	Kurang
2	Tes Akhir	2998	74,95	Baik
3	<i>N-Gain</i>	23,90	0,60	Sedang

Berdasarkan Tabel.2 nilai rata-rata tes awal kelas kontrol sebesar 37,00 dan nilai rata-rata tes akhir 74,95. Hal tersebut menunjukkan adanya peningkatan kemampuan berkomunikasi siswa antara sebelum diberikan perlakuan dan setelah diberikan perlakuan dengan nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,60 berkategori sedang. Sedangkan data hasil analisis kemampuan berkomunikasi lisan siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol pada pertemuan 1, 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel.3 dan Tabel.4 sebagai berikut:

Tabel.3 Data Hasil Observasi Kemampuan Komunikasi Lisan Siswa Kelas Eksperimen Pertemuan 1, 2, dan 3

No	Indikator	Pertemuan Ke-		
		1	2	3
1	Mengemukakan Pendapat	11	12	14
2	Bertanya	9	10	11
3	Menjawab	6	9	9
Jumlah Total		26	31	34
Persentase Siswa		65 %	78 %	85%
Rata-rata		76,00%		
Kategori		Baik		

Tabel.4 Data Hasil Observasi Kemampuan Komunikasi Lisan Siswa Kelas Kontrol Pertemuan Ke-1, 2 dan 3

No	Indikator	Pertemuan Ke-		
		1	2	3
1	Mengemukakan Pendapat	3	5	6
2	Bertanya	5	7	9
3	Menjawab	4	5	5
Jumlah Total		12	17	20
Persentase Siswa		30%	43%	50%
Rata-rata		41,00%		
Kategori		Kurang		

Untuk mengetahui pengaruh penggunaan strategi pembelajaran TTW pada kelas eksperimen dan pada kelas kontrol pada Tabel. 5 sebagai berikut :

Tabel. 5 Pengaruh Penggunaan Strategi Pembelajaran TTW terhadap Kemampuan Berkomunikasi Tulisan

No	Kelas	Nilai Rata-rata <i>N-Gain</i>	Kategori
1	Eksperimen	0,82	Tinggi
2	Kontrol	0,60	Sedang

Berdasarkan Tabel.5 tersebut menunjukkan pengaruh penggunaan strategi pembelajaran TTW pada kelas eksperimen lebih baik daripada kelas kontrol dengan selisih sebesar 0,22.

Adapun untuk mengetahui pengaruh penggunaan strategi pembelajaran TTW terhadap kemampuan berkomunikasi lisan siswa pada kelas eksperimen dan kontrol dapat dilihat pada Tabel.6 sebagai berikut:

Tabel. 6 Persentase pengaruh Penggunaan Strategi Pembelajaran TTW terhadap Kemampuan Berkomunikasi Lisan Siswa

No	Kelas	Persentase	Kategori
1	Eksperimen	76,00 %	Baik
2	Kontrol	41,00 %	Kurang

Berdasarkan data dari Tabel.6 tersebut menunjukkan bahwa pengaruh strategi pembelajaran TTW terhadap kemampuan berkomunikasi lisan siswa pada kelas eksperimen lebih baik daripada kelas kontrol, dengan selisih sebesar 35,00%. Untuk hasil uji hipotesis dapat dilihat berdasarkan Tabel.7 uji *wilcoxon* data *N-Gain* sebagai berikut:

Tabel.7 Hasil Analisis Uji *Wilcoxon N-Gain*

No	Data	T	Z _{hitung}	Z _{tabel}	Keterangan
1	<i>N-Gain</i>	68,50	6,15	1,64	H ₀ ditolak, H _a diterima

Hasil uji *Wilcoxon* data *N-Gain* pada Tabel.7 didapatkan hipotesis $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ sehingga H₀ ditolak dan H_a diterima. Hal tersebut menunjukkan bahwa strategi pembelajaran TTW berpengaruh positif dan signifikan terhadap kemampuan berkomunikasi siswa pada materi sistem ekskresi manusia.

Data penunjang berupa hasil observasi terhadap aktivitas guru maupun siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol disajikan pada Tabel 7 dan respon siswa melalui angket pada Tabel 8.

Tabel 7. Persentase rata-rata Keterlaksanaan Aktivitas Guru dan Siswa Pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

No	Aktivitas	Eksperimen	Kategori	Kontrol	Kategori
1	Guru	92,00%	Baik sekali	81,00%	Baik Sekali
2	Siswa	81,00%	Baik sekali	71,00%	Baik

Tabel 8. Rata-Rata Skor Jawaban Respon Siswa Pada Kelas Eksperimen dan Kontrol

No	Kelas	Rata-rata	Kategori
1	Eksperimen	4,00	Tinggi
2	Kontrol	1,81	Rendah

Selain itu, perolehan nilai rata-rata tes akhir pada kelas eksperimen berada di atas batas ketuntasan belajar minimal (KKM) yaitu 89,55. KKM di sekolah tersebut sebesar 75,00. Hal ini berarti penggunaan strategi pembelajaran TTW bisa mencapai nilai KKM dalam penelitian ini. Sedangkan untuk nilai rata-rata tes akhir kelas kontrol masih kurang dari ketuntasan belajar minimal yaitu sebesar 74,95.

Secara umum, strategi pembelajaran TTW belum pernah digunakan oleh guru mata pelajaran biologi di kelas XI SMAN 1 Kawali Ciamis. Oleh karena itu, respon siswa terhadap strategi

pembelajaran TTW termasuk dalam kategori tinggi karena siswa baru pertama kali belajar dengan menggunakan strategi pembelajaran TTW. Sedangkan pembelajaran tanpa TTW merupakan pembelajaran yang biasa digunakan oleh guru. Kondisi tersebut membuat siswa merasa bosan dan jenuh terhadap proses pembelajaran. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Muhibbin Syah [10] bahwa faktor pendekatan belajar (*approach to learning*) dapat mempengaruhi hasil belajar siswa.

Kesimpulan

Strategi pembelajaran TTW berpengaruh positif dan signifikan terhadap kemampuan berkomunikasi siswa pada materi pokok Sistem Eksekusi Manusia. Hal ini ditunjukkan dengan nilai $Z_{hitung} 6,15 > Z_{tabel} 1,64$ pada taraf signifikansi 5%.

Peningkatan kemampuan komunikasi tulisan siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dari padakelas kontrol dengan perolehan rata-rata nilai *N-Gain* sebesar $0,82 > 0,60$.

Kemampuan berkomunikasi lisan siswa terdapat peningkatan setiap pertemuannya dan diperoleh rata-rata persentase untuk kelas eksperimen lebih besar daripada kelas kontrol yaitu sebesar $76,00\% > 41,00\%$. Hal tersebut didukung dengan perolehan hasil keterlaksanaan proses pembelajaran dan juga angket siswa yang menunjukkan bahwa kelas eksperimen lebih baik daripada kelas kontrol.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan SMAN 1 Kawali Ciamis.

Referensi

- [1] F. Sudargo, "Kemampuan Pedagogik Calon Guru dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Keterampilan Proses Siswa melalui Pembelajaran Berbasis Praktikum", Jurnal Pengajaran MIPA, 2010, p. 2
- [2] Wina Sanjaya, "Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan", Penerbit Kencana, Jakarta, 2006, p. 125
- [3] N.D. Fatmawati, "Penerapan Strategi Pembelajaran Think Talk Write untuk Meningkatkan Aktivitas Belajar Biologi Siswa Kelas X-1 SMA Al Islam 1 Surakarta Tahun Ajaran 2009/2010", , <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/bio/article/download/24/13>, [diakses 12 Nopember 2012]
- [4] Tim Kashiko, "Kamus Lengkap Biologi", Penerbit Kashiko Press, Surabaya, 2004, p. 152
- [5] U.D. Ningsih, "Penerapan Strategi Pembelajaran Think Talk Write Berbasis Kontekstual untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa Kelas X-8 SMA Negeri 1 Sukoharjo Tahun Pelajaran 2010/ 2011", <http://jurnal.fkip.uns.ac.id/index.php/bio/article/view/41> [diakses 03 Desember 2012].
- [6] Miftahul Huda, "Model-Model Pengajaran dan Pembelajaran is-isu Metodis dan Paradigmatis". Penerbit Pustaka Pelajar, Yogyakarta, 2013, p. 218-219
- [7] Sobri M Sutikno, "Landasan Pendidikan", Penerbit Prospect, Bandung, 2008, p. 48.
- [8] Afifuddin, "Perencanaan dan Berbagai Pendekatan dalam Proses Belajar-Mengajar, Penerbit CV Insan Mandiri, Bandung, 2005, p. 112
- [9] Sugiyono, "Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D", Penerbit Alfabeta, Bandung, 2010, p. 116.
- [10] Muhibbin Syah, "Psikologi Pendidikan dengan Pendekatan Baru", Penerbit Remaja Rosdakarya, Bandung, 2004, p. 132

Bakteri Penghasil Listrik dari Limbah IPAL Bojongsoang dengan Menggunakan Teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC)

Yani Suryani¹, Soni Setiadji², Melin Amalia¹

¹⁾ Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung

²⁾ Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jalan A.H. Nasution No.105 Cibiru, Bandung 40614

^{a)} yan_dikha@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan bakteri untuk menghasilkan energi listrik merupakan upaya yang dapat dilakukan sebagai sumber energi alternatif. Sistem yang digunakan adalah teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) yang merubah penyimpanan energi kimia dalam bentuk campuran organik menjadi energi listrik oleh mikroorganisme. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari kemampuan limbah cair domestik sebagai substrat penghasil listrik dan menentukan daya voltase yang dihasilkan limbah serta mengetahui jenis spesies bakteri penghasil listrik yang terdapat dalam limbah IPAL Bojongsoang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama proses pengubahan elektrisitas terjadi aktivitas degradasi senyawa organik di dalam limbah cair domestik oleh bakteri dengan adanya hasil daya voltase sebesar 700 mV. Ditemukan 4 isolat bakteri dari limbah cair domestik di dalam sistem MFC dengan spesies *Kluyvera cryocens*, *Klebsiella oxytoca*, *Escherichia coli* dan *Citrobacter amalonitus*. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair domestik IPAL Bojongsoang dapat digunakan sebagai substrat generator penghasil elektrisitas dengan memakai sistem MFC.

Kata kunci: *Microbial Fuel Cell*, Listrik, *Kluyvera cryocens*, *Klebsiella oxytoca*, *Escherichia coli*, *Citrobacter amalonitus*

Pendahuluan

Masalah yang sedang dihadapi masyarakat Indonesia yaitu meningkatnya pertumbuhan manusia yang semakin meningkat, hal ini menyebabkan permintaan energi listrik semakin besar sedangkan pasokan sumber energi listrik semakin menipis [1]. Listrik telah menjadi kebutuhan mendasar dan sangat penting bagi kehidupan manusia di masa kini. Perkembangan teknologi dan pertumbuhan ekonomi menyebabkan kebutuhan energi listrik meningkat.

Pemanfaatan biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi alternatif. Biomassa dapat dikonversi menjadi berbagai jenis bioenergi. Biomassa sebagai sumber energi alternatif merupakan salah satu solusi yang bisa ditempuh untuk mengatasi krisis energi saat ini. Berbagai jenis biomassa terdapat melimpah di wilayah Indonesia. Sebagian biomassa itu adalah biomassa bakteri yang umumnya terdapat di dalam limbah. Penelitian terkini membuktikan adanya potensi penggunaan limbah cair sebagai penghasil energi listrik masa depan [2]. Limbah cair yang memiliki potensi untuk diteliti adalah limbah cair domestik. Limbah cair domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan atau kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen, peternakan dan asrama.

Pengukuran elektrisitas dapat dilakukan melalui teknologi *Microbial Fuel Cell* (MFC) dengan memanfaatkan senyawa yang mengandung hidrogen atau senyawa yang menghasilkan elektron sehingga ramah lingkungan [3]. Sel elektrokimia berbasis mikroba atau *Microbial Fuel Cell* (MFC)

merupakan sel bahan bakar yang memanfaatkan materi organik untuk digunakan oleh mikroba sebagai sumber energi dalam melakukan aktivitas metabolismenya.

Pemanfaatan air buangan sebagai sumber energi, dapat menekan biaya operasional menjadi lebih murah. Selain itu, aplikasi teknologi ini juga dapat menjadi solusi alternatif bagi penanggulangan limbah yang umumnya memberikan dampak negatif terutama bagi masyarakat sekitar [4]. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan spesies bakteri penghasil listrik pada limbah domestik IPAL Bojongsoang.

Teori

Bakteri merupakan organisme yang sangat kecil yang bisa mengkonversi berbagai macam senyawa organik menjadi CO_2 , air, dan energi. Mikroba menggunakan energi yang dihasilkan untuk tumbuh dan melangsungkan aktivitas metabolisme. Melalui teknologi MFC sebagian dari energi yang dihasilkan bisa diambil dalam bentuk listrik. Umumnya sebuah MFC terdiri dari anoda, katoda membran penukar kation atau proton dan sirkuit listrik. Bakteri hidup pada ruangan anoda dan mengubah substrat seperti glukosa, asetat juga limbah cair menjadi CO_2 [3][5].

Bakteri yang telah digunakan para peneliti dalam sistem MFC adalah *Geobacteraceae sulfurreducens*, *Geobacter metallireducens* dan *Rhodofex ferrireducens* dan *Escherichia coli* [6]. *Rhodofex ferrireducens* adalah bakteri gram negatif berbentuk batang pendek dengan satu flagella (monotrik) [7].

Keunggulan *Rhodofex ferrireducens* dibandingkan bakteri-bakteri lain dapat menghasilkan elektron dari banyak sekali jenis gula seperti glukosa, fruktosa, xylosa (dari kayu dan jerami) asam-asam laktat, piruvat, asetat, benzoat, dan propionat bahkan gula yang diperoleh dari sampah-sampah dan limbah rumah tangga dan tidak membutuhkan medium untuk mentransfer elektron dari donor ke elektroda, karena bakteri ini memang hidup menempel di elektroda (besi) [7]. Bakteri *Geobacter metaliducens* diketahui mempunyai gen yang dapat mendeteksi keberadaan logam-logam di sekitarnya. Gen ini menyandikan antena atau cambuk (pili) yang dapat digerakkan untuk berenang [6].

Prinsip kerja MFC adalah memanfaatkan mikroba yang melakukan metabolisme terhadap medium di anoda untuk mengkatalisis perubahan materi organik menjadi energi listrik dengan mentransfer elektron dari anoda melalui kabel, menghasilkan arus ke katoda. Transfer elektron dari anoda diterima oleh ion kompleks di katoda yang memiliki elektron bebas. Dalam MFC yang dapat digunakan sebuah donor elektron adalah zat hasil metabolisme mikroba atau elektron yang dilepaskan mikroba saat melakukan metabolismenya. Zat hasil metabolisme mikroba umumnya merupakan senyawa yang mengandung hidrogen, seperti etanol, metanol, atau gas metana [3] [8].

Setiap aktifitas metabolisme yang dilakukan mikroba umumnya melibatkan pelepasan elektron bebas ke medium. Elektron ini dapat dimanfaatkan langsung dalam anoda MFC untuk menghasilkan arus listrik. Cara ini lebih mudah dari pada mengolah senyawa yang mengandung hidrogen menjadi hidrogen murni lebih dulu [9]. Berbeda dengan proses anaerobik, sebuah MFC menciptakan arus listrik dan keluaran berupa gas yang terutama terdiri dari CO_2 . Bakteri hidup dalam anoda dan mengubah substrat seperti glukosa, asetat dan juga air buangan menjadi CO_2 , proton dan elektron untuk dapat menghasilkan laju reaksi reduksi oksidasi yang cukup digunakan katalis platina. Tetapi umumnya peneliti telah berusaha menggunakan katalis logam yang bukan logam mulia [10].

Komponen limbah domestik diantaranya adalah mikroorganisme. Mikroorganisme ini dapat berkembang jika terdapat bahan makanan yang sesuai dan kelembaban yang memadai serta suhu yang sesuai. Limbah domestik menyediakan lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan mikroba

terutama golongan bakteri, serta beberapa virus dan protozoa. Kebanyakan mikroba tidak berbahaya dan dapat dihilangkan dengan proses biologi yang mengubah zat organik menjadi produk akhir yang stabil. Tetapi limbah domestik dapat pula mengandung patogen (organisme yang menimbulkan penyakit) berasal dari ekskreta manusia yang terinfeksi penyakit menular yang dapat menyebar melalui air yang terkontaminasi [11].

Metode Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah voltmeter, wadah 500 mL, kabel, jembatan garam, elektroda gravit, termometer, pH meter, cawan petri, autoklaf, inkubator, labu erlemeyer, neraca analitik, tabung reaksi, batang pengaduk, gelas kimia, gelas ukur, mikropipet, *stirer*, bunsen, jarum ose, kaca objek, tabung durham, mikroskop, kamera *digital* dan buku identifikasi *Bergey's Determinative Bacteriology*.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah domestik IPAL Bojongsoang, gelatin, NaCl, aquades, Nutrient Agar, alkohol 70%, alkohol 95%, karbol gentian violet, larutan lugol 2%, larutan fuschin 1%, minyak imersi, larutan H₂O₂ 3%, NaCl fisiologis 0,09%, H₂SO₄ 1%, methylen blue, medium fermentasi karbohidrat (glukosa, laktosa, manitol, maltosa, sukrosa), media TSIA, media Simmons citrate, medium indol, pereaksi kovacs, medium MR-VP, pereaksi barrit, kertas label, kapas, plastik tahan panas, aluminium foil, dan spirtus.

Dalam penelitian ini sample diambil dari saluran kolam yang menuju kolam anaerobik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Bojongsoang. Sistem MFC yang digunakan adalah sistem bejana sepasang. Isolasi dan karakterisasi bakteri hanya dilakukan pada bak yang memiliki elektrisitas tertinggi selama percobaan pengukuran elektrisitas sampel dengan sistem MFC. Medium isolasi bakteri yang digunakan adalah medium Nutrient Agar. Isolasi tahap dua adalah tahap pemurnian dari isolat yang sudah didapatkan pada tahap pertama. Isolasi kedua menggunakan metode fourway streak plate [12].

Koloni bakteri tunggal yang telah murni dipisahkan ke dalam tabung reaksi yang berisikan medium NA miring dan disimpan sebagai kultur kerja lalu dikarakterisasi [13]. Pengamatan morfologi koloni meliputi pengamatan terhadap bentuk dan warna koloni [14]. Isolat bakteri kemudian dikarakterisasi dan diidentifikasi yang dilakukan secara biokimia yang mengacu pada *Bergey Manual of Determinative Bacteriology 9th* karakterisasi yang dilakukan meliputi pengamatan makroskopik dan mikroskopik. Pengamatan makroskopik pada medium NA dalam cawan petri meliputi pigmentasi, bentuk koloni, tepi koloni, dan elevansi [15]. Pengamatan mikroskopis meliputi pewarnaan gram dan pewarnaan endospora. Untuk penentuan jenis bakteri dilanjutkan dengan serangkaian uji biokimia terhadap isolat yang diperoleh dengan berpedoman pada buku *Bergey's Determinative Bacteriology* [16]. Uji Katalase, Uji Fermentasi Karbohidrat, Uji *Triple Sugar Iron Agar* (TSIA), Uji Indol, Uji Sitrat, Uji Metil Red (MR), Uji *Voges-Proskauer* (VP).

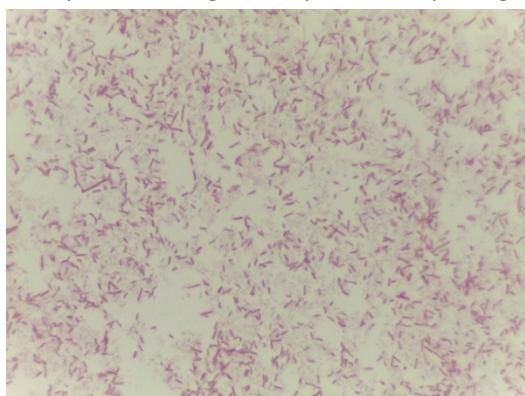
Hasil dan Diskusi

Tahap identifikasi yang pertama dilakukan adalah melihat morfologi koloni bakteri yang telah diisolasi.

Tabel 1. Identifikasi Morfologi Mikroba

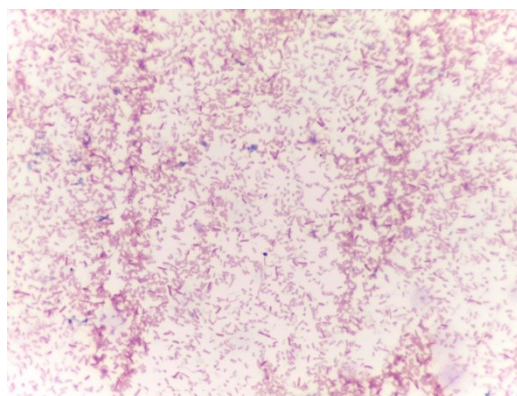
Morfologi koloni	Isolat bakteri			
	1	2	3	4
Ukuran	Small (kecil)	Large (besar)	Moderat (Sedang)	Large (Besar)
Karakteristik optik	Opaque	Opaque	Opaque	Traslucent
Bentuk	Circular	Circular	Circular	Circular
Elevansi	Convex	Convex	Convex	Convex
Permukaan	Kasar	Berkerut	Berkerut	Halus mengkilap
Margin	Entire	Lobate	Entire	Entire
Warna	Kekuningan	Keputih - putihan	Kekuningan	Hampir bening

Uji selanjutnya adalah uji pewarnaan bakteri untuk menentukan isolat koloni termasuk bakteri gram positif atau bakteri gram negatif. Hasil pewarnaan gram dapat dilihat pada gambar di bawah ini : Hasil pewarnaan gram dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



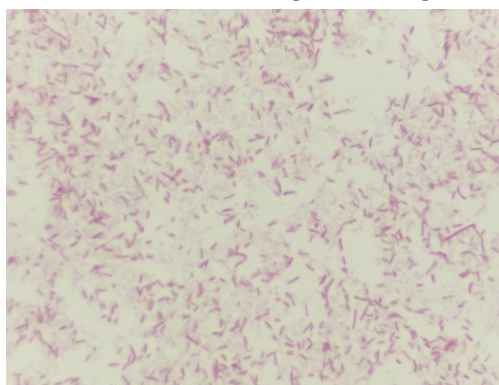
Gambar.1

Isolat 1 (Gram negatif batang)



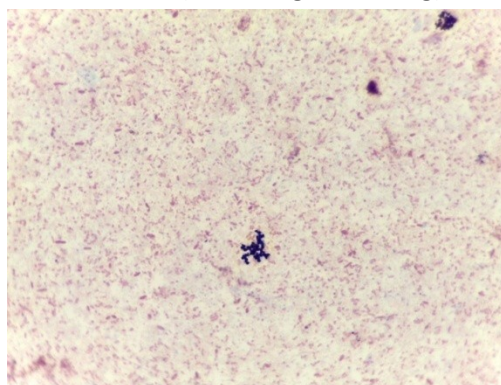
Gambar. 2

Isolat 2 (Gram negatif batang)



Gambar .3

Isolat 3 (Gram negatif batang)





Gambar .4

Isolat 4 (Gram negatif batang)

Hasil uji katalase pada 4 isolat tersebut membuktikan jika isolat merupakan katalase positif. Hal ini ditunjukkan dengan terbentuknya gelembung-gelembung yang berarti ada pembentukan gas oksigen sebagai hasil pemecahan H_2O_2 oleh enzim katalase yang diproduksi oleh bakteri tersebut.

Isolat bakteri-bakteri ini merupakan isolat positif juga dikarenakan karena tempat pengambilan sampel termasuk kolam IPAL Bojongsoang yang mengalir bersifat aerob. Katalase adalah enzim yang mengatalisasikan penguraian hidrogen peroksida menjadi air dan O_2 . Hidrogen peroksida bersifat toksik terhadap sel karena bahan ini menginaktivasi enzim dalam sel. Berikut hasil uji katalase pada bakteri penghasil listrik .

Tabel 2. Hasil Uji Biokimia

No	Katalase	Gambar
1	Positif (+)	
2	Positif (+)	

Berikut hasil uji biokimia pada bakteri penghasil listrik :

1. Uji Fermentasi Karbohidrat (Glukosa, Laktosa, Manitol, Maltosa dan Sukrosa)

Pada uji fermentasi karbohidrat isolat 1 bisa memfermentasi glukosa, laktosa, manitol, maltosa dan sukrosa. Isolat 2 dan 3 pun bisa memfermentasi karbohidrat. Hal ini ditandai dengan perubahan warna ungu menjadi kuning dan terdapat gelembung pada tabung Durham. Sedangkan isolat 4 tidak bisa memfermentasi laktosa dimana cairan tetap berwarna ungu. Menurut Lay [12] dalam proses fermentasi, bakteri yang ditumbuhkan dalam media cair yang mengandung karbohidrat, maka hasil fermentasi berupa asam. Asam yang dihasilkan akan menurunkan pH media biakan. Pembentukan asam laktat akan ditandai oleh perubahan warna media menjadi kuning, perubahan warna dengan diikuti terbentuknya gas pada tabung Durham merupakan fermentasi asam campuran dan fermentasi tanpa adanya perubahan warna tetapi terbentuk gas pada tabung Durham menandakan terjadinya fermentasi alkohol.

2. Uji Metil Red (MR)

Isolat 1 dan 3 menunjukkan hasil negatif ditandai dengan media pada tabung tetap berwarna kuning setelah ditetesi methyl red sedangkan Isolat 2 dan 4 menunjukkan hasil positif, setelah ditetesi methyl red pada tabung bagian atas terdapat warna merah cincin. Menurut Lay [12] jika media pada tabung menjadi merah setelah ditetesi methyl red menandakan pH media 4,4 dan tetap berwarna kuning dalam lingkungan dengan pH 6,2.

3. Uji Voges Proskauer

Isolat 1,2, dan 4 menunjukkan hasil negatif, karena pada hasil uji tidak terbentuk warna merah pada media setelah ditetesi reagen barit. Sedangkan isolat 3 menunjukkan hasil yang positif, karena pada uji terbentuk warna merah pada medium setelah ditetesi reagen barit A. Menurut Lay [12] Uji Voges Proskauer digunakan untuk mengidentifikasi mikroorganisme yang melaksanakan fermentasi 2,3 butanadiol.

4. Uji Simmon Citrat

Isolat 4 menunjukkan reaksi positif, hal ini ditandai dengan adanya perubahan warna dari hijau menjadi biru, sedangkan isolat 1,2, dan 3 tidak menunjukkan perubahan citrat sehingga hasilnya negatif. Menurut Lay [12] reaksi positif pada uji citrat menandakan bahwa isolat bakteri mampu menggunakan sitrat sebagai satu-satunya sumber karbon.

5. Hasil Uji Indol

Semua isolat bakteri menunjukkan hasil indol positif karena terbentuk lapisan (cincin) berwarna merah muda pada permukaan biakan, artinya bakteri ini membentuk indol dari tryptopan sebagai sumber carbon, yang dapat diketahui dengan menambahkan larutan kovacs. Asam amino triptofan merupakan komponen asam amino yang lazim terdapat pada protein, sehingga asam amino ini dengan mudah dapat digunakan oleh mikroorganisme akibat penguraian protein.

6. Triple Sugar Iron Agar (TSIA)

Semua isolat bakteri menunjukan H₂S atau TSIA negatif hal ini terlihat tidak adanya perubahan pada media TSIA. Fermentasi glukosa itu sendiri akan menunjukkan warna kuning pada dasar media. Fermentasi sukrosa dan laktosa akan menyebabkan warna kuning pada bagian dasar dan permukaan miring dari media. Adanya warna hitam membuktikan bahwa organisme tersebut menghasilkan hydrogen sulphid.

7. Uji Motilitas

Isolat 1,2, dan 4 menunjukkan uji motilitas positif hal ini terlihat bentukan seperti awan pada tusukan media. Hal ini menunjukkan karena bakteri memiliki untai tunggal protein untuk flagela. Flagela adalah satu-satunya organel dalam sel prokariot untuk motilitas. Pergerakan pada bakteri menunjukkan bahwa organisme memiliki flagella. Sel eukariot dapat bergerak dengan menggunakan flagela, silia, atau pseudopod.

Media menunjukkan pergerakan bakteri dimana bakteri yang mempunyai flagella akan bergerak menyebar dari pusat inokulasi. Sel akan didistribusikan sepanjang rute migrasi dan akan menyebabkan media menjadi keruh sehingga jejak pergerakan akan terlihat. Pada media ditambahkan garam tetrazolium (triphenyltetrazolium klorida atau TTC) sehingga pergerakan bakteri terlihat jelas dengan terbentuknya jejak kabut yang ditinggalkan oleh bakteri yang bergerak terlihat

seperti kabut dan berwarna. Media agar Semi-padat merupakan teknik yang paling umum untuk uji motilitas di laboratorium mikrobiologi [12].

Tabel 3. Uji Biokimia

Uji	Isolat			
	1	2	3	4
Semi solid	+	+	+	-
Glukosa	+g	+g	+g	+g
Laktosa	+g	-	+g	+g
Manitol	+g	+g	+g	+g
Maltosa	+g	+g	+g	+g
Sakarosa	+g	+	+g	+g
Indol	+	+	+	+
TSIA	-	+	-	-
Urea	-	+	-	+
MR	-	-	+	-
VP	-	-	-	+
Simositrat	-	-	-	+
Spesies	<i>Kluyvera cryocrescens</i>	<i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>E.coli</i>	<i>Citrobacter amalonaticus</i>

Setelah dilakukan identifikasi bakteri dengan pewarnaan gram, uji katalase dan uji biokimia, isolat 1 diduga sebagai spesies *Kluyvera cryocrescens*, isolat 2 diduga *Klebsiella oxytoca*, isolat 3 diduga *Escherichia coli* dan isolat 4 diduga *Citrobacter amalonaticus*.

Kluyvera cryocrescens merupakan bakteri gram negatif batang, katalase positif dan hasil uji biokimia menunjukkan bahwa *K. cryocrescens* ini dapat memfermentasi karbohidrat (glukosa, laktosa, manitol, maltosa dan sukrosa). Uji indol dan motilitas positif. Bakteri *K. cryocrescens* menunjukkan kepadatan arus tertinggi tetapi belum pernah dilaporkan untuk menghasilkan listrik [17].

Klebsiella oxytoce merupakan bakteri gram negatif batang yang dapat memfermentasi karbohidrat (glukosa, laktosa, manitol, maltosa dan sukrosa). Bakteri dapat ditemukan di berbagai lingkungan dan sering disebut sebagai mana-mana dan bersifat oportunistik [9].

Escherichia coli merupakan bakteri gram negatif batang yang dapat memfermentasi karbohidrat (glukosa, laktosa, manitol, maltosa dan sukrosa). Bakteri ini sering ditemukan pada limbah, limbah domestik adalah limbah buangan rumah tangga salah satunya adalah bersumber dari feses ternak.

Citrobacter amalonaticus ini merupakan bakteri yang dapat memfermentasi karbohidrat, katalase positif dan memiliki uji indol positif. *Citrobacter* mampu menghasilkan listrik dari berbagai substrat di PMF [18].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil simpulan:

1. Pada limbah IPAL Bojongsong terdapat bakteri penghasil listrik.

2. Spesies yang ditemukan adalah *Kluyvera cryocens*, *Klebsiella oxytoca*, *Escherichia coli* dan *Citrobacter amalonitus*. Bakteri-bakteri tersebut memiliki potensi menghasilkan arus listrik dengan melakukan transfer elektron.

Referensi

- [1] Puppan, D. 2002. *Environmental Evaluation of Biofuels*. Periodica Polytechnica Ser,Soc,Man,Sci 10 (1);95 – 116
- [2] Idham F, Halimi S, dan Latifah. 2009. *Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik Dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell*. Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor.
- [3] Sitorus,Berlian. 2012. *Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba*. Jurnal ELKHA Vol.2 No.1.Maret 2010.
- [4] Aelterman,P., Rabaey.K., Clauwaert.P., Verstraete,W., 2006. *Microbial fuel cell for wastewater treatment, Water Science & Technology*. Vol.54, No 8, pp 9 – 15.
- [5] Rabaey, K and W. Verstratete. 2005. *Microbial Fuel Cells: Novel Biotechnology for Energy Generation*.Trends in Biotechnology Vol. 23 No. 6.
- [6] Fitrialdi. 2011. *Microbial Fuel Cell Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Bakteri Escherichia coli*. Universitas Andalas : Padang.
- [7] Scoth, K. Cotlascius. 2008. Power from marine sediment fuel cell : The influence of anode material. Appl electrochem (38) : 1313 -1316.
- [8] Kristin, Ester. 2012. *Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe*. Jakarta : Universitas Indonesia
- [9] Kim,B.H., Chang, S.I., Gadd, M.G. 2007. *Challenges in microbial fuel cell development and operation*.*Microbiol Biotechnol*. Vol.76. pp 485-494.
- [10] Madigan, Thomas D , Michael T, Madigan, John M. Martinko & Jack Parker. 1997. *Biology of Microorganism*. Prentice Hall International Inc, New Jersey.
- [11] Harmayani, K. dan Konsukartha. 2007. *Pencemaran Air tanah Akibat Pembuangan Limbah Domestik di Lingkungan Kumuh*. Jurnal permukiman tanah. Vol. 5 NO. 2 : 62 – 108.
- [12] Lay, Bibiana. W.Hastowo, Sugyo. 1994. *Analisis Mikroba di Laboratorium edisi 1*. Pt raja Grafindo persada : Jakarta
- [13] Suyanto,Eko., Ayu Mayangsari, Asri Wahyuni, Fatimatuz Zuhro, Sofiet Isa . 2010. *Pemanfaatan Limbah Cair Domestik Ipal Kricak Sebagai Substrat Generator Elektrisitas Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell Ramah Lingkungan*. Seminar Nasional Biologi 2010 Sb/O/BI/02.
- [14] Pelczar dan Chan. 1988. *Dasar - Dasar Mikrobiologi 2*, terjemah : Ratna S Hadioetomo. UI Press. Jakarta.
- [15] Cappuccino, JG dan Sherman, N. 2005 . *Microbiology : A Laboratory Manual, 2nd Ed* . The Benjamin Commings Publishing Company. Inc USA.
- [16] Buchanan.R.E, N.E.Gibbons. 1974. *Bergeys manual of Determinative Bacteriology Eight Edition*.Baltimore : the Williams and Wilkins company
- [17] Yuan et all . 2012. *A Photometric High-Throughput Method for Identification of Electrochemically Active Bacteria Using a WO₃ Nanocluster Probe*. Scientific Reports : 1315
- [18] Stansfield,William, Raul Cano, Jaime Colome. 2006. *Schaum's Easy Outlines Biologi Molekuler dan Sel*. Erlangga : Bandung

PROFIL KEMAMPUAN CALON GURU MEMBUAT PERTANYAAN PADA MATA KULIAH KAPITA SELEKTA BIOLOGI

Milla Listiawati^{1,a)}

¹*Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung*

^{a)}*millalistiawati@gmail.com*

Abstrak

Guru merupakan komponen utama dalam proses pendidikan. Salah satu tuntutan seorang guru ialah kemampuan menyusun alat evaluasi berupa soal-soal pertanyaan yang berkualitas. Kemampuan menyusun pertanyaan merupakan alat yang dapat membantu meningkatkan kemampuan berpikir siswa. Oleh karena itu, guru harus dibekali kemampuan membuat alat evaluasi yang baik. Namun, mahasiswa calon guru masih merasa kesulitan dalam membuat pertanyaan dengan jenjang kognitif yang bervariasi.

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi jenis pertanyaan mahasiswa calon guru berdasarkan klasifikasi pertanyaan tertutup (Konvergen) atau terbuka (Divergen) dan dimensi kognitif Taksonomi Bloom revisi.

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif. Data hasil penelitian diidentifikasi berdasarkan jenis pertanyaan dan jenjang kognitifnya lalu ditabulasi dalam bentuk persentase.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gambaran klasifikasi pertanyaan didasarkan pada pertanyaan konvergen dan divergen berdasarkan pembuatan soal yang dibuat oleh calon guru diperoleh rata-rata persentase 7,44% soal berjenis pertanyaan divergen dan 92,56% pertanyaan konvergen. Kemampuan membuat pertanyaan berdasarkan dimensi kognitif taksonomi Bloom diperoleh rata-rata persentase paling tinggi 55,6% pertanyaan jenjang C2 (Memahami) dan 44,17% pertanyaan jenjang C1 (Mengingat). Dapat disimpulkan bahwa kemampuan pertanyaan mahasiswa calon guru masih rendah dan perlu ditingkatkan.

Kata kunci : Divergen, Konvergen, Kognitif, Taksonomi Bloom

Pendahuluan

Keterampilan bertanya atau mengajukan pertanyaan dalam penyusunan soal-soal sebagai alat evaluasi menjadi bagian yang penting. Secara administratif, guru perlu menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) yang dalam pembuatannya terdapat bagian penyusun indikator pembelajaran, kegiatan pembelajaran dan alat evaluasi.

Dalam evaluasi di RPP menyusun soal merupakan hal yang penting untuk mengukur ketercapaian kompetensi siswa. Namun demikian, soal-soal yang dibuat oleh guru masih berkisar pada aspek kognitif yang rendah.

Dari hasil wawancara pada mahasiswa calon guru tingkat akhir, mengalami kesulitan dalam penyusunan pertanyaan pada pembuatan soal. Kami sebagai dosen LPTK juga merasakan kesulitan dari mahasiswa calon guru saat proses bimbingan instrumen yang terus berkali-kali menyesuaikan antara soal dan indikator kompetensi yang diharapkan.

Dari latar belakang yang telah disajikan, maka kami meneliti judul “Profil kemampuan calon guru dalam membuat pertanyaan pada mata kuliah kapita selekta biologi”. Untuk memperoleh gambaran kemampuan calon guru dalam membuat pertanyaan yang akan menjadi studi pendahuluan untuk melakukan langkah selanjutnya.

Teori

1. Kompetensi Guru

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2005 tentang guru dan dosen menyatakan bahwa kompetensi adalah seperangkat pengetahuan keterampilan, dan perilaku yang harus dimiliki, dihayati dan dikuasai oleh guru atau dosen dalam melaksanakan tugas keprofesionalan. Selain itu, menurut peraturan menteri pendidikan nasional republik Indonesia nomor 16 tahun 2007 tentang standar kualifikasi akademik dan kompetensi guru, ada kompetensi yang harus dimiliki oleh guru antara lain kompetensi pedagogik, kepribadian, profesional dan sosial yang diperoleh melalui pendidikan profesi.

2. Evaluasi

Wandt dan Brown (1977) mengemukakan pengertian evaluasi pendidikan sebagai suatu tindakan atau kegiatan (yang dilaksanakan dengan maksud untuk) atau suatu proses (yang berlangsung dalam rangka) menentukan nilai dari segala sesuatu yang berhubungan dengan, atau yang terjadi di lapangan pendidikan, secara singkat bahwa evaluasi pendidikan adalah kegiatan atau proses penentuan nilai pendidikan, sehingga dapat diketahui mutu atau hasil-hasilnya.

Penilaian atau evaluasi pendidikan ditinjau dari berbagai segi memiliki tujuan [1], yaitu penilaian berfungsi selektif, penilaian berfungsi diagnostik, penilaian berfungsi sebagai penempatan dan penilaian berfungsi sebagai pengukuran keberhasilan.

3. Pertanyaan

Setiap guru mengajukan pertanyaan tentu memiliki maksud dan tujuan tertentu. Menurut Cotton dalam Adisendjaja (2014:102-103) yang diperoleh dari berbagai literatur tujuan guru mengajukan pertanyaan adalah:

- a. Mengembangkan minat dan memotivasi siswa untuk aktif di kelas.
- b. Mengevaluasi kesiapan siswa dan memeriksa pekerjaan rumah serta kelengkapannya.
- c. Mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan sikap berinkuiri.
- d. Mengulang kembali pelajaran dan merangkumkan pelajaran sebelumnya.
- e. Memperluas wawasan dengan mengekspos hubungan.
- f. Melakukan asesmen tujuan pembelajaran.
- g. Merangsang siswa untuk mengejar pengetahuan.

Berbagai pendekatan untuk menggolongkan atau mengklasifikasikan pertanyaan yang ada dalam berbagai pustaka. Menurut Wilen (dalam Mc Comas dan Abraham) ada 21 sistem penggolongan pada tahun 1974 dan banyak lagi setelah tahun 1991. Sistem penggolongan yang ditampilkan berikut adalah sistem yang disederhanakan oleh Wilen (1991) berdasarkan penelitian penggolongan Gallagher dan Aschner dan juga berdasarkan kategori belajar menurut Bloom (1956).

a. Pertanyaan dalam dimensi kognitif berdasarkan Taksonomi Bloom (Revisi)

Mengenai kategori dan proses kognitif berdasarkan Taksonomi Bloom. Terdiri dari mengingat (C1), memahami (C2), mengaplikasikan (C3), menganalisis (C4), mengevaluasi (C5) dan mencipta (C6).

b. Taksonomi Gallagher dan Ascher

Gallagher dan Ascher (1963), menggolongkan pertanyaan menjadi empat kategori yaitu pertanyaan kognitif-ingatan, berpikir konvergen (Tertutup), berpikir terbuka (Divergen), dan berpikir evaluatif.

4. Mata Kuliah Kapita Selektologi Sekolah Lanjutan (SL)

Mata kuliah kapita selektologi biologi disajikan di semester III dan IV, sebagai pengetahuan awal siswa tentang konsep-konsep biologi, pada tingkat SMA/MA dan analisis bahan pengajaran pengembangan bahan ajar biologi sekolah sesuai dengan kurikulum yang berlaku.

Pada kapita selektologi biologi 1 materi biologi yang dipelajari ada pada jenjang SMA kelas X dan XI. Setiap materi dipilih sesuai dengan tingkat kesulitannya. Begitu pula kapita selektologi biologi 2 yang dipelajari materi SMA yang ada di kelas XI diantaranya adalah metabolisme (fotosintesis dan respirasi sel), genetika, evolusi dan bioteknologi.

Bioteknologi dipilih sebagai materi dalam penelitian ini karena dianggap mudah dipahami oleh mahasiswa calon guru dan produk bioteknologi mudah didapatkan. Bioteknologi dianggap materi yang lebih aplikatif dibanding dengan materi lain yang disajikan di kapita selektologi biologi sl 2. Sementara, bioteknologi di SMA/MA disajikan di kelas XI.

Metode

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif. Data dalam penelitian ini ialah segala bentuk informasi yang berkaitan dengan kompetensi dasar, instrumen evaluasi yang dikerjakan calon guru dalam kelas. Data yang diambil berasal dari pertanyaan-pertanyaan yang dibuat oleh calon guru pada tingkat II semester IV pada mata kuliah kapita selektologi biologi di Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Pendidikan Matematika dan IPA Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Data distribusi pertanyaan-pertanyaan jenis uraian yang terkumpul dihitung persentase rata-ratanya sebagai data kuantitatif.

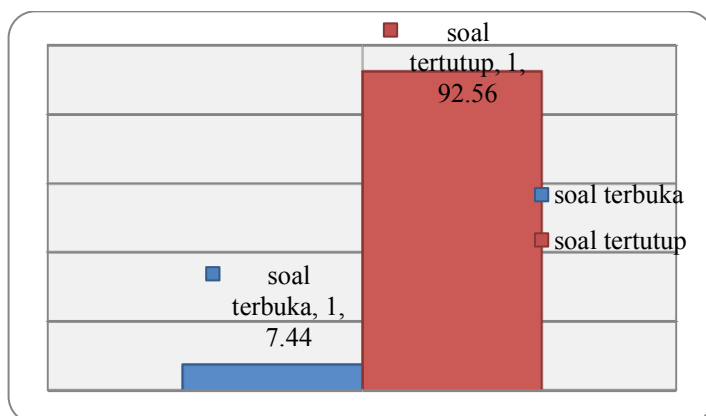
Pengambilan sampel diambil secara *purposive sampling*, dimana sampel yang dipakai hanya dua kelas yang masing-masing kelas berjumlah IV A 42 dan IV B 41 orang mahasiswa dengan total 83 orang. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif berupa tes pembuatan pertanyaan tipe tes uraian yang ditabulasi dalam bentuk persentase berdasarkan pengelompokan tertentu. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini sebagai berikut: Pedoman wawancara yang digunakan untuk mengetahui kesulitan mahasiswa tingkat akhir sebagai data pendukung dalam latar belakang. Tes berupa pembuatan soal bentuk uraian yang disusun oleh mahasiswa semester IV prodi pendidikan biologi.

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

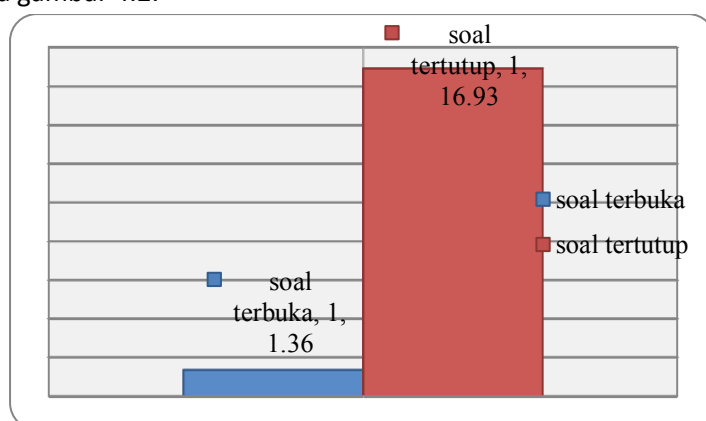
1. Distribusi Pertanyaan Berdasarkan Pertanyaan Tertutup (Konvergen) dan terbuka (Divergen)

Berdasarkan pembuatan soal yang dibuat oleh mahasiswa calon guru yang berjumlah 83 orang dan jumlah soal yang dibuat sebanyak 1518 soal. 7,44% soal yang berjenis pertanyaan terbuka dan 92,56% soal yang berjenis pertanyaan tertutup. Dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Persentase Rata-Rata Soal yang Dibuat oleh Calon Guru Berdasarkan Tipe Soal

Selain itu, rata-rata jumlah calon guru yang membuat soal berdasarkan tipenya. Dapat dilihat pada gambar 4.2.

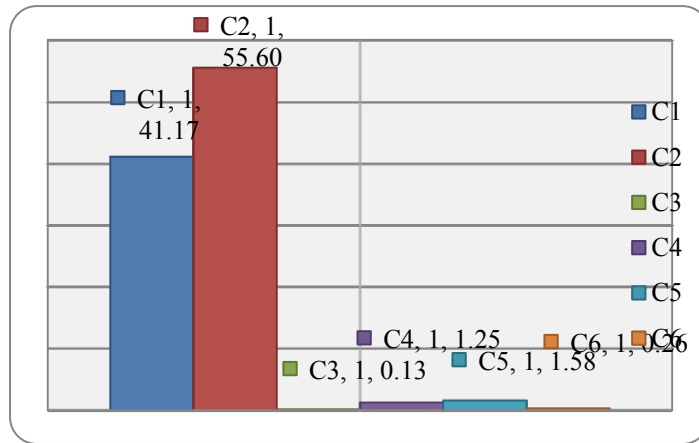


Gambar 4.2 Rata-Rata Jumlah Calon Guru yang Membuat Soal Berdasarkan Tipenya

Berdasarkan gambar 4.2 di atas, dapat diketahui bahwa rata-rata jumlah mahasiswa calon guru yang membuat pertanyaan dalam bentuk soal berdasarkan tipenya sebesar 1,36% yang berjenis pertanyaan terbuka (Divergen) dan 16,93% soal yang berjenis pertanyaan tertutup (Konvergen).

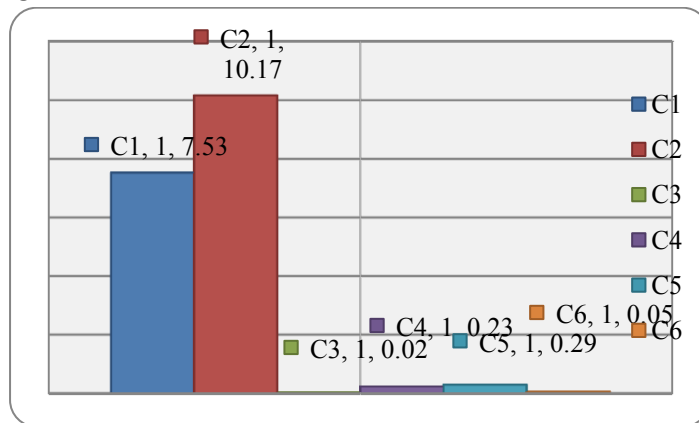
2. Distribusi Pertanyaan Berdasarkan Dimensi Kognitif Taksonomi Bloom revisi

Berdasarkan pembuatan soal yang dibuat oleh calon guru yang berjumlah 83 orang dan jumlah soal yang dibuat sebanyak 1518 soal. 41,17% soal pada jenjang C1 (Mengingat), 55,6% soal pada jenjang C2 (Memahami), 0,13% soal pada jenjang C3 (Mengaplikasikan), 1,25% soal pada jenjang C4 (Menganalisis), 1,58% soal jenjang C5 (Mengevaluasi) dan 0,26% soal jenjang C6 (Mencipta). Dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Persentase Rata-Rata Soal yang Dibuat oleh Calon Guru Berdasarkan Tipe Soal

Selain itu, rata-rata jumlah calon guru yang membuat soal berdasarkan tipenya. Dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Rata-Rata Jumlah Mahasiswa Calon Guru yang Membuat Soal Berdasarkan Tipenya

Berdasarkan gambar 4.4 di atas, dapat diketahui bahwa rata-rata jumlah calon guru yang membuat soal berdasarkan tipenya sebesar 7,53% soal pada jenjang C1 (Mengingat), 10,17% soal pada jenjang C2 (Memahami), 0,02% soal pada jenjang C3 (Mengaplikasikan), 0,23% soal pada jenjang C4 (Menganalisis), 0,29% soal jenjang C5 (Mengevaluasi) dan 0,05% soal jenjang C6 (Mencipta).

B. Pembahasan/Temuan

Dari hasil penelitian diperoleh data bahwa mahasiswa calon guru membuat pertanyaan dalam bentuk tes uraian berdasarkan pertanyaan tertutup (Konvergen) dan terbuka (Divergen) lebih banyak menggunakan pertanyaan tertutup sebanyak 92,56%, sedangkan pertanyaan terbuka sebanyak 7,44%. Pertanyaan yang berjenis tertutup (Konvergen) lebih menuntut siswa menjawab secara pasti dan singkat ada pada jenjang hafalan dan pemahaman saja, sedangkan pertanyaan terbuka menuntut siswa untuk menjawab pertanyaan secara bebas (Adisendjaja, 2014).

Apabila dilihat dari jenjang kognitif taksonomi Bloom revisi [2] diperoleh bahwa mahasiswa calon guru dari 1518 soal yang dibuat oleh 83 orang mahasiswa calon guru ternyata rata-rata persentase pembuatan pertanyaan tiap jenjang ialah 41,17 soal pada jenjang C1 (Mengingat), 55,6% soal pada jenjang C2 (Memahami), 0,13% soal pada jenjang C3 (Mengevaluasi), 1,25% soal pada jenjang C4 (Menganalisis), 1,58% soal jenjang C5 (Mengevaluasi) dan 0,26% soal jenjang C6 (Mencipta). Dari hasil analisis tersebut tampak bahwa pertanyaan tipe C2 (Memahami) lebih banyak dibuat oleh mahasiswa calon guru. Dengan rata-rata jumlah mahasiswa calon guru 10,17% yang membuat soal jenjang soal C2.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Widodo [3] mengenai profil pertanyaan guru dan siswa dalam pembelajaran sains diperoleh gambaran bahwa distribusi pertanyaan berdasarkan jenjang taksonomi Bloom pada pertanyaan yang dibuat guru jenjang C2 (Pemahaman) lebih tinggi. Selain itu pula, pengetahuan konseptual lebih mendominasi daripada pengetahuan faktual, prosedural dan metakognitif.

Dari yang dibahas di atas maka mahasiswa calon guru perlu dibekali dengan keterampilan pertanyaan yang baik sebab hal ini sangatlah penting sebagai bekal kompetensi pedagogik yang mutlak dimiliki bagi seorang guru. Selain itu, mata kuliah yang berkaitan dengan keterampilan pertanyaan dalam hal ini evaluasi pendidikan perlu mendapatkan banyak latihan cara membuat pertanyaan mata pelajaran biologi. Dimana pertanyaan dalam bentuk uraian sebagai alat evaluasi dan sebagai penuntun dalam Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD), sehingga calon guru tidak lagi merasa kesulitan. Selain itu, Keterampilan membuat pertanyaan diperlukan dalam penyusunan rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP) pada bagian instrumen evaluasi.

Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut berdasarkan pertanyaan tertutup (Konvergen) dan terbuka (Divergen) yang dibuat oleh mahasiswa calon guru pada materi bioteknologi menunjukkan jumlah pertanyaan terbuka yang dibuat oleh mahasiswa calon guru lebih banyak daripada pertanyaan tertutup. Dimana pertanyaan terbuka sebanyak 92,56% dan tertutup 7,44%. Dari pengelompokan pertanyaan berdasarkan taksonomi Bloom diperoleh jumlah persentase soal rata-rata yang dibuat mahasiswa 55,6% soal C2 (Memahami) lebih banyak dibanding jenjang taksonomi Bloom lainnya. Selanjutnya 44,17% soal C1 (Mengingat), 1,58% C5 (Mengevaluasi), 1,25% C4 (Menganalisis), 0,26% C6 (Mencipta) dan 0,13 % soal C3 (Menerapkan).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Biologi Fakultas Tarbiyah dan Keguruan dan Lembaga Penelitian UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Referensi

- [1] Arikunto, Suharsimi. (2003). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- [2] Anderson dan Krathwohl. (2010). *Kerangka Landasan untuk Pembelajaran, pengajaran, dan Asesmen*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [3] Widodo, Ari. (2006). *Jurnal Profil Pertanyaan Guru dan Siswa*. Pdf.
- [4] Afifuddin & Saebani, Ahmad Beni. (2012). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: Pustaka Setia.
- [5] Arikunto, Suharsimi. (1998). *Prosedur Penelitian*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- [6] Azwar, Saefuddin. (2012). *Tes Prestasi Fungsi dan Pengembangan Pengukuran Prestasi Belajar*. Ed.II. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

- [7] Daryanto. (2012). *Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- [8] Ferazona, Sepita. (2013). *Analisis Kesesuaian Materi Instrumen Evaluasi Hasil Belajar Biologi dengan Tuntutan Kompetensi Dasar di SMA Kota Bandung*. Tesis: UPI. Tidak Diterbitkan.
- [9] Hamdani. (2011). *Strategi Belajar Mengajar*. Bandung: CV Pustaka Setia.
- [10] Herlanti, Yanti. (2010). *Jurnal Menorepong Kualitas Soal Tes Buatan Guru Biologi MTs Negeri Se-Jakarta Selatan*".pdf.
- [11] Klausner, R.D. (1996). *National Science Education Standards*. Washington DC: National Academy Press.
- [12] Mulyasa, E.H. (2013). *Menjadi Guru Profesional*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- [13] Mulyasa, E.H. (2014). *Pengembangan dan Implementasi Kurikulum 2013*. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya.
- [14] Mustarah, Diah. (2013). *Analisis Soal Ujian Akhir Semester Biologi SMA Kelas X Ditinjau dari Taksonomi Bloom*. Skripsi: UIN Syahid Jakarta. Tidak Diterbitkan.
- [15] Nurhayati, Yeti. (2011). *Analisis Kualitas Soal Evaluasi Ujian Akhir Semester SMAN Bekasi*. Tesis: UPI. Tidak Diterbitkan.
- [16] Soetardjo. (1998). *Proses Belajar Mengajar dengan Metode dan Pendekatan Keterampilan Proses*. Surabaya: Penerbit SIC.
- [17] Subino, (1987). *Konstruksi dan Analisis Tes Suatu Pengantar Kepada Teori Tes dan Pengukuran*. Jakarta: Depdikbud.
- [18] Subekti, dkk. (1986). *Evaluasi Hasil Belajar dan Pengajaran Remedial*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- [19] Sudijono, Anas. (2007). *Pengantar Evaluasi Pendidikan*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Perkasa.
- [20] Suparno, Paul. (1997). *Filsafat Konstruktivisme dalam Pendidikan*. Jakarta: Kanisius.
- [21] Wahyu, Wawan. (2010). *Pengembangan Model Pembelajaran Kemampuan Generik Kimia Bagi Calon Guru Melalui Perkuliahan Kimia Dasar*. Desertasi. UPI. Tidak Diterbitkan.
- [22] Usman, Uzer Mohamad. (2000). *Menjadi Guru Profesioanal*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- [23] Zainul, dkk. (2001). *Penilaian Hasil Belajar*. Jakarta: Universitas Terbuka.

Uji *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (*HaNPV₁*) pada Larva Serangga Non Target : *Bombyx mori*, *Tenebrio molitor* dan *Galleria mellonella*

Mia Miranti^{1a)}, Dwi Sari Mamonto Putri²⁾, Desy Efriyani Anggraini Nasution²⁾ dan Anasthasia Verhuliza Surbukti²⁾

^{1,2}Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran. Jl. Raya Bandung Sumedang Km-21 Jatinangor-Sumedang 43565.

^{a)}Mia Miranti, miantariksa@gmail.com

Abstrak

Penelitian mengenai uji hayati *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (*HaNPV₁*) pada larva serangga non target : *Bombyx mori*, *Tenebrio molitor* dan *Galleria mellonella* telah dilakukan. Metode penelitian eksperimental digunakan dengan rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan perlakuan jenis larva serangga non target (S) yang terdiri dari tiga taraf : *B. mori*, *T. molitor* dan *G. mellonella* dengan 10 ulangan. Parameter penelitian adalah tingkat kematian larva akibat terinfeksi virus. Uji hayati dilakukan dengan kontaminasi sediaan virus pada konsentrasi 4×10^7 polihedra/ml pada pakan larva. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *HaNPV₁* menyebabkan tingkat kematian mencapai 100% terhadap larva *B. mori*, 7% pada larva *T. molitor* dan 0% pada *G. mellonella*. Hasil Analisis Variansi menunjukkan bahwa *HaNPV₁* sangat berpengaruh terhadap setiap jenis larva serangga uji. Pada penelitian ini diketahui bahwa larva *B. mori* paling rentan terhadap infeksi *HaNPV₁*. Hal ini karena *HaNPV₁* merupakan virus hasil isolasi dari kadaver larva *Helicoverpa armigera* yang disubkultur dalam larva *Spodoptera litura*, termasuk Ordo Lepidoptera seperti *B. mori*. Aplikasi virus ini tidak dapat dilakukan di daerah yang terdapat pemeliharaan *B. mori* (Ulat Sutera).

Kata kunci: Uji Hayati, *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (*HaNPV₁*), Larva serangga non target, polihedra

Pendahuluan

Helicoverpa armigera Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (*HaNPV₁*) adalah isolat virus *HaNPV₁* yang diperbanyak pada inang pengganti *Spodoptera litura* [1]. Miranti dan Niloperbowo [2] menemukan bahwa perbanyak *HaNPV₁* dalam *S. litura* menunjukkan jumlah virus sebanyak $1,55 \times 10^{11}$ polihedra/ml⁻¹. Sediaan virus ini disuspensikan dalam bentuk sediaan cair dengan konsentrasi 4×10^7 polihedra/ml⁻¹ dan telah diuji efektivitasnya pada beberapa spesies larva serangga hama yang banyak menyerang tanaman kubis, kedelai dan tembakau. Aplikasi *HaNPV₁* pada tanaman menyebabkan mortalitas 62,03% terhadap larva *S. litura* yang didedahkan pada tanaman kedelai (Sutanto, 2007) dan 64% pada larva *S. litura* yang didedahkan pada tanaman tembakau [3]. Sediaan *HaNPV₁* juga digunakan untuk melindungi tanaman kubis dari serangga hama *Crociodolomia Pavonana*

dan *Plutella xylostella* menyebabkan mortalitas masing-masing spesies sebesar 97% dan 98,75% [4] [5].

Efektivitas *HaNPV*₁ yang digunakan tersebut menunjukkan bahwa sediaan virus ini dapat digunakan secara luas karena memiliki kisaran serangga hama sasaran lebih dari dua spesies. Beberapa serangga hama yang sensitif terhadap *HaNPV*₁ selain *S. litura*, *C. pavonana* dan *P. xylostella* adalah *S. exigua* [6] dan *Helicoverpa armigera* [7] sebagai inang utama *HaNPV*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa *HaNPV*₁ berpotensi dalam mengendalikan populasi beberapa spesies serangga hama terutama yang berasal dari Ordo Lepidoptera.

Penerapan *HaNPV*₁ secara luas untuk menggantikan penggunaan insektisida sintetik dalam pengendalian populasi serangga hama, perlu diuji pada larva serangga non target yang berasal dari satu Ordo Lepidoptera maupun Ordo lain seperti misal Ordo Coleoptera. Hal ini perlu dilakukan karena pada pernyataan Maramorosch dan Sherman [8] diketahui bahwa Nuclear Polyhedrosis Virus (NPV) memiliki kemampuan menginfeksi Ordo Coleoptera, Diptera dan Hemiptera. Larva serangga non target yang digunakan pada penelitian ini adalah larva *Bombyx mori* (ulat sutera : Ordo Lepidoptera), *Galleria mellonella* (ulat bambu : Ordo Coleoptera) dan *Tenebrio molitor* (ulat 'hongkong' : Ordo Coleoptera).

Semua larva serangga non target digunakan sebagai uji hayati dari *HaNPV*₁. Cory dan Hails [9], menyatakan bahwa faktor ekologi dan keamanan dari virus juga harus diperhatikan sebelum sediaan virus diaplikasikan pada skala yang lebih luas. Hal ini dilakukan agar keamanan penggunaan sediaan virus ini saat diaplikasikan secara luas dapat dilakukan untuk menghindari kemungkinan serangga non target terkena infeksi virus. Pada penelitian ini dilakukan uji hayati keamanan penggunaan *HaNPV*₁ pada larva serangga non target, dengan tujuan agar aplikasi virus dilapangan tidak menyebabkan masalah saat digunakan sebagai pengganti insektisida sintetik.

Teori

Helicoverpa armigera Nuclear Polyhedrosis Virus (*HaNPV*₁) adalah kelompok Nuclear Polyhedrosis Virus yang termasuk Baculovirus, hasil isolasi dari kadaver larva *H. armigera*. *HaNPV* adalah virus yang memiliki polihedra, suatu badan inklusi yang tersusun dari protein polihedrin. Keberadaan polihedra menyebabkan virus ini relatif lebih tahan berada di alam (Sudhakar dan Mathavan, 1999). Hasil penelitian Miranti, *et.al.*, [10], diketahui bahwa gerusan kasar kadaver larva *H. armigera* yang disuspensikan dalam larutan buffer dapat menginfeksi larva *S. litura*, *C. Pavonana*, dan *S. exigua*. Mortalitas larva serangga tersebut dapat mencapai 100% saat pengujian di laboratorium.

Adanya kemampuan *HaNPV* dalam menginfeksi beberapa spesies serangga menunjukkan bahwa kisaran inang dari *HaNPV* relatif luas terbatas. Hal ini diketahui dari hasil penelitian Miranti, *et.al.* [10], yang menemukan bahwa semua larva uji yang rentan terhadap infeksi *HaNPV* ternyata berasal dari Ordo Lepidoptera.

Potensi dari *HaNPV* ini menjanjikan untuk digunakan sebagai agensia biologis pengganti penggunaan insektisida sintetik pada tanaman budidaya. Umumnya produksi virus yang dilakukan dalam inangnya akan menghasilkan virus dengan tingkat virulensi yang stabil. Akan tetapi untuk penggunaan *HaNPV* secara komersial, produksi *HaNPV* pada inang *H. armigera* terkendala sifat kanibal larva tersebut. Sifat kanibal menyulitkan pemeliharaan larva ini, karena larva harus dipelihara secara individual.

Penggunaan inang pengganti dalam produksi *HaNPV* merupakan salah satu pemecahan masalah untuk produksi virus secara *in vivo*. Larva *Spodoptera litura* diketahui sensitif terhadap infeksi *HaNPV*.

Ukuran tubuh larva *S. litura* relatif lebih besar daripada larva *H. armigera* sehingga jumlah virus yang dihasilkan lebih banyak. Hal yang paling penting adalah *HaNPV* dapat bereplikasi secara sempurna dalam sel tubuh larva *S. litura* yang ditandai dengan terbentuknya polihedra. Kelebihan dari *HaNPV* yang diproduksi di larva *S. litura* juga tidak kehilangan sifat patogenitasnya pada larva serangga sasaran, meskipun telah disubkultur berulang kali hingga 20 kali subkultur.

Penggunaan *HaNPV* subkultur yang disebut *HaNPV₁* diketahui efektif pada larva serangga target. Untuk aplikasi *HaNPV₁* dalam skala luas perlu diuji keamanannya terhadap larva serangga non target. Hasil penelitian ini menjadi dasar keamanan dan juga kebijakan penggunaan *HaNPV₁* sebagai pengganti insektisida sintetik.

Metode penelitian dilakukan secara ekperimental dengan rancangan penelitian menggunakan Rancangan Acak Lengkap dengan satu faktor yaitu jenis larva serangga non target (S) yang terdiri dari tiga taraf (*B. mori*, *T. molitor* dan *G. mellonella*). Setiap perlakuan diulang 10 kali, sehingga seluruh satuan percobaan ada 30 plot percobaan. Setiap plot percobaan terdiri dari 10 ekor larva uji. Jumlah total masing-masing larva sebanyak 300 ekor. Variabel pengamatan yang diukur adalah mortalitas larva. Jumlah masing-masing larva yang digunakan sebanyak 100 ekor.

Suspensi virus dibuat dengan menggerus sepuluh kadaver larva *S. litura* yang terinfeksi *HaNPV*. Gerusan kadaver ditambah dengan campuran larutan Triss Buffer 1mM dengan pH 7,6 dan larutan 0,1% Sodium Dodecyl Sulfat (SDS) dengan perbandingan 1:1 sebanyak 20 ml. Suspensi virus disimpan dalam lemari pendingin pada suhu 4°C selama 24 jam. Selanjutnya, suspensi virus disaring dengan selapis kain katun, dan ditambahkan lagi campuran larutan Triss Buffer dan SDS sebanyak 20 ml. Suspensi virus disentrifugasi selama 15 menit dengan kecepatan putaran 3500. Setelah disentrifugasi, supernatant dibuang dan pellet diresuspensi dengan campuran larutan yang sama. Proses pemurnian polihedra virus dilakukan sebanyak tiga kali. Polihedra virus tersebut selanjutnya dihitung menggunakan hemositometer untuk menentukan konsentrasi infeksi.

Infeksi virus dilakukan secara peroral dengan menyelupkan pakan masing-masing larva pada suspensi *HaNPV₁* dengan konsentrasi 4×10^7 polihedra/ml. Pakan yang telah dicelup dalam suspensi virus dikeringanginkan dan diberikan pada larva yang diletakkan secara berkelompok dalam wadah plastik berukuran diameter 15 cm dan tinggi 5 cm. Tutup plastik dilubangi sebagai sirkulasi udara dan wadah plastik dialasi kertas tisu. Setelah 24 jam, pakan larva diganti dengan pakan segar yang tidak dikontaminasi virus. Pengamatan dilakukan selama 14 hari. Jumlah larva yang mati dihitung dan kadaver masing-masing larva dikumpulkan secara terpisah dalam wadah gelas dan disimpan di lemari pendingin pada suhu 4°C.

Hasil dan Diskusi

Hasil penelitian uji *HaNPV₁* dalam sediaan cair pada serangga non target yaitu ulat sutera (*Bombyx mori*), Ulat bambu (*Galleria mellonella*) dan ulat "hongkong" (*Tenebrio molitor*). Pakan larva dicelupkan pada suspensi *HaNPV₁*, dikeringanginkan dan diberikan pada larva uji.

Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa tingkat kematian larva uji menunjukkan hasil yang berbeda nyata saat terinfeksi virus (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Analisis Varians Mortalitas masing-masing spesies larva uji non target yang diinfeksi formulasi *HaNPV*₁ dalam sediaan cair dengan konsentrasi 4×10^7 polihedra/ml

Sumber keragaman	Derajat bebas (db)	Jumlah kuadrat (jk)	Kuadrat tengah (kt)	F hitung	F tabel (5%)
Perlakuan	2	496,333	248,166	947,56*	3,47
Galat Umum	21	5,5	0,2619		
	23	501,833			

Keterangan : * = berbeda nyata pada taraf 5%

Pada Tabel 1. dapat diketahui bahwa penggunaan *HaNPV*₁ sediaan cair menyebabkan mortalitas yang berbeda pada setiap spesies larva uji. Hal ini menunjukkan bahwa kerentanan setiap spesies terhadap infeksi *HaNPV*₁ berbeda-beda. Tingkat kematian larva akibat infeksi *HaNPV*₁ dipengaruhi oleh spesies larva uji yang digunakan.

Larva *Bombyx mori* menunjukkan tingkat kematian paling tinggi (100%) akibat infeksi *HaNPV*₁ sediaan cair. Hal ini menunjukkan bahwa *B. mori* rentan terhadap infeksi formulasi *HaNPV*₁ sediaan cair. *B. mori* merupakan serangga dari Ordo Lepidoptera [11]. Adanya kemampuan *HaNPV* dalam menginfeksi *B. mori* terutama karena larva ini berasal dari satu Ordo Lepidoptera (Noctuidae). Shieh and Bohmfalk, (1980), menunjukkan bahwa penggunaan *HaNPV*₁ berbahaya bila dilakukan di daerah yang terdapat peternakan ulat sutera.

Uji *HaNPV*₁ sediaan cair pada larva *T. molitor* juga menunjukkan bahwa sediaan virus ini masih dapat menyebabkan mortalitas pada larva non target. Hasil penelitian uji *HaNPV*₁ sediaan cair pada *T. molitor* menunjukkan mortalitas sebesar 7% menunjukkan hasil yang berbeda bila *T. molitor* diinfeksi hanya oleh sediaan *HaNPV* sediaan cair saja. Miranti, dkk [10], menemukan bahwa *T. molitor* yang diinfeksi hanya oleh *HaNPV* sediaan cair yang tidak disubkultur dalam inang pengganti tidak menyebabkan kematian pada larva *T. molitor*.

Hasil yang berbeda juga ditemukan pada larva *G. mellonella* yang diinfeksi *HaNPV* sediaan cair yang tidak disubkultur dalam inang pengganti. Miranti, et.al., [10], menemukan bahwa *G. mellonella* yang diinfeksi sediaan *HaNPV* sediaan cair menyebabkan kematian pada larva *G. mellonella* sebesar 2%. Akan tetapi dari hasil penelitian ini diketahui bahwa *HaNPV*₁ dalam sediaan cair tidak menyebabkan kematian pada larva *G. mellonella*.

Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa *HaNPV*₁ dalam sediaan cair dapat menyebabkan mortalitas pada larva non target dan juga tidak dapat menyebabkan mortalitas pada larva non target. Ada dugaan bahwa subkultur *HaNPV* pada inang pengganti dapat menyebabkan peningkatan virulensi terhadap larva non target tertentu (*T. molitor*), tetapi tingkat subkultur juga dapat menurunkan tingkat virulensi terhadap inang non target (*G. mellonella*).

Prinsip dasar dari uji formulasi *HaNPV*₁ dalam sediaan cair pada larva non target adalah menguji keamanan sediaan *HaNPV*₁ pada saat akan diaplikasikan pada suatu daerah budidaya tanaman. Apabila *HaNPV*₁ dalam sediaan cair menunjukkan tingkat mortalitas yang tinggi pada serangga hama sasaran maka dikatakan bahwa virus subkultur ini efektif mengendalikan populasi serangga hama target. Akan tetapi bila *HaNPV*₁ dalam sediaan cair ini tidak menyebabkan mortalitas pada serangga non target, maka penggunaan *HaNPV*₁ dalam sediaan cair dapat diaplikasikan secara luas karena terbukti akan efektif hanya pada serangga hama target.

Kesimpulan

Helicoverpa armigera Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur (*HaNPV₁*) dapat digunakan sebagai agensia biologis pengganti insektisida sintetik pada beberapa spesies serangga hama Ordo Lepidoptera pada tanaman budidaya, akan tetapi tidak dapat digunakan pada daerah perkebunan yang terdapat tempat pemeliharaan *Bombyx mori* (ulat sutera).

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari skema penelitian Strategis Nasional 2013-2014 yang didanai oleh Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, melalui Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Padjadjaran.

Referensi

- [1] Miranti, M. 2008. Produksi *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus (*HaNPV*) Secara *in vivo* pada Inang Pengganti. Disertasi. Tidak Dipublikasikan.
- [2] Miranti dan Wardono, 2009. Pengaruh Konsentrasi Infeksi *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus pada Tingkat Kematian, Waktu Kematian dan Produktivitas produksi Polihedra dalam Larva *Spodoptera litura* F. sebagai Inang Pengganti. Jurnal Agrikultura 20: 5-11.
- [3] Purba, R.G. 2011. Pengaruh berbagai Jenis Insektisida terhadap Intensitas Serangan Ulat Grayak (*Spodoptera litura* F. dan Hasil Tanaman Tembakau (*Nicotiana tabaccum* L.) Kultivar Nani. Skripsi (Belum Dipublikasikan).
- [4] Hadi, R.P., M.Miranti, dan Melanie. 2010. Efektivitas *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus (*HaNPV*) terhadap Mortalitas Populasi Larva *Crociodolomia pavonana* Fabricius yang Didedahkan pada Tanaman Kubis (*Brassica oleracea* var *capitata* L). Skripsi (dipublikasikan dalam Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia-Bandung, 17-18 Februari 2011).
- [5] Sugiarto, D.B, W. Hermawan, dan M. Miranti, 2010. Efektivitas *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus (*HaNPV*) Hasil Subkultur pada *Spodoptera litura* Fabricius terhadap Mortalitas Ulat Kubis (*Plutella xylostella* Linnaeus). Skripsi (dipublikasikan dalam Prosiding Seminar Nasional Perhimpunan Entomologi Indonesia-Bandung, 17-18 Februari 2011).
- [6] Fitri, D.W, M. Miranti, and N. Fitriani. 2014. Effectivity *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus Subculture (*HaNPV₁*) in Varies Formulation on Mortality, Lethal Time, and Body Weight of *Spodoptera exigua* Hubner Larvae. Proceeding of 2nd International Biology Conference. Surabaya, November 8th 2014.
- [7] Purwaty, N. 2015. Efektivitas Formulasi *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus Subkultur *Spodoptera litura* (*HaNPV₁*) terhadap Larva *Helicoverpa armigera* Hubner.(1808). Skripsi (Belum Dipublikasikan).
- [8] Maramorosch, K. and K.E. Sherman. 1985. Viral Insecticides for Biological Control. London : Academic Press, INC.
- [9] Cory, J.S., and R.S. Hails. 1997. The Ecology and Biosafety of Baculoviruses. Current Opinion in Biotechnology. 8 : 323-327.
- [10] Miranti, M., E. Santosa, R. Setiamihardja, dan W. Niloperbowo. 2007. Kajian tentang Patogenisitas *Helicoverpa armigera* Nuclear Polyhedrosis Virus (*HaNPV*) pada Beberapa Spesies Serangga. Prosiding Simposium Perhimpunan Entomologi Indonesia Cabang Bandung. Sukamandi, 10-11 April 2007.
- [11] Borror, D.J., C.A. Triplehorn and N.F. Johnson. 1996. Pengenalan Pelajaran Serangga. Edisi ke-6. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [12] Shieh, T.R, and G.T. Bohmfalk. 1980. Production and Efficacy of Baculovirus. Biotechnology and Bioengineering XXII : 1357-1375.
- [13]

Sudhakar, S, and Mathavan. 1999. Electron Microscopical Studies and Restriction Analysis of *Helicoverpa armigera* nucleopolyhedrovirus.
Melalui <http://www.iisc.ernet.in/~academy/jbiosci/sept1999/article3>. (10/1/01)

Identifikasi Miskonsepsi Mahasiswa Pendidikan Biologi Dalam Memahami Pohon Filogenetika.

Sumiyati Sa'adah¹, Topik Hidayat², Fransisca Sudargo³

¹Mahasiswa Pascasarjana Universitas Pendidikan Indonesia umiabio@yahoo.co.id

^{2,3}Dosen Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Pendidikan Indonesia

Abstrak

Pohon filogenetika merupakan diagram yang menunjukkan struktur pengetahuan tentang keanekaragaman hayati dan mewakili hubungan evolusioner antara taksa. Kemampuan untuk memahami dan menalar pohon filogenetika, merupakan keterampilan penting bagi mahasiswa biologi. Selama ini mahasiswa sering tidak diajarkan bagaimana menalar hubungan kekerabatan yang digambarkan dalam diagram. Mahasiswa juga tidak dilengkapi dengan informasi mengenai teori dan proses yang mendasari filogenetika, sehingga tidak mengherankan banyak terjadi kesalahpahaman mahasiswa biologi di perguruan tinggi dalam memahami pohon filogenetika. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi miskonsepsi mahasiswa pendidikan biologi dalam memahami dan menalar pohon filogenetika. Teknik pengumpulan data dilakukan dengan tes diagnostik pilihan ganda yang disertai dengan CRI (*Certainty of Response Index*), terhadap 42 orang mahamahasiswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 42 orang mahasiswa, 39 (93%) orang mahasiswa menunjukkan kecenderungan mengalami miskonsepsi. Hal ini berarti hampir selalu ada mahasiswa yang mengalami miskonsepsi pada setiap soal yang diberikan. Mahasiswa mengalami miskonsepsi hampir pada setiap indikator memahami dan menalar pohon filogenetika (*cladistik thinking/tree thinking*). Miskonsepsi tertinggi terjadi pada indikator mengevaluasi hubungan kekerabatan antartaksa dengan membandingkan dua tipe pohon filogenetika yang berbeda sebanyak 47, 6% diikuti dengan miskonsepsi pada indikator memahami konsep clade untuk subindikator menghitung jumlah clade sebanyak 45,1%.

Kata kunci: Miskonsepsi, CRI (*Certainty of Response Index*), pohon filogenetika

Pendahuluan

Pohon Filogenetika adalah diagram yang menunjukkan struktur pengetahuan kita tentang keanekaragaman hayati dan mewakili hubungan evolusioner antara taksa [1][2]. Pohon filogenetika merupakan alat penting yang digunakan ahli biologi evolusi untuk merekam dan mensintesis informasi, menjelaskan fenomena dan memprediksi hubungan antara organisme [3]. Filogenetika digunakan oleh peneliti untuk menjawab pertanyaan mendasar mengenai sejarah dan keanekaragaman kehidupan di bumi dan diterapkan oleh para peneliti, misalnya di bidang epidemiologi manusia, resistensi antibiotik, seleksi buatan untuk domestikasi hewan dan tumbuhan [4] [5]. Kemampuan untuk memahami dan menalar pohon filogenetika, (disebut sebagai *cladistik thinking/tree thinking*) merupakan keterampilan penting bagi mahasiswa biologi [6]. Selama ini mahasiswa sering tidak diajarkan bagaimana menalar hubungan kekerabatan yang digambarkan dalam diagram. Mahasiswa juga tidak dilengkapi dengan informasi mengenai teori dan proses yang

mendasari filogenetika, sehingga tidak mengherankan banyak terjadi kesalahpahaman mahasiswa biologi di perguruan tinggi dalam memahami pohon filogenetika [7] [8]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi miskonsepsi mahasiswa pendidikan biologi dalam memahami dan menalar pohon filogenetika.

Teori dan Metode

Konsepsi yang dimiliki mahasiswa tidak selalu sesuai dengan konsepsi para ilmuwan, konsepsi para ilmuwan lebih canggih, lebih kompleks, lebih rumit, dan lebih banyak melibatkan hubungan antar konsep [9]. Setiap individu memiliki interpretasi berbeda terhadap sebuah konsep. Interpretasi itu merupakan sebuah konsepsi, dan konsepsi tersebut dapat sesuai dengan pendapat para ahli sains, namun dapat juga bertentangan. Jika konsepsi mahasiswa tersebut melatarbelakangi mahasiswa dalam memahami suatu konsep, maka konsep mahasiswa tersebut disebut miskonsepsi [10]. Faktor kesenjangan antara miskonsepsi yang dimiliki para ilmuwan dan mahasiswa inilah yang menyebabkan terjadinya miskonsepsi pada mahasiswa. Dengan demikian, miskonsepsi menunjuk pada suatu konsep yang tidak sesuai dengan pengertian ilmiah atau pengertian yang diterima oleh para pakar dalam bidang itu [11]. Dalam biologi sistematika, informasi biologi diatur menggunakan filogenetika. Seorang yang ahli dalam sistematika adalah orang yang memiliki kemampuan dalam memahami pohon filogenetika sebagai representasi terhadap keterkaitan antarspesies dan mampu menggunakan pohon filogenetika sebagai alat penalaran ketika memecahkan masalah sistematika dan mereka pun ahli dalam *berpikir kladistik/ tree thinking* yang dapat membaca dan membangun pohon filogenetika secara akurat [12] [13]. Para ahli sistematika menggunakan representasi filogenetika untuk menafsirkan dan menggambarkan pola di antara sejarah evolusi garis keturunan spesies yang berbeda. Mahasiswa yang mengalami miskonsepsi dalam memahami pohon filogenetika berarti mahasiswa tersebut keliru dalam menalar dan menafsirkan pohon filogenetika, sebagaimana para ahli sistematika memahami dan menalar pohon filogenetika.

Salah satu cara untuk mengidentifikasi terjadinya miskonsepsi, sekaligus dapat membedakannya dengan tidak tahu konsep, yaitu menggunakan metode CRI (*Certainty of Response Index*), suatu metode yang mengukur tingkat keyakinan/kepastian responden dalam menjawab setiap pertanyaan (soal) yang diberikan [14]. CRI biasanya didasarkan pada suatu skala dan diberikan bersamaan dengan setiap jawaban suatu soal, seperti terlihat pada tabel 1 berikut ini [14].

Tabel 1. Kriteria CRI

Skala	Kriteria
0	<i>Totally Guessed Answer</i>
1	<i>Almost guess</i>
2	<i>Not Sure</i>
3	<i>Sure</i>
4	<i>Almost certain</i>
5	<i>Certain</i>

Berdasarkan tabel 1 di atas, skala CRI ada 6 (0-5) dimana 0 berarti tidak paham konsep dan 5 adalah yakin benar akan konsep yang responden jawab. Jika derajat keyakinan rendah (nilai CRI 0-2) menyatakan bahwa responden menjawabnya dengan cara menebak, terlepas dari jawabannya benar atau salah. Hal ini menunjukkan bahwa responden tidak paham konsep. Jika nilai CRI tinggi, dan jawaban benar maka menunjukkan bahwa responden paham konsep. Jika nilai CRI tinggi, jawaban salah maka menunjukkan miskonsepsi. Dengan demikian seorang mahasiswa mengalami miskonsepsi

atau tidak paham konsep dapat dibedakan dengan cara sederhana yaitu dengan membandingkan benar atau tidaknya jawaban suatu soal dengan tinggi rendahnya indeks kepastian jawaban (CRI) yang diberikan untuk soal tersebut. Ketentuan CRI untuk membedakan tahu konsep, miskonsepsi dan tidak paham konsep dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Ketentuan CRI untuk Membedakan Tahu Konsep, Miskonsepsi, dan Tidak Paham Konsep

Kriteria Jawaban	CRI rendah ($\leq 2,5$)	CRI tinggi ($> 2,5$)
Jawaban benar	Jawaban benar tapi CRI rendah berarti tidak tahu konsep (<i>lucky guess</i>)	Jawaban benar dan CRI tinggi berarti menguasai konsep dengan baik (tahu konsep)
Jawaban salah	Jawaban salah dan CRI rendah berarti tidak tahu konsep	Jawaban salah tapi CRI tinggi berarti terjadi miskonsepsi

(Hassan *et al.*, 1999)

Dalam penelitian ini, identifikasi miskonsepsi dalam memahami dan menalar pohon filogenetika dilakukan terhadap 42 orang mahasiswa pendidikan biologi, melalui soal pilihan ganda yang dilengkapi dengan skala tingkat keyakinan. Soal pilihan ganda terlebih dahulu diujicobakan, hasil uji coba menunjukkan tingkat reliabilitas soal 0,79 (tinggi), dan validitas soal 0,65 (tinggi).

Hasil dan Diskusi

Berdasarkan hasil data tes objektif menggunakan metode *Certainty of Response Index* pada tabel 1 menunjukkan bahwa masih banyak mahasiswa yang mengalami miskonsepsi. Berikut tabulasi data mahasiswa paham, miskonsepsi, dan tidak paham konsep

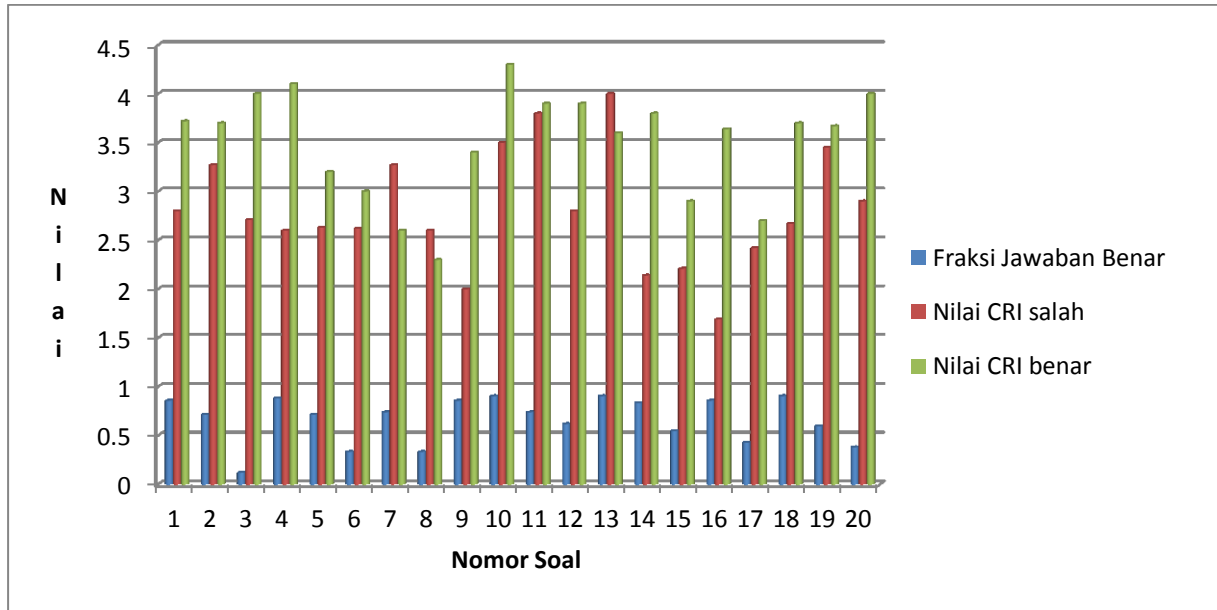
Tabel 1. Persentase mahasiswa yang Paham (P), Miskonsepsi (M), Tidak Paham (TP) Berdasarkan Jawaban dan Indeks CRI

Konsep	Indikator	No soal	P (%)	TP (%)	M (%)	
Sistematika Filogenetika	Memahami konsep Clade	Mengidentifikasi <i>out group</i>	1	58,5	19,1	7,1
		Menghitung jumlah clade	3	9,43	42,9	45,1
		Menentukan kelompok taksa yang satu clade	4	66	9,5	7,1
		Menentukan <i>sister group</i>	6	15,1	42,9	38
		Menentukan taksa yang paling primitif	7	47,2	23,8	16,7
		Menentukan <i>sister group</i>	12	39,6	21,4	28,6
		Mengidentifikasi taksa yang terakhir muncul	13	60,4	16,7	7,1
	Mengidentifikasi karakter evolusi	Mengidentifikasi karakter sinapomorfi	2	43,4	21,4	23,8
		Mengidentifikasi karakter sinapomorfi dari tabel karakter	8	15,1	52,4	28,6
		Mengidentifikasi karakter automorfi dari tabel karakter	15	32,1	47,6	11,9
		Mengidentifikasi karakter automorfi	17	21,4	47,6	21,4
	Mengevaluasi hubungan kekerabatan di antara taksa	Mengevaluasi hubungan kekerabatan dari tabel karakter	16	54,7	19	11,9
		Mengevaluasi hubungan kekerabatan antartaksa yang berbeda clade	18	69,8	4,8	7,1

		Mengevaluasi hubungan kekerabatan antar taksa dalam diagram ven untuk menyusun pohon filogeantik	19	33,9	28,6	28,6
		Mengevaluasi hubungan kekerabatan antar taksa pada dua tipe pohon yang berbeda	20	28,3	16,7	47,6
	Mengidentifikasi nenek moyang bersama (<i>most recent common ancestor</i>) di antara dua taksa atau lebih	Mengidentifikasi nenek moyang bersama di antara 2 taksa	10	69,8	4,8	7,1
			5	47,2	28,6	11,9
	Menggunakan pohon filogenetik untuk mendeskripsikan sebuah takson tertentu	Menggunakan pohon filogenetik untuk mendeskripsikan sebuah takson tertentu	11	49	19	19
	Menggunakan bukti dari nenek moyang terakhir yang sama untuk mendukung kesimpulan mengenai karakter bersama	Menggunakan bukti dari nenek moyang terakhir yang sama untuk mendukung kesimpulan mengenai karakter bersama	14	56,6	21,4	7,1
		Menggunakan bukti dari nenek moyang terakhir yang sama untuk mendukung kesimpulan mengenai karakter bersama	9	64,2	16,7	2,4

Berdasarkan data pada tabel 1 di atas, dari setiap soal yang diberikan, ditemukan mahasiswa yang mengalami miskonsepsi dengan persentase yang bervariasi. Miskonsepsi tertinggi terjadi pada indikator mengevaluasi hubungan kekerabatan antartaksa dengan membandingkan dua tipe pohon filogenetika yang berbeda sebanyak 47,6% (nomor soal 20) diikuti dengan miskonsepsi pada indikator memahami konsep clade untuk subindikator menghitung jumlah clade sebanyak 45,1% (nomor soal 3).

Rata-rata nilai CRI yang menjawab benar dan yang menjawab salah serta fraksi mahasiswa yang menjawab benar dan fraksi mahasiswa yang menjawab salah disajikan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Diagram Perbandingan Rata-rata CRI Jawaban Benar dan Salah dengan Fraksi Jumlah Mahasiswa yang Menjawab Benar

Berdasarkan gambar 1 di atas, dengan melihat nilai CRI salah dan Fraksi mahasiswa yang menjawab benar dan disesuaikan dengan kriteria penentuan mahasiswa yang paham, tidak paham, dan mengalami miskonsepsi terlihat bahwa kecenderungan mahasiswa untuk mengalami miskonsepsi terjadi pada banyak soal. Sebagai contoh untuk soal nomor 3, terlihat bahwa rata-rata CRI benar cukup tinggi yaitu 4 yang berdasarkan kriteria berarti kelompok mahasiswa/responden tahu akan konsep. Akan tetapi, dengan melihat grafik fraksi jawaban benar pada soal nomor 3 tersebut yang berkisar 0,12 dapat dianalisis bahwa mahasiswa yang menjawab benar dengan CRI tinggi jumlahnya sedikit. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa mahasiswa cenderung mengalami miskonsepsi pada soal nomor 3. Hal yang sama pun terjadi pada soal nomor 20, dengan nilai CRI benar 4 (tinggi), tetapi nilai fraksinya rendah yaitu 0,33. Contoh yang lain untuk soal nomor 6 dengan nilai CRI salah 2,6, nilai CRI benar 3 dan nilai Fraksi benar 0,33, dapat disimpulkan bahwa untuk soal nomor 6 mahasiswa cenderung mengalami miskonsepsi.

Berdasarkan data pada tabel 1 dan grafik pada gambar 1, menunjukkan bahwa miskonsepsi mahasiswa terjadi pada beberapa indikator seperti memahami konsep clade, mengidentifikasi karakter evolusi, dan mengevaluasi hubungan kekerabatan antartaksa. Hasil identifikasi miskonsepsi mahasiswa dalam memahami dan menalar pohon filogenetika, tidak jauh berbeda dengan kesalahpahaman mahasiswa dalam memahami dan menalar pohon filogenetika yang ditemukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian sebelumnya kesalahpahaman mahasiswa dalam memahami dan menalar pohon filogenetika memiliki beragam bentuk, di antaranya mahasiswa menafsirkan kedekatan hubungan antar sepecies berdasarkan kedekatan posisi di ujung pohon filogenetika [1], mahasiswa keliru dalam menuliskan garis waktu pada pohon filogenetika [8], mahasiswa menganggap percabangan yang muncul berikutnya dalam pohon

filogenetika menunjukkan taksa yang "lebih tinggi" [7], menghitung jumlah node yang menunjukkan keterkaitan antarataksa [8].

Kesimpulan

Dari hasil identifikasi miskonsepsi dalam memahami dan menalar pohon filogenetika yang terjadi pada mahasiswa, dapat disimpulkan bahwa mahasiswa masih memahami konsep secara parsial atau tidak utuh. Selain itu beberapa mahasiswa masih salah dalam menginterpretasikan istilah, beberapa mahasiswa membuat kesimpulan berdasarkan apa yang terlihat saja, sehingga dikatakan bahwa siswa masih belum memahami konsep secara utuh atau tidak lengkap.

Referensi

- [1] Baum, D.A, Smith, S.D, Donovan, S.S.S. The Tree-Thinking Challenge. *Science*. 310: 979–80, 2005.
- [2] Baum, D.A., Smith, S.D., *Berpikir kladistik An Introduction To Phylogenetic Biology*. Roberts And Company Publishers Greenwood Village, Colorado, 2015.
- [3] Novick, LR, & Catley, KM. (2007). Understanding phylogenies in biology: The influence of a Gestalt perceptual principle. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 197–223.
- [4] American Association For The Advancement Of Science (AAAS). (2011). *Vision And Change In Undergraduate Biology Education: A Call To Action*. Washington, Dc: AAAS.
- [5] Dharmayanti, I. Filogenetikaa Molekuler: Metode Taksonomi Organisme Berdasarkan Sejarah Evolusi. *Wartazoa* (21): 1, 2011.
- [6] Phillips, B.C., Novick, L.R. Catley, K.M. and Funk, D.J. Teaching Berpikir kladistik to College Students: It's Not as Easy as You Think. *Evo Edu Outreach* 5: 595–602, 2012.
- [7] Gregory, T.R. Understanding Evolutionary Trees. *Evol Educ Outreach* 1: 121–137, 2008.
- [8] Meir, Judyper R Y Jonc Her Ronjoelkingsolver. College Students' Misconceptions About Evolutionary Trees. *The American Biology Teacher, Online Publication*, 2007.
- [9] Tayubi, Y. R. 2005. Identifikasi Miskonsepsi pada Konsep-Konsep Fisika Menggunakan *Certainty of Response Index* (CRI). *Jurnal Pendidikan Universitas Pendidikan Indonesia* 3 (24).
- [10] Van den Berg, E., (1991), Miskonsepsi Fisika dan Remediasi, UKSW, Salatiga.
- [11] Suparno, P. *Miskonsepsi dan Perubahan Konsep dalam Pendidikan Fisika*. Jakarta: PT. Grasindo., 2005.
- [12] Halverson, K.I. Improving Tree-Thinking One Learnable Skill at a Time. *Evo Edu Outreach* 4:95–106, 2011.
- [13] Halverson, K.I. and Friedrichsen, P.F. Learning Berpikir kladistik: Developing a New Framework of Representational Competence. Dalam *Multiple Representations In Biological Education* Treagust, DF. Tsui, CY. Editors. Springer Science+Business Media B.V, 2013.
- [14] Hasan, S., D. Bagayoko, D., and Kelley, E. L. Misconceptions and the Certainty of Response Index (CRI), *Phys. Educ.* 34 (5): 294 – 299, 1999.

PEMBELAJARAN BIOETIKA ISLAM DI PROGRAM STUDI BIOLOGI PERGURUAN TINGGI AGAMA ISLAM NEGERI (PTAIN)

Eko Budi Minarno^{1, a)}

¹*Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: budi_minarno@yahoo.com*

Abstrak

Perkembangan biologi modern telah demikian pesat, sehingga menghasilkan keuntungan yang luar biasa bagi kesejahteraan hidup manusia, namun di sisi lain juga menimbulkan dampak negatif bila ditinjau dari aspek etika. Bioetika diperlukan untuk mengawal perkembangan biologi modern agar memiliki arah yang jelas dan sesuai dengan etika yang berlaku. Perkembangan penelitian biologi modern seperti genom manusia, teknologi reproduksi, kloning, transgenik, dan lainnya akan memerlukan kebijaksanaan sosial dan sikap individu. Hal ini menyebabkan perlunya membelajarkan bioetika, guna mengembangkan kemampuan berpikir dan bertindak sesuai dengan etika dan moral dalam riset biologi. Khusus di Program Studi Biologi PTAIN, bioetika perlu merujuk kepada agama Islam, sehingga pembelajaran bioetika yang dilakukan adalah Bioetika Islam (*Islamic Bioethic*). Pembelajaran bioetika Islam dapat dilakukan dengan metode yang bersumber dari teori dasar etika Konsekuensialisme dan prinsip-prinsip etika Islam dengan tujuan menghasilkan keputusan etik.

Kata kunci: bioetika islam, biologi, ptain

Pendahuluan

Biologi telah mengalami perkembangan yang pesat sejak akhir abad 20. Fokus kajian biologi telah mengalami perubahan yang signifikan menuju tingkat molekuler, sehingga dikenal dengan biologi molekuler. Perkembangan biologi molekuler diawali dengan penemuan struktur kimia DNA oleh Watson dan Crick pada tahun 1953. Produk-produk perkembangan biologi molekuler ini selanjutnya merupakan basis untuk perkembangan biologi modern dalam bentuk bioteknologi.

Perkembangan biologi dan ilmu kedokteran yang pesat, telah diprediksi akan menimbulkan problem-problem etik yang luar biasa. Perkembangan IPTEK sebagai suatu prestasi, tidak jarang memunculkan masalah baru yakni masalah yang berkaitan dengan etika. Kloning, rekombinasi DNA, transfer embrio (ET) dan fertilisasi in vitro (IVF) selain memungkinkan “mengontrol” proses kehidupan, juga membawa pertanggungjawaban baru terhadap masyarakat, sehingga perlu kehati-hatian dalam mengaplikasikannya.

Problem-problem etika yang muncul setelah perkembangan biologi modern, juga diakibatkan oleh cara pandang yang dikenal dengan *reduksionisme*. Reduksionisme merupakan cara pandang penyederhanaan sistem kehidupan dengan menganggapnya tidak berbeda dengan reaksi-reaksi kimia dan fisika pada benda mati, sehingga memungkinkan munculnya sikap yang bertentangan dengan etika. Kehati-hatian yang dimaksud adalah dalam bentuk perhatian terhadap aspek etika pada saat penerapan teknologi. Johansen & Harris [1] mengemukakan bahwa hasil penelitian yang

tidak mempertimbangkan aspek moral, etika, sosial, dan budaya, akan menimbulkan banyak permasalahan di masyarakat. Oleh karena itu, perlu rambu-rambu terkait pengembangan biologi dan teknologinya yang dikenal dengan Bioetika.

Bioetika

Etika yang berkaitan dengan masalah biologi dikenal dengan nama bioetika [2]. Bioetika atau *bioethics* atau etika biologi didefinisikan oleh Samuel Gorovitz (dalam [2]) sebagai “penyelidikan kritis tentang dimensi-dimensi moral dari pengambilan keputusan dalam konteks berkaitan dengan kesehatan dan dalam konteks yang melibatkan ilmu-ilmu biologis”. Definisi lain tentang bioetika ialah *the study of ethical issues and decision making associated with the use of living organisms* [3]. Bioetika adalah studi mengenai implikasi etik dan moral daripada temuan-temuan baru dalam ilmu biologi dan kemajuan-kemajuan baru dalam ilmu biomedika, seperti dalam hal rekayasa genetika dan penelitian obat-obatan (*Bioethics is the study of ethical and moral implications of new biological discoveries and biomedical advances, as in the fields of genetic engineering and drug research*). Jenie [4] mengemukakan bahwa bioetika berperan antara lain sebagai pengaman bagi riset bioteknologi. Sedangkan Djati [5], menegaskan bahwa bioetika tidak untuk mencegah perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, tetapi menyadarkan bahwa ilmu pengetahuan dan teknologi mempunyai batas-batas dan tanggung jawab terhadap manusia dan kemanusiaan.

Bioetika penting untuk dibelajarkan khususnya di Jurusan atau Program Studi Biologi, sebab mahasiswa tidak terbatas belajar konsep dalam biologi saja, namun juga belajar tentang konsekuensi sosial hasil penelitian biologi dan teknologinya. Perkembangan penelitian biologi modern seperti genom manusia, teknologi reproduksi, kloning, transgenik, dan lainnya akan memerlukan kebijaksanaan sosial dan sikap individu. Hal ini menyebabkan perlunya membelajarkan bioetika, sebab dengan cara demikian akan dapat mengembangkan kemampuan berpikir dan bertindak yang sesuai dengan etika dan moral. Johansen & Harris [1] menegaskan, melalui integrasi sains dengan etika diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap kemampuan peserta didik dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan problem etik. Kemampuan dalam pengambilan keputusan yang berkaitan dengan problem etik dapat dikatakan pula sebagai kemampuan berpikir moral, sebab keputusan yang diambil tentu melalui pertimbangan-pertimbangan moral yang cermat.

Bioetika Islam

Bioetika Islam merupakan kajian aspek etika dari sudut pandang Islam terhadap masalah-masalah yang muncul dari biologi dan teknologinya. Bioetika Islam berasal dari gabungan antara prinsip, hak dan kewajiban, dan himbauan untuk melakukan kebajikan. Dalam Islam, pembuatan keputusan bioetika dilaksanakan dalam sebuah kerangka nilai yang berasal dari wahyu dan tradisi. Bioetika Islam erat kaitannya dengan ajaran etika dalam Qur'an dan tradisi Nabi Muhammad SAW, sehingga berhubungan dengan interpretasi atas hukum Islam. Dengan cara seperti inilah, Islam memiliki fleksibilitas dalam merespon antara lain teknologi biomedis baru.

Bioetika Islam memiliki pertimbangan yang holistik, bahwa menangani seorang pasien misalnya, bukan sekedar aspek fisik saja, namun aspek mental dan spiritual juga mendapat perhatian. Dalam pembuatan keputusan etik terhadap dilema bioetika akibat aplikasi teknologi biologi, Bioetika Islam memiliki prinsip *Apakah sesuatu yang dapat dilakukan selalu patut untuk dilakukan?* Bioetika Islam juga mempertimbangkan aspek maslahat dan mudlorot suatu keputusan etik, serta aspek-aspek lain yang sejalan dengan tuntunan Qur'an dan Hadits seperti bagaimana nasab, halal ataukah haram. Pertimbangan-pertimbangan dalam Bioetika Islam selalu dihubungkan dengan tuntunan

Islam, tidak seperti bioetika biasa, yang dalam membuat keputusan etik didasarkan pada prinsip-prinsip moral umum hasil pemikiran manusia saja.

Teori etika Islam didasarkan kepada 5 (lima) hal yakni *protection* (perlindungan), *preservation* (pelestarian), *promotion of religion* (dakwah), *life and health* (kehidupan dan kesehatan), *progeny* (keturunan), *intellect* (akal), and *resources* (sumber daya). Melalui lima hal inilah, ummat Islam dapat melakukan analisis terhadap suatu masalah etika dengan mengambil rujukan dari Islam sendiri. Tentu saja yang terkait dengan konsep biologi seperti DNA, stem cell, teknologi transplantasi, teknologi bayi tabung memang harus mengambil rujukan dari ilmu biologi itu sendiri. Namun implementasinya, tidak cukup dengan biologi itu sendiri.

Teori Etika dalam Pengambilan Keputusan terhadap Dilema Bioetika

Di dalam pengambilan keputusan etik yang sering harus dilakukan dalam kaitannya dengan bioetika, ada 2 teori dasar atau teori etika atau metode yaitu **Konsekuensialisme**, dan **Deontologi** [1] [2]. Pada konsekuensialisme, baik buruknya suatu perbuatan tidak ditetapkan atas dasar prinsip-prinsip, tetapi dengan menyelidiki konsekuensi perbuatan. Oleh karena memiliki nama “konsekuensi-isme”. Metode ini mencoba untuk meramalkan apa yang akan terjadi, jika kita berkelakuan dengan berbagai cara yang berbeda, dan membandingkan hasilnya satu dengan yang lain. Apa yang bersifat moral atau moralitas suatu perbuatan ditentukan melalui suatu proses evaluatif. Dengan konsekuensialisme, seseorang tidak cukup melakukan yang baik, melainkan mestinya tahu perbuatan paling baik di antara semua perbuatan baik yang mungkin atau menyediakan kebaikan yang terbesar untuk sebanyak-banyaknya orang (Mackinnon dalam [1]).

Istilah “deontologi” berasal dari kata Yunani *deon* yang berarti “tugas /kewajiban /keharusan/ prinsip” [1] [2]. Etika deontologis adalah metode pengambilan keputusan yang mulai dengan bertanya “Apa yang harus saya lakukan?” atau “Apa yang menjadi kewajiban saya?” Menurut pandangan ini, jalan etik tepat yang harus ditempuh seseorang adalah mengikuti prinsip-prinsipnya entah ke manapun ia terbawa. Dalam hal ini mereka tidak peduli akan konsekuensi-konsekuensinya. Begitu keharusan atau kewajiban ditetapkan, maka jelaslah sudah perbuatan apa yang harus dilakukan. Begitu mengenal aturan dan mengetahui kewajiban, sudah menjadi jelas apa yang etik dan apa yang tidak etik. Problem terbesar adalah deontologi tidak peka terhadap konsekuensi-konsekuensi perbuatan.

Bagaimana dengan Islam? Islam sangat menekankan pada kemampuan berpikir, keputusan etik dilakukan melalui pertimbangan yang sangat cermat antara kemaslahatan dan kemudhorotan sesuatu hal. Konsekuensialisme lebih sesuai dengan Islam untuk mencari solusi dalam menghadapi kasus dilema bioetika (kasus yang menimbulkan perdebatan terkait penerapan biologi atau teknologi berbasis biologi). Pembelajaran bioetika dapat dilakukan dalam bentuk menentukan keputusan etik melalui kajian antara resiko dan manfaat (kemudhorotan dan kemaslahatan), keputusan yang mendatangkan kemaslahatan paling banyak dengan paling sedikit kemudhorotannya.

Rasulullah s.a.w telah mengajarkan tentang pengembangan pola pikir yakni “*Agama itu adalah penggunaan akal, tiada agama bagi orang yang tidak berakal*”. Berdasarkan hal ini, maka yang harus mendapat perhatian dalam pembelajaran bioetika adalah pengambilan keputusan etik dengan **tidak mengajarkan atau memberi contoh keputusan etik apa yang harus diambil**, melainkan menekankan pada bagaimana cara atau proses untuk pengambilan keputusan etik.

Model Pengambilan Keputusan Etik terhadap Dilema Bioetika dalam Pembelajaran Bioetika Islam

Pada umumnya mahasiswa sering mengalami kesulitan bagaimana cara memulai menganalisis suatu konflik etika atau dilema bioetika. Mereka tidak mengetahui pertanyaan apa yang harus dikemukakan dan bagaimana proses untuk sampai pada suatu keputusan [1]. Oleh karena itu, di dalam kelas dapat dikenalkan suatu masalah ilmiah teknis dan meminta mahasiswa berdiskusi untuk mengemukakan sebanyak mungkin pandangan mereka. Sebagai contoh, mahasiswa dapat diminta untuk mempertimbangkan *xenotransplantasi* (transplantasi menggunakan organ hewan terhadap manusia, misal: penggantian klep jantung manusia dengan klep jantung babi).

Mekanisme dalam pengambilan keputusan antara lain terhadap xenotransplantasi dapat mengikuti alur sebagai berikut:

- (1) Paparan Isu Bioetika:
Pembahasan isu xenotransplantasi yakni penggantian klep jantung manusia dengan klep jantung babi, yang meliputi konsep xenotransplantasi dan latar belakang dilakukannya tindakan.
- (2) Analisis Masalah Bioetika:
Mengidentifikasi masalah apa saja yang mungkin akan muncul dengan xenotransplantasi tersebut, mulai proses sampai hasil atau produknya, termasuk maslahat dan mudlorotnya.
- (3) Argumentasi:
Penyampaian pendapat perseorangan (opini) terkait masalah yang muncul dalam penerapan xenotransplantasi yang dikaitkan dengan hukum-hukum dalam Islam. Bagaimana bila ada organ hewan yang diharamkan dalam Islam tersimpan atau menyatu dalam tubuh seorang muslim.
- (4) Keputusan/Kesimpulan:
Pengambilan keputusan/kesimpulan terhadap masalah xenotransplantasi.
- (5) Evaluasi:
Melakukan evaluasi ulang terhadap keputusan yang diambil dan diadakan revisi bila keputusan terhadap pelaksanaan xenotransplantasi tidak memenuhi ketentuan dalam Islam.

Diskusi akan dapat membimbing mahasiswa untuk sampai kepada solusi suatu konflik atau dilema bioetika. Dalam hal ini dosen diharapkan membawa mahasiswa kepada fakta, bahwa pandangan terhadap suatu konflik adalah sangat beragam, semakin banyak ragam pandangan yang diketahui, semakin baik bagi pengembangan wawasan atau kemampuan berpikir mahasiswa.

Dalam proses pengambilan keputusan terhadap dilema bioetika, mahasiswa perlu memahami 6 prinsip [6] yakni:

Prinsip I: Keadaan Darurat:

Keputusan yang mengandung unsur haram menggunakan pedoman bahwa dalam kondisi normal diharamkan, namun menjadi diperbolehkan ketika darurat, yakni tidak ada pilihan lain dan semata-mata hanya untuk menjaga dan melestarikan kehidupan.

Prinsip II : Menjaga dan Melestarikan Kehidupan:

Keputusan yang diambil harus berdasarkan tujuan utama untuk semata-mata menjaga dan melestarikan kehidupan, bukan untuk maksud yang lain.

Prinsip III: Untuk Kepentingan yang Lebih Besar:

Keputusan yang diambil, harus terkandung maksud untuk kepentingan yang lebih besar.

Prinsip IV: Peluang Keberhasilan:

Keputusan yang diambil, harus sudah memperhitungkan kemungkinan atau peluang keberhasilannya.

Prinsip V: Manfaat dan Mudlarat:

Keputusan yang diambil harus sudah memperhitungkan keuntungan dan kerugian, kemaslahatan dan kemudlaratannya.

Prinsip VI: Tidak Ada Pilihan Lain:

Keputusan yang diambil harus sudah memperhitungkan tidak adanya pilihan lain, sehingga keputusan tersebut harus diambil.

Selain tahapan di atas, uraian berikut adalah model pembelajaran bioetika Islam yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan etik.

RESOLVEDD

Model RESOLVEDD meliputi langkah-langkah berikut:

- R. *Review* : Membahas topik aborsi.
- E. *Estimate* : Memprediksi dampak yang akan timbul dengan aborsi.
- S. *Solutions* : Membuat daftar kemungkinan solusi terhadap aborsi.
- O. *Outcomes* : Menyatakan konsekuensi dari setiap solusi terkait aborsi.
- L. *Likely* : Menguraikan kemungkinan dampak dari tiap solusi.
- V. *Values* : Menjelaskan nilai-nilai yang ditegakkan dan yang dilanggar oleh masing-masing solusi, dihubungkan dengan nilai-nilai Islam.
- E. *Evaluate* : Mengevaluasi masing-masing solusi, kemungkinan dampak atau pertimbangan kemaslahatan dan kemudlorotan.
- D1. *Decide* : Memutuskan solusi terbaik atau keputusan etik.
- D2. *Defend* : Mempertahankan keputusan tersebut melawan kelemahan-kelemahan yang mungkin masih ada.

Model ABCDE

Langkah-langkah dalam model ini adalah sebagai berikut:

- A. *Argumentasi*. Meminta dengan tegas kepada mahasiswa untuk memberikan argumentasi sederhana, pendek/singkat untuk melawan masing-masing sisi dari suatu konflik etika. Satu cara yang paling efektif untuk melakukan hal ini adalah meminta mahasiswa berpegang teguh pada posisi sebelum diskusi tentang sisi lain dari argumentasinya.
- B. *Both Sides*. Meyakinkan bahwa suatu argumentasi mempunyai dua atau lebih sisi yang dapat didekati dari perspektif konsekuensi. Mengingatkan para siswa untuk membuat suatu keputusan dengan konsekuensi. Adalah penting untuk mendorong mahasiswa untuk melihat bahwa ada sisi lain dari dilema, walaupun mereka boleh memprotes bahwa mereka hanya melihat dari satu sisi saja.
- C. *Costs and Benefits*. Menggunakan informasi yang telah mereka kembangkan terkait dengan keuntungan dan kerugian masing-masing argumentasi (masalah dan mudlorot).
- D. *Decision*. Penggunaan diskusi terbuka dan debat, agar mahasiswa dapat menetapkan keputusan atau kesimpulan. Tidak berarti seluruh kelas harus setuju. Hal ini mencerminkan proses yang terjadi pada masyarakat yang lebih luas.
- E. *Evaluate*. Semua argumentasi, keuntungan dan kerugiannya, manfaatnya dievaluasi.

Model ini mempunyai keuntungan antara lain mudah untuk menjelaskan dan menawarkan suatu proses pengambilan keputusan secara langsung. Di samping itu, model ini juga menyediakan forum untuk menjelaskan nilai-nilai yang dimiliki dan memahami pandangan orang lain. Melalui proses ini, mahasiswa akan menemukan informasi baru, menganalisis pandangan orang lain, mempertentangkan dengan yang mereka miliki, dan mengembangkan argumentasi. Keputusan sebagai bagian dari proses ini memberikan peluang pada mahasiswa untuk belajar menerima secara sosial dan secara moral. Pada langkah evaluasi, dapat diketahui konsekuensi dari keputusan yang diambil. Penggunaan model ini tidak akan membuat semua orang senang atau setuju, tetapi akan menawarkan kepada mahasiswa suatu kesempatan untuk menguji proses pengambilan keputusan etik dengan menyelidiki hal-hal di luar nilai-nilai yang mereka miliki.

Kesimpulan

Pembelajaran bioetika Islam di Jurusan atau Program Studi Biologi atau Pendidikan Biologi di lingkungan PTAIN merupakan hal yang sudah seharusnya dilakukan, mengingat perkembangan biologi dan teknologinya yang sudah sedemikian pesat. Hal yang penting untuk dibelajarkan kepada mahasiswa adalah cara pengambilan keputusan etik, bukan keputusan apa yang harus diambil. Menghadapkan mahasiswa kepada munculnya perbedaan pendapat dalam pengambilan keputusan etik terhadap masalah bioetika, adalah hal yang sangat berharga untuk mengembangkan wawasan dan kemampuan berpikir kritis mahasiswa. Membelajarkan bioetika Islam menyebabkan mahasiswa menguasai konsep biologi dan teknologinya serta memahami ada masalah etik yang muncul, yang membutuhkan solusi atau pengambilan keputusan.

Referensi

- [1] Johansen, C.K. and Harris, D.E. 2000. Teaching the Ethics of Biology. *The American Biology Teacher*, 62 (5) : 352-358.
- [2] Shannon, T.A. 1995. *Pengantar Bioetika*. Terjemahan oleh K. Bertens. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Macer, D.R.J. 2001. *Bioethics for the People by the People*. Christchurch, N.Z., Eubios Ethics Institute.
- [4] Jenie, U.A. 1997. *Perkembangan Bioteknologi dan Masalah-Masalah Bioetika yang Muncul*. Makalah disampaikan dalam Temu Ilmiah Regional Hasil Penelitian Biologi dan Pendidikan Biologi/IPA di IKIP Surabaya, Surabaya: 4 Januari 1997.
- [5] Djati, M.S. 2003. Diskursus Teknologi Embryonic Stem Cells dan Kloning dari Dimensi Bioetika dan Relegiositas (Kajian Filosofis dari Pengalaman Empirik). *Jurnal Universitas Paramadina*, 3(1): 102-123.
- [6] Mustofa, A. 2009. *Heboh Spare Part Manusia*. Surabaya: P A D M A Press.
- [7] Abdallah S. Daar, A. Binsumeit Al Khitamy. 2001. Bioethics for clinicians: 21. Islamic bioethics. *JAMC*, 164 (1).
- [8] Nor, S. N. M. 1999. New Reproductive Biotechnology, Values and Society. *Eubios Journal of Asian and International Bioethics(EJAIB)* 9 , 166-9 : 1-7.
- [9] Bertens, K. 1990. *Bioetika Refleksi Atas Masalah Etika Biomedis*. Jakarta: Gramedia.
- [10] Ebrahim, A.F.M., 2001. *Kloning, Eutanasia, Transfusi Darah, Transplantasi Organ, dan Eksperimen Pada Hewan Telaah Fikih dan Bioetika Islam*. Terjemahan oleh Mujiburohman. 2004. Jakarta: Serambi Ilmu Semesta.

KADAR KLOROFIL *Avicennia lanata* Ridl. DALAM KAITANNYA DENGAN LUAS DAN JUMLAH DAUN PADA KONDISI INTENSITAS CAHAYA BERBEDA DI HUTAN MANGROVE SEGARA ANAK, TN. ALAS PURWO, JAWA TIMUR

Tia Setiawati¹⁾, Mohamad Nurzaman¹⁾ dan Tiara Agustine¹⁾

¹Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Padjadjaran Bandung

penulis yang berkorespondensi: tiarasakimura@yahoo.com

Abstrak

Penelitian mengenai kadar klorofil *Avicennia lanata* Ridl. dalam kaitannya dengan luas dan jumlah daun pada kondisi intensitas cahaya yang berbeda telah dilakukan di Hutan Mangrove Segara Anak, Taman Nasional Alas Purwo, Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kadar klorofil *Avicennia lanata* Ridl. di tempat yang mempunyai perbedaan intensitas cahaya yaitu tempat yang tidak ternaungi dan di tempat yang ternaungi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survey dan line transek bayangan dengan panjang 300 m. Analisis spektrofotometri dilakukan untuk menentukan kadar klorofil yang didasarkan pada dua panjang gelombang yang masing-masing merupakan penyerapan maksimum untuk klorofil a dan b dalam pelarut alkohol. Data hasil pengamatan dianalisis secara deskriptif. Berdasarkan hasil penelitian, rata-rata kadar klorofil total di tempat yang ternaungi adalah 16,78 mg/L lebih besar daripada di tempat yang tidak ternaungi yaitu sebesar 11,45 mg/L. Pada penelitian ini, parameter lain yang diamati adalah luas dan jumlah daun. Rata-rata luas daun di tempat yang ternaungi sebesar 0,323 m² dengan rata-rata jumlah daun sebesar 143 helai, sedangkan di tempat yang tidak ternaungi rata-rata luas daun sebesar 0,217 m² dengan rata-rata jumlah daun sebesar 125 helai.

Kata kunci: *Avicennia lanata* Ridl., kadar klorofil, intensitas cahaya, luas daun, jumlah daun

Pendahuluan

Formasi hutan mangrove di kawasan Taman Nasional Alas Purwo (TNAP) sebagian besar terdapat di sepanjang Sungai Segara Anak serta di beberapa blok hutan, seperti Blok Pondok Welit, Teluk Pangpang dan Prepat. Berdasarkan hasil identifikasi tahun 2001, di TNAP ditemukan 26 jenis tumbuhan mangrove, salah satunya adalah tumbuhan api-api bulu (*Avicennia lanata* Ridl.). Jenis ini tumbuh sebagai pohon perdu tinggi pada dataran lumpur, tepi sungai, daerah yang kering dan toleran terhadap kadar garam yang tinggi. Kayunya dapat dimanfaatkan sebagai kayu bakar dan bahan bangunan (<http://wetlands.or.id/mangrove>). *Avicennia* sp. mempunyai kelenjar garam yang menolong menjaga keseimbangan osmotik dengan mengeluarkan garam [1].

Cahaya merupakan faktor penting terhadap berlangsungnya fotosintesis, sementara fotosintesis merupakan proses yang menjadi kunci dapat berlangsungnya proses metabolisme yang lain di dalam tanaman [2]. Hasil fotosintesis tidak hanya digunakan oleh tumbuhan untuk pertumbuhan normalnya. Fotosintesis menyediakan makanan bagi hampir seluruh kehidupan di dunia baik secara langsung maupun tidak langsung [3]. Fotosintesis pada tumbuhan terutama terjadi di daun yang berwarna hijau karena memiliki kloroplas yang berfungsi sebagai penangkap energi dari cahaya matahari. Kloroplas dapat menangkap energi dari cahaya matahari karena di dalam kloroplas terdapat pigmen klorofil. Pigmen klorofil terdiri atas beberapa molekul pigmen, yaitu klorofil a, klorofil b serta karotenoid. Klorofil a hampir identik dengan klorofil b. hanya dalam salah satu gugus fungsional yang diikat pada porifin, tetapi perbedaan struktural yang kecil di antara keduanya telah cukup untuk membuat kedua pigmen tersebut mempunyai spektra absorpsi yang berbeda, sehingga warnanya pun juga berbeda. Klorofil a berwarna biru-hijau sementara klorofil b berwarna kuning-hijau [3].

Kadar klorofil dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya intensitas cahaya. Intensitas cahaya merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi sintesis klorofil. (Rahardjo, 2012). Klorofil berfungsi sebagai penangkap cahaya yang diperlukan dalam proses fotosintesis, namun intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terhambatnya proses pembentukan klorofil. Oleh karena itu, intensitas cahaya yang rendah dapat mengaktifkan proses pembentukan klorofil. Intensitas cahaya juga mempengaruhi pertumbuhan daun. Menurut Marjenah [4] pada tempat terbuka kadar klorofil tumbuhan lebih rendah daripada tempat yang ternaungi, begitu pula dengan jumlah dan luas daun lebih banyak dan lebih luas pada tempat yang ternaungi.

METODOLOGI

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode survei untuk menentukan lokasi pengambilan sampel. Metode jelajah dan line transek bayangan dengan panjang 300 m dilakukan untuk pengambilan sampel daun *Avicennia lanata* Ridl. secara acak di tempat yang tidak ternaungi dan di tempat yang ternaungi. Sampel *A. lanata* Ridl. yang dipilih adalah yang masih fase semai dengan tinggi 60-70 cm. Parameter yang diamati adalah intensitas cahaya, luas daun, jumlah daun dan kadar klorofil. Data hasil pengamatan dianalisis secara deskriptif.

Prosedur Penelitian

Pengambilan Sampel Daun

Dari setiap pohon *Avicennia lanata* Ridl. yang dipilih sebagai sampel, diambil 15 helai daun *Avicennia lanata* yang digunakan sebagai sampel, 5 helai daun dari bagian bawah, 5 helai daun dari bagian tengah dan 5 helai dari bagian atas.

Pengukuran Luas Daun dan Jumlah Daun

Sampel daun *Avicennia lanata* Ridl. dibuat replikanya menggunakan kertas millimeter block. Kemudian replika daun diukur panjang serta lebarnya, selanjutnya luas daun dihitung dengan persamaan : $A = P \cdot L \cdot k$, dimana A = Luas daun (cm^2); L = Lebar daun (cm) P = Panjang daun (cm); k = konstanta* (*0,57 untuk daun yang tidak membelah, * 0,51 untuk daun yang telah membelah). Penghitungan untuk jumlah daun dilakukan pada semua daun dari pohon yang diambil sebagai sampel.

Perhitungan Kadar Klorofil dengan Spektrofotometer

Sampel daun *A. lanata* Ridl. dipotong kecil-kecil, kemudian digerus menggunakan mortar sampai halus. Daun yang telah dihaluskan ditimbang sebanyak 0,1 gram, kemudian dicampurkan dengan alkohol 90% sebanyak 10 ml. Ekstrak kemudian disaring dengan kertas saring, lalu dimasukkan ke dalam botol fial.

Sebelum dilakukan pengukuran dilakukan kalibrasi terlebih dahulu menggunakan pelarut alkohol 90%. Ekstrak daun sebanyak 2 ml masukkan ke dalam cuvet lalu dimasukkan ke dalam spektrofotometer dan dipasang pada panjang gelombang 665 dan 649 nm, secara bergantian untuk mendapatkan nilai absorbansi (*Optical Density*). Untuk menghitung kadar klorofil a dan b dihitung menggunakan rumus menurut Winstermans & Mots [5] :

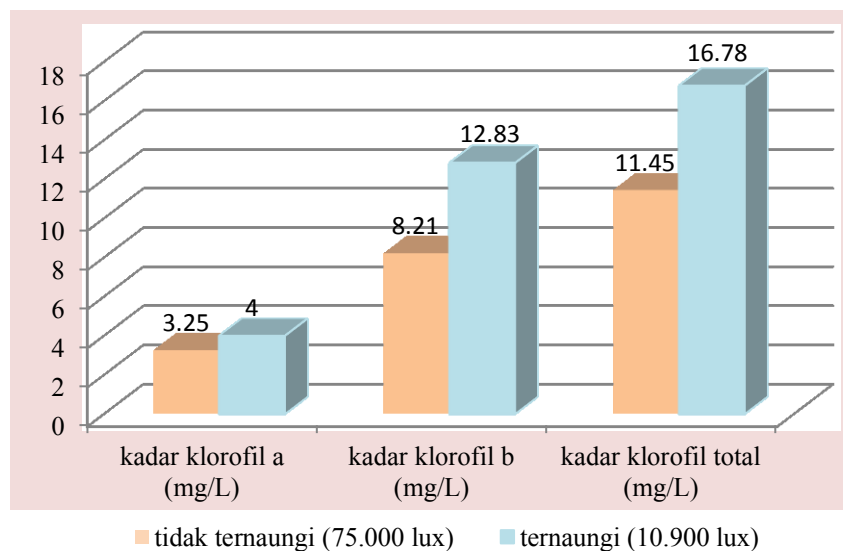
$$\text{Klorofil total (mg/l)} = (20,0 \times \text{OD}_{649}) + (6,1 \times \text{OD}_{665})$$

$$\text{Klorofil a (mg/l)} = (13,7 \times \text{OD}_{665}) - (5,76 \times \text{OD}_{649})$$

$$\text{Klorofil b (mg/l)} = (25,8 \times \text{OD}_{649}) - (7,7 \times \text{OD}_{665})$$

Hasil dan Diskusi

Hasil pengukuran luas daun, jumlah daun dan kadar klorofil *A. lanata* Ridl. dapat dilihat pada Gambar 1.



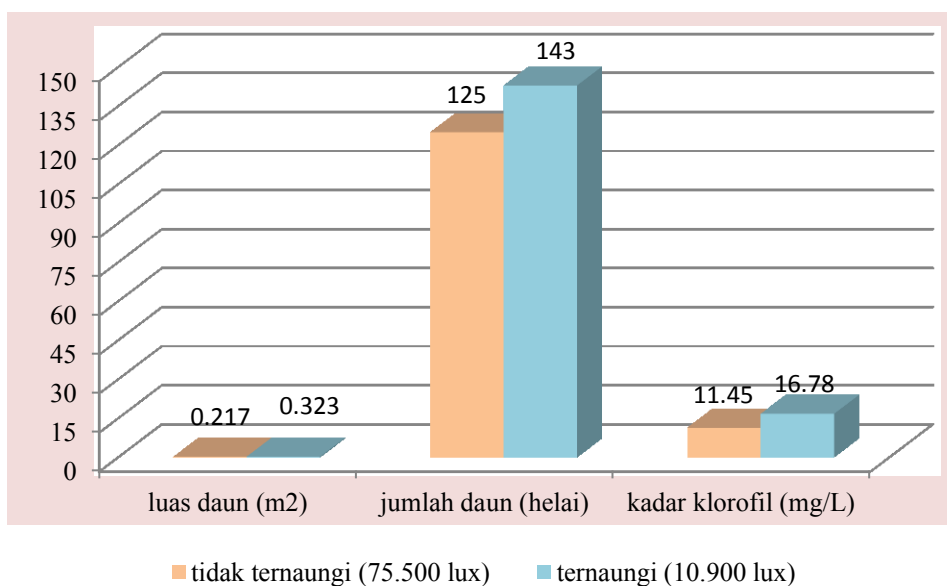
Gambar 1. Rata-rata kadar klorofil *Avicennia lanata* Ridl. pada tempat yang ternaungi dan tidak ternaungi dengan intensitas cahaya berbeda

Pada Gambar 1 tampak bahwa tempat yang terkena cahaya matahari secara langsung (tidak ternaungi) memiliki rata-rata intensitas cahaya yang lebih tinggi dari tempat yang ternaungi yaitu 75.500 lux, sedangkan pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari secara langsung (ternaungi) rata-rata intensitas cahaya rata-rata yang terukur adalah 10.900 lux. Pada Gambar 1 tampak juga bahwa terdapat perbedaan rata-rata kadar klorofil daun *A. lanata* Ridl. yang tumbuh pada kedua tempat tersebut. Rata-rata kadar klorofil a, b dan total daun *A. lanata* Ridl. pada tempat yang ternaungi lebih tinggi dari pada tempat yang tidak ternaungi, berturut-turut sebesar 4,00 mg/L ;

12,83 mg/L dan 16,78 mg/L, sedangkan pada tempat yang tidak ternaungi berturut-turut sebesar 3,25 mg/L; 8,21 mg/L dan 11,45 mg/L.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan intensitas cahaya pada tempat yang ternaungi dan tempat yang tidak ternaungi berpengaruh terhadap rata-rata kadar klorofil daun *A. lanata* Ridl. Pada tempat yang tidak terkena cahaya matahari secara langsung, terdapat pohon lain yang menaungi tumbuhan *Avicennia lanata* Ridl. sehingga dapat menghindari fluktuasi temperatur yang tinggi yang dapat merusak klorofil. Seperti yang diungkapkan Dwijoseputro [6] bahwa suhu yang terlalu tinggi akan menyebabkan desintegrasi klorofil. Demikian halnya dengan yang disampaikan Treshow [7] bahwa intensitas cahaya yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fotooksidasi klorofil berlangsung cepat, sehingga merusak klorofil. Alscher dan Castelfranco (1972) menemukan bahwa stimulasi sintesis klorofil hanya terjadi saat gelap dan adanya cahaya menghambat sintesis klorofil. Tanaman di bawah intensitas cahaya penuh menunjukkan kandungan klorofil minimal, kondisi ini berlaku untuk klorofil a dan b [8]. Sebaliknya, pada kondisi ternaungi akan bekerja cahaya merah jauh yang akan mendorong produksi klorofil a [9].

Hubungan antara luas dan jumlah daun dengan kadar klorofil *Avicennia lanata* Ridl. pada tempat yang berbeda intensitas cahayanya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Luas daun, jumlah daun dan kadar klorofil *Avicennia lanata* Ridl. pada intensitas cahaya yang berbeda

Berdasarkan Gambar 2 tampak bahwa intensitas cahaya berpengaruh terhadap rata-rata luas dan jumlah daun. Rata-rata luas dan jumlah daun *Avicennia lanata* Ridl. pada tempat yang ternaungi lebih tinggi daripada di tempat yang tidak ternaungi berturut-turut sebesar 0,323 m² dan 143 helai. Sedangkan pada tempat yang tidak ternaungi, rata-rata luas daun sebesar 0,217 m², dengan rata-rata jumlah daun sebesar 125 helai. Tampak bahwa intensitas cahaya berpengaruh terhadap luas dan jumlah daun. Hasil pengamatan ini sesuai dengan pernyataan Charles-Edward [10]; Salisbury dan Ross [9] bahwa secara umum daun-daun yang tumbuh di dalam lingkungan dengan tingkat cahaya rendah lebih tipis dan mempunyai permukaan daun yang lebih luas daripada daun yang tumbuh pada tingkat cahaya yang lebih tinggi. Sedangkan Marjenah [4] mengemukakan bahwa jumlah daun tanaman lebih banyak di tempat ternaungi daripada di tempat terbuka. Menurut Fitter dan Hay [11]; Haris (1999 dalam [12]) bahwa tanaman akan melakukan adaptasi pada kondisi intensitas cahaya

rendah dengan meningkatkan luas daun untuk memperoleh permukaan yang lebih besar bagi absorpsi cahaya atau optimalisasi penerimaan cahaya.

Kadar klorofil dalam kaitannya dengan jumlah dan ukuran daun pada perbedaan intensitas cahaya dapat dijelaskan pada Gambar 2, yang menunjukkan bahwa pada tempat ternaungi dengan intensitas cahaya rendah akan menyebabkan jumlah dan ukuran daun menjadi lebih lebar, diikuti dengan kadar klorofilnya yang lebih tinggi. Hasil ini didukung oleh Lakitan [13] yang mengungkapkan bahwa peluasan permukaan daun berasosiasi dengan peningkatan jumlah dan ukuran kloroplas serta jumlah klorofil yang terdapat pada palisade dan spons parenkim daun. Demikian juga jika jumlah daun semakin banyak maka kemungkinan kadar klorofil juga akan semakin tinggi.

Kesimpulan

Pada tempat yang ternaungi, rata-rata kadar klorofil total daun *A. lanata* Ridl. yaitu 16,78 mg/L lebih besar daripada di tempat yang tidak ternaungi yaitu sebesar 11,45 mg/L. Demikian juga dengan rata-rata luas dan jumlah daun di tempat yang ternaungi berturut-turut sebesar 0,323 m² dan 143 helai, lebih besar daripada di tempat yang tidak ternaungi. Rata-rata luas daun di tempat yang tidak ternaungi sebesar 0,217 m² dengan rata-rata jumlah daun sebesar 125 helai.

Referensi

- [1] Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut : Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- [2] Kramer P. J. and T. T. Kozlowski, 1979. Physiology of Wood Plants. Academic Pres, Inc. Florida.
- [3] Campbell, N.A, J.B. Reece, L.G. Mitchell. 2002. Biologi Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- [4] Marjenah. 2001. Pengaruh Perbedaan Naungan di Persemaian Terhadap Pertumbuhan dan Respon Morfologi Dua Jenis Semai Meranti. Jurnal Ilmiah Kehutanan "Rimba Kalimantan" Vol. 6. Nomor. 2. Samarinda. Kalimantan Timur.
- [5] Wintermans, J. F. G. M., and A. Demots. 1965. Spectrophotometric characteristics of chlorophylls a and b and their pheophytins in ethanol. Biochim. Biophys. Acta (Amst.) 109:448-453.
- [6] Dwidjoseputro, D. 1980. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. Jakarta: Gramedia.
- [7] Treshow, M. 1970. Environment and Plant Respons. Mc Graw Hill Company, New York.
- [8] Ermawati, R. 1990. Kandungan Klorofil Daun Pinus merkusii yang Tumbuh di sekitar Sumur Eksplorasi Panas Bumi Kamojang Jawa Barat. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Biologi UGM.
- [9] Salisbury, F.B. and C.W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan. Jilid 3. Bandung: Penerbit ITB.
- [10] Charles-Edward, D.A. 1982. Physiological Determinants of Crop Growth. Academic Press. Sidney.
- [11] Fitter, A.H. dan R.K.M. Hay. 1991. Fisiologi Lingkungan.Tanaman. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [12] Sirait, J. 2008. Leaf area, chlorophyll content, and relative growth rate of grass on different shading and fertilization. JITV 13(2): 109-116.
- [13] Lakitan, 1993. Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan. PT Raja Grafindo Persada.Jakarta.
- [14] Avicennia lanata Ridl. <http://wetlands.or.id/mangrove> [diakses 14 April 2015].

GAMBARAN HISTOLOGIS HEPAR TIKUS PUTIH (*Rattus norvegicus*) GALUR WISTAR SETELAH PERLAKUAN DENGAN EKSTRAK MENIRAN HIJAU (*Phyllanthus niruri* L.)

Achmad Ramadhan^{1, a)}

¹Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Univ. Tadulako Palu

^{a)}achmadram@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui gambaran histologis hepar tikus putih (*Rattus norvegicus*) galur Wistar setelah perlakuan dengan ekstrak meniran hijau (*Phyllanthus niruri* L.). Sebanyak 25 ekor tikus putih dibagi menjadi 5 kelompok, masing-masing kelompok terdiri dari 5 ekor tikus. Kelompok kontrol (tanpa perlakuan), kelompok, CCl₄ 1% (Kontrol Positif), kelompok ekstrak meniran 2,5 %, 5 % dan 7,5 %. Masing-masing kelompok perlakuan sebelum diberi meniran terlebih dahulu di induksi dengan CCl₄ selama 6 hari. Ekstrak meniran diberikan secara oral/ml setiap hari selama 16 hari. Sediaan histologi dibuat dengan menggunakan metode parafin dan pewarnaan HE. Data dikumpulkan secara kualitatif dengan membandingkan kelompok kontrol dengan perlakuan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol gambaran sinusoid teratur dan inti sel berukuran normal. Pada kelompok CCl₄ terlihat adanya nekrosis. Kelompok yang diinduksi dengan CCl₄ dan diberi meniran pada konsentrasi 2,5% tampak luas nekrosis belum berkurang, namun corakan sinusoid mulai teratur walaupun tidak sama dengan corakan sinusoid pada kontrol. Sedangkan gambaran histologis hati yang diberi meniran konsentrasi 5% tampak terlihat luas nekrosis mulai berkurang, corakan sinusoid mulai teratur, dan pada pemberian meniran dengan konsentrasi 7,5% corakan sinusoid mirip dengan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum meniran hijau dapat memperbaiki kerusakan hepar.

Kata kunci: Meniran, gambaran histologis, hepar

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang kaya akan tumbuhan obat. Hampir semua daerah mempunyai tanaman obat yang telah digunakan oleh masyarakat secara turun-temurun. Umumnya obat tradisional telah digunakan untuk pencegahan, pengobatan dan menambah daya tahan tubuh [1]. Tanaman obat umumnya memiliki kandungan senyawa aktif yang dapat berperan sebagai antibakteri, anti viral, antiplasmodial, anti oksidan, antiinflamasi, anti alergi, anti kanker, immunomodulator dan lain sebagainya [2].

Salah satu tanaman berkhasiat obat yang ada di Indonesia yaitu meniran hijau (*Phyllanthus niruri* L.). Meniran hijau merupakan tanaman liar yang berasal dari Asia Tropik yang tersebar di seluruh daratan Asia termasuk Indonesia. Meniran hijau memiliki rasa pahit, agak asam, serta bersifat sejuk. Secara empiris dan klinis, herba meniran hijau berfungsi sebagai antibakteri [3], anti kanker [4], hepatoprotektif [5], antioksidan [6] [7] memiliki aktivitas hipoglikemik, hipotensi, diuretik, dan

antiinflamasi, antitumor, antikarsinogenik [8] [9] dan khususnya meniran hijau berperan sebagai immunomodulator [10].

Beberapa senyawa kimia yang terkandung dalam tumbuhan meniran hijau antara lain, zat filantin, kalium, mineral, damar dan zat penyamak. Akar dan daunnya mengandung suatu senyawa pahit dan beracun yang diduga merupakan suatu alkaloid, selain itu akar dan daunnya juga kaya senyawa flavonoid antara lain quercetin, geurcetrin, isoquercetrin, astragalin, dan rutin. Berdasarkan kandungan kimia yang dimiliki oleh meniran, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui efek positifnya terhadap perbaikan sel-sel hati yang diinduksi oleh CCl₄.

Eksperimen

Bahan

Tikus putih (*Rattus norvegicus*) jantan galur Wistar, ekstrak meniran (*Phyllanthus niruri* L.), CCl₄, Alkohol 70%, Aluminium foil, Kertas saring, Alkohol absolut (C₂H₆O) p.a, alkohol teknis 90%, xylol, parafin cair, formaldehida p.a (37%), Hematoksilin-Eosin, aquades, dan pakan anak babi (CP551).

Pembuatan Ekstrak Meniran

Tumbuhan meniran hijau diekstraksi dengan cara maserasi. Sebanyak 200 gram daun meniran hijau kering direndam dalam 1,8 liter etanol 96% selama 2x24 jam selanjutnya dilakukan penyaringan Untuk mendapatkan ekstrak dimasukkan kedalam rotavapor, sehingga diperoleh ekstrak cair. Larutan ekstrak dievaporasi pada suhu tidak lebih dari 60°C. Ekstrak cair yang diperoleh kemudian di biarkan menguap agar alkohol dalam ekstrak tersebut hilang, sehingga diperoleh ekstrak kental.

Perlakuan pada hewan uji

Hewan uji yang digunakan yaitu tikus putih (*Rattus norvegicus*) Galur Wistar jantan, yang dikembangbiakkan di Laboratorium Biologi FKIP Universitas Tadulako. Ruang pemeliharaan diatur dengan pencahayaan selama 12 jam (pk 06.00 – 18.00). Tikus di beri pakan butiran pakan anak babi (CP551) Produksi PT Chaeroen Pokphand Indonesia dan diberi air minum secara *ad libitum*. Tikus jantan yang digunakan berumur 3 bulan dengan berat badan 150-200 gram. Sebelum perlakuan dilakukan aklimatisasi selama 7 hari. Pemberian dosis ekstrak meniran diberikan sesuai konsentrasi selama 16 hari. Sebanyak 25 ekor tikus putih dibagi menjadi 5 kelompok, masing-masing kelompok terdiri dari 5 ekor tikus. Kelompok I: Tanpa perlakuan (kontrol negatif), Kelompok II: CCl₄ (kontrol positif), kelompok III : Ekstrak meniran dengan konsentrasi 2,5 %, kelompok IV: Ekstrak meniran dengan konsentrasi 5 %, kelompok V: Ekstrak meniran dengan konsentrasi 7,5%. Pada kelompok perlakuan III hingga kelompok perlakuan V, sebelum dilakukan pemberian ekstrak meniran terlebih dahulu diinduksi dengan CCl₄ selama 6 hari. Pada hari ke 17 setelah pemberian ekstrak meniran, tikus dibunuh dengan cara dislokasi leher selanjutnya organ hati diperfusi dengan NaCl 0,9 % melalui vena porta. Organ hati diambil untuk dibuat sediaan mikroskopis. Pembuatan sediaan mikroskopis menggunakan metode paraffin dan pewarnaan Hematoksilin-Eosin.

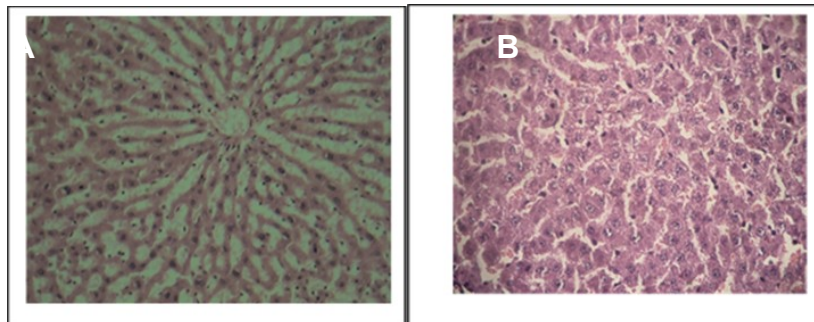
Analisis Data

Data yang dikumpulkan merupakan data kualitatif yaitu gambaran histologis hepar berupa degenerasi sel, pembentukan vakuola, penimbunan lemak dan bentuk sinusoid dan nekrosis. Data diperoleh dengan membandingkan kelompok perlakuan dengan kontrol positif dan negatif.

Hasil dan Diskusi

Hasil

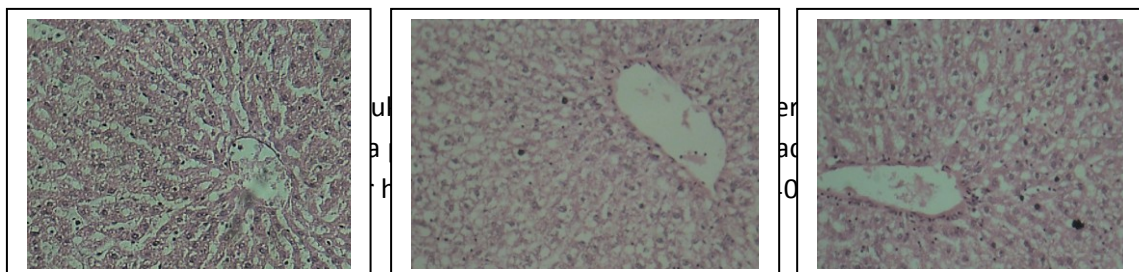
Dari penelitian ditemukan bahwa pada kelompok kontrol tidak ditemukan adanya kelainan patologis. Struktur sel tampak normal, tidak tampak adanya degenerasi parenkimatososa, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Gambaran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Struktur histologi hepar tikus putih kontrol dengan pebesaran 400X
(A.Struktur hepar normal ; B. Struktur histologi setelah induksi CCl₄)

Pada gambar A (kontrol negatif) struktur histologis hepar menunjukkan hepatosit tersusun dalam lobules hati, berbentuk polygonal, inti dengan batas jelas dan terletak sentralis. Vena sentralis di tengah, sinusoid tersebar difus. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa hati dalam keadaan normal. Gambar B (kontrol positif) yang diinduksi CCl₄ menunjukkan adanya perubahan, warna hati tikus berubah menjadi merah kehitaman dan secara mikroskopik terlihat adanya perlemakan hati. Sel hepar yang mengalami degenerasi parenkim. Sel tampak membengkak dan sitoplasma keruh terdapat granula.

Pada perlakuan III dan IV, yaitu kelompok yang diinduksi CCL₄ dan dilanjutkan dengan pemberian ekstrak meniran konsentrasi 2,5 %, 5 % tampak gambaran histologi hepar terlihat luas nekrosis belum berkurang, namun corakan sinusoid mulai teratur walaupun tidak sama dengan corakan sinusoid pada kontrol (tanpa perlakuan) (Gambar 2).



Sedangkan gambaran histologis hati yang diberi meniran konsentrasi 7% tampak terlihat luas nekrosis mulai berkurang, degenerasi parenkim, degenerasi hidropik, dan nekrosis tidak tampak, corakan sinusoid mulai teratur, dan corakan sinusoid mirip dengan kelompok kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 7% meniran hijau dapat memperbaiki kerusakan hepar.

Diskusi

Pada penelitian ini yang diamati adalah kerusakan sel hepar. Kerusakan sel hepar meliputi degenerasi parenkimatososa, degenerasi hidropik, dan nekrosis. Degenerasi parenkimatososa merupakan degenerasi paling ringan, terjadi pembengkakan dan kekeruhan sitoplasma. Degenerasi ini reversibel

karena hanya terjadi pada mitokondria dan retikulum endoplasma akibat gangguan oksidasi. Sel yang terluka tidak dapat mengeliminasi air sehingga tertimbun di dalam sel dan sel mengalami pembengkakan. Degenerasi hidropik merupakan derajat kerusakan yang lebih berat, tampak vakuola yang berisi air dalam sitoplasma yang tidak mengandung lemak atau glikogen. Perubahan ini umumnya merupakan akibat gangguan metabolisme seperti hipoksia atau keracunan bahan kimia. Degenerasi ini juga bersifat reversibel meskipun tidak menutup kemungkinan bisa menjadi irreversibel apabila penyebab cederanya menetap.

Sel yang telah cedera kemudian bisa mengalami robekan membran plasma dan perubahan inti sehingga sel mati atau nekrosis. Gambaran histopatologi hepar tikus wistar yang terinduksi CCL4 terlihat adanya radang kronik, sel limfosit, nekrosis dan perdarahan. Hal ini kemungkinan disebabkan radikal bebas dari CCL4 yang dapat melisiskan asam lemak pada fosfolipid membran sel sehingga meningkatkan permeabilitasnya dan membran sel pun rusak. Zat kimia seperti karbon tetraklorida CCl₄ dapat menyebabkan kerusakan hepar karena karbon tetraklorida di metabolisme di hepar oleh sitokrom P450 reduktase dengan kofaktor NADPH menjadi radikal triklorokarbon (CCl₃) yang berikatan secara kovalen pada membran hepatosit, dan merubah permeabilitas sel sehingga sistem enzim dalam retikulum endoplasma menjadi rusak yang bertanggung jawab atas metabolisme obat. Pemberian CCl₄ dalam dosis tinggi dapat merusak endoplasmik retikulum, mengakumulasi lipid, mengurangi sintesis protein, mengacaukan proses oksidasi, menurunkan bobot badan, menyebabkan pembengkakan hati sehingga bobot hati menjadi bertambah [11].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian ekstrak meniran hijau setelah diinduksi dengan CCl₄ dapat memperbaiki kerusakan hati. Walaupun perbaikan tersebut belum maksimal dengan konsentrasi yang diberikan, namun telah memberi gambaran adanya perbaikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi yang digunakan. Meniran (*Phyllanthus niruri* L.) memiliki khasiat hepatoprotektor. Hal ini seiring dengan penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan air rebusan meniran (*Phyllanthus niruri* L.) menunjukkan bahwa tikus yang diinduksi dengan CCl₄ kemudian diberikan air rebusan meniran dengan dosis 3 cc/hari menunjukkan adanya perbaikan sel dengan tumbuhnya vakuola-vakuola kecil sampai besar pada sitoplasma. Namun pada dosis tersebut belum dapat dikatakan normal [12]. Perbaikan sel hati oleh ekstrak meniran, diduga oleh adanya zat aktif phyllanthin dan hipophyllanthin yang berfungsi sebagai ligand yang mengaktifkan sel kupfer dalam menghasilkan interleukin untuk proses regenerasi sel hati.

Kesimpulan

Pemberian ekstrak meniran hijau dengan konsentrasi yang berbeda yaitu konsentrasi 2,5%, 5% dan 7,5% dapat menurunkan derajat kerusakan hepar pada tikus putih yang diinduksi oleh CCl₄.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Biologi FKIP Univ. Tadulako yang telah memfasilitasi sehingga terlaksananya penelitian ini.

Referensi

- [1] Ma'arifin, H. Peranan Farmakologi Dalam Pengembangan Obat Tradisional. Simposium Penelitian Tumbuhan Obat V. Yokyakarta (1981).
- [2] Ifandari, Suranto, dan Wuryaningsih, Y.N.S. Pengaruh pemberian ekstrak meniran merah (*Phyllanthus urinaria*) terhadap penekanan jumlah limfosit pada organ timus mencit balb/C yang diinfeksi bakteri *Salmonella thypi*. Jurnal Bioteknologi. 9 (1) p.1-6.2 (2012).
- [3] Ho Lai C, Shih HF, Yerra KR, Madamanchi G, Chih HT, Ying JL, Chien HH, Wen CW, Yew MT. Inhibition of Helicobacter Pylori-induced Inflammation in Human Gastric Epithelial AGS cells by *Phyllanthus urinaria* extracts. J Ethnopharmacol (August): 522-526 (2008).
- [4] Huang ST, Jong HSP, Rong CY. Anti cancer of *Phyllanthus urinaria* and relevant mechanism. Chang Gung Med J. 33: 477-487 (2010).
- [5] Sharma SK, Sheela MA, Deepak HB, Amit A, Chandrasekaran CV. Hepatoprotective activity of the *Phyllanthus* species on tert-butyl hydroperoxide (t-BH)-induced cytotoxicity in HepG2 cells. Pharmacogn Mag 7 (27): 229233 (2011).
- [6] Chularojmontri L, Suvara KW, Angkara H, Suphan C, Somchit N, Supatra S. Antioxidative and Cardioprotective effects of *Phyllanthus urinaria* L on Doxorubicin-Induced Cardiotoxicity. Biol Pharm Bull 28(7): 1165-1171 (2005).
- [7] Ahmeda, A., Ismail, Z., and Gabriel, A. Antioxidants properties of *Phyllanthus niruri* (Dukung Anak) Extracts, Malaysian Journal of Science, 24(1), 195-200 (2005).
- [8] Munjrekar, A.P., Jisha, V., Bag, P.P., Adhikary, B., Pai, M.M., Hegde, A. and Nandini, M. Effect of *Phyllanthus niruri* Linn. Treatment on liver, kidney and testes in CCl4 induced hepatotoxic rats, Indian J. Exp. Biol., 46, 514-520 (2008).
- [9] Nwanjo, H.U. Studies on the effect of aqueous extract of *Phyllanthus niruri* leaf on plasma glucose level and some hepatospecific markers in diabetic Wistar rats, Internet J. Lab. Med., 2(2), 1-9 (2007).
- [10] Maat S. *Phyllanthus niruri* L sebagai imunostimulator pada mencit. Disertasi. Program Pascasarjana Universitas Airlangga, Surabaya (1997).
- [11] Underwood J.C.E. Patologi Umum dan Sistemik. Penerbit EGC. Ed. 1 (2000).
- [12] Chodidjah, Widayati, E., Utari. Pengaruh pemberian air rebusan meniran (*Phyllanthm niruri* Linn) terhadap gambaran histopatologi hepar tikus wistar yang terinduksi CCL4. Jurnal Anatomi Indonesia. Vol. 2(1) p.8 – 12 (2007).

Populasi Sel Leydig Dan Sel Sertoli Pada Testis Mencit (*Mus Musculus L.*) Setelah Pemberian Ekstrak Etanol Dan Spinasterol Daun Senggugu (*Clerodendron serratum L.*)

Desak Made Malini^{1,a)}

¹Program Studi Biologi FMIPA-UNPAD

^{a)} Email korespondensi: desak_malini@yahoo.com

Abstrak

Tumbuhan senggugu (*Clerodendron serratum L.*) dikenal oleh masyarakat sebagai bahan dasar dalam pembuatan berbagai macam obat. Salah satu diantaranya adalah sebagai obat antifertilitas yang alami. Fertilitas sangat ditentukan oleh jumlah sel sperma yang dihasilkan melalui proses spermatogenesis. Sedangkan proses spermatogenesis tergantung pada hormon testoteron yang dihasilkan oleh sel Leydig dan suplai nutrisi oleh sel Sertoli. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemberian ekstrak etanol dan senyawa spinasterol daun senggugu terhadap jumlah sel Leydig dan sel Sertoli pada testis mencit (*Mus. musculus*). Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Empat puluh dua ekor mencit dikelompokkan secara acak menjadi 7 kelompok dengan 6 kali ulangan. Dosis yang diberikan untuk ekstrak etanol adalah 250, 500 dan 1000 mg/kg bb, dosis spinasterol adalah 26 dan 52 mg/kg bb, dan sebagai kontrol diberikan akuades dan DMSO. Perlakuan diberikan satu kali sehari selama 9 dan 18 hari. Parameter yang diamati adalah jumlah sel Leydig dan sel Sertoli pada preparat sayatan melintang testis. Data yang diperoleh dianalisis dengan Anava dan dilanjutkan dengan uji Duncan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu (*C. serratum L.*) dapat menurunkan secara signifikan jumlah sel Leydig dan sel Sertoli mencit jantan.

Kata kunci: *Clerodendron serratum*, sel Leydig, sel Sertoli, ekstrak etanol, spinasterol.

Pendahuluan

Pada tahun 2012 Indonesia memiliki jumlah penduduk 250 juta jiwa dan laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,49% atau 3,5 juta setiap tahun. Pertambahan penduduk yang pesat dan keterbatasan sumber daya alam menjadi kendala bagi negara untuk mewujudkan kesejahteraan. Salah satu cara yang telah dilakukan oleh pemerintah untuk menekan laju pertumbuhan penduduk adalah dengan melaksanakan program Keluarga Berencana (KB). Namun program tersebut belum dapat berjalan secara optimal, karena metode kontrasepsi pada wanita masih ditemukan adanya beberapa kelemahan, sebaliknya partisipasi pria dalam program ini masih sangat rendah (1,1%). Rendahnya partisipasi pria ini juga disebabkan oleh metode kontrasepsi pria yang umum dilakukan (vasektomi, kondom, dan *coitus interruptus*) dapat menimbulkan autoimun, iritasi dan bahkan kemandulan seumur hidup [1]. Oleh karena itu, untuk meningkatkan partisipasi pria pada program KB, perlu disediakan suatu alat kontrasepsi untuk pria yang aman, nyaman, terjangkau, dan reversibel. Pada saat ini sedang dikembangkan penggunaan tanaman obat alami Indonesia sebagai

alternatif antifertilitas pria. Senyawa-senyawa golongan alkaloid, flavonoid, steroid, isoflavonoid, tanin, triterpenoid dan minyak atsiri dapat digunakan sebagai bahan dasar obat kontrasepsi [2].

Salah satu tumbuhan yang memiliki peluang untuk dikembangkan sebagai bahan antifertilitas pria adalah tumbuhan senggugu (*Clerodendron serratum*). Tumbuhan ini mengandung senyawa C30 sterol (senyawa spinasterol), diterpen klerodran dan apigenin (flavonoid) [3], dan dilaporkan juga memiliki aktivitas *pest control antifertility* dan efek antinoseptik [4]. Hasil penelitian Julaeha [3] secara *in vitro* menunjukkan bahwa senyawa-senyawa kimia yang terdapat di dalam daun tumbuhan ini mampu menurunkan motilitas dan viabilitas spermatozoa, serta meningkatkan abnormalitas spermatozoa *Rattus norvegicus*. Sedangkan penelitian secara *in vivo*, menunjukkan bahwa ekstrak etanol daun senggugu yang diberikan pada mencit dan tikus secara oral dapat menurunkan motilitas dan viabilitas sperma serta menaikkan abnormalitas sperma [5]. Selain parameter-parameter tersebut, fertilitas juga ditentukan oleh jumlah sel spermatozoa yang dihasilkannya, sedangkan keberlangsungan spermatogenesis atau proses pembentukan spermatozoa di dalam tubulus seminiferus testis sangat ditentukan oleh hormon testoteron yang dihasilkan oleh sel Leydig dan suplai nutrisi oleh sel Sertoli. Dengan demikian untuk mengendalikan fertilitas dapat dilakukan dengan cara mengontrol populasi sel-sel tersebut dan untuk melihat efek antifertilitas dari suatu bahan dapat menggunakan jumlah sel Leydig dan sel Sertoli sebagai parameternya.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian untuk mengkaji pengaruh ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu terhadap populasi sel Leydig dan sel Sertoli pada mencit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi ilmiah tentang potensi ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu dalam menurunkan fertilitas mencit jantan, sehingga dapat dijadikan acuan untuk penelitian lebih lanjut dan dapat diterapkan pada manusia.

Bahan Dan Metode

Bahan-bahan yang digunakan adalah hewan uji mencit (*Mus musculus*) jenis kelamin jantan, ekstrak etanol dan senyawa spinasterol yang diisolasi dari daun senggugu, larutan Bouin, alkohol, etanol, xylol, parafin, Hematoksin Erlich-Eosin (HE), entelan.

Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial (7 X 2). Faktor pertama terdiri dari 7 perlakuan, yaitu 2 kontrol (DMSO dan akuades) dan 3 dosis ekstrak etanol (250, 500 dan 1000 mg/kg bb) serta 2 dosis spinasterol (26 dan 52 mg/kg bb). Faktor kedua terdiri dari 2 macam perlakuan waktu, yaitu 9 dan 18 hari. Setiap perlakuan masing-masing diulang 6 kali. Perlakuan diberikan secara *gavage* satu kali setiap hari. Selama perlakuan pakan dan minum diberikan secara *ad libitum*. Untuk mengamati populasi sel Leydig dan sel Sertoli dibuat preparat histologi penampang melintang tubulus seminiferus dari organ testis.

Pada akhir perlakuan, keesokan harinya hewan uji mencit dikorbankan dengan cara dislokasi leher dan organ testisnya diisolasi. Testis dicuci bersih dengan larutan NaCl 0,9%, kemudian difiksasi dalam larutan formalin buffer, selanjutnya didehidrasi dengan alkohol yang konsentrasinya bertingkat secara bertahap (60, 70,80, 90 dan 95% masing-masing selama 30 menit). Selanjutnya dijernihkan dengan larutan xylol, kemudian diinfiltirasi dengan parafin cair dan organ di *embedding* dalam parafin. Setelah dingin dipotong menggunakan *rotary microtome* dengan ketebalan $\pm 6 \mu\text{m}$. Pada tahap terakhir hasil potongan diwarnai dengan hematoksin dan eosin (HE). Selanjutnya preparat dibersihkan, ditetesi entelan, dan ditutup dengan kaca penutup. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya pembesaran objektif 40 kali, dilakukan pada lima tubuli seminiferi untuk setiap ulangan perlakuan.

Hasil dan Diskusi

Hasil pengamatan pengaruh perlakuan ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu (*C. serratum*) terhadap populasi sel Leydig dan sel Sertoli ditampilkan pada Tabel 1. Berdasarkan hasil Analisis Variansi, perlakuan ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu memberikan pengaruh yang nyata terhadap jumlah sel Leydig dan sel Sertoli, sedangkan perlakuan waktu hanya berpengaruh nyata pada jumlah sel Sertoli.

Tabel 1. Rerata Jumlah Sel-sel Pendukung pada Setiap Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Mencit (*M. musculus*) Jantan yang diberi Perlakuan Ekstrak Etanol dan Spinasterol Daun Senggugu (*C. serratum*).

Perlakuan	Waktu (hari)	Jumlah sel pada setiap penampang melintang tubulus seminiferus (Rata-rata ± SD)	
		Sel Sertoli	Sel Leydig
Akuades (kontrol positif)	9	30,43 ± 3,23 e	23,40 ± 2,81 d
	18	29,27 ± 2,34 de	22,63 ± 3,44 d
DMSO (kontrol negatif)	9	30,43 ± 4,66 e	23,13 ± 6,04 d
	18	28,25 ± 5,08 de	22,07 ± 4,72 cd
Ekstrak etanol 250 mg/kg bb	9	25,87 ± 3,32 bcd	21,20 ± 3,02 cd
	18	23,30 ± 2,83 abc	19,20 ± 2,79 bcd
Ekstrak etanol 500 mg/kg bb	9	25,25 ± 2,49 bcd	18,30 ± 3,04 bcd
	18	22,53 ± 4,97 ab	17,50 ± 1,34 bc
Ekstrak etanol 1000 mg/kg bb	9	21,83 ± 2,35 a	14,92 ± 2,09 a
	18	19,30 ± 3,09 a	12,93 ± 1,34 a
Spinasterol 26 mg/kg bb	9	29,75 ± 3,95 de	21,20 ± 4,01 cd
	18	24,70 ± 6,17 bcd	19,23 ± 3,86 bcd
Spinasterol 52 mg/kg bb	9	26,02 ± 3,16 bcd	21,33 ± 4,54 cd
	18	21,45 ± 3,81 ab	19,70 ± 3,44 bcd

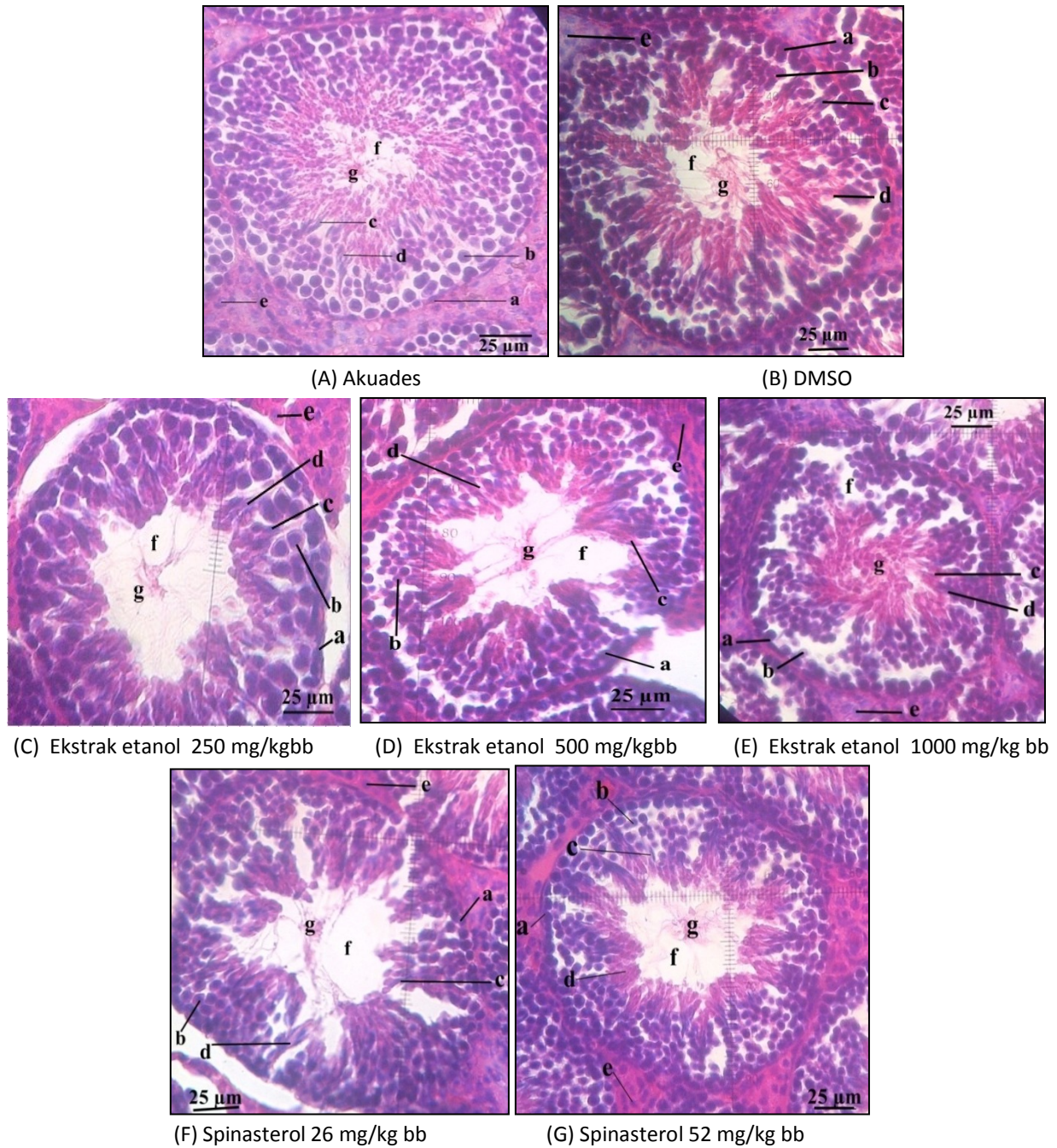
Keterangan: Analisis variansi yang dilanjutkan dengan uji Duncan pada taraf kepercayaan 95% ($P < 0,05$). Huruf yang sama dalam satu kolom antar-perlakuan, menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu dapat menurunkan jumlah kedua sel somatik tersebut (sel Sertoli dan sel Leydig). Pada Tabel 1 tampak bahwa jumlah sel Sertoli mencit yang diberi perlakuan ekstrak etanol 1000 mg/kg bb, lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Jumlah sel sertoli yang tertinggi tampak pada mencit kontrol (perlakuan akuades dan DMSO). Jumlah sel Sertoli pada perlakuan ekstrak etanol 1000 mg/kg bb tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan perlakuan ekstrak etanol 250 dan 500 mg/kg bb serta spinasterol 52 mg/kg bb, dengan perlakuan 18 hari, tetapi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya berbeda nyata lebih rendah. Sedangkan untuk populasi sel Leydig, jumlah yang terendah disebabkan oleh pemberian perlakuan ekstrak etanol 1000 mg/kg bb dan yang tertinggi oleh perlakuan kontrol (perlakuan akuades dan DMSO). Jumlah sel Leydig pada perlakuan ekstrak etanol dosis 1000 mg/kg bb, baik pada perlakuan waktu 9 maupun 18 hari, menunjukkan perbedaan yang nyata jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol dan perlakuan lainnya. Sedangkan antara keenam perlakuan lainnya, jumlah sel Leydig tidak berbeda nyata.

Fungsi sel Sertoli dan sel Leydig berkaitan erat dengan keberlangsungan spermatogenesis di dalam tubulus seminiferus. Sel Leydig terletak di jaringan interstitial diantara tubulus seminiferus testis sedangkan sel sertoli terdapat di dalam tubulus seminiferus. Sel Leydig berfungsi mensekresi

hormon testoteron, sedangkan sel Sertoli menghasilkan ABP (Androgen Binding Protein) yang akan mengikat hormon testoteron. Sel Sertoli juga berfungsi menjaga keberlangsungan hidup sperma dengan cara mensuplai makanan [6].

Spermatogenesis adalah proses pembentukan sperma yang terjadi di dalam tubulus seminiferus dan keberlangsungannya sangat ditentukan oleh hormon testoteron yang dihasilkan oleh sel Leydig. Fungsi dari hormon testoteron bersama-sama dengan FSH adalah merangsang diferensiasi sel-sel spermatogenik dan proses perkembangan spermatid yang bentuknya bulat menjadi sperma yang bentuknya oval dan berekor (spermiogenesis). Hormon testoteron juga berfungsi menjaga ikatan antara spermatid dengan sel Sertoli dan mengatur pelepasan spermatid matang ke dalam lumen tubulus seminiferus sebelum spermatozoa masuk ke epididimis [7]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu pada mencit dapat menurunkan jumlah sel Leydig dalam tubulus seminiferus. Penurunan jumlah sel Leydig dapat digunakan sebagai indikator bahwa aktivitas sel Leydig mengalami penurunan. Aktivitas sel Leydig sendiri sangat dipengaruhi oleh kadar gonadotropin terutama LH atau ICSH, apabila gonadotropin terganggu maka sel Leydig pun bisa terganggu. Berkurangnya jumlah sel-sel Leydig yang ditemukan pada jaringan interstisial tubuli seminiferi yang diberi perlakuan kemungkinan disebabkan oleh sel-sel Leydig mengalami degenerasi. Pada Gambar 1 tampak inti sel Leydig yang pipih, bahkan terjadi vakuolisasi dengan inti kecil ke pinggir. Menurut Jackson *et al.* (1986), sel Leydig yang mengalami degenerasi ditunjukkan dengan adanya inti yang mengalami piknotis dan terjadi vakuolisasi pada sitoplasma. Jumlah sel Leydig perlakuan berkurang karena terjadinya degenerasi sel-sel Leydig. Kondisi ini kemungkinan diakibatkan oleh keberadaan senyawa kimia yang terkandung dalam daun senggugu yaitu flavonoid dan triterpenoid. Ekstrak etanol daun *C. serratum* dosis 300 mg/kg bb mempunyai potensi sebagai antikanker karena dapat menghambat perkembangan tumor atau menurunkan laju proliferasi sel yang cepat membelah (menghambat pertumbuhan sel) dan menyebabkan apoptosis [8]. Hal ini terjadi karena ekstrak etanol mengandung senyawa-senyawa kimia yang dapat menghambat proliferasi. Senyawa triterpenoid flavonoid yang terdapat di dalam ekstrak daun senggugu dapat menghambat perkembangan kanker kulit mencit [9]. Hal yang sama juga ditemukan pada biji *Polyalthia cerasoides* yang mengandung diterpenoid klerodran, spinasterol dan [alpha]-spinasterol juga memiliki kemampuan sebagai antiproliferatif [10]. Sedangkan diterpen klerodran menghambat proliferasi sel kanker dan memiliki efek antiproliferasi melalui penghambatan topoisomerase II [11]. Oleh karena itu diduga menurunnya jumlah sel Leydig pada penelitian ini disebabkan oleh senyawa-senyawa kimia yang terdapat di dalam daun senggugu yaitu diterpen klerodran, spinasterol, apigenin dan saponin yang bersifat antiproliferatif. Adanya zat-zat yang bersifat toksik atau antiproliferatif tersebut diduga dapat mengganggu pertumbuhan dan perkembangan jaringan sel sehingga jumlah sel Leydig menjadi berkurang dan konsentrasi hormon yang dihasilkan juga berkurang.



Gambar 2. Penampang Melintang Tubulus Seminiferus Mencit (*M. musculus*) Jantan Perlakuan Kontrol, Ekstrak Etanol dan Spinasterol Daun Senggugu dengan Pewarnaan HE dan Perbesaran Mikroskop 10x 40.

Keterangan: (A) Akuades, (B) DMSO, (C) Ekstrak Etanol 250 mg/kg bb (D), Ekstrak Etanol 500 mg/kg bb, (E) Ekstrak Etanol 1000 mg/kg bb, (F) Spinasterol 26 mg/kg bb, (G) Spinasterol 52 mg/kg bb; (a) spermatogonium, (b) spermatosit, (c) spermatid, (d) sel Sertoli, (e) sel Leydig, (f) lumen, (g) spermatozoa.

Kemampuan sel Sertoli untuk mengatur spermatogenesis sangat tergantung pada fungsi dan jumlah sel Sertoli. Jumlah sel Sertoli pada orang dewasa akan tetap stabil dan tidak akan mengalami proliferasi lagi apabila jumlah sel sertoli dewasa telah tercapai [12]. Pada penelitian ini ditemukan perubahan sel Sertoli berupa bentuk, penyusutan jumlah dan ukuran (Gambar 2). Hal ini dapat terjadi karena konsentrasi hormon testoteron menurun, akibat dari turunnya jumlah sel Leydig akibat perlakuan ekstrak etanol dan spinasterol dari daun senggugu. Sel Sertoli merupakan sel target

dari hormon testoteron, dengan demikian apabila ada penurunan konsentrasi testoteron tentunya akan mengganggu fungsi dari sel sertoli yaitu sintesis ABP, inhibin, reseptor androgen (bekerjasama dengan androgen), glikoprotein dan metabolisme energi yang menghasilkan asam laktat yang merupakan sumber energi bagi sel spermatogenik akan terganggu juga [13]. Sel sertoli berperan pada tahap spermatogonium membelah menjadi spermatid primer, yaitu berfungsi memberi nutrisi kepada spermatogonium, sehingga dapat berkembang menjadi spermatid [13]. Sel sertoli merupakan sel pendukung dan pemberi nutrisi sel spermatogenik. Apabila terjadi gangguan fungsi dari sel sertoli, maka akan mengakibatkan sel spermatogenik mengalami degenerasi dan selanjutnya akan mengalami kematian atau apoptosis. Perubahan lain yang tampak pada sel Sertoli adalah adanya degenerasi bagian basal, sehingga hubungan antara sel spermatid dan sel Sertoli menjadi hilang, akibatnya sel germinal yang belum matang lepas, dan terjadi apoptosis dari sel spermatid (13). Kerusakan Sel sertoli bisa disebabkan oleh pengaruh sitotoksik dari senyawa-senyawa kimia yang terdapat di dalam ekstrak etanol daun senggugu. Seperti disebutkan sebelumnya bahwa spinasterol, diterpen klerodran, apigenin dan saponin memiliki sifat anti proliferasi.

Kesimpulan

Senyawa kimia yang terdapat dalam ekstrak etanol dan spinasterol daun senggugu dapat menurunkan populasi sel Sertoli dan sel Leydig. Semakin tinggi dosis dan lama waktu perlakuan yang diberikan maka semakin menurun populasi sel Leydig dan sel Sertoli.

Referensi

- [1] Yatim, W. 1994. Reproduksi dan Embryologi. Fisiologi komparatif pada hewan domestika dan laboratorium serta manusia. Penerjemah Keman, S. UI-Press Jakarta. P. 239-245. Penerbit Tarsito. Bandung.
- [2] Fransworth, N.R., A.S.Bingel and Cordell. 1975. Potential Value of Plants as Source of New Antifertility Agents I. J. Pharmaceut. Sci. 64: 535-588.
- [3] Julaeha, E. 2006. Senyawa Antifertilitas dari Daun Senggugu (*Clerodendron serratum* L. Moon). Sebagai Penurun Kualitas Spermatozoa Tikus Putih (*Rattus norvegicus*). Disertasi Program Pascasarjana, Universitas Padjadjaran, Bandung .
- [4] Graine, M., and S.Ahmed. 1988. Handbook of plant with Pest-control Properties, New York ; John Willey and Sons.
- [5] Diantini, A., D. Herdiana dan A. Subarnas. 2008. Aktivitas Antifertilitas Ekstrak Etanol Daun Senggugu (*Clerodendrom serratum* L.) Pada Mencit dan Tikus Jantan. Farmaka. Vol 6, No 3.
- [6] Dickson, R.B. and R.Clark. 1981. Estrogen Receptors in Male. Arch. Androl. 7: 205-217.
- [7] McLachlan RI, O'Donnell L, Meachem SJ, Stanton PG, de K, Pratis K, DM Robertson, 2002. Hormonal regulation of spermatogenesis in primates and man: insights for development of the male hormonal contraceptive. J Androl 23 (2):149-162.
- [8] Nagdeva, Prashant K.K., Ragini Singh., 2012, Anticancer Activity of Leaves of *Clerodendron Serratum* Spreng, American Journal of PharmTech Research 2 (4) : 451-461.
- [9] Jayaraj, F.C., R.D.Sanakal and B.B.Kaliwal. 2011. Evaluation of anticarcinogenic activity of *Clerodendrum serratum* leaf extract on liver and kidney of 7, 12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA) induced skin carcinogenesis in mice. Euro. J. Exp. Bio., 1(4):130-141.
- [10] Ravikumar Y.S., Mahadevan K.M., Manjunatha H., Satyanarayana N.D. 2010.
- [11] Awad, A.B., and C.S.Fink. 2000. Phytosterols as Anticancer Dietary Components: Evidence and Mecahanism of action. J. Nutrition: 2127-2130.
- [12] Johnsons, M., and B.Everitt. 1990. *Essential Reproduction*. 3rd edition. Blackwell Sci. Pub. Oxford, London, Edinburg.
- [13] Hafez ESE. 2000. Spermatozoa and seminal eproduction In Farm Animal. USA: Lea and Febiger.

UJI AKTIVITAS ANTIBAKTERI PADA IKAN LAUT DAN IKAN AIR TAWAR TERHADAP *Bacillus cereus* DAN *Escherichia coli*

Ida Indrawati¹, Isy'aini Rifqa Mayfi¹

¹Departemen Biologi F. MIPA - UNPAD

Abstrak

Ikan merupakan bahan makanan yang mengandung protein, vitamin, mineral dan asam lemak omega-3. Ikan memiliki pH mendekati netral dan mengandung kadar air yang tinggi (80%), sehingga ikan menjadi media yang baik untuk pertumbuhan bakteri pembusuk maupun mikroorganisme lain. Dalam penanganan dan pengolahan ikan, penggunaan bahan kimia berbahaya semakin marak dikarenakan peredaran bahan kimia tersebut tidak terkontrol dengan baik. Pada penelitian ini dilakukan uji aktivitas antibakteri yang diduga sebagai bahan pengawet dari sampel ikan laut [ikan Kembung (*Rastrelliger kanagurta*), ikan Selar (*Selaroides leptolepis*), dan ikan Deles (*Decapterus macrosoma*)] dan ikan air tawar [ikan Mujair (*Oreochromis mossambicus*), ikan Nila (*Oreochromis niloticus*), dan ikan Mas (*Cyprinus carpio*)] terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli* menggunakan metode difusi (Kirby-Bauer), kemudian dilanjutkan dengan penghitungan jumlah bakteri menggunakan metode Total Plate Count (TPC) untuk memperkuat hasil yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan antara diameter zona hambat yang dibentuk oleh bakteri dari suatu sampel ikan akan berbanding terbalik dengan hasil TPC yang didapatkan. Pada ikan laut, jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar terhadap *B. cereus* adalah ikan Deles (4,7 mm), namun jumlah TPC bakterinya paling sedikit (88×10^2 /mL). Sedangkan jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar terhadap *E. coli* adalah ikan Kembung (6 mm) dan jumlah TPC bakterinya tergolong sedikit (185,6 /mL). Pada ikan air tawar, jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar baik terhadap *B. cereus* maupun *E. coli* adalah ikan Mujaer (3,3 mm dan 8,7 mm) dengan jumlah TPC bakterinya yang paling sedikit ($131,2 \times 10^2$ /mL).

Kata kunci : Antibakteri, *Bacillus cereus*, *Escherichia coli*, Ikan.

Pendahuluan

Ikan merupakan salah satu bahan makanan yang mengandung berbagai macam zat nutrisi. Sebagai salah satu sumber protein hewani, ikan mengandung asam lemak tak jenuh, yodium, selenium, flourida, zat besi, magnesium, zink, dan taurin. Secara keseluruhan protein, vitamin, mineral dan asam lemak omega-3 yang dikandung dalam ikan mempunyai peran dalam kesehatan tubuh manusia baik di bagian otak, mata, jantung, paru-paru, otot, pencernaan, kulit maupun persendian [1].

Ikan banyak mengandung protein, kadar air yang tinggi (80%) dan pH netral, sehingga merupakan media yang baik untuk pertumbuhan bakteri maupun mikroorganisme lain, sehingga ikan cepat menjadi busuk [2] (Delgaard *et al.*, 2006).

Dalam teknologi pengolahan pangan, dikenal usaha untuk menjaga daya tahan suatu bahan sehingga banyakkah muncul bahan-bahan pengawet yang bertujuan untuk memperpanjang masa simpan suatu bahan pangan. Namun dalam praktiknya di masyarakat, masih banyak yang belum memahami perbedaan penggunaan bahan pengawet untuk bahan-bahan pangan dan yang non

pangan. Menurut Bianchi [3], penggunaan bahan kimia berbahaya dalam penanganan dan pengolahan ikan semakin marak. Hal ini disebabkan oleh bahan pengganti pengawet tersebut kurang tersedia serta peredaran bahan kimia berbahaya tidak terkontrol dengan baik, sangat mudah diperoleh, dan harganya murah.

Sejak tahun 2006, di Indonesia bermunculan berbagai kasus penggunaan bahan pengawet non pangan yang digunakan pada bahan makanan, khususnya pada produk perikanan. Bahan pengawet non pangan tersebut antara lain Formalin, Rhodamin B, Auramin, Pastak, Baygon, Startox, Boraks, Detergen, Bayclin, H₂O₂ dan lain-lain [4].

Penanganan ikan segar merupakan salah satu bagian penting dari mata rantai industri perikanan karena dapat mempengaruhi mutu. Baik buruknya penanganan ikan segar akan mempengaruhi mutu ikan sebagai bahan makanan atau sebagai bahan mentah untuk proses pengolahan lebih lanjut [5].

Dengan kandungan air yang cukup tinggi, tubuh ikan merupakan media yang cocok untuk kehidupan bakteri pembusuk atau mikroorganisme yang lain, sehingga ikan sangat cepat mengalami proses pembusukan. Kondisi ini sangat merugikan karena banyak ikan tidak dapat dimanfaatkan dan terpaksa harus dibuang, terutama pada saat produksi melimpah. Oleh karena itu, untuk mencegah proses pembusukan perlu dikembangkan berbagai cara pengawetan dan pengolahan yang cepat dan cermat agar sebagian ikan yang diproduksi dapat dimanfaatkan [6].

Pengawetan merupakan usaha manusia untuk mempertinggi daya tahan dan daya simpan dengan tujuan agar kualitas ikan dapat dipertahankan tetap dalam kondisi baik [5].

Cara-cara pengawetan dan pengolahan pada pascapanen perikanan dilakukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

1. Tubuh ikan mengandung protein dan air cukup tinggi, sehingga merupakan media yang baik bagi pertumbuhan bakteri pembusuk dan mikroorganisme yang lain.
2. Produksi ikan bersifat musiman, terutama ikan laut. Dengan kondisi demikian pada suatu saat produksi ikan sangat melimpah sedangkan pada saat lain sangat rendah. Oleh karena itu diperlukan cara-cara pengawetan dan pengolahan yang mampu memproses ikan dengan cepat dan cermat terutama pada saat produksi sedang melimpah.
3. Kebutuhan manusia akan ikan tidak pernah mengenal musim. Setiap saat manusia dapat membutuhkan ikan. Dengan dikembangkannya cara-cara pengawetan dan pengolahan yang cepat dan cermat, daya tahan dan daya simpan ikan dapat lebih lama sehingga dapat memenuhi kebutuhan manusia setiap saat.

Terdapat banyak bahan pengawet berbahaya yang biasa digunakan pada proses pengawetan ikan, diantaranya:

1. Formalin

Formaldehid (formalin) adalah larutan yang tidak berwarna, reaktif, dan dapat membentuk polimer pada suhu normal. Formalin yang memiliki rumus molekul CH₂O mengandung 37% gas formaldehid dalam air. Biasanya ditambahkan 10-15% metanol untuk menghindari polimerisasi [7].

Larutan formalin adalah desinfektan yang efektif melawan bakteri vegetatif, jamur atau virus, tetapi kurang efektif melawan spora bakteri. Formaldehid bereaksi dengan protein dan hal tersebut mengurangi aktivitas mikroorganisme. Formaldehid memiliki daya anti-mikrobal yang luas yaitu terhadap *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aerogenosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, atau *Penicillium notatum* (Cahyadi, 2006).

Formaldehid yang bereaksi dengan protein akan mengakibatkan terbentuknya rangkaian-rangkaian antara protein yang berdekatan. Akibat dari reaksi tersebut protein mengeras dan tidak dapat larut [8].

Efek penggunaan formalin terhadap tubuh manusia diantaranya menyebabkan kanker karena bersifat karsinogen, menyebabkan perubahan sel dan jaringan dalam tubuh, gangguan pada persarafan, dan lain-lain.

2. Boraks

Boraks atau Natrium tetraborat memiliki berat molekul 381,37 dengan rumus molekul $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Larutannya bersifat basa terhadap fenolftalein [9].

Efek farmakologi dan toksisitas senyawa boraks merupakan bakterisida lemah. Larutan jenuhnya tidak membunuh *Staphylococcus aureus*. Oleh karena toksisitas lemah, sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengawet pangan. Walaupun demikian, pemakaian yang berulang atau absorpsi berlebihan dapat mengakibatkan toksik (keracunan) [7].

Adanya bahan pengawet pada ikan dapat diuji dengan meneliti apakah daging ikan dapat mematikan bakteri uji.

Pengujian Aktivitas Antibakteri

Menurut Tortora *et al.* [10], pengujian aktivitas antimikroba secara *in vitro* dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu:

1. Metode Difusi (Uji Kirby-Bauer)

Prinsip dari metode difusi (Uji Kirby-Bauer) adalah menempatkan kertas cakram berdiameter 6 mm yang sudah mengandung bahan antimikroba tertentu pada medium lempeng agar yang telah dicampur dengan mikroba. Medium ini kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam, selanjutnya diamati adanya area (zona) jernih di sekitar kertas cakram. Daerah bening yang tampak di sekeliling kertas cakram menunjukkan tidak adanya pertumbuhan mikroba.

2. Metode Dilusi

Cara ini digunakan untuk menentukan kadar hambat minimum (KHM) dan kadar bunuh minimum (KBM) dari bahan antimikroba. Prinsip dari metode dilusi adalah menggunakan satu seri tabung reaksi yang diisi medium cair dan sejumlah tertentu sel mikroba yang diuji. Selanjutnya masing-masing tabung diisi dengan bahan antimikroba dengan variasi konsentrasi, kemudian seri tabung diinkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam dan diamati terjadinya kekeruhan. Konsentrasi terendah bahan antimikroba pada tabung yang ditunjukkan dengan hasil biakan yang tampak jernih tidak ada pertumbuhan mikroba adalah merupakan konsentrasi hambat minimum. Biakan dari semua tabung yang jernih ditumbuhkan pada medium agar padat, diinkubasi selama 24 jam, dan diamati ada tidaknya koloni mikroba uji yang tumbuh.

Bakteri Uji

Bakteri uji yang digunakan pada uji aktivitas antibakteri dari ikan laut dan ikan air tawar ini terdiri dari *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*.

Bacillus cereus

Bacillus cereus merupakan salah satu anggota genus *Bacillus* yang pertama kali diisolasi pada tahun 1969 dari darah dan cairan pleura (selaput pembungkus paru-paru) pasien pneumonia. *B. cereus* merupakan bakteri Gram positif dengan lebar sel 0,9 - 1,2 μm dan panjang 3-5 μm , motilitasnya positif, letak sporanya elipsoidal, sentral atau parasentral, tidak membentuk kapsul, biasanya muncul dalam bentuk rantai panjang, panjang, bentuk koloninya *irregular* (tidak teratur), *opaque* (Willis, 2007) (tidak tembus cahaya), dan terkadang *waxy* (memiliki lapisan lilin).



Gambar 1. *Bacillus cereus*

Pada medium cair bakteri membentuk turbiditas *moderate* (sedang). Pada medium cair bakteri ini membentuk turbiditas *moderate* (sedang).

B. cereus memiliki karakter yang mirip dengan *B. thuringiensis* dan *B. anthracis*, namun tetap dapat dibedakan berdasarkan determinasi motilitas (kebanyakan *B. cereus* bersifat motil) dan adanya kristal toxin (hanya dihasilkan oleh *B. thuringiensis*), aktivitas hemolisis (*B. cereus* memiliki sifat ini, sedangkan *B. anthracis* bersifat non-hemolitik) [11].

Beberapa strain dari *B. cereus* bersifat patogen dan berbahaya bagi manusia karena dapat menyebabkan *foodborne illness*, namun beberapa diantaranya yang bersifat saprofitik dapat bermanfaat sebagai probiotik dan juga penghasil antibiotik yang potensial. *B. cereus* kebanyakan ditemukan terkandung dalam bahan pangan dan menyebabkan 2 tipe keracunan makanan, yaitu (1) *Emetic* yang merupakan keracunan yang dimediasi oleh toksin yang sangat stabil yang dapat bertahan pada temperatur tinggi, pH ekstrim serta tahan terhadap enzim pencernaan seperti trypsin dan pepsin, (2) *Diarrhoeal* yang dimediasi oleh enterotoksin yang labil terhadap panas dan asam [11].

B. cereus merupakan mikroorganisme yang dapat tumbuh pada kisaran temperatur yang luas dan terdapat strain yang tergolong *psychrophilic* hingga *thermophilic*. Karena kebanyakan strain *B. cereus* hidup dalam gastro-intestinal dan menyebabkan infeksi *diarrhoeal*, maka temperatur 37°C merupakan temperatur pertumbuhan yang optimal.

Escherichia coli

Escherichia coli merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang pendek yang memiliki panjang sekitar 2 μm , diameter 0,7 μm , lebar 0,4-0,7 μm , dan bersifat anaerob fakultatif. *E.coli* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan yang nyata [12] [13].



Gambar 2. *Escher*(G. W. Willis, 2007)

E. coli adalah anggota flora normal usus. *E. coli* berperan penting dalam sintesis vitamin K, konversi pigmen-pigmen empedu, asam-asam empedu, dan penyerapan zat-zat makanan. *E. coli* termasuk ke dalam bakteri heterotrof yang memperoleh makanan berupa zat organik dari lingkungannya karena tidak dapat menyusun sendiri zat organik yang dibutuhkannya. Zat organik diperoleh dari sisa organisme lain. Bakteri ini menguraikan zat organik dalam makanan menjadi zat anorganik, yaitu CO₂, H₂O, energi, dan mineral. Di dalam lingkungan, bakteri pembusuk ini berfungsi sebagai pengurai dan penyedia nutrisi bagi tumbuhan [11].

E. coli menjadi patogen jika jumlah bakteri ini dalam saluran pencernaan meningkat atau berada di luar usus. *E. coli* menghasilkan enterotoksin yang menyebabkan beberapa kasus diare. *E. coli* berasosiasi dengan enteropatogenik menghasilkan enterotoksin pada sel epitel [13].

Manifestasi klinik infeksi oleh *E. coli* bergantung pada tempat infeksi dan tidak dapat dibedakan dengan gejala infeksi yang disebabkan oleh bakteri lain [13]. Penyakit yang disebabkan oleh *E. coli*, yaitu:

1. Infeksi saluran kemih

E. coli merupakan penyebab infeksi saluran kemih pada kira-kira 90% wanita muda. Gejala dan tanda-tandanya antara lain sering kencing, *disuria* (nyeri pada saat buang air kecil), *hematuria* (terdapat sel darah merah dalam urine), dan *piuria* (terdapat sel darah putih dalam urine). Nyeri pinggang berhubungan dengan infeksi saluran kemih bagian atas.

2. Diare

E. coli yang menyebabkan diare banyak ditemukan di seluruh dunia. *E. coli* diklasifikasikan oleh ciri khas sifat-sifat virulensinya dan setiap kelompok menimbulkan penyakit melalui mekanisme yang berbeda.

3. Sepsis

Bila pertahanan inang normal tidak mencukupi, *E. coli* dapat memasuki aliran darah dan menyebabkan *sepsis* (terdapat bakteri dalam darah).

4. Meningitis

E. coli adalah penyebab utama meningitis pada bayi. *E. coli* merupakan penyebab pada sekitar 40% kasus meningitis neonata [13].

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah autoklaf, batang ose, batang pengaduk, beaker glass, botol sampel, bunsen, cawan petri, erlenmeyer, heater, inkubator, korek api, lemari pendingin, mikropipet, mortar, oven, pinset, pisau, rak tabung, spatula, suntikan, tabung reaksi, dan timbangan analitik.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aluminium foil, akuades, alkohol 70%, ikan air tawar (Mujaer, Nila, dan Mas), ikan laut (Kembung, Selar, dan Deles), kain kassa, kapas, kertas cakram, kertas pembungkus, medium NA (*Nutrient Agar*), NaCl fisiologis, spiritus, suspensi bakteri *Bacillus cereus*, suspensi bakteri *Escherichia coli*, dan tissue.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Difusi (Bauer *et al.*, 1966, *cit.* [14]) dengan menguji daya hambat bakteri dari sampel ikan laut (Kembung, Selar, dan Deles) dan ikan air

tawar (Mujaer, Nila, dan Mas) terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli* serta metode Total Plate Count (TPC). Setelah itu data hasil yang diperoleh akan dianalisis secara deskripsi.

Cara Kerja

Sterilisasi Alat dan Bahan

Alat dan bahan disteril dengan *Autoklaf* diisi dengan temperatur 121°C dan tekanan 1 atm selama 15 menit.

Uji Aktivitas Antibakteri Ikan Laut dan Ikan Air Tawar dengan Metode Difusi

Ikan dihancurkan menggunakan mortar lalu ditimbang sebanyak 10 gr dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan akuades sebanyak 10 mL dan dilakukan pengenceran sampai 10^{-2} .

Kertas cakram dimasukkan ke dalam masing-masing tabung reaksi yang berisi sampel ikan (pengenceran 10^0 , pengenceran 10^{-1} , dan pengenceran 10^{-2}) dan didiamkan selama 30 menit. Setelah 30 menit, kertas cakram yang berada di dalam tabung reaksi diambil dan diletakkan di cawan petri yang telah berisi campuran 20 mL NA (*Nutrient Agar*) dan 1 mL bakteri uji dengan kekeruhan setara McFarland 3. Medium ini kemudian diinkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam, selanjutnya diamati zona bening yang terbentuk di sekitar kertas cakram.

Total Plate Count (TPC) Bakteri dari Ikan Laut dan Ikan Air Tawar

Diambil 1 mL sampel ikan dari masing-masing tabung reaksi (pengenceran 10^0 , pengenceran 10^{-1} , dan pengenceran 10^{-2}) dan dimasukkan ke dalam cawan petri steril. Setelah itu, medium NA (*Nutrient Agar*) dimasukkan ke dalam cawan petri tersebut dan dihomogenkan. Setelah agar membeku, cawan petri dibungkus dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam, koloni bakteri yang tumbuh dihitung.

Analisis Data

Analisis data yang meliputi perhitungan jumlah bakteri dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$\frac{\Sigma \text{koloni} \times 10^x + \Sigma \text{koloni} \times 10^y + (\Sigma \text{koloni} \times 10^z)}{3} = \text{banyak mikroorganisme/ml}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel Ikan

Sampel ikan baik ikan laut maupun air tawar dipilih ikan segar yang banyak dijual di pasar Tanjung Sari, Sumedang. Berikut ikan yang digunakan dalam penelitian:



Rastrelliger kanagurta (Ikan Kembung)



Selaroides leptolepis (Ikan Selar)



Decapterus macrosoma (Ikan Deles)

Gambar 3. Ikan laut yang digunakan



Oreochromis mossambicus (Ikan Mujaer)



Oreochromis niloticus (Ikan Nila)



Cyprinus carpio (Ikan Mas)

Gambar 4. Ikan air tawar yang digunakan

Jenis Ikan

Dalam penelitian ini ikan yang digunakan terdiri dari 6 jenis ikan, yaitu 3 jenis ikan laut dan 3 jenis ikan air tawar. Ikan laut yang digunakan adalah ikan Kembung, ikan Selar, dan ikan Deles. Sedangkan ikan air tawar yang digunakan adalah ikan Mujaer, ikan Nila, dan ikan Mas.

1. Ikan laut

a) *Rastrelliger kanagurta* (Ikan Kembung)

Ikan Kembung memiliki bentuk tubuh ramping memanjang dan agak pipih. Pada penelitian ini, ikan Kembung yang digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 15,4 cm dan berat 215 gr, (2) Panjang 16,0 cm dan berat 222 gr, dan (3) Panjang 15,5 cm dan berat 218 gr.

b) *Selaroides leptolepis* (Ikan Selar)

Ikan Selar merupakan ikan laut yang ukuran tubuhnya dan pipih memanjang. Pada penelitian ini, ikan Selar yang digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 6,2 cm dan berat 85 gr, (2) Panjang 6,5 cm dan berat 90 gr, dan (3) Panjang 7,1 cm dan berat 92 gr.

c) *Decapterus macrosoma* (Ikan Deles)

Ikan Deles merupakan ikan laut yang tubuhnya kecil memanjang. Pada penelitian ini, ikan Deles yang digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 11,3 cm dan berat 195 gr, (2) Panjang 11,0 cm dan berat 192 gr, dan (3) Panjang 12,1 cm dan berat 198 gr.

2. Ikan air tawar

a) *Oreochromis mossambicus* (Ikan Mujaer)

Ikan Mujaer merupakan ikan air tawar yang tubuhnya berukuran sedang dan memiliki sirip yang tajam. Pada penelitian ini, ikan Mujaer yang digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 13,4 cm dan berat 274 gr, dan (2) Panjang 13,7 cm dan berat 280 gr, dan (3) Panjang 13,1 cm dan berat 270 gr.

b) *Oreochromis niloticus* (Ikan Nila)

Ikan Nila merupakan ikan air tawar yang tubuhnya berukuran sedang dan memiliki sirip yang tajam. Ikan ini memiliki bentuk tubuh yang hampir sama dengan ikan Mujaer. Pada penelitian ini, ikan Nila yang digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 12,9 cm dan berat 260 gr, (2) Panjang 13,0 cm dan berat 265 gr, dan (3) Panjang 12,8 cm dan berat 250 gr.

c) *Cyprinus carpio* (Ikan Mas)

Ikan Mas merupakan ikan air tawar yang tubuhnya berukuran sedang dan memiliki daging yang sangat lembut dan berduri banyak. Pada penelitian ini, ikan Mas yang

digunakan memiliki ukuran tubuh; (1) Panjang 11,9 cm dan berat 271 gr, (2) Panjang 12,0 cm dan berat 275 gr, dan (3) Panjang 12,4 cm dan berat 281 gr.

Hasil Uji Aktivitas Antibakteri dari Ikan Laut dan Ikan Air Tawar dengan Metode Difusi (Kirby-Bauer)

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa sampel ikan yang digunakan berhasil membentuk zona hambat yang diameternya diukur dalam mm. Diameter zona hambat pada uji aktivitas antibakteri dari ikan terhadap *B. cereus* dan *E. coli* dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

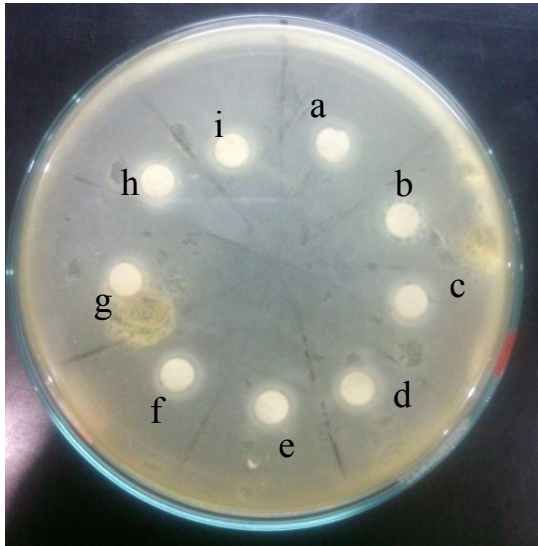
Tabel 1 Diameter zona hambat pada uji aktivitas antibakteri dari sampel ikan yang digunakan terhadap bakteri *B. cereus* dan *E. coli* (dalam mm)

Jenis Ikan		Diameter zona hambat (dalam mm)											
		<i>B. cereus</i>						<i>E. coli</i>					
		10^0		10^{-1}		10^{-2}		10^0		10^{-1}		10^{-2}	
Ikan laut	Ikan Kembuning	3	3,3	3	3	2	2,7	8	6	5	4,7	5	4,3
		4		2		2		6		5		3	
		3		4		4		4		4		5	
	Ikan Selar	-	0,3	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1
		1		-		-		1		1		1	
		-		-		-		1		1		1	
	Ikan Deles	3	4,7	-	-	-	-	1	2,3	-	-	-	-
		5		-		-		5		-		-	
		6		-		-		1		-		-	
Ikan air Tawar	Ikan Mujaer	4	3,3	2	1,7	1	1	8	8,7	5	4,7	4	3
		3		1		1		7		4		3	
		3		2		1		11		5		2	
	Ikan Nila	1	1	-	-	-	-	1	2,3	-	-	-	-
		1		-		-		2		-		-	
		1		-		-		4		-		-	
	Ikan Mas	1	1	-	-	-	-	2	2	-	0,3	1	-
		1		-		-		2		-		1	
		1		-		-		2		1		1	

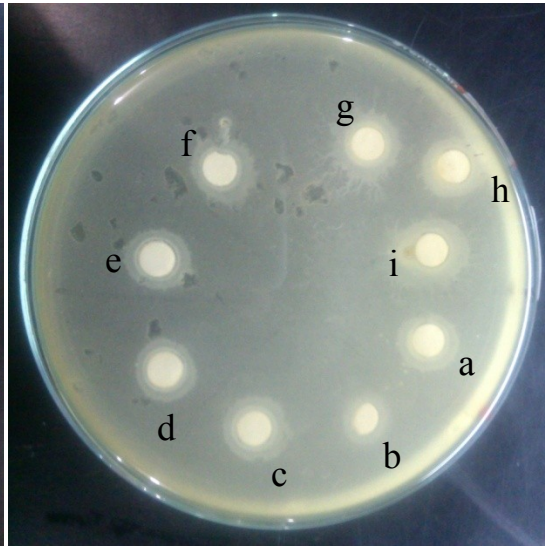
Berdasarkan table 1 di atas, tampak bahwa zona hambat yang dihasilkan oleh ikan baik laut maupun air tawar sangat bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa ikan yang diuji memiliki tingkat kemampuan yang berbeda-beda untuk menghambat pertumbuhan bakteri *B. cereus* dan *E. coli*, yang kemampuan ini diduga sebagai hasil dari bahan pengawet yang digunakan dalam proses pengawetan ikan.

Walaupun terdapat beberapa sampel ikan yang memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *B. cereus* dan *E. coli*, namun zona hambat yang dihasilkan tidak terlalu besar. Hal ini mungkin dikarenakan konsentrasi dari bahan pengawet yang digunakan tidak terlalu tinggi atau mungkin juga konsentrasi sampel ikan yang digunakan terlalu rendah sedangkan konsentrasi bakteri uji (*B. cereus* dan *E. coli*) terlalu tinggi, sehingga zona hambatnya relatif kecil.

Adapun zona hambat yang dihasilkan oleh sampel ikan terhadap bakteri *B. cereus* dan *E. coli* dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:

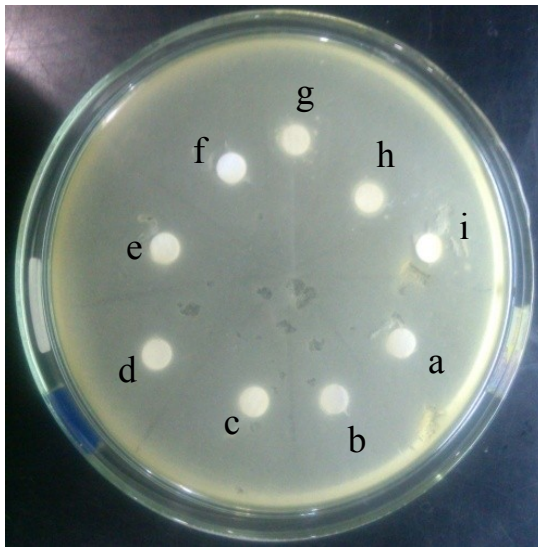


Bacillus cereus

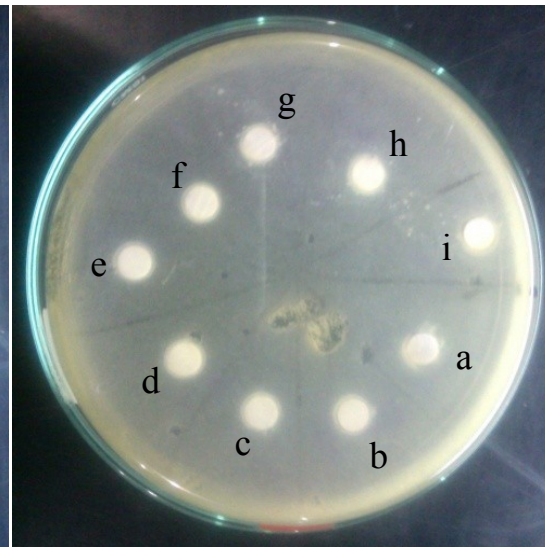


Escherichia coli

Rastrelliger kanagurta (Ikan Kembung)

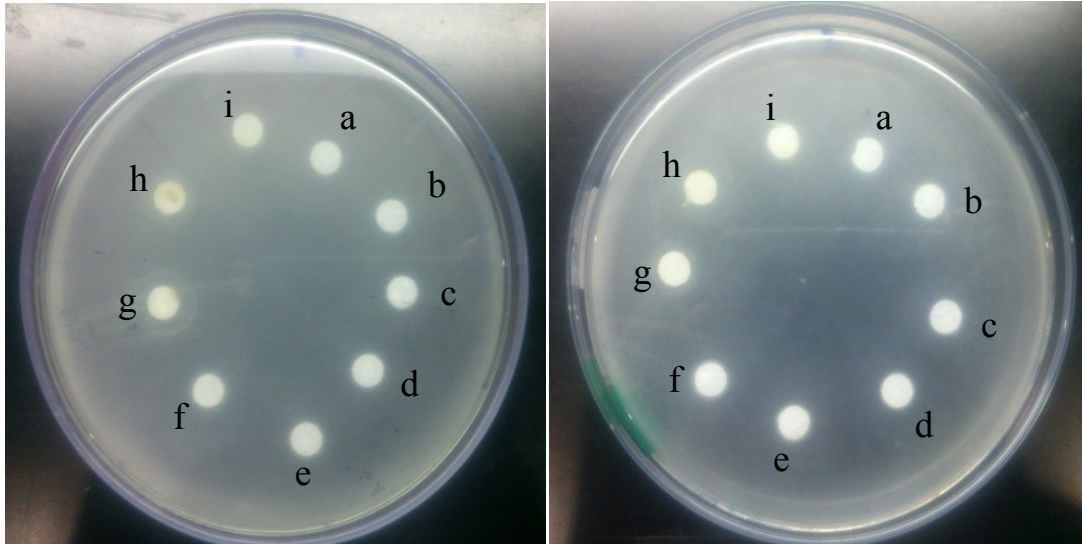


Bacillus cereus



Escherichia coli

Selaroides leptolepis (Ikan Selar)



Bacillus cereus

Escherichia coli

Decapterus macrostoma (Ikan Deles)

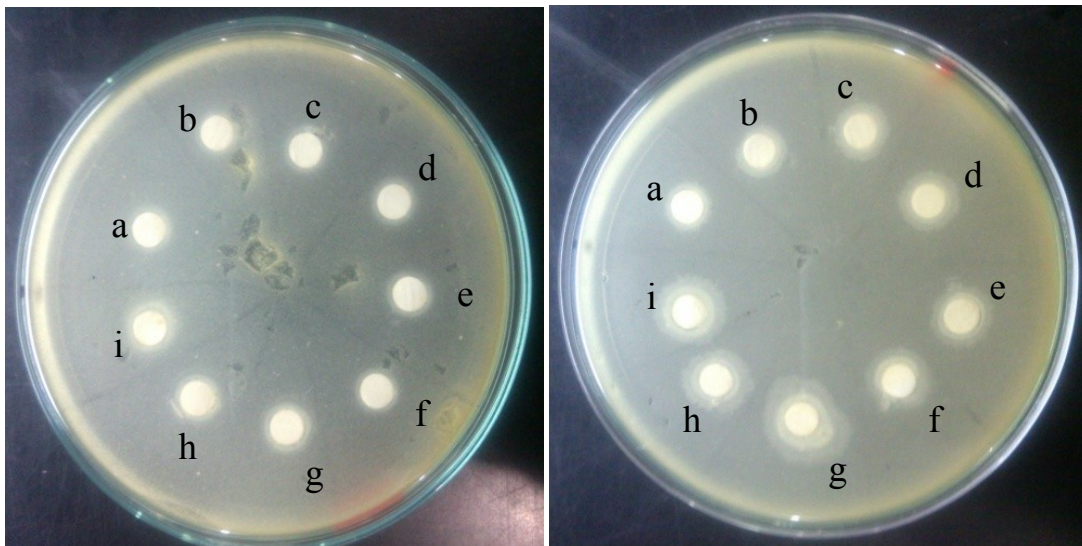
Gambar 5. Zona hambat yang dibentuk oleh sampel ikan laut

Keterangan :

Pengenceran 10^0 = a, b, c

10^{-1} = d, e, f

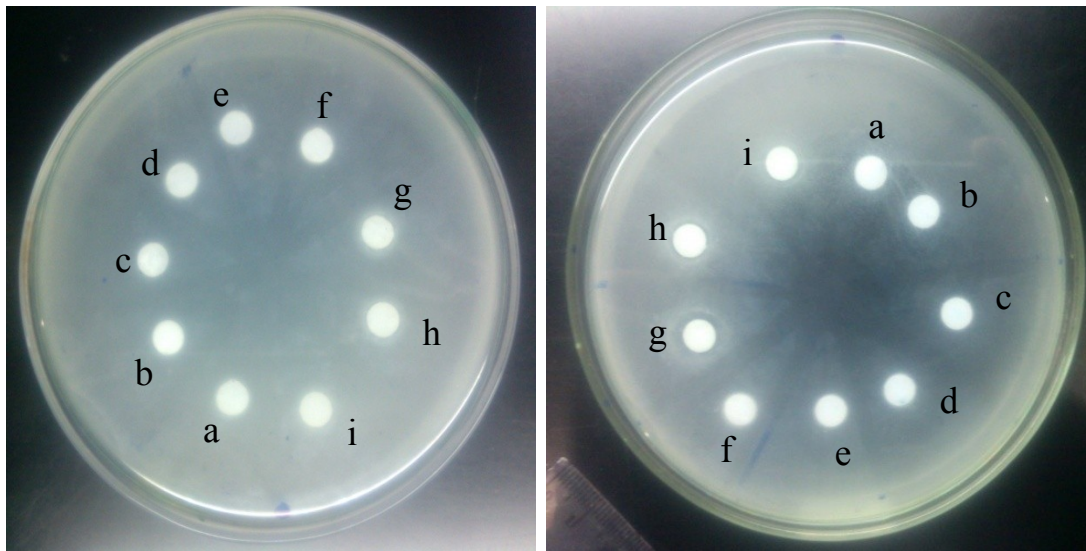
10^{-2} = g, h, i



Bacillus cereus

Escherichia coli

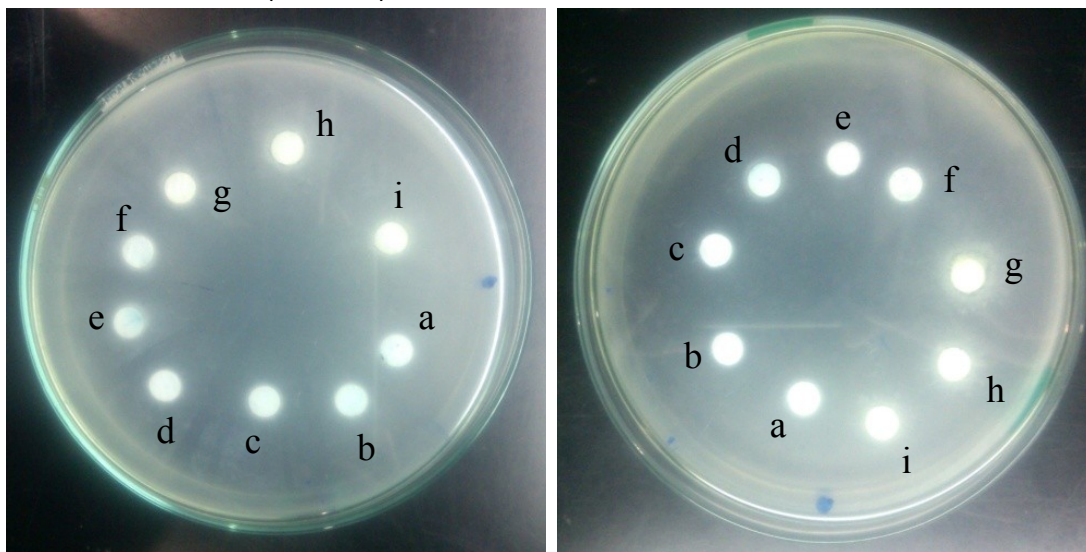
Oreochromis mossambicus (Ikan Mujaer)



Bacillus cereus

Escherichia coli

Oreochromis niloticus (Ikan Nila)



Bacillus cereus

Escherichia coli

Cyprinus carpio (Ikan Mas)

Gambar 6. Zona hambat yang dibentuk oleh sampel ikan air tawar

Keterangan :

Pengenceran 10^0 = a, b, c

10^{-1} = d, e, f

10^{-2} = g, h, i

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa ikan laut yang memiliki kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *B. cereus* paling besar adalah ikan Deles (diameter zona hambat 4,7 mm), tapi kemampuan ini hanya dimiliki ikan Deles pada pengenceran 10^0 . Berbeda dengan ikan Deles, pada ikan Kembung, kemampuan untuk menghambat pertumbuhan bakteri *B. cereus* terdapat pada semua perlakuan (pengenceran 10^0 , 10^{-1} , dan 10^{-2}), namun zona hambat yang dihasilkan ikan Kembung lebih kecil dibandingkan dengan zona hambat yang dihasilkan oleh ikan Deles, dan pada bakteri *E. coli*, ikan laut yang memiliki kemampuan paling besar untuk menghambat pertumbuhannya adalah ikan Kembung (diameter zona hambat 6 mm). Sedangkan pada ikan air

tawar, kemampuan paling besar untuk menghambat *B. cereus* dan *E. coli* dimiliki oleh ikan Mujaer (diameter zona hambat 3,3 mm terhadap *B. cereus* dan 8,7 mm terhadap *E. coli*).

Jumlah total bakteri Ikan Laut dan Air Tawar

Pada penelitian uji aktivitas antibakteri ini, dilakukan pula penghitungan jumlah bakteri pada masing-masing ikan menggunakan metode Total Plate Count (TPC). Hasil TPC yang didapatkan dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2 Jumlah total bakteri dari masing-masing sampel ikan /mL

Jenis Ikan		10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	Rata-rata
Ikan laut	Ikan Kembung	398	334	156	185,6 X 10 ²
	Ikan Selar	408	356	172	194,8 X 10 ²
	Ikan Deles	361	315	88	88 X 10 ²
Ikan air tawar	Ikan Mujaer	321	192	112	131,2 X 10 ²
	Ikan Nila	448	276	188	215,6 X 10 ²
	Ikan Mas	378	200	140	160 X 10 ²

Tabel 3 Deskripsi bentuk dan warna koloni bakteri dari sampel ikan berdasarkan jumlah total bakteri

Jenis Ikan		Bentuk Bakteri	Warna Bakteri
Ikan laut	Ikan Kembung	Bulat pinggiran halus	Putih tulang
	Ikan Selar	Bulat pinggiran halus	Putih tulang dan kuning
	Ikan Deles	Bulat pinggiran bergerigi	Putih tulang
Ikan air tawar	Ikan Mujaer	Bulat pinggiran halus	Putih tulang
	Ikan Nila	Bulat pinggiran bergerigi	Putih tulang
	Ikan Mas	Bulat pinggiran bergerigi	Putih tulang dan kuning

Berdasarkan jumlah total bakteri yang tertera pada tabel 2 didapatkan bahwa ikan laut yang memiliki jumlah bakteri paling banyak adalah ikan Selar dan yang paling sedikit adalah ikan Deles. Sedangkan pada ikan air tawar, yang memiliki jumlah bakteri paling banyak adalah ikan Nila dan yang paling sedikit adalah ikan Mujaer.

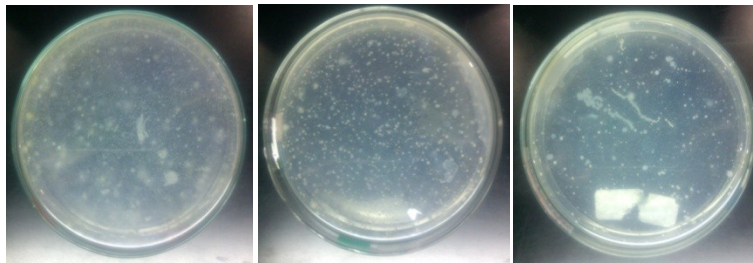


10^0

10^{-1}

10^{-2}

Rastrelliger kanagurta (Ikan Kembung)

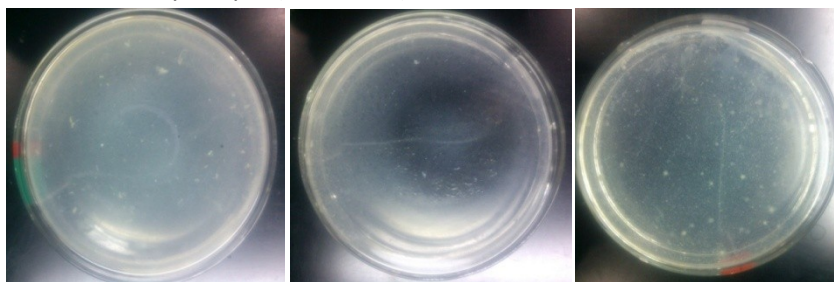


10^0

10^{-1}

10^{-2}

Selaroides leptolepis (Ikan Selar)



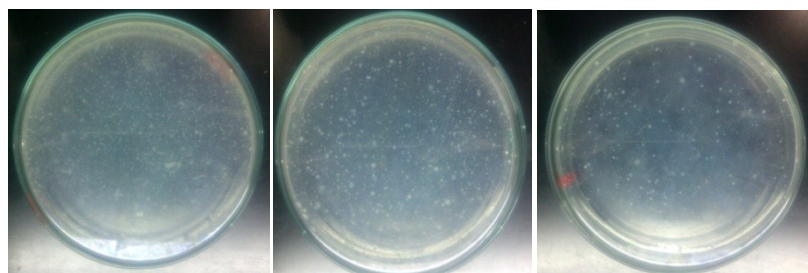
10^0

10^{-1}

10^{-2}

Decapterus macrosoma (Ikan Deles)

Gambar 7 Jumlah total bakteri ikan laut

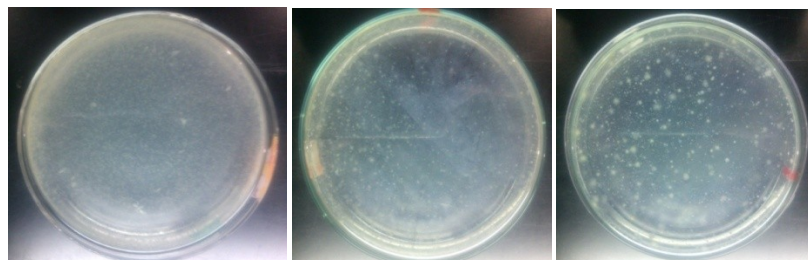


10^0

10^{-1}

10^{-2}

Oreochromis mossambicus (Ikan Mujaer)

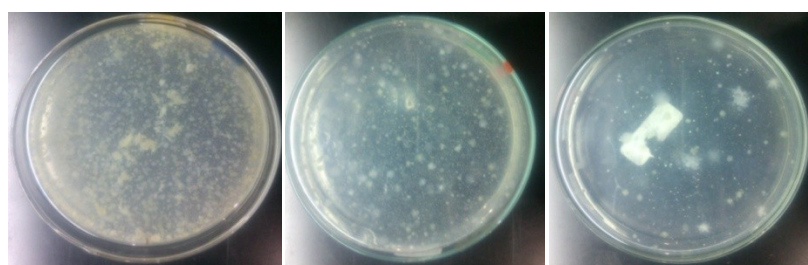


10^0

10^{-1}

10^{-2}

Oreochromis niloticus (Ikan Nila)



10^0

10^{-1}

10^{-2}

Cyprinus carpio (Ikan Mas)

Gambar 8 Jumlah total bakteri ikan laut ikan air tawar

Tabel 4 Diameter zona hambat terhadap *B.cereus* dan *E.coli* serta Jumlah total bakteri dari masing-masing ikan

Jenis Ikan		Rata-rata diameter zona hambat (dalam mm)						Jumlah total bakteri/mL
		<i>Bacillus cereus</i>			<i>Escherichia coli</i>			
		10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁰	10 ⁻¹	10 ⁻²	
Ikan laut	Ikan Kembung	3,3	3	2,7	6	4,7	4,3	185,6X10 ²
	Ikan Selar	0,3	-	-	1	1	1	194,8X10 ²
	Ikan Deles	4,7	-	-	2,3	-	-	88X10 ²
Ikan air tawar	Ikan Mujaer	3,3	1,7	1	8,7	4,7	3	131,2X10 ²
	Ikan Nila	1	-	-	2,3	-	-	215,6X10 ²
	Ikan Mas	1	-	-	2	0,3	-	160X10 ²

Tabel 8 di atas menyatakan bahwa hubungan antara diameter zona hambat yang dibentuk oleh bakteri dari suatu sampel ikan akan berbanding terbalik dengan hasil TPC yang didapatkan. Pada ikan laut, jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar terhadap *B. cereus* adalah ikan Deles (4,7 mm), namun jumlah total bakteri ikan Deles merupakan yang paling sedikit (88 X 10² /mL). Sedangkan jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar terhadap *E. coli* adalah ikan Kembung (6 mm) dan jumlah total bakterinya tergolong sedikit (185,6 /mL). Hal ini tidak jauh berbeda pada ikan air tawar, jenis ikan yang memiliki diameter zona hambat paling besar baik terhadap *B. cereus* maupun *E. coli* adalah ikan Mujaer (3,3 mm dan 8,7 mm) dan jumlah total bakterinya merupakan yang paling sedikit (131,2 X 10² /mL).

Hubungan yang berbanding terbalik antara diameter zona hambat yang dibentuk oleh bakteri dari suatu sampel ikan terhadap jumlah total bakteri ini dikarenakan bahan pengawet yang diduga terkandung dalam tubuh ikan ikut memusnahkan bakteri yang terdapat dalam tubuh ikan tersebut.

Kesimpulan

1. Terdapat kandungan bahan pengawet antibakteri pada sampel ikan laut dan ikan air tawar terhadap bakteri *Bacillus cereus* dan *Escherichia coli*.
2. Pada ikan laut ditemukan lebih banyak bahan pengawet dibandingkan ikan air tawar. Hal ini dibuktikan dengan besarnya zona hambat yang dibentuk oleh ikan laut (diameter zona hambat ikan Deles 4,7 mm) dibandingkan dengan ikan air tawar (diameter zona hambat ikan Mujaer 3,3 mm).

Referensi

- [1] Suseno, S. H. dan A. Damayanti. 2005. *Kandungan Proksimat dan Asam Amino Beberapa Ikan Laut Dalam dari Perairan Barat Sumatera*. Prosiding Seminar Nasional Pangan dan Obat-obatan. Universitas Pakuan. Bogor: 59-70.
- [2] Lu, F., Y. Din, D. Ye & D. Liu. 2010. *Cinamon and Nisin in Alginate-calcium Coating Maintain Quality of Fresh Northern Snakehead Fish Fillet*. LWT-Food Sci. Tech. 43, 1331-1335.
- [3] Bianchi F., et al. 2007. Fish and Food Savety: Determination of Formaldehyde in 12 Fish Species by SPME Extraction and GC-MS Analysis. *Food Chem.*, 100: 1049-1053.
- [4] Irianto, H. E. dan Murdinah. 2006. Keamanan Pangan Produk Perikanan Indonesia. *Di dalam Prosiding Seminar Nasional PATPI, Yogyakarta, 2-3 Agustus 2006*. Hal S 116-S 126.

- [5] Mahatmanti, F.W., Warlan S., dan Wisnu S. 2009. *Sintesis Kitosan dan Pemanfaatannya sebagai Antimikrobia Ikan Segar*. [Jurnal Kimia]. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- [6] Soselia, J. dan R. Rustam. 1993. Penelitian Ikan Laut Dalam di Perairan Tanimbar. *Jurnal Penelitian Perikanan Laut*. 80: 57-62.
- [7] Cahyadi, W. 2006. *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*. Bumi Aksara. Jakarta.
- [8] Herdiantini, E. 2003. *Analisis Bahan Tambahan Kimia (Bahan Pengawet dan Pewarna) yang Dilarang dalam Makanan*. Fakultas Teknis Universitas Pasundan. Bandung.
- [9] Ditjen POM. 1995. *Farmakope Indonesia*. Edisi IV. Departemen Kesehatan Republik Indonesia. Jakarta. Hal. 1083-1084.
- [10] Tortora, et al. 2001. *Microbiology in Introduction*. International Edition. Benjamin Cummings, Inc.
- [11] Ganiswarna S. G. 1995. *Farmakologi dan Terapi*. Edisi 4. Fakultas Kedokteran UI. Jakarta.
- [12] Smith-Keary P. F. 1988. *Genetic Elements in Escherichia coli*. Macmillan Molecular Biology series. London. P. 1-9, 49-54.
- [13] Jawetz E., J. L. Melnick, E. A. Adelberg, G. FF. Brooks, J. S. Butel, L. N. Ornston. 1995. *Mikrobiologi Kedokteran*. Edisi 20. University of California. San Fransisco.
- [14] Jamal, Y. A. Agusta, dan Pratiwi. 2003. *Chemical Composition and Antibacterial Activity of Essential Oil of Gedebong Berries (Piper aduncum L.)*. Indonesian J. Pharmacy. 14 (1): 112.
- [15] Chinabut, S., Limsuwan, C., Tonguthai, K., Pungkachonboon, T, 1987. *Toxic and Sublethal Effect of Formalin on Freshwater Fishes*. NACA/WP/87/56. Network of Aquaculture Centres in Asia, Bangkok, Thailand.
- [16] Choudhury, S. Sree, A. Mukherjee, S. C. Pattnaik, P. Bapuji. M. 2005. In Vitro Antibacterial Activity of Extracts of selected Marine Algae and Mangroves Againsts Fish Pathogens. *Journal Asian Fisheries Science*. 18: 185-294.
- [17] Haniah, M. 2008. *Isolasi Jamur Endofit dari Daun Sirih (Piper betle L.) sebagai Antimikroba terhadap Escherichia coli, Staphylococcus aureus dan Candida albicans*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Malang. Malang.
- [18] Pelczar, Michael J dan Chan, E.S.C. 1988. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. Edisi 2. Terjemahan Ratna Siri H, Teja Imas, S. Sutarmi dan Sri Lestari A. Jakarta: UI-Press.

PENGARUH TIMBAL (Pb) TERHADAP STRUKTUR AKAR DAN PERTUMBUHAN TANAMAN BUNGA MATAHARI (*Helianthus annuus* L.) YANG DIINOKULASI ENDOMIKORIZA

Titin Supriatun¹⁾, Nia Rossiana¹⁾ dan Nur Rahmatika¹⁾

¹⁾Departemen Biologi, Fmipa Unpad.

Abstrak

Penelitian bertujuan untuk mengetahui akumulasi Pb dan perubahan struktur akar tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) yang diinokulasi endomikoriza. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) 2 faktorial dengan 3 kali ulangan. Faktor pertama pemberian mikoriza (m), terdiri dari dua taraf, tanpa inokulasi dan inokulasi endomikoriza. Faktor kedua adalah dosis Pb (p), terdiri dari 5 taraf 0; 75; 150; 225; 300 ppm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa akar bunga matahari terinfeksi endomikoriza sebesar 67-100% pada media yang tercemar logam Pb. Logam Pb 300 ppm dan inokulasi endomikoriza memperlebar ukuran korteks akar; dengan menunjukkan panjang akar; tinggi tanaman; berat kering tanaman dan berat kering akar tanaman lebih tinggi dibandingkan dengan pemberian logam Pb yang lebih rendah tanpa inokulasi endomikoriza pada umur dua bulan setelah tanam. Akumulasi logam Pb lebih besar pada akar tanaman yang diinokulasi endomikoriza daripada tanaman yang tidak diinokulasi.

Kata kunci : Pb, Endomikoriza, *H.annuus*

Pendahuluan

Pencemaran logam berat pada tanah merupakan masalah besar bagi kelangsungan hidup tanaman. Tanaman seringkali menghadapi kondisi ekstrim atau kondisi yang tidak menguntungkan untuk pertumbuhan dan perkembangannya, sehingga tanaman mengalami cekaman (stress). Jenis logam berat yang berbahaya seperti timbal (Pb) dengan konsentrasi yang melebihi ambang batas dapat menurunkan produktivitas tanaman.

Secara umum, Pb adalah logam relatif sulit untuk diremediasi karena sifatnya yang mudah berikatan dengan komponen organik maupun anorganik di dalam tanah [1] [2]. Logam berat Pb merupakan salah satu logam yang sangat beracun (selain Hg). Pb dapat terikat kuat pada asam amino, Hb darah, enzim, RNA, DNA, dan mengganggu keseluruhan metabolisme tubuh dan dapat menyebabkan kematian jika terakumulasi berlebihan [2].

Cekaman pada tanaman menyebabkan terjadinya perubahan pada berbagai tingkat fungsi sehingga kecepatan pertumbuhan tidak optimal. Logam Pb dapat menghambat pertumbuhan, menyebabkan kerusakan kronis, kematian, atau dapat juga terjadi adaptasi yang mengarah ke evolusi [3]. Daya toksik logam berat timbal (Pb) pada manusia dapat mengakibatkan anemia, mual, dan sakit perut, serta kelumpuhan. Logam berat Pb juga dapat terakumulasi pada tulang, karena logam ini dapat membentuk ion Pb^{2+} yang mampu menggantikan keberadaan ion Ca^{2+} yang terdapat pada jaringan tulang.

Logam berat dapat masuk ke dalam lingkungan karena pelapukan batuan yang mengandung logam berat secara residual di dalam tanah, penggunaan bahan alami untuk pupuk dan pembuangan limbah pabrik dan limbah rumah tangga. Logam berat yang masuk kedalam

lingkungan kebanyakan berasal dari kegiatan manusia. logam berat membahayakan apabila masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dalam jumlah melebihi ambang batas. Standar baku mutu maksimal yang diperbolehkan adalah dalam sayuran untuk kandungan logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menurut standar internasional WHO adalah sebesar 2.0 µg/g [4].

Salah satu cara pemulihan atau remediasi lahan tercemar logam berat adalah dengan fitoremediasi, Dasar dari fitoremediasi adalah adanya kemampuan tumbuhan mengakumulasi logam atau senyawa organik sesuai dengan karakteristiknya [5]. Selain itu, fitoremediasi dapat memperbaiki struktur tanah dan mempertahankannya secara berkelanjutan [6]. Remediasi dengan menggunakan organisme hidup semakin mendapat perhatian karena merupakan alternatif yang efektif, dan aman secara ekologis.

Tanaman yang digunakan dalam fitoremediasi adalah tanaman hiperakumulator, dengan syarat tanaman tersebut mampu mengakumulasi lebih dari 1.000 mg/kg biomas (Ni, Cu, Co, Cr atau Pb) atau lebih dari 10.000 mg/kg biomas untuk logam Zn atau Mn [7]. Salah satu tanaman yang dapat digunakan sebagai fitoremediator adalah tanaman bunga matahari (*Helianthus annuus* L.). Gratao *et al.*, [8] yang dapat mengakumulasi logam berat pada daun, batang dan terutama pada akar [9]. Karena akar berfungsi untuk penyerapan hara secara difusi aktif atau melalui transporter non-spesifik (Leyval *et al.*, 2002 dalam [10]). Untuk memenuhi kebutuhan nutrisi dan untuk pertahanan tanaman dari lingkungan yang tercemar logam berat, dapat dibantu oleh adanya endomikoriza yang hidup bersimbiosis dengan akar tumbuhan dan juga dapat berfungsi sebagai filter dari gejala keracunan akibat akumulasi logam berat [11].

Simbiosis endomikoriza melalui penetrasinya jamur ke sel korteks dan berperan sebagai perpanjangan sistem perakaran. Karakteristik utama dalam simbiosis ini adalah adanya struktur berupa hifa bercabang dalam area sel korteks yang disebut arbuscle. Struktur ini berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tumbuhan dan jamur serta untuk multiplikasi jamur [12]. Struktur lainnya yang dapat dibentuk endomikoriza dalam sel-sel kortek akar inang adalah hifa internal, vesikula ataupun arbuskula, dan keberadaan struktur-struktur endomikoriza dalam akar tanaman dapat melindungi tanaman dari masuknya logam berat ke bagian lain dari tanaman [10]. Dan memperluas penyerapan hara terutama P, menyerap lebih tinggi (10-27%) dibandingkan dengan tanaman yang tidak bermikoriza (0,4-13%) [13].

Endomikoriza indigenus lahan tercemar logam berat dapat menjadikan tanaman yang bersimbiosis ataupun jamur tersebut toleransi terhadap logam berat [14]. Diperkuat oleh pernyataan Prasetyo dkk [15] ,bahwa inokulasi dengan jenis endomikoriza indigenus akan meningkatkan keberhasilan fitoremediasi

Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial 2x4 dengan 4x ulangan. Faktor pertama dengan pemberian mikoriza (m) terdiri dari dua taraf yaitu tanpa inokulasi (m0) dan dengan inokulasi (m1). Faktor kedua adalah Konsentrasi Pb yang terdiri dari 5 taraf 0; 75; 150; 225; 300 ppm Setiap perlakuan diulang tiga kali. Parameter yang diamati adalah panjang akar dan tinggi tanaman, pengamatan infeksi endomikoriza melalui pewarnaan dengan metoda Vierheilig *et al.* [16]. Perhitungan infeksi akar menggunakan rumus dari Giovannetti dan Mosse [17]. Pengamatan struktur akar melalui metoda pembuatan preparat basah semi permanen, menggunakan pewarnaan anilin sulfat.

Hasil penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur akar secara morfologi dengan adanya simbiosis endomikoriza tidak terlihat adanya perubahan, dilihat dari struktur anatomi, terlihat bahwa ukuran lapisan kortek lebih lebar daripada yang tanaman yang tidak diinokulasi endomikoriza dan penambahan konsentrasi Pb berpengaruh terhadap lebar kortek, seperti pada tabel 1.

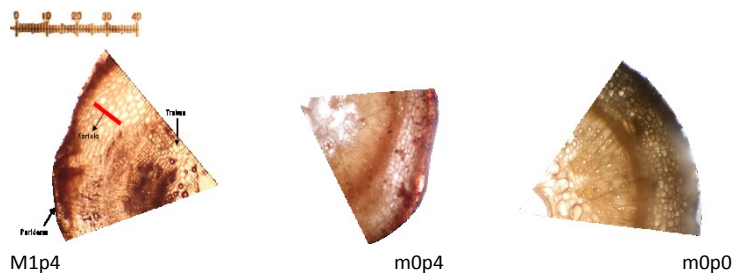
Tabel 1. Diameter kortek akar *H.annuus* pada perlakuan variasi konsentrasi Pb dan inokulasi endomikoriza pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Lebar kortek (μm)
m0p0	20
m1p0	25
m1p1	30
m1p2	30
m1p3	35
m1p4	40

Ketr: m0p0 = control, m1p1= inokulasi endomikoriza dan Pb 75 ppm

M1p2= inokulasi endomikoriza dengan Pb 150 ppm, m1p3= inokulasi endomikoriza dengan Pb 225 ppm

M1p4= inokulasi endomikoriza dengan Pb 300 ppm



Akar tanaman *H.annuus* yang diinokulasi endomikoriza pada media yang mengandung Pb menunjukkan adanya infeksi akar 67-100%, tingginya prosentase infeksi endomikoriza seiring dengan tingginya pemberian Pb. seperti tertera pada Tabel 2.

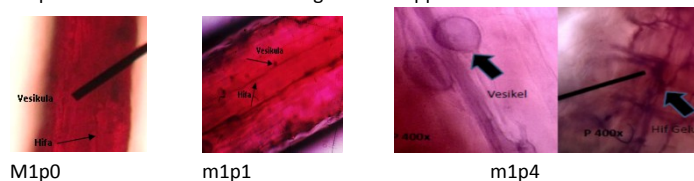
Tabel 2 Rata-Rata Presentase Infeksi Endomikoriza pada Akar *H. annuus* L. 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	%Infeksi
M1p0	67
M1p1	70
M1p2	90
M1p3	100
M1p4	100

Ketr: m0p0 = control, m1p1= inokulasi endomikoriza dan Pb 75 ppm

M1p2= inokulasi endomikoriza dengan Pb 150 ppm, m1p3= inokulasi endomikoriza dengan Pb 225 ppm,

M1p4= inokulasi endomikoriza dengan Pb 300 ppm.



Perlakuan Pb, dengan adanya inokulasi endomikoriza mempengaruhi panjang akar, tinggi dan berat kering akar tanaman, yang mana ketiga parameter tersebut menunjukkan adanya interaksi antara endomikoriza dengan pemberian variasi konsentrasi Pb. Seperti Tabel 3, 4 dan 5.

Tabel 3. Rata-rata Panjang Akar *H. annuus* L.(cm) yang diinokulasi Endomikoriza dan Pemberian Konsentrasi Timbal (Pb) pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Konsentrasi Pb				
	p0	p1	p2	p3	p4
m0	4,63A b	5,13A a	4,23A c	4,23A D	3,76B d
m1	3,73B d	4,03B c	3,9B cd	5,67A a	4,5A a

Ktr : Rata-rata perlakuan yang diikuti oleh huruf kapital yang sama kearah vertikal dan huruf kecil yang sama kearah horizontal menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan α 0,05%.

Tabel 4. Rata-rata Tinggi *H. annuus* L.(cm) yang diinokulasi Endomikoriza dan Pemberian Konsentrasi Timbal (Pb) pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Konsentrasi Pb				
	p0	p1	p2	p3	p4
m0	34,4A a	29,73A A	28,13A ab	26,43A b	22,3B b
m1	27,73B a	30,16A A	30,9A a	30,76A a	31,16A a

Ktr : Rata-rata perlakuan yang diikuti oleh huruf kapital yang sama kearah vertikal dan huruf kecil yang sama kearah horizontal menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan α 0,05%.

Tabel 5. Rata-rata Berat Kering tanaman *H.annuus* L.(gram) yang diinokulasi Endomikoriza dan Pemberian Konsentrasi Timbal (Pb) pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Konsentrasi Pb (gram)				
	p0	p1	p2	p3	p4
m0	2,21A a	1,28A B	2,57A a	2,57A a	0,61B C
m1	1,33B a	1,37A a	1,6B a	1,76B a	2A A

Keterangan: Rata-rata perlakuan yang diikuti oleh huruf kapital yang sama kearah vertikal dan huruf kecil yang sama kearah horizontal menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan α 0,05%.

Tabel 6. Rata-rata Berat Kering Akar *H. annuus* L (gram) yang diinokulasi Endomikoriza dan Pemberian Konsentrasi Timbal (Pb) pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Konsentrasi Pb				
	p0	p1	p2	p3	p4
m0	0,52B d	0,16B e	1,5A b	1,6A a	0,62B c
m1	0,8A d	0,71A e	1,2B c	1,3B b	1,6A a

Keterangan : Rata-rata perlakuan yang diikuti oleh huruf kapital yang sama kearah vertikal dan huruf kecil yang sama kearah horizontal menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan α 0,05%.

Tabel 4.8 Rata-rata kadar Pb (ppm) dalam akar pada umur 2 bulan setelah tanam

Perlakuan	Konsentrasi Pb				
	p0	p1	p2	p3	p4
m0	0	0 B c	1,54 B b	11,23 B a	0 B C
m1	0	18 A b	6,3A c	17,12 A b	27,45 A a

keterangan :rata perlakuan yang diikuti oleh huruf kapital yang sama kearah Vertikal dan huruf kecil yang sama kearah horizontal menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji Duncan α 0,05%.

Kesimpulan

1. Akar bunga matahari terinfeksi endomikoriza sebesar 67 - 100% pada media yang diberi logam Pb yang bervariasi
2. Pemberian logam Pb dengan inokulasi endomikoriza memperlebar ukuran korteks akar tanaman bunga matahari
3. Logam Pb dengan konsentrasi 300 ppm dengan adanya inokulasi endomikoriza berpengaruh meningkatkan panjang akar 4,5 cm. Tinggi tanaman 31,16 cm. Berat kering tanaman 2 gram. Berat kering akar 1,6 gram.
4. Akumulasi logam Pb tidak terdeteksi pada akar yang tidak diinokulasi endomikoriza dan pada tanaman yang diinokulasi endomikoriza terdapat akumulasi logam Pb sebesar 27,45 ppm pada Pb 300 ppm.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ucapkan terimakasih kepada Departemen Biologi Fmipa Unpad, Dr. Nia Rossiana dan Nur Rahmatika, SSi. Yang telah berperan serta melaksanakan penelitian ini.

Referensi

- [1] Cunningham SD, Berti WR. "Phytoextraction and Phytostabilization: Technical, Economic, and regulatory considerations of the soil-lead issue" dalam Terry N, Banuelos G (eds.) *Phytoremediation of Contaminated Soils and Water*. CRC Press Boca raton, FL, USA. 2000. pp. 359– 376
- [2] Herman, D.Z. "Tinjauan Terhadap Tailing Mengandung Unsur Pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) Dari Sisa Pengolahan Bijih Logam". *Jurnal Geologi Indonesia* 1(1) : 31-36. 2006.
- [3] Rachmawati, D. "Handout Fisiologi Cekaman". Fakultas Biologi. UGM. Yogyakarta. Hal 11. 2009.
- [4] Darmono. "Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup". UI-Pres. Jakarta. 1995
- [5] Hardiani Henggar. "Potensi Tanaman Dalam Mengakumulasi Logam Cu Pada Media Tanah Terkontaminasi Limbah Padat Industri Kertas". *BS*, Vol. 44, No. 1, Juni 2009 : 27 - 40.
- [6] Hassan, S.E., M. St-Arnaud, M. Labraque, M. Hijri. "Phytoremediation : Biotechnological Procedures Involving Plants and Arbuscular Mycorrhiza Fungi dalam Mycorrhiza Biotechnology". Science Publisher. Enfield, New Hampshire. 2010. page 152.
- [7] Baker, A.J.M. and R.R. Brooks. "Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements - A review of their distribution, ecology and phytochemistry". *Biorecovery* 1. 1989. :81-126.
- [8] Gratao, P.L., M.N.P. Prasad, P.L. Cardoso, P.J. Lea and R.A. Azevedo. "Phytoremediation: Green Technology for the Clean up of Toxic Metals in the Environment". *Braz. J. Plant Physiol.* vol.17 no.1. 2005.p: 823 – 830.
- [9] Amaliyah, Rizqi N. "Analisis Kemampuan Optimal Tanaman Bunga Mantahari (*Helianthus annus L.*) Mendegradasi Pb dalam Tanah Melalui Proses Fitoremediasi ".*Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jember.* 2011
- [10] Suharno, Sufaati S. "Efektivitas pemanfaatan pupuk biologi fungi mikoriza arbuskular (FMA) terhadap pertumbuhan tanaman matoa (*Pometia pinnata* Forst.) ". *SAINS* 9 (1): 2013.p.81-36.
- [11] Gaur, A., and Adholeya, A. "Prospect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi In Phytoremediation of Heave Metal Contaminated soils ". *Curr. Sci.*86. 2004. 528-534.
- [12] Gregory, P.J. "Plant roots. growth, activity and interaction with soils". Blackwell, Oxford. 2006.

- [13] Iskandar, D. "Pupuk Hayati Mikoriza Untuk Petumbuhan dan Adaptasi Tanaman di Lahan Marginal". www.iptek.net.id. (Diakses tanggal 10 Mei 2013)
- [14] Quoreshi, A. M. 2008. "The Use of Mycorrhizal Biotechnology in Restoration of Disturbed Ecosystem dalam Mycorrhizae" : *Sustainable Agriculture and Forestry*. Springer. 2008. Page 303.
- [15] Prasetyo, B., Krisnayanti, B. D., Utomo, W.H., Anderson, C.W.N. 2010. "Rehabilitation of Artisanal Mining Gold Land in West Lombok, Indonesia " ,Arbuscular Mycorrhiza Status of Tailings and Surrounding Soils. *Journal of Agricultural Science* 2(2). 2010: 202-209.
- [16] Vierheilig H, Coughlan AP, Wyss U, Piche Y. " Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi ". *Appl Environ Microbiol*. 1998. 64:5004-5007
- [17] Giovannetti, M. and B. Mosse. "An Evaluation of Techniques for Measuring Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Infection in Roots". *J. New Phytologis*. 84. 1980. : 489-500

FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SCHISTOSOMIASIS DI DATARAN TINGGI LINDU DAN NAPU, SULAWESI TENGAH

Sutrisnawati^{1) a}

¹Program Studi Pendidikan Biologi FKIP Univ. Tadulako Palu

^{a)} watikramadhan@yahoo.co.id

ABSTRAK

Schistosomiasis atau bilharziasis adalah penyakit yang disebabkan oleh sejenis parasit cacing dari family Schistosomatidae yang memiliki habitat pada pembuluh darah atau kandung kemih. Di Indonesia, schistosomiasis disebabkan oleh *Schistosoma japonicum* hanya ditemukan endemik di dua daerah di Sulawesi Tengah, yaitu di Dataran Tinggi Lindu dan Dataran Tinggi Napu. Hospes perantara schistosomiasis tersebut ditemukan tahun 1971 dan diidentifikasi sebagai siput *Oncomelania hupensis lindoensis*. Hasil penelitian tentang gambaran klinik penyakit ini menunjukkan adanya demam bersifat intermiten, remiten dan kontinu, hepatomegali sampai sirosis hepatis, splenomegali, kelainan usus, gejala paru-paru dan gangguan sensoris. Pengobatan schistosomiasis dengan menggunakan obat-obatan seperti praziquantel telah dilakukan secara efektif namun angka prevalensi belum juga menunjukkan penurunan yang berarti. Ada dua faktor yang sangat berperan dalam meningkatkan angka prevalensi yaitu faktor perilaku masyarakat yang melakukan aktivitas di perairan, serta faktor ekologi lingkungan. Kedua hal ini akan memudahkan penularan Schistosomiasis antara manusia dengan intermediate host.

Kata kunci: Schistosomiasis, perilaku masyarakat, faktor lingkungan

Pendahuluan

Schistosomiasis atau disebut juga demam keong merupakan penyakit parasitik yang disebabkan oleh infeksi cacing yang tergolong dalam genus *Schistosoma*. Penyakit ini merupakan penyakit parasit terpenting selain malaria di daerah tropis dan subtropics [1], bersifat zoonotik dan endemik dengan penyebaran cukup luas di dunia seperti Afrika, Amerika Selatan, Timur Tengah dan Asia [2]. Schistosomiasis masih menjadi masalah utama kesehatan masyarakat di banyak negara berkembang baik di daerah tropis maupun daerah subtropis dan mayoritas dampak penyakit tersebut terjadi di Afrika serta sebagian di Indonesia.

World Health Organisation (WHO) memperkirakan bahwa secara umum sekitar 600 juta orang beresiko terkena infeksi, lebih dari 200 juta orang terinfeksi Schistosomiasis dan 120 juta di antaranya menunjukkan gejala klinis [3]. Di Indonesia kasus schistosomiasis hanya ditemukan di dataran tinggi Lindu, Napu dan Bada, Sulawesi Tengah. Penelitian Schistosomiasis di Indonesia telah dimulai sejak tahun 1940 yaitu sesudah ditemukannya kasus schistosomiasis di Tomado, dataran Tinggi Lindu, Sulawesi Tengah pada tahun 1935. Pada tahun 1940 Sandground dan Bonne mendapatkan 53% dari 176 penduduk yang diperiksa tinjanya positif ditemukan telur cacing *Schistosoma* [4].

Di Lembah Napu saat ini masih merupakan daerah yang rawan akan penyakit schistosomiasis. Pemerintah pusat dan daerah telah berupaya keras agar dapat menekan perkembangan penyakit ini dengan cara membasmi siput penularnya, sehingga dapat menurunkan prevalensi penyakit ini, namun upaya yang dilakukan belum sepenuhnya berhasil karena hingga kini, daerah Napu masih dinyatakan sebagai daerah endemik untuk penyakit schistosomiasis. Walaupun saat ini dinyatakan bahwa prevalensinya mulai menurun, akan tetapi fokus-fokus baru schistosomiasis masih ditemukan di beberapa lokasi. Dengan ditemukannya fokus baru tersebut maka memungkinkan manusia ataupun hewan mamalia akan tertular penyakit ini.

Pengendalian Schistosomiasis di Sulawesi Tengah telah dilakukan sejak tahun 1974, melalui pengobatan penderita, pemberantasan siput inang perantara dengan menggunakan moluskisida dan melalui *agroengineering*. Tahun 1982, di lembah Napu dan Lindu juga telah dilakukan langkah-langkah pengendalian schistosomiasis secara terkoordinasi dan intensif. Rata-rata tingkat infeksi setelah dilakukan tindakan pengendalian mengalami penurunan. Di Lindu 1,83 % , sedangkan di lembah Napu 0,46 % [5]. Pada tahun 2006, prevalensi schistosomiasis di tujuh desa lembah Lindu mencapai 0,49% sedangkan prevalensi infeksi rata-rata penduduk di 17 desa lembah Napu adalah 1,08 %. Prevalensi infeksi pada siput masing-masing berkisar 0-13,4 % dan 0-9,1 %. Fluktuasi data menunjukkan bahwa penularan schistosomiasis masih terus berlangsung di Indonesia meskipun pengawasan dan pengendalian kegiatan rutin yang meliputi seluruh daerah endemik telah dilakukan [6].

Kasus schistosomiasis banyak terjadi pada masyarakat yang menetap atau yang melakukan aktivitas pekerjaan di dekat perairan air tawar, misalnya danau, sungai, kolam, sawah dan rawa yang ada di wilayah endemis. Perubahan fungsi lingkungan, curah hujan yang tinggi juga mengakibatkan perpindahan siput sehingga menimbulkan fokus-fokus baru. Perpindahan penduduk dan penambahan penduduk menyebabkan persebaran penyakit ini ke daerah yang sebelumnya diketahui bukan daerah endemis maupun daerah dengan endemis yang rendah. Faktor-faktor tersebut diduga memegang peranan penting dalam meningkatkan angka prevalensi schistosomiasis setiap tahunnya. Untuk itu perlu dikaji tentang kondisi Schistosomiasis saat ini dan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kejadian schistosomiasis di lembah Napu dan Lindu, Provinsi Sulawesi Tengah.

Teori

Faktor-Faktor yang berhubungan dengan Penularan Schistosomiasis

Penularan schistosomiasis adalah hasil dari interaksi antara manusia, *intermediate host* (siput) dan parasit, selain itu factor yang juga berperan adalah kondisi demografis, lingkungan ekologi, sosial, ekonomi dan budaya [7].

1. Faktor Sosial, Ekonomi

Loureiro(1989) berpendapat bahwa prevalensi Schistosomiasis harus dilihat dari berbagai kelompok sosial yang terkena. penyakit ini sebagian besar ditemukan di antara orang miskin dan kurang mampu dan berlaku bagi orang-orang miskin yang tinggal di daerah pedesaan dan pinggiran perkotaan. Mereka memiliki kondisi seperti tingkat pendidikan rendah dan pengangguran serta kurangnya sanitasi, perumahan yang kurang layak, transportasi dan akses ke fasilitas kesehatan yang cukup jauh. Serta sumber air bersih yang tidak mencukupi, tidak adanya sarana mandi, cuci , kakus (MCK). keadaan ini memungkinkan penularan penyakit semakin meningkat. Jumlah dan kualitas persediaan air merupakan determinan yang penting dalam mempengaruhi kerawanan terhadap

penyakit. Tersedianya air dalam jumlah yang cukup dan memiliki kualitas yang memadai untuk mandi, mencuci dan membersihkan merupakan variabel yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup keluarga.

2. Faktor Lingkungan Ekologi

Kehidupan di Lembah Napu masih berbentuk tata kehidupan tradisional, hal ini terlihat dari cara hidup dan perilaku masyarakat yang masih banyak melakukan aktivitas mandi, cuci, buang air besar di selokan, di sungai dan di saluran irigasi. Ditambah lagi dengan pekerjaan penduduk yang sebagian besar adalah bertani, berburu binatang dengan menyusuri sungai dan pinggiran hutan, ataupun mencari ikan serta mengambil rotan di hutan, dengan jenis pekerjaan tersebut akan memudahkan kontak dengan air sehingga memudahkan penyebaran penyakit parasit cacing ini [8]. Menurut Agoes dan Brotoprawiro [9], keadaan demikian akan memberi peluang terjadinya interaksi antara 3 komponen yang menunjang berlangsungnya penyakit-parasit secara endemis yang memerlukan inang perantara serta lingkungan yang mendukung.

Pola penyebaran dari siput air tawar ini banyak ditentukan oleh toleransi dari jenis siput tersebut terhadap lingkungannya. Contohnya keong *O. h. lindoensis* yang penyebarannya sangat terbatas yaitu hanya terdapat di daerah dataran tinggi Lindu dan lembah Napu dan Bada, sedang untuk daerah lain yang berdekatan walaupun iklim dan keadaan topografi yang hampir mirip tidak akan ditemukan siput ini [10].

Lembah Napu, Sulawesi Tengah merupakan daerah yang terletak \pm 1200 meter di atas permukaan laut, beriklim dingin dengan curah hujan tinggi sepanjang tahun, yang semula merupakan daerah yang terisolir sekarang telah terbuka sehingga mobilitasnya cukup tinggi. Pekerjaan penduduknya adalah petani dan mereka mengerjakan sawah dengan cara tradisional, menggunakan kerbau beberapa ekor tanpa memakai bajak. Areal tanahnya sangat luas sedangkan penduduknya jarang sehingga sawah digarap hanya sekali dalam setahun. Lahan tidak seluruhnya dapat digarap, sering juga satu kali diolah kemudian ditinggalkan.

Di Lembah Napu saat ini masih merupakan daerah yang rawan akan penyakit schistosomiasis. Pemerintah pusat dan daerah telah berupaya keras agar dapat menekan perkembangan penyakit ini dengan cara membasmi siput penularnya, sehingga dapat menurunkan prevalensi penyakit ini, namun upaya yang dilakukan belum sepenuhnya berhasil karena hingga kini, daerah Napu masih dinyatakan sebagai daerah endemik untuk penyakit schistosomiasis. Walaupun saat ini dinyatakan bahwa prevalensinya mulai menurun, akan tetapi fokus-fokus baru schistosomiasis masih ditemukan di beberapa lokasi [11]. Ditemukannya fokus baru tersebut bukan tidak mungkin manusia ataupun hewan mamalia akan tertular penyakit ini. Selain itu dari pemeriksaan tinja yang dilakukan, telur cacing yang ditemukan selain cacing *S. japonicum*, ditemukan pula telur cacing *E. lindoense*. Selain itu di daerah danau Lindu juga ditemukan cacing *E. lindoense* [12].

3. Faktor Budaya

Faktor budaya mempunyai peranan dalam penularan schistosomiasis meliputi: pengetahuan, perilaku, kepercayaan masyarakat terhadap schistosomiasis. Perilaku masyarakat dalam mendukung ataupun mencegah terjadinya penularan penyakit sangat dipengaruhi oleh pengetahuan masyarakat terhadap penyakit tersebut. Dengan pengetahuan yang baik terhadap suatu penyakit akan memberikan pengaruh untuk bersikap dan bahkan melakukan tindakan yang mendukung upaya pencegahan penularan terhadap penyakit [8].

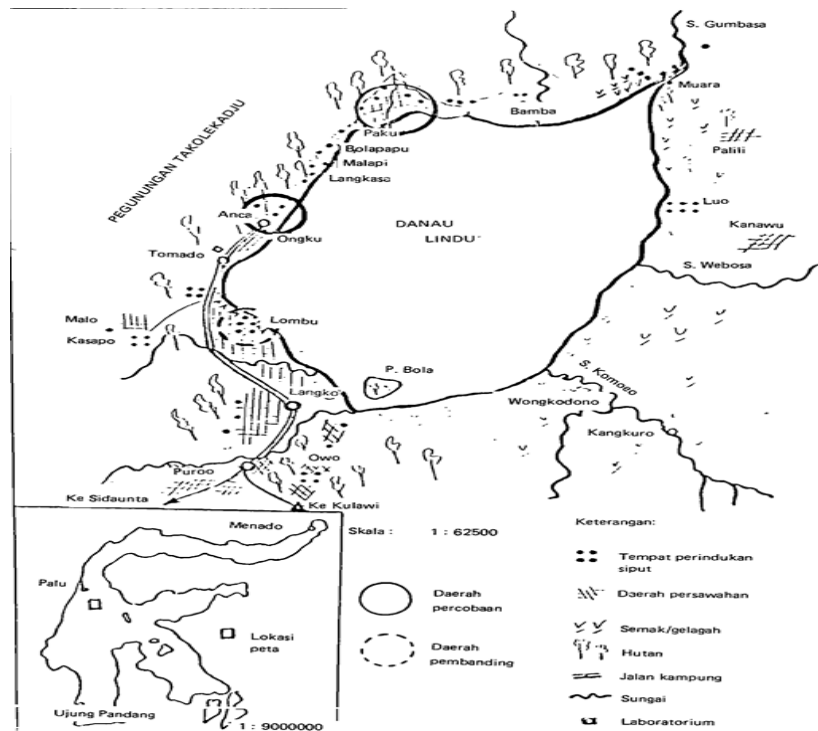
Pengetahuan kesehatan mencakup apa yang diketahui oleh seseorang terhadap cara-cara memelihara kesehatan, seperti pengetahuan tentang penyakit menular, pengetahuan tentang faktor-faktor yang terkait atau yang dapat mempengaruhi kesehatan, pengetahuan tentang fasilitas pelayanan kesehatan, dan pengetahuan untuk menghindari penyakit. Perilaku kesehatan untuk hidup sehat yaitu semua kegiatan atau aktivitas orang dalam rangka memelihara kesehatan, seperti tindakan terhadap penyakit menular dan tidak menular, tindakan terhadap faktor-faktor yang terkait dan atau mempengaruhi kesehatan dan tindakan untuk menghindari penyakit [13].

Diskusi

Sampai saat ini, persoalan Schistosomiasis di Indonesia terutama di Dataran Lindu dan Napu masih menjadi fenomena masyarakat dan petugas kesehatan, karena prevalensinya masih cukup tinggi, meskipun secara medis tindakan preventif, promotif sudah dilakukan oleh petugas kesehatan setempat. Hal ini memberikan gambaran, bahwa persoalan kesehatan terutama yang berhubungan dengan Schistosomiasis pada masyarakat Lindu dan Napu perlu pengkajian dalam penanggulangan penyakit tersebut, terutama cara penularan, perilaku masyarakat dan deteksi dini guna mengetahui permasalahan yang terjadi terkait dengan kasus Schistosomiasis di Lindu dan Napu. Masalah Schistosomiasis di dataran Tinggi Lindu dan Napu tidak hanya menyangkut hospes perantara (keong) dan cacing sebagai penular, akan tetapi juga menyangkut aspek lain seperti aspek sosial budaya. Aspek sosial budaya mempunyai peranan dalam penularan schistosomiasis meliputi pengetahuan, perilaku, kepercayaan masyarakat terhadap Schistosomiasis.

Masalah Schistosomiasis cukup kompleks oleh sebab itu untuk melakukan pemberantasan harus melibatkan banyak faktor. Pengobatan massal yang dilakukan tanpa diikuti oleh pemberantasan hospes perantara tidak akan dapat menghilangkan penyakit tersebut untuk jangka waktu yang lama. Selain itu Schistosomiasis merupakan penyakit zoonosis sehingga sumber penular tidak hanya pada penderita manusia saja, tetapi semua hewan mamalia yang terinfeksi [14].

Pemberantasan keong penular telah dilakukan namun masih saja kurang efektif di karenakan faktor alam. Keong penular yang terdapat di pinggir hutan atau terdapat di tanah dibawa kaki bukit yang menempel pada batu-batuan atau pada daun kering, ranting-ranting yang berserakan ditempat itu akan menyebar ketempat-tempat yang lebih rendah bersama air hujan yang turun dari lereng bukit. Jika siput yang terbawa air hujan menemukan habitat baru yang cocok sebagai tempat perindukan maka akan muncul tempat perindukan yang baru, dengan demikian maka pemberantasan yang dilakukan di fokus keong, tetap akan ada fokus keong yang lain [10]. sehingga pemberantasan yang dilakukan tidak pernah tuntas dilaksanakan, apalagi dengan minimnya dana yang di alokasikan oleh dinas kesehatan, maka fokus-fokus target yang seharusnya di lakukan menjadi berkurang karena keterbatasan dana.



Gambar 2.7. Peta sebaran fokus keong di lindu

Faktor utama yang juga berperan dalam transmisi Schistosomiasis adalah berhubungan dengan kemiskinan dan keterbelakangan, kurangnya sanitasi yang memadai [7]. Sebagaimana diketahui bahwa Kehidupan di Lembah Napu dan dataran Lindu masih berbentuk tata kehidupan tradisional, hal ini terlihat dari cara hidup dan perilaku masyarakat yang masih banyak melakukan aktivitas mandi, cuci, buang air besar di selokan, di sungai dan di saluran irigasi. Ditambah lagi dengan pekerjaan penduduk yang sebagian besar adalah bertani, berburu binatang dengan menyusuri sungai dan pinggiran hutan, ataupun mencari ikan serta mengambil rotan di hutan. Dengan jenis pekerjaan tersebut akan memudahkan kontak dengan air sehingga memudahkan penyebaran penyakit parasit cacing ini keadaan demikian akan memberi peluang terjadinya interaksi. Sebagaimana yang dikemukakan oleh Djkeyy [15] bahwa pengetahuan dan perilaku kesehatan sedikitnya terkait dengan masalah nilai-nilai budaya dan lingkungan masyarakat. Faktor-faktor social psikologid dan faktor budaya sering memainkan peran dalam mencetuskan penyakit.

Penelitian yang dilakukan oleh Kasnodihardjo [8] di dataran Lindu, mengungkapkan bahwa hampir sebagian besar masyarakat masih memiliki kebiasaan mandi, mencuci, dan buang air besar di aliran-aliran sungai. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat akan lebih rentan terinfeksi schistosomiasis diakibatkan oleh kebiasaan/perilaku mereka. Perilaku masyarakat dalam mendukung ataupun mencegah terjadinya penularan penyakit sangat dipengaruhi oleh pengetahuan mereka terhadap penyakit tersebut. Pengetahuan yang baik terhadap suatu penyakit akan memberikan pengaruh untuk bersikap dan bahkan melakukan tindakan yang mendukung upaya pencegahan penularan terhadap penyakit. Dalam teori dijelaskan bahwa pengetahuan dipengaruhi oleh pengalaman seseorang, faktor-faktor di luar orang tersebut seperti lingkungan, baik lingkungan fisik maupun nonfisik dan sosial budaya yang kemudian pengalaman tersebut diketahui, dipersepsikan, diyakini sehingga menimbulkan motivasi, niat untuk bertindak dan akhirnya menjadi perilaku [16].

Fluktuasi prevalensi Schistosomiasis kemungkinan juga disebabkan karena adanya reinfeksi. Masyarakat yang pernah menderita Schistosomiasis dan telah mendapat pengobatan dan kembali

melakukan kegiatan sehari-hari di daerahfokus yaitu di sawah, kebun coklat, kebun sayuran ataupun melintasi daerah fokus.Masih adanya perilaku yang berisiko terhadap terjadinya infeksi *Schistosoma* seperti tidak menggunakan sepatu boot pada saat bekerja di sawah menyebabkan penularan Schistosomiasis di daerah tersebut hingga saat ini masih terus berlangsung. Rosmini [17] mengemukakan penyebab tingginya prevalensi khususnya di beberapa focus tertentu seperti di Desa Mekarsari, Napu disebabkan banyaknya pendatang yang membuka persawahan maupun perkebunan. Pendatang tersebut tidak mempunyai kekebalan sehingga dapat terpapar infeksi schistosomiasis. Penularan schistosomiasis terjadi karena adanya kontribusi bersama-sama antara faktor keong *O.h. lindoensis*, kontak manusia dan binatang mamalia yang berperan sebagai reservoir dengan daerah fokus. Kejadian Schistosomiasis sangat berhubungan dengan perilaku buang air besar di jamban keluarga, mandi/mencuci di sungai, menggunakan alat pelindung diri bila ke daerah fokus dan menggunakan sumber air minum dari mata air.

Hal lain yang juga menyebabkan masih tingginya prevalensi schistosomiasis di dua lokasi tersebut kemungkinan disebabkan habitat keong *O. h. lindoensis* terletak di sekitar pemukiman penduduk. Hal yang sama juga dikemukakan oleh Fei Hu dkk [18] bahwa penduduk yang banyak terinfeksi Schistosomiasis di daerah danau Poyang, China adalah penduduk yang rumahnya berdekatan dengan danau dan lebih sering beraktivitas di air.

Penularan Schistosomiasis terjadi karena adanya kontak antara manusia dengan perairan atau memasuki perairan yang terinfeksi parasit *Schistosoma*. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mencegah terjadinya penularan Schistosomiasis adalah menghindari kontak langsung dengan perairan yang menjadi habitat schistosoma. Kontak atau perlekatan cacing tersebut dapat terjadi karena adanya struktur jaringan kulit dan jaringan dalam tubuh inang yang dapat dirusak setelah terjadi proses perlekatan. Sistem pertahanan kulit bersangkut paut dengan proses perlekatan dan penetrasi. Kulit merupakan pintu masuk cacing yang utama, tidak semua bagian kulit dapat menjadi pintu masuk tergantung pada jenis dan struktur dari kulit tersebut (Stirewalt, 1956 dalam [19]). Kajian terhadap penetrasi cacing *Schistosoma japonicum* ke dalam kulit hospes defenitif menunjukkan bahwa bila serkaria menyentuh kulit manusia atau mamalia, maka serkaria akan melekat pada kulit dan ekornya dilepaskan, badanya menembus kulit dengan bantuan zat litik yang dikeluarkannya [20].



Gambar : Fokus keong di desa Puroo, Lindu



Gambar : Focus keong desa Anca, Lindu

Kesimpulan

- 1) Schistosomiasis merupakan penyakit zoonosis sehingga sumber penular tidak hanya pada penderita manusia saja tetapi semua hewan mamalia yang terinfeksi dan faktor faktor yang berhubungan dengan perkembangannya adalah faktor sosial ekonomi, lingkungan ekologi serta budaya setempat.
- 2) Masyarakat yang lebih rentan terinfeksi schistosomiasis adalah masyarakat yang sering melakukan aktivitas diluar rumah dan selalu melakukan kontak dengan air ataupun melewati genangan air serta kebiasaan mandi, mencuci, buang air besar di aliran-aliran sungai.

Referensi

- [1] Steinmann P, Keiser J, Bos R, Tanner M, Utzinger . 2006. Schistosomiasis and Water Resources Development: Systematic Review, Meta-analysis, and Estimates of People at Risk. *Lancet Infect Dis.* 6:411-425.
- [2] Miyazaki, I. 1991. *An Illustrated Book of Helminthic Zoonosis*. International Medical Foundation of Japan, Tokyo.
- [3] Liang, S. Yang, C. Zhong, B. Qiu, D. 2006. Re-emerging Schistosomiasis in Hilly and Mountainous Areas of Sichuan, China. *Bull World Health Organ.* Vol. 84 No.2.
- [4] Sudomo, M. 2008. *Penyakit Parasitik Yang Kurang Diperhatikan*. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Entomologi dan Moluska. Badan Litbang Kesehatan. Jakarta.
- [5] Izhar A, Sinaga RM, Sudomo M, Wardiyo ND. 2002. Recent Situation of Schistosomiasis in Indonesia. *Acta Trop.* 82(2):283-8.
- [6] Garjito TA, Sudomo M, Abdullah, Dahlan M, Nurwidayati A. 2008. Schistosomiasis in Indonesia: Past and Present. *Parasitol Int.* 57(3):277-80.
- [7] Bruun B, Aagaard-Hansen J. 2008. *The Social Context of Schistosomiasis and its Control*. Geneva: World Health Organization.
- [8] Kasnodiharjo. 1994. Penularan Schistosomiasis dan Penanggulangannya Pandangan dari Ilmu Perilaku. *Cermin Dunia Kedokteran.* 96:37-39.
- [9] Agoes, R dan Brotoprawiro, S. 1982. *Beberapa segi Metodologi Penelitian sebagai usaha dalam peningkatan kesehatan Masyarakat*. Lembaga Parasitologi Unpad, Bandung
- [10] Sudomo, M. 1980. Some aspect of Schistosomiasis Transmission in Central Sulawesi, Thesis Doctor ITB, Bandung.

- [11] Sutrisnawati, 2000, Beberapa Aspek Biologi Gastropoda Air Tawar yang berperan sebagai hospes perantara parasit cacing Trematoda yang menginfeksi Manusia di dataran Tinggi Napu, Sulawesi Tengah, Thesis IKD UNPAD, Bandung.
- [12] Gandahusada, S. Ilahude, HD., Pribadi, W. 1998. *Parasitologi Kedokteran*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Penerbit FKUI Jakarta.
- [13] Notoatmodjo, S. 2007. *Promosi Kesehatan & Ilmu Perilaku*. Jakarta : Penerbit PT. Rineka Cipta.
- [14] Chitsulo L. 2000. The Global Status of Schistosomiasis and its Control. *Acta Tropica*, 77(1):41-51.
- [15] Djkeky, R.D. 2002. Penerapan Ilmu Antropologi kesehatan Dalam Pembangunan Kesehatan Masyarakat Papua: *Jurnal Antropologi Papua*. Vol 1 . (1):13).
- [16] Marimbi, H. (2009). *Sosiologi dan Antropologi Kesehatan*. Yogyakarta: Penerbit Nuha Medika.
- [17] Rosmini. 2009. Tesis. Epidemiologi dan Faktor Risiko Penularan *Schistosoma japonicum* di Dataran Tinggi Napu Kabupaten Poso Sulawesi Tengah. <http://etd.ugm.ac.id>. Tanggal 15 Juli 2013.
- [18] Fei Hu., Dan-dan Lin, Yin Liu, Yue-mingLiu. 2007. Studies On Relationship Between Spatial Distribution of People's Behavior and Infection of *Schistoma japonicum* In Poyang Lake Region. *Proceedings of The 1th International Symposium On Geospatial Health, September 8-10, 2007, Yunnan China*.
- [19] Soulsby, 1985. Advances in Immunoparasitology. *Veterinary Parasitology*, volume 18 issue 4
- [20] Hadidjaja, P. 1985. *Schistosomiasis di Sulawesi Tengah*. Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia. Jakarta.
- [21] Loureiro.S. 1989. Social Aspects of the Epidemiology and Control of *Schistosomiasis mansoni*. *Memorias do institute Oswaldo Cruz*. 84.(Suppl.1):124-133

Pengaruh Perlakuan Media Terhadap Pertumbuhan dan Sintasan Belut Sawah (*Monopterus albus* Zuiew)

[The Effect Treatment Media Against of Growth and Survival Rate of Eel Fish (*Monopterus albus* Zuiew)]

Astuti Kusumorini¹, Sumiyati Sa'adah², Ahyar Hidayat¹

¹Fakultas Sains dan Teknologi–UIN Bandung

²Fakultas Tarbiyah dan Keguruan–UIN Bandung

ABSTRAK

Belut sawah (*Monopterus albus* Zuiew) merupakan jenis ikan air tawar dari anggota Synbranchidae yang sangat potensial untuk dikembangkan di masa yang akan datang. Dalam usaha budidaya khususnya pada proses pembesaran bibit, media memiliki peranan yang sangat penting dalam pertumbuhan dan kelangsungan hidupnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perlakuan media terhadap pertumbuhan belut sawah (*Monopterus albus* Zuiew) dan juga untuk mengetahui sintasanya. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap / RAL, dengan 3 (tiga) perlakuan media : media konvensional, media instan bokashi dan media baglog jamur dan 1 sebagai kontrol dan tiap perlakuan diulang 5 (lima) kali ulangan. Data yang diperoleh dianalisis dengan Analisis Varians (Anova) dan jika berbeda nyata dilanjutkan dengan Uji *Duncan*. Pengamatan dilakukan selama 3 bulan setelah perlakuan. Belut sawah dipelihara dalam bak plastik dengan ukuran diameter permukaan atas 50 cm, diameter permukaan bawah 45 cm dan tinggi 30 cm dengan kepadatan 5 ekor per bak. Parameter yang diamati adalah berat, panjang tubuh, laju pertumbuhan dan sintasan. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan media baglog jamur memberikan hasil pertumbuhan yang paling baik dengan penambahan rata-rata berat tubuh 5,99 g, panjang tubuh 2,62 g, laju pertumbuhan 2,0 g dan sintasan 96 %, dibanding dengan media yang lain : media konvensional dan media instan bokashi. Perlakuan media terhadap pertumbuhan dan sintasan belut sawah (*Monopterus albus* Zuiew) memberikan pengaruh nyata terhadap penambahan berat namun tidak memberikan pengaruh terhadap penambahan panjang, laju pertumbuhan dan sintasanya. Hasil pengukuran kualitas air (parameter fisika, kimia dan biologi) memperlihatkan kualitas air media pemeliharaan cukup menunjang untuk kehidupan belut sawah.

Kata kunci : Belut sawah, *Monopterus albus*, media, pertumbuhan, sintasan

PENDAHULUAN

Salah satu jenis ikan air tawar yang belum banyak digali dan dikembangkan dalam skala usaha komersial adalah belut. Selama ini, belut merupakan hasil tangkapan dari alam, misalnya dari sawah, kolam, rawa, dan sebagainya. Belut merupakan sumber protein hewani dan dapat diolah menjadi berbagai makanan yang lezat. Selain itu, belut merupakan komoditas ekspor (Rukmana, 2003). Belut sawah juga merupakan salah satu jenis ikan air tawar yang potensial untuk dikembangkan sebagai ikan budidaya di masa mendatang[1].

Kebutuhan protein hewani yang berasal dari ikan bagi masyarakat Indonesia 80 g/orang/hari, akan tetapi produksi ikan di Indonesia sangat rendah, sehingga setiap orang makan ikan dibawah jumlah yang diharapkan[2]. Oleh karena itu usaha-usaha di subsektor perikanan perlu lebih ditingkatkan agar konsumsi protein hewani yang berasal dari ikan dapat dipenuhi.

Seiring dengan pertumbuhan penduduk yang pesat, khususnya di Pulau Jawa, habitat ikan belut semakin terancam. Terancamnya habitat ikan belut ini selain akibat penyusutan lahan sawah teknis yang dikonversi ke peruntukan lain (pemukiman, industri dan fasilitas umum), juga akibat tercemarnya perairan sungai dari kawasan perkotaan yang masuk ke persawahan serta maraknya penggunaan pestisida di persawahan sejalan dengan intensifikasi di bidang pertanian. Kondisi lingkungan yang tidak menunjang kehidupan belut seperti kondisi lingkungan yang ekstrim atau adanya pencemaran, dengan demikian, timbulnya penyakit dan menyebabkan kematian dikarenakan interaksi yang tidak serasi antara hewan budidaya, kondisi lingkungan dan organisme penyakit[3].

Rekayasa teknologi budidaya belut perlu dikembangkan agar tidak ketinggalan dengan pengembangan komoditas ikan air tawar lainnya[4]. Penelitian budidaya belut pernah dikembangkan di Cina dan Taiwan. Meskipun kondisi geografis ataupun geologi serta iklim kedua negara tersebut berbeda dengan Indonesia, namun tidaklah mustahil jika hasil-hasil teknologi budidaya belut tersebut dapat diadopsi dan dikembangkan di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di desa Gadobangkong Kecamatan Ngamparah Kabupaten Bandung Barat, Laboratorium Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan Laboratorium Nutrisi Ternak Ruminansia dan Kimia Paka Ternak, Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran Bandung, selama 6 bulan yaitu dari bulan Januari sampai dengan Juni 2014.

Hewan uji yang digunakan adalah belut sawah yang berumur kurang lebih 2 bulan yang dibeli dari CV. Cahaya Fajar Utama Cipanas, Cianjur. Ukuran panjang antara 18 - 25 cm dan berat tubuh antara 5 - 13 gram. Pakan yang diberikan berupa usus ayam, bekicot, ikan cere dan cacing sawah. Sedangkan untuk media tanam diperlukan 3 media tanam yaitu media konvensional, media instan

bokashi. dan media dari limbah baglog jamur dan satu media sebagai kontrol, dengan komposisi bahan terdiri dari jerami padi, batang pisang, lumpur sawah, baglog jamur, tanah halus, dedak padi, pupuk kandang, pupuk kompos, biodekomposer (EM4), dll. Peralatan yang digunakan yaitu bak plastik berdiameter 50 cm dan tinggi 30 cm, ember, termometer, pH indikator, baskom, cangkul, sekop, golok, kain terpal, timbangan digital, timbangan analog, dan pisau.

Perlakuan dalam penelitian ini terdiri dari 3 macam perlakuan media yang berbeda ditambah satu perlakuan sebagai kontrol. Masing-masing perlakuan diulang lima kali, sehingga jumlah bak plastik yang diperlukan adalah $4 \times 5 = 20$ bak plastik (diameter 50 cm dan tinggi 30 cm) dan dibuat satu unit percobaan. Adapun prosedur penelitian ini yaitu pembuatan media tanam belut sawah yang berbeda untuk masing-masing perlakuan, yang meliputi media konvensional, media instan bokashi dan media baglog jamur dengan proses pembuatan sebagai berikut :

A. Media Konvensional

Media dibuat dengan mencacah jerami dan pelepah batang pisang. Cacahan itu lantas dicampur kompos dan pupuk kandang, lalu disiram konsentrat yang mengandung mikroorganisme pengurai sebanyak 50 cc/10 l air. Media tersebut disusun di bak plastik kemudian paling atas beri lapisan lumpur sawah setebal 10 cm, kemudian menambahkan air kurang lebih 5 cm, setelah itu ditanami dengan tumbuhan air.

B. Media instan Bokashi

Mencacah jerami dan potongan batang pisang kemudian mengeringkannya di bawah sinar matahari. Tanda bahan sudah kering yakni hancur saat digenggam. Kemudian mencampurkan cacahan bahan tersebut di atas (kering) dengan bahan pokok lain dan aduk hingga merata. Setelah itu bahan campuran disiram dengan larutan molase sedikit demi sedikit tapi tidak terlalu basah. Terakhir menutup media dengan karung goni atau terpal selama 1 bulan.

C. Media baglog jamur

Baglog dicampur tanah halus dan kotoran kerbau. Porsi media baglog jamur 2 kali lebih besar daripada tanah. Kotoran kerbau yang lebih halus dibandingkan kotoran sapi, diberikan secukupnya sampai media jamur dan tanah bercampur. Campuran itu kemudian ditempatkan di dasar kolam, selanjutnya dilapisi cacahan batang pisang sebanyak 15 %. Di lapisan teratas ditaruh 15 % jerami, kemudian dialiri air. Campuran media itu dibiarkan agar terjadi proses fermentasi selama 1 bulan.

Kegiatan selanjutnya setelah proses fermentasi media yaitu memasukkan belut uji pada wadah sesuai perlakuan dengan kepadatan tebar 5 ekor per bak, yang terlebih dahulu diukur panjang dan berat awal hewan belut tersebut. Pemberian pakan selama penelitian dilakukan seminggu sekali. Pengukuran penambahan panjang dan berat dilakukan pada akhir penelitian sedangkan untuk mengetahui laju pertumbuhan dilakukan sampling pengukuran berat setiap satu bulan sekali. Parameter fisika-kimia diukur satu minggu sekali dengan menggunakan termometer dan pH indikator,

suhu air dilakukan pengukuran pada pukul 06.00, 12.00 dan 17.00 WIB, sedangkan pH air dilakukan sekali, sedangkan parameter biologi diukur pada akhir penelitian. Untuk mengetahui kandungan media dilakukan uji/ analisis proksimat.

Parameter Uji

Parameter Uji Utama

Parameter uji utama yang diukur dalam penelitian ini adalah pertambahan berat, pertambahan panjang, laju pertumbuhan dan sintasan.

Untuk mengetahui pertambahan berat tubuh belut, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$W = W_t - W_0$$

Keterangan :

W : Pertambahan berat tubuh belut

W_t : Berat akhir belut

W_0 : Berat awal belut

Untuk mengetahui pertambahan panjang tubuh ikan belut, dapat dihitung dengan rumus[5]:

$$L = L_t - L_0$$

Keterangan :

L : Pertambahan panjang belut

L_t : panjang akhir belut

L_0 : Panjang awal belut

Untuk mengetahui laju pertumbuhan dilakukan pengukuran dengan rumus[6]:

$$W = \frac{W_t - W_0}{t}$$

Keterangan :

W : laju pertumbuhan

W_t : Berat belut pada waktu tertentu

W_0 : Berat belut pada waktu $t=0$

t : Waktu

Untuk mengetahui kelangsungan hidup/ sintasan, dapat dihitung dengan menggunakan rumus[5]:

$$SR = \left(\frac{N_t}{N_0} \right) \times 100\%$$

Keterangan :

SR : Tingkat kelangsungan hidup

N_t : Jumlah akhir belut sawah

N_0 : Jumlah awal belut sawah

Parameter lingkungan

Parameter Fisika-kimia yang diukur meliputi, temperature, derajat keasaman (pH), sedangkan parameter biologi yaitu kelimpahan makroinvertebrata, dapat dihitung dengan rumus[7]:

$$K = \frac{\text{Jumlah Individu suatu Luas area}}{\text{Luas area}}$$

Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan sidik ragam pada taraf 5% dan jika terdapat perbedaan dilanjutkan dengan uji lanjut jarak berganda *Duncan*[8].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tentang pengaruh perlakuan media terhadap pertumbuhan dan sintasan belut sawah (*Monopterus albus*), diperoleh data berupa penambahan berat, penambahan panjang tubuh, laju pertumbuhan, dan sintasan atau *SR* (*Survival Rate*) sebagai parameter utama, sedangkan kualitas air dan ketersediaan pakan alami/ makroinvertebrata sebagai parameter penunjang.

Parameter Lingkungan

Parameter Fisika-Kimia

Sebagai parameter penunjang dalam penelitian ini, parameter fisika-kimia yang diukur tertera pada tabel 1. Kisaran suhu rata-rata pada masing-masing media yaitu antara 21,2 – 25,6° C, sedangkan derajat keasaman (pH) pada masing-masing media berkisar antara 6,6 – 7,2.

Tabel 1. Kisaran suhu dan pH air media

Media Perlakuan	Suhu (°C)	pH
Kontrol	21,6-25,6	6,6-6,8
Konvensional	21,4-24,5	6,7-6,9
Instan bokashi	21,5-24,4	7,0-7,2
Baglog jamur	21,2-25,2	6,6-6,7

Kisaran suhu air pada masing-masing media yaitu antara 21,2° C–25,6° C selama penelitian. Ikan dari jenis sidat dapat hidup pada kisaran suhu antara 17° C–30° C. Sedangkan suhu optimal adalah 24° C–27° C, tergantung pada spesies ikan[9]. Berdasarkan pernyataan tersebut, suhu air media pada kisaran 21,2° C–25,6° C layak bagi kehidupan belut sawah mengingat belut sawah juga termasuk jenis ikan tersebut. Suhu yang diperlukan untuk pertumbuhan benih ikan berada pada kisaran 26-30° C[10].

Derajat keasaman (pH) selama penelitian untuk setiap perlakuan media berada pada kisaran antara 6,6–7,2. Dalam budidaya ikan belut, air berkaitan erat dengan pH dan mineral yang dikandung

di dalamnya. Derajat keasaman atau pH air yang ideal bagi belut adalah 5–7, sementara itu, kandungan mineral di dalam air harus benar-benar alami, artinya terbebas dari bahan pencemar seperti minyak atau limbah kimia[11]. Berdasarkan pernyataan di atas maka pH selama penelitian memenuhi persyaratan untuk kehidupan ikan.

Parameter Biologi

Kelimpahan makroinvertebrata sebagai pakan alami yang tersedia pada setiap media selama penelitian tercantum dalam tabel 2. Pada kontrol kelimpahan pada masing-masing jenis makroinvertebrata yaitu cacing sutra sebesar 99,6 ind./m², siput air tawar sebesar 1,11 ind./m², jentik nyamuk sebesar 1,09 ind./ m², dan cacing sawah sebesar 0,09 ind./ m², sedangkan pada media perlakuan kelimpahan jenis cacing sutra antara 13,61-16,89 ind./ m², siput air tawar antara 1,51-3,27 ind./ m², jentik nyamuk antara 1,58-1,71 ind./ m², dan cacing sawah antara 0,09-0,22 ind./ m². Cacing sutra, siput air tawar dan cacing sawah diduga muncul karena terbawa melalui lumpur sawah yang menjadi komposisi media dan berkembang biak di media perlakuan tersebut, sedangkan jentik nyamuk cenderung akan tertarik terhadap air yang tergenang untuk menyimpan telurnya[12].

Tabel 2. Kelimpahan makroinvertebrata sebagai pakan alami (ind./ m²)

Jenis	Kontrol	Konvensional	Instan bokashi	Baglog jamur
Cacing sutra	9,96	13,61	15,92	16,89
Siput air tawar	1,11	1,51	1,81	3,27
Jentik nyamuk	1,09	1,68	1,58	1,71
Cacing sawah	0,09	0,09	0,02	0,14

Jenis pakan alami ikan yang berasal dari golongan hewan adalah berupa organisme invertebrata dan vertebrata[13]. Organisme yang tergolong invertebrata adalah *Copepoda*, *Cladocera*, larva insekta air, sedangkan yang tergolong vertebrata adalah anak ikan, kecebong dan hewan dari daratan. Pakan alami ikan belut dari golongan zoomakroinvertebrata yaitu siput kecil, larva serangga air, cacing, jentik nyamuk, udang kecil dan kutu air[13].

Pertambahan Berat

Berat tubuh ikan belut sawah (*Monopterus albus*), rata-rata pertambahan berat tubuh ikan belut sawah pada kontrol adalah sebesar kurang dari 0,0368 g, sedangkan pada perlakuan berkisar antara 1,022 sampai 5,99 g. Dari hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pemakaian media yang berbeda, berpengaruh nyata terhadap pertambahan berat tubuh ikan belut. Dari hasil uji lanjut jarak berganda *Duncan* menunjukkan bahwa terdapat 3 pasang perlakuan yang berbeda nyata terhadap

perlakuan yang lain yaitu perlakuan M_0 atau M_1 atau M_2 dengan perlakuan M_3 , seperti terlihat pada tabel 3.

Pada kontrol terjadi penyusutan berat tubuh ikan belut yaitu rata-rata berat akhir lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata berat awal. Hal ini diduga bahwa ikan belut tidak maksimal dalam mengkonsumsi pakan tambahan yang diberikan, Indikasi ini menimbulkan pakan tambahan yang diberikan berupa usus ayam, tidak termaksimalkan dengan baik untuk proses pertumbuhan ikan belut, pada akhirnya pakan tambahan tersebut terakumulasi dalam media, ini ditunjukkan dari hasil analisis proksimat media bahwa kadar protein kasar pada kontrol menunjukkan nilai yang tertinggi (Tabel 4).

Tabel 3. Rata-rata pertambahan berat belut sawah (*Monopterus albus*) pada setiap perlakuan selama penelitian.

Perlakuan Media	Rata-rata Pertambahan Berat
Kontrol	-0,0368 a
Konvensional	1,022 ab
Instan Bokashi	1,388 bc
Baglog jamur	5,99 d

Keterangan : Huruf yang berbeda pada kolom yang sama menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P>0.05$)

Dari semua perlakuan yang diberikan terlihat perlakuan M_3 (Media baglog jamur) menunjukkan pertumbuhan berat tubuh rata-rata perekor paling tinggi yang kemudian diikuti oleh perlakuan M_2 (Media instan bokashi), dan M_1 (Media konvensional). Hal ini diduga karena pengaruh penggunaan media baglog jamur mempercepat pertumbuhan pakan alami untuk ikan belut seperti cacing sutra, siput air tawar, jentik nyamuk, serangga air dan cacing sawah. Media bekas jamur besar kemungkinan mempercepat pertumbuhan pakan alami. Alasannya, media itu lebih mudah terurai karena mengalami fermentasi dari serbuk gergaji, bekatul, dan biji-bijian, apalagi ditambah batang pisang yang juga sudah busuk, proses fermentasi lebih cepat. Dampaknya pakan alami lebih cepat tersedia sehingga memacu pertumbuhan belut, dengan ketersediaan pakan alami diharapkan belut tumbuh cepat dan seragam.

Pakan alami dikondisikan sebagai input energi dan asam amino (protein) berlebih. Pakan digunakan oleh tubuh untuk metabolisme dasar, pergerakan, produksi organ seksual, perawatan bagian-bagian tubuh, atau mengganti sel-sel yang sudah tidak terpakai[3]. Jika terdapat energi berlebih dari keperluan tersebut, kalori dan nutrisi akan dialokasikan untuk membuat sel baru. Sel

baru ini merupakan penambahan unit sel yang secara keseluruhan akan menghasilkan perubahan ukuran.

Tabel 4. Hasil analisis proksimat pada masing-masing media

No	Kadar zat (%)	Media			
		M ₀	M ₁	M ₂	M ₃
1	Air	57,98	54,98	55,01	62,86
2	Abu	78,81	81,45	78,41	77,32
3	Protein kasar	4,33	2,33	3,27	3,02
4	Serat kasar	1,32	1,34	0,93	0,95
5	Lemak kasar	0,48	0,41	0,58	0,52
6	Karbohidrat	15,06	14,47	16,81	18,19

Keterangan :

M₀ : Kontrol

M₁ : Media konvensional

M₂ : Media instan bokashi

M₃ : Media baglog jamur

Secara alami ikan dapat hidup hanya dengan mengandalkan pakan alami, namun nutrisi yang ada belum mampu memaksimalkan pertumbuhan ikan tersebut, sehingga harus diberikan pakan tambahan. Nutrisi yang masuk ke dalam tubuh ikan yang diberi pakan tambahan lebih lengkap dan jumlahnya cukup, sehingga pertumbuhannya lebih baik[14]. Pakan tambahan yang diberikan berupa usus ayam memberikan pertambahan berat tubuh belut sawah, dimana usus ayam mengandung komposisi gizi yang besar bagi pertumbuhan berat atau pun panjang belut sawah tersebut.

Pertambahan Panjang

Data pertambahan panjang tubuh belut sawah selama penelitian disajikan dalam tabel 5. Rata-rata pertambahan panjang ikan belut sawah pada kontrol adalah sebesar kurang dari 0,1914 cm, sedangkan pada perlakuan tertinggi yaitu pada M₃ (media apkir baglog) sebesar 2,626 cm kemudian diikuti oleh perlakuan M₁ (media konvensional) sebesar 0,675 cm dan perlakuan M₂ (media instan bokashi) sebesar 0,2054 cm. Dari hasil analisis ragam pada taraf kepercayaan 95 %, menunjukkan bahwa jenis media yang berbeda tidak memberikan pengaruh nyata terhadap pertambahan panjang tubuh ikan belut sawah

Pada kontrol terdapat penyusutan panjang tubuh ikan belut, yaitu rata-rata panjang akhir lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata panjang awalnya. Ini diduga sama seperti pada pertambahan berat tubuh belut sawah bahwa pakan tambahan tidak termanfaatkan dalam proses pertambahan panjang tubuh ikan belut. Selama masa pertumbuhan, tiap pertambahan panjang material ikan,

berat akan bertambah dimana perbandingan linearnya akan tetap. Dalam hal ini dianggap bahwa berat ikan yang ideal sama dengan pangkat tiga dari panjangnya dan berlaku sebaliknya[15].

Tabel 5. Rata-rata pertambahan panjang belut sawah

Perlakuan	Ulangan					Total	Rata-rata
	I	II	III	IV	V		
Kontrol	-2.34	-0.475	1	0.425	0.433	-0.957	-0.1914
Konvensional	0.1	0.175	0.825	0.5	1.775	3.375	0.675
Instan Bokashi	0.96	1.12	0.24	-1.233	-0.06	1.027	0.2054
Baglog	1.74	-0.48	0.48	5.54	5.85	13.13	2.626
Total	0.46	0.34	2.545	5.232	7.998	16.575	3.315

Pada perlakuan media baglog jamur menunjukkan pertambahan panjang ikan belut yang tertinggi. Hal ini sama seperti pada pertambahan berat ikan belut sawah, dimana pada media apkir jamur diduga pengaruh penggunaan media baglog jamur mempercepat pertumbuhan pakan alami untuk ikan belut seperti cacing sutra, siput air tawar, jentik nyamuk, serangga air dan cacing sawah, di samping pemberian pakan tambahan berupa usus ayam. Indikasi ini dapat dilihat bahwa kelimpahan pakan alami yang muncul pada media ini cukup besar. Meskipun nilai pertambahan panjang tubuh ikan belut pada media baglog jamur adalah yang tertinggi namun tidak memberikan perbedaan yang nyata pada perlakuan ini.

Ikan belut mempunyai laju pertumbuhan yang rendah karena berada di bawah 0,5 per tahun yaitu sebesar 0,20 per tahun dan nilai panjang maksimumnya sebesar 189,64 cm sehingga memerlukan waktu yang lama untuk mencapai panjang maksimumnya. Ikan-ikan yang memiliki panjang total yang besar, cenderung berumur panjang dan memiliki laju koefisien pertumbuhan yang rendah dan sebaliknya. Nilai panjang maksimum ikan belut mencapai 100 cm dan koefisien laju pertumbuhannya sebesar 0.11 per tahun sedangkan nilai t_0 sebesar -1.04 tahun[16]. Hal ini menunjukkan bahwa belut memerlukan waktu yang lama untuk mencapai panjang maksimumnya. Hal ini diduga karena lapisan media yang dangkal yaitu pada penelitian ini ketinggian media tanam hanya ± 20 cm sehingga mempengaruhi pada hubungan berat-panjang ikan belut sawah.

Laju Pertumbuhan

Laju pertumbuhan belut sawah (*Monopterus albus*) selama penelitian disajikan dalam Tabel 6. Sampling laju pertumbuhan ikan belut sawah pada kontrol adalah sebesar 1,184 gram/ bulan, sedangkan pada perlakuan tertinggi yaitu pada M_3 (media apkir baglog) sebesar 2,0 gram/ bulan kemudian diikuti oleh perlakuan M_1 (media konvensional) sebesar 1,242 gram/ bulan dan perlakuan M_2 (media instan bokashi) sebesar 0,91 gram/ bulan. Dari hasil analisis ragam pada taraf kepercayaan

95%, menunjukkan bahwa jenis media yang berbeda tidak memberikan pengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan ikan belut sawah.

Laju pertumbuhan diketahui dengan menghitung berat ikan belut pada waktu tertentu dikurangi berat awalnya dibagi satuan waktu (bulan), sehingga akan terlihat pertambahan berat ikan persatuan waktu. Pertumbuhan belut merupakan faktor yang sangat menentukan keberhasilan usaha budidaya.

Tabel 6. Rata-rata laju pertumbuhan ikan belut

Perlakuan	Ulangan					Total	Rata-rata
	I	II	III	IV	V		
Kontrol	0.81	1.77	0.59	1.19	1.2	5.92	1.184
Konvensional	1.53	0.59	1.04	0.27	2.78	6.21	1.242
Instan Bokashi	0.94	0.45	0.98	1.23	0.95	4.55	0.91
Baglog	0.67	0.53	1.03	3.9	3.87	10.0	2.0
Total	3.95	3.34	4.0	6.59	8.8	26.68	5.336

Laju pertumbuhan dapat dipengaruhi oleh faktor dalam dan faktor luar atau pengaruh biotik atau abiotik[3]. Faktor dalam seperti keturunan, seks, umur, berat, dan penyakit. Faktor dalam sulit dikontrol, tetapi dalam budidaya, faktor keturunan masih bisa dikontrol dengan mengadakan seleksi mencari benih yang baik, sedangkan faktor luar di antara yang berpengaruh adalah suhu, oksigen, pH, CO₂, amoniak, makanan dan kepadatan. Faktor yang paling berpengaruh adalah suhu perairan dan makanan. Namun, di antara makanan dan suhu yang paling berpengaruh belum diketahui. Dengan makanan yang berlebih dan gizi berimbang dapat meningkatkan pertumbuhan lebih pesat. Makanan yang penting dalam pertumbuhan adalah protein, lemak, mineral dan vitamin.

Kelangsungan Hidup/ Sintasan

Persentase *Survival Rate*/ Sintasan belut sawah selama penelitian disajikan dalam tabel 7. Rata-rata sintasan ikan belut sawah pada kontrol adalah sebesar 84 % sedangkan pada perlakuan tertinggi yaitu pada M₃ (media apkir baglog) sebesar 96 % kemudian diikuti oleh perlakuan M₂ (Media instan bokashi) sebesar 92 % dan perlakuan M₁ (Media konvensional) sebesar 84 %. Sedangkan persentase mortalitas selama pemeliharaan yaitu antara 4 – 16 %, kematian ini diduga disebabkan kondisi belut yang lemah pada saat ditebar. Dari hasil analisis ragam pada taraf kepercayaan 95 % menunjukkan bahwa pemakaian media yang berbeda tidak berpengaruh nyata terhadap sintasan ikan belut sawah.

Tabel 7. Survival rate (SR)/ sintasan ikan belut (%)

Perlakuan	Ulangan					Total	Rata-rata
	I	II	III	IV	V		
Kontrol	100	80	100	80	60	420	84
Konvensional	100	60	80	100	80	420	84
Instan Bokashi	100	100	100	60	100	460	92
Baglog	100	100	100	100	80	480	96
Total	400	340	380	340	320	1780	356

Hasil pengamatan pada penelitian ini didapatkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada tingkat kelangsungan hidup/ sintasan ikan belut sawah antara perlakuan media dengan ikan belut sawah pada kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan media yang berbeda tidak memberikan pengaruh terhadap tingkat sintasan/ *survival rate* ikan belut sawah.

Tingkat kelangsungan hidup/ sintasan pada ikan diduga banyak dipengaruhi oleh faktor lingkungan, misalnya penanganan dan padat tebar. Penanganan yang salah dapat menyebabkan ikan stress, sehingga kesehatan ikan menurun dan dapat menyebabkan kematian, demikian juga padat tebar yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya kompetisi baik dalam hal pakan, ruang gerak maupun pemanfaatan oksigen telarut[6]. Kematian pada ikan dapat terjadi karena beberapa faktor yaitu karena kekurangan makanan, padat penebaran yang tidak tepat dan stress.

Persentase kelangsungan hidup belut sawah rata-rata sebesar 91,66 % dengan padat penebaran 8, 12 dan 16 ekor per bak. Bak yang digunakan adalah drum-drum bekas dengan volume 90,28 liter[17]. Tingkat kelangsungan hidup yang cukup tinggi menunjukkan kondisi pemeliharaan dan kondisi fisiologis yang baik. Tingkat kelangsungan hidup yang cukup tinggi juga didukung oleh kualitas air selama penelitian yang cukup baik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa perlakuan media terhadap pertumbuhan belut sawah (*Monopterus albus* Zuiew) memberikan pengaruh nyata terhadap penambahan berat namun tidak memberikan pengaruh terhadap penambahan panjang, laju pertumbuhan dan sintasanya. penggunaan media dari baglog jamur menghasilkan penambahan berat, panjang, laju pertumbuhan dan sintasan yang terbaik.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pertumbuhan dan sintasan ikan belut sawah (*Monopterus albus* Zuiew) dengan pemberian pakan yang berbeda untuk mengetahui pertumbuhan dan sintasan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Affandi, R, Yunizar Ernawati dan Setyo Wahyudi. 2003. *Studi Bio-Ekologi Belut Sawah (Monopterus albus) Pada Berbagai Ketinggian Tempat di Kabupaten Subang, Jawa Barat*. Jurnal Ikhtologi Indonesia, volume 3, nomor 2.
- [2] Alit, I Gusti Ketut, 2009. *Pengaruh Padat Penebaran Terhadap Pertambahan Berat dan Panjang Badan Belut Sawah (Monopterus albus)*. Jurnal Biologi XIII (1): 25-28.
- [3] Saparinto, Cahyo. 2009. *Panduan Lengkap Belut*. Depok; Penebar Swadaya.
- [4] Djarijah, Abas Siregar. 2006. *Teknologi Tepat Guna Budidaya Belut Sawah*. Yogyakarta; Kanisius.
- [5] Anshari, Saiful dan G. Nugroho Susanto. 2009. *Pengaruh Pemberian Jenis Pakan Terhadap Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Larva Lobster Air Tawar (Cherax quadricarinatus)*. Seminar Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, Unila.
- [6] Suryanto, Agus Maizar dan Budi Setyono. 2007. *Pengaruh Umur yang Berbeda Pada Larva Ikan Nila (Oreochromis sp.) Terhadap Tingkat Keberhasilan Pembentukan Kelamin Jantan dengan Menggunakan Metil Testosterone*. Jurnal Protein Vol. 15 No. 1 Hal :48-53.
- [7] Noortiningsih, Ikna Suyatna Jalip dan Sri Handayani. 2008. *Keanekaragaman Makrozoobentos, Meiofauna dan Foraminifera di Pantai Pasir Putih Barat dan Muara Sungai Cikamal, Pangandaran, Jawa Barat*. Fakultas Biologi Universitas Nasional Jakarta; Vis Vitalis, Vol. 01 NO. 1.
- [8] Muzakki, Muhammad Riza. 2007. *Pengaruh Pemberian Probiotik Komersial Terhadap Kuantitas dan Kualitas Susu Sapi Perah*. Artikel Ilmiah. Fakultas Kedokteran Hewan. Universitas Airlangga. Surabaya.
- [9] Liviawaty, Evi dan Eddy Afrianto. 1998. *Pemeliharaan Sidat*. Yogyakarta ; Penerbit Kanisius.
- [10] Yulianta, Eka. 2009. *Studi Perbandingan Sistem Penggelondongan Benih Ikan Lele Dumbo (Clarias gariepinus) Antara Sistem Tradisional dan Resirkulasi*. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Terbuka; Jakarta.
- [11] Roy, Ruslan. 2006. *Petunjuk Praktis Beternak Belut*. Jakarta; Agromedia.
- [12] Wartono. 2011. *Budidaya ikan Lele*. Karya ilmiah; STMIK AMIKOM Yogyakarta.
- [13] Wirosaputro, Sukiman. 1997. *Hubungan Antara Panjang Belut Sawah (Fluta alba) dengan Pakan Alaminya*. Jurnal Perikanan UGM (GMU J. Fish Sci.) 1 (2) 57-61 ISSN : 0853-6384.
- [14] Budiharjo, Agung. 2002. *Seleksi dan Potensi Budidaya Jenis-Jenis Ikan Wader dari Genus Rasbora*. Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta. Jurnal Biodiversitas Volume 3, Nomor 2 Hal : 225-230.
- [15] Wahyudi, Ekosetyo. 2001. *Studi Bio-Ekologi Belut Sawah (Monopterus albus) Pada Berbagai Ketinggian Tempat di Kabupaten Subang, Jawa Barat*. Skripsi. Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Institut Pertanian Bogor. (Tidak dipublikasikan).
- [16] Tresnati, Joeharni. 2009. *Pertumbuhan Ikan Belut (Monopterus albus) di Danau Sidenreng Kabupaten Sidenreng Rappang*. J. Sains & Teknologi, Desember 2009, Vol. 9 No.3: 226-232.
- [17] Efrizal, Lisa Deswati dan Nova Akhni Delwita. 2002. *Pengaruh Padat Tebar yang Berbeda Terhadap Laju Pertumbuhan dan Kelangsungan Hidup Belut Sawah, Fluta alba Zuiew*. UNAND.

Rancang Bangun Reaktor *Spray Pyrolysis* untuk Sintesis Lapisan Tipis Oksida Logam

Bebeh Wahid Nuryadin^{1a)}, Nurul Hikmah Fauziah¹⁾, Evi Marlina¹⁾, Ahmad Ridwan Sidiq¹⁾

¹*Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung
JL. A.H. Nasution 105, Bandung - Indonesia 406XXX
^{a)}E-Mail: bebehwahid102@uinsgd.ac.id*

Abstrak

Sifat fisika dan kimiawi sebuah material pada rentang nanometer (nanomaterial) akan berubah dan unik seiring dengan perubahan dimensi (ukuran) dan struktur material tersebut, salah satunya adalah lapisan tipis logam oksida. Telah banyak metoda sintesis lapisan oksida logam, salah satu yang menarik dan sederhana untuk dikembangkan adalah reaktor *spray pyrolysis*. Reaktor *spray pyrolysis* terdiri dari pemanas dan atomizer. Pemanas difungsikan sebagai tempat terjadinya reaksi pembentukan lapisan tipis oksida logam akibat pemanasan prekursor berbentuk droplet, sedangkan atomizer berfungsi sebagai penghasil droplet. Proses sintesis lapisan tipis oksida logam (tembaga oksida dan ZnO:Al) dilakukan dengan menyemprotkan (droplet) ke atas substrat panas, sehingga terbentuk lapisan tipisnya. Tembaga nitrat dan Seng Asetat masing-masing digunakan sebagai sumber tembaga dan seng. Kemudian seluruh sampel dianalisis menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) untuk mengetahui (morfologi 3D) ketebalan lapisan tipisnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lapisan tipis logam oksida telah berhasil disintesis menggunakan reaktor *spray pyrolysis*. Selain itu, dimensi/ukuran, sifat listrik atau sifat optik lapisan tipis oksida logam dapat diatur dengan memvariasikan waktu sintesis. Oleh karena itu, reaktor *spray pyrolysis* sangat menarik untuk dikembangkan lebih lanjut. Terutama proses sintesis lapisan untuk divais elektronik kinerja tinggi, lapisan konduktif atau sensor.

Kata kunci: reaktor *spray pyrolysis*, lapisan tipis oksida logam, analisis morfologi.

Pendahuluan

Telah banyak metoda sintesis lapisan oksida logam, salah satu yang menarik dan sederhana untuk dikembangkan adalah reaktor *spray pyrolysis*. Reaktor *spray pyrolysis* terdiri dari pemanas dan atomizer [1]. Pada penelitian ini kami menggunakan teknik *spray pyrolysis* karena mempunyai beberapa keuntungan antara lain: metodenya sederhana, biaya pembuatan dan bahan dasarnya murah. Pada proses menggunakan teknik ini meliputi optimisasi banyak parameter proses seperti efek konsentrasi larutan, jarak nozzle ke substrat, kecepatan aliran udara dan suhu substrat yang tentunya sangat mempengaruhi sifat-sifat dari film tipis [2].

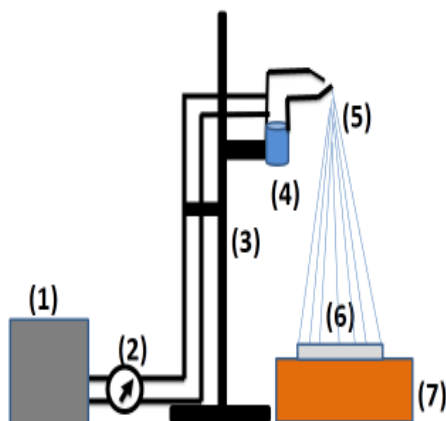
Namun metode *spray pyrolysis* juga memiliki kekurangan yaitu morfologi dari partikel dapat berongga atau berlubang, serta distribusi ukuran partikel yang tidak merata. Kelemahan-kelemahan tersebut dapat diatasi dengan penambahan *doping* pada prekursor parameter seperti: variasi temperature, pengaruh suhu *furnace*, laju alir gas pembawa, dan konsentrasi doping pada lapisan tipis ZnO:Al dan lapisan oksida [3]. Oleh karena itu dibuatlah rancang bangun reaktor *spray pyrolysis* untuk sintesis lapisan tipis oksida logam.

Dalam paper ini dilaporkan rancang bangun reaktor *spray pyrolysis* untuk sintesis lapisan tipis serta pembuatan lapisan tipis oksida logam sebagai *beam divider* pada eksperimen optika dan lapisan tipis ZnO:Al.

Eksperimen

Rancangan Reaktor

Skema reaktor yang dibangun tampak pada **Gambar 1**. Bagian-bagian reaktor adalah hotplate yang suhunya dikontrol menggunakan temperature kontroler. Kompresor dan regulator tekanan.



Gambar 1.Skema alat *spray pyrolysis* .(1) kompresor; (2) regulator tekanan dan pengukur; (3) batang penyangga; (4) prekursor; (5) nozzle ; (6) substrat; (7) pemanas.

Sintesis lapisan tipis oksida logam dengan Metode *Spray Pyrolysis*

Prekursor yang digunakan adalah Larutan tembaga nitrat (prekursor) dibuat dengan cara melarutkan tembaga nitrat kedalam aquades dengan konsentrasi 0.01 M sehingga dihasilkan larutan berwarna biru. Prekursor dimasukkan kedalam *atomizer* dan disemprotkan di atas substrat dengan waktu 40 detik pada tekanan 1 kg/cm². Lapisan tipis terbentuk di atas substrat yang dipanaskan pada *hotplate* yang dapat diatur suhunya.

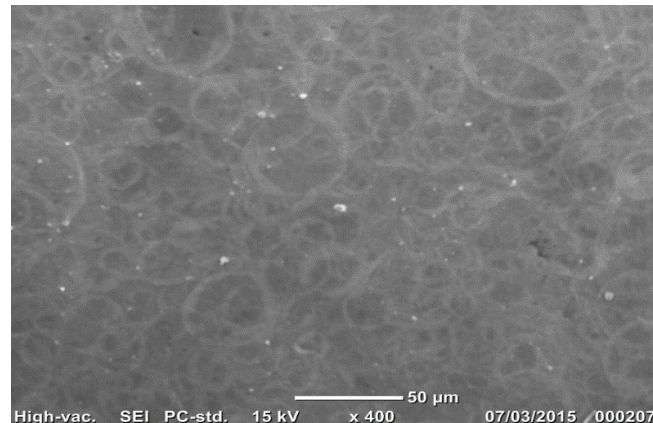
Sintesis lapisan tipis ZnO:Al dengan Metode *Spray Pyrolysis*

Larutan ZnO:Al (prekursor) dibuat dengan cara melarutkan Zn(CH₃COO)₂.2H₂O, Al(NO₃)₃.9H₂O dengan aquades dengan konsentrasi 0.025 M. Prekursor dimasukkan ke dalam *atomizer* dan disemprotkan di atas substrat jumlah lapisan deposisi yaitu 8 lapisan dengan doping 0,5% pada tekanan 1 kg/cm². Lapisan tipis terbentuk di atas substrat yang dipanaskan pada *hotplate* pada suhu 300°C.

Hasil dan Diskusi

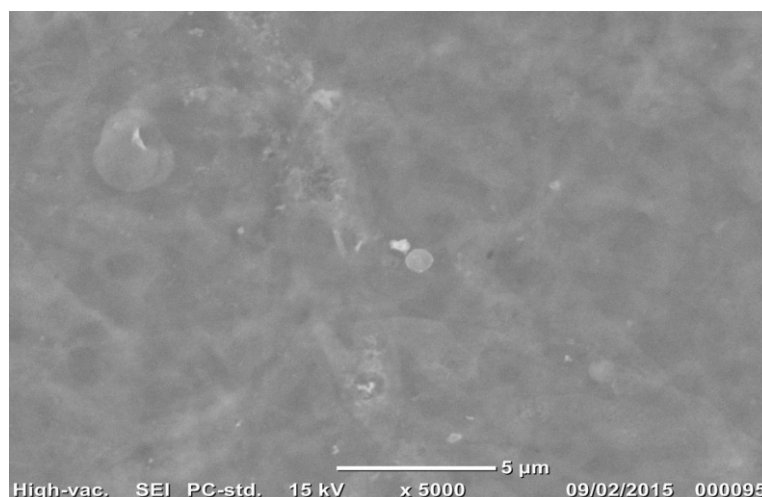
Reaktor *Spray pyrolysis* telah berhasil digunakan sebagai alat sintesis lapisan tipis serta pembuatan lapisan tipis oksida logam sebagai *beam divider* pada eksperimen optika dan lapisan tipis ZnO:Al, ini terlihat dari hasil uji SEM berikut ini : Ketik sampel 8 lapisan yang di dapat memiliki resistansi yang kecil dan terlihat lapisan merata. Hasil karakterisasi struktur mikro lapisan tipis ZnO:Al dengan menggunakan SEM, untuk morfologi permukaan pembesaran (400 kali) sampel 0,5% mol Al dengan 8 lapisan deposisi ditampilkan pada **Gambar 2**. Terlihat bahwa lapisan tipis ZnO:Al sudah

terbentuk dan terdeposisi cukup homogen, hasil homogenitas dari lapisan tipis ini sangat penting, karena sambungan antara lapisan tipis secara merata akan mempengaruhi nilai resistansi lapisan tersebut karena dengan lapisan yang terdistribusi dengan baik maka akan meningkatkan kualitas dari lapisan ZnO:Al. Dengan demikian kehomogenan pertumbuhan lapisan tipis cukup mempengaruhi nilai resistansi yang didapat.



Gambar 2. Hasil struktur mikropermukaan lapisan tipis ZnO:Al dengan SEM pembesaran 400 kali (0,5% mol Al dengan 8 lapisan deposisi)

Gambar 5 dapat dilihat bahwa lapisan oksida tembaga yang terbentuk dari butiran-butiran kecil yang terdistribusi secara homogen. Hasil pengamatan struktur mikro tersebut menentukan sifat optik lapisan, terutama nilai transmitansinya. Pada waktu penyemprotan selama 40 detik, menghasilkan lapisan tipis dengan struktur mikro yang tidak homogen, struktur ini dapat menyebabkan cahaya dapat di transmisikan lebih besar melalui lubang-lubang yang tidak terlapisi. Sedangkan pada waktu penyemprotan lebih lama, menghasilkan lapisan tipis dengan struktur mikro yang terdistribusi secara homogen. Semakin homogen atau tebal lapisan, maka cahaya yang direfleksikan akan semakin meningkat. Dengan kata lain, refleksi dan transmisi dapat diatur melalui pengaturan ketebalan lapisan oksida tembaga. Dimana pengaturan ketebalan lapisan oksida tembaga ini dapat dipengaruhi oleh lama waktu penyemprotan.



Gambar.3 Foto SEM permukaan lapisan tipis oksida tembaga pada konsentrasi 0.01 M, waktu deposisi 40 detik dengan perbesaran 5000 kali.

Kesimpulan

Kita telah berhasil membuat reaktor *spray pyrolysis* yang dapat digunakan untuk membuat lapisan tipis oksida logam dengan metode *spray pyrolysis*. Dengan reaktor tersebut kita telah berhasil mensintesis lapisan ZnO:Al dengan metode *spray pyrolysis* serta lapisan tipis oksida tembaga. Kajian lebih lanjut diperlukan untuk membuat reaktor dengan parameter operasi yang lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini.

Referensi

- [1] N. Lukita and G. D. Amerina, "Sintesis Aluminium Zink Oxide (AZO) Powder Dengan Metode Spray Pyrolysis," Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2008.
- [2] B. W. N. R. M. Abdullah:Khairurrijal, "Pengembangan Reaktor Spray Pyrolysis dan Spray Drying Untuk Sintesis Partikel Oksida dan Partikel komposit Berbentuk Bulat dan Berukuran Mikrometer," *Jurnal Nanosains*, vol. 2, no. 2, 2009.
- [3] Syuhada:dkk., "Pembuatan Konduktor Transparan Thin Film SnO₂ Dengan Menggunakan Teknik Spray Pyrolysis," *Pusat Penelitian Fisika-LIPI*, vol. 8, no. 1, Tangerang.
- [4] Greve, D. W. 1994. *Thermal Chemical Vapor Deposition of Semiconductors for Thin Film Transistor Application*. USA : Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University.
- [5] S. Purwaningsih, Karyono and Sudjatmoko, "Efek doping Al pada sifat optik dan listrik lapisan tipis ZnO hasil deposisi dengan DC sputtering," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 1, no. 1, 2005.

Analisis Sikap Ilmiah dan Kemampuan Penalaran Konsep Fisika Dasar II Mahasiswa Prodi Fisika UIN SGD Bandung melalui Penerapan Pendekatan Keterampilan Proses.

Endah Kurnia Yuningsih^{1a)}

¹Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}endahkurniauinsgd@gmail.com

Abstrak

Proses pendidikan di perguruan tinggi merupakan salah satu sarana untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis, sistematis, logis, kreatif, dan memiliki sikap ilmiah serta daya nalar yang tinggi. Kemampuan tersebut salah satunya dapat ditingkatkan dengan melaksanakan proses perkuliahan melalui pendekatan keterampilan proses. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perbedaan peningkatan sikap ilmiah dan penalaran konsep antara mahasiswa yang menggunakan pendekatan keterampilan proses dengan mahasiswa yang memperoleh perkuliahan biasa Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuasi eksperimen, dengan Desain penelitian yang digunakan berbentuk *pretest-posttest-control group*. Penelitian ini menganalisis pengaruh perlakuan yang sudah ada dan yang telah terjadi menurut apa adanya yaitu data dari hasil penelitian pada mahasiswa Prodi Fisika tahun akademik 2014/2015 yang telah dilakukan. Penelitian semacam ini dikategorikan disain "*ex post facto*". Hasil penelitian ini menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan sikap ilmiah dan penalaran konsep antara mahasiswa yang mendapat perkuliahan dengan pendekatan keterampilan proses dengan mahasiswa yang memperoleh perkuliahan biasa.

Kata kunci : analisis, sikap ilmiah, penalaran konsep, pendekatan, keterampilan proses

Pendahuluan

Sebagai ilmu dasar, Fisika dipelajari pada semua jenjang pendidikan sekolah (SD, SLTP, SLTA dan Pertenaga pendidikan Tinggi) di Indonesia, tapi sampai saat ini hasil belajar Fisika peserta didik di Indonesia belum menggembirakan, meskipun ada beberapa orang yang berhasil menjuarai olimpiade Fisika. Dari kenyataan tersebut didapat suatu dugaan bahwa banyaknya waktu yang dihabiskan untuk belajar Fisika tidak berbanding lurus dengan prestasi yang dihasilkan. Itu dapat berarti bahwa ada permasalahan dengan metode perkuliahan yang digunakan selama ini di negara kita. Umumnya, mahasiswa di Indonesia lebih banyak mengerjakan soal yang diekspresikan dalam bahasa dan simbol Fisika yang diset dalam konteks yang jauh dari realitas kehidupan sehari-hari.

Perubahan paradigma dalam perkuliahan Fisika dari "*teacher centred*" ke "*learner centred*" merupakan salah satu topik perhatian bagi Fisikawan ataupun pemerhati Fisika. Hal ini sesuai dengan pendapat Sumarmo (2000: 1) bahwa perkuliahan IPA mengacu pada prinsip, peserta didik belajar aktif dan "*learning how to learn*" yang rinciannya termuat dalam empat pilar pendidikan

menurut UNESCO yaitu: *learning to know, learning to do, learning to be, dan learning to live together in peace and harmony*. Sedangkan menurut Saptuju [1] dalam menghadapi perubahan paradigma tersebut ada beberapa hal yang dapat dilakukan: (1) berpikir positif terhadap perkembangan baru tentang Fisika baik terhadap materi (*content*), perkuliahan atau aplikasinya; (2) menyadari arti pentingnya belajar dan proses belajar bagi setiap komponen yang terlibat termasuk dalam perkuliahan Fisika; dan (3) melakukan penelitian tentang perkuliahan Fisika sehingga hasilnya dapat membantu perkuliahan Fisika yang lebih baik. Sebagai mata kuliah yang diberikan di perguruan pendidikan tinggi, maka pendidikan Fisika memiliki tujuan yang harus dicapai melalui proses perkuliahannya.

Baroody [2] mengungkapkan penalaran adalah suatu alat yang esensial untuk IPA dan kehidupan sehari-hari. Menurut Baroody [2] ada tiga jenis penalaran, yaitu penalaran intuitif, penalaran induktif, dan penalaran deduktif. Sedangkan menurut Shurter dan Pierce [3] secara garis besar terdapat dua jenis penalaran yaitu penalaran induktif dan penalaran deduktif. Mengingat pentingnya kemampuan penalaran dan pembentukan sikap ilmiah, maka pengembangan kemampuan tersebut harus diperhatikan dalam perkuliahan. Kondisi belajar secara pasif, jelas tidak menguntungkan terhadap peningkatan kemampuan penalaran dan pembentukan sikap ilmiah.

Sikap ilmiah dapat dikembangkan melalui perkuliahan Fisika Dasar II, dengan ketentuan Mata kuliah tersebut harus menumbuhkan mengembangkan daya nalar serta sikap ilmiah mahasiswa. Dengan demikian, mahasiswa dapat menyikapi fakta, etika, dan teknologi sekaligus melatih mental mereka. Untuk mewujudkan tujuan tersebut diperlukan suatu pendekatan perkuliahan yang dapat mengaktifkan mahasiswa, mengembangkan daya nalar serta sikap ilmiah mahasiswa sehingga mereka mampu mengembangkan dan mengevaluasi argumentasi. Salah satu pendekatan yang bisa mewujudkan tujuan tersebut adalah pendekatan keterampilan proses. Sebagaimana yang dikemukakan Suherman (Citrawati, 2003: 5): "Jika pendidik dalam proses belajar-mengajarnya hendaknya menekankan agar peserta didik mampu menemukan dan mengembangkan sendiri fakta, konsep atau prinsip serta menumbuhkan sikap dan nilai yang dituntut, maka pendekatan yang sesuai adalah pendekatan keterampilan proses". Proses perkuliahan dengan keterampilan proses akan membentuk mahasiswa yang terampil dalam intelektual, memiliki daya nalar dan sikap ilmiah yang tinggi. Hal ini senada dengan Semiawan, *et al.* [4] yang mengatakan bahwa dengan mengembangkan keterampilan-keterampilan proses, peserta didik akan mampu menemukan dan mengembangkan sendiri fakta dan konsep serta menumbuhkan dan mengembangkan kompetensi, sikap dan nilai yang dituntut.

Pada saat ini, penelitian-penelitian yang berhubungan dengan efektivitas perkuliahan dengan menggunakan pendekatan keterampilan proses dalam meningkatkan sikap ilmiah dan kemampuan penalaran konsep Fisika Dasar II mahasiswa Prodi Fisika UIN SGD Bandung, belum banyak terungkap. Dengan demikian, peneliti merasa tertarik untuk melakukan penelitian tersebut

Teori

Bagian ini juga dapat diberi judul Model atau Eksperimen. Dapat juga ditulis Teori dan Eksperimen sekaligus, bila diperlukan. Bagian ini dapat berisi ulasan teori yang digunakan dalam penelitian, model matematika, metode, dan desain eksperimen yang dilakukan.

Bagian ini juga dapat berisi kutipan dari suatu literatur yang dianggap penting untuk dibandingkan atau digunakan dalam bagian hasil dan diskusi. Setiap paragraf baru ditulis menjorok sejauh 0.75 cm, sedangkan paragraf lanjutan yang terpotong oleh tabel, persamaan, dan tabel tidak

perlu ditulis menonjol. Keterangan tabel diletakkan di atas tabel, sedangkan keterangan gambar diletakkan di bawah tabel.

1. Sikap ilmiah adalah kecenderungan mahasiswa untuk bertindak selama dan setelah mengikuti mengikuti perkuliahan Fisika Dasar II berdasarkan skor dan kecenderungan positif dan negatif pada pernyataan sikap yang diberikan, sebagai tes sikap ilmiah yang diukur, antara lain: ingin tahu, kepedulian lingkungan, kerjasama, cermat, dan jujur [5].
2. Penalaran merupakan kegiatan atau aktivitas berpikir untuk menarik kesimpulan dari yang bersifat umum menjadi khusus atau sebaliknya berdasarkan pada beberapa pernyataan yang kebenarannya telah dibuktikan atau diasumsikan sebelumnya. Indikator kemampuan penalaran Fisika Dasar II yang dikembangkan dalam penelitian ini meliputi: (1) menggunakan penalaran induktif untuk mengenal pola-pola; (2) menggunakan penalaran proposional dalam memecahkan masalah; (3) menggunakan penalaran deduktif untuk memeriksa dan menyusun argumen-argumen valid. Jenis penalaran induktif yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah generalisasi.
3. Pendekatan keterampilan proses adalah pendekatan perkuliahan yang melibatkan berbagai jenis keterampilan proses. Jenis-jenis keterampilan proses dalam penelitian ini adalah mengamati, menghitung, mengukur, mengklasifikasi, menggambar, melakukan eksperimen, mencari hubungan, menemukan, menyimpulkan, dan menerapkan.
4. Perkuliahan biasa merupakan perkuliahan ekspositori (secara klasikal), dosen menjelaskan materi perkuliahan, kemudian mahasiswa mengerjakan latihan serta diakhiri dengan tugas dalam bentuk Pekerjaan Rumah (sewaktu-waktu).

Hasil dan Diskusi

Tabel 1

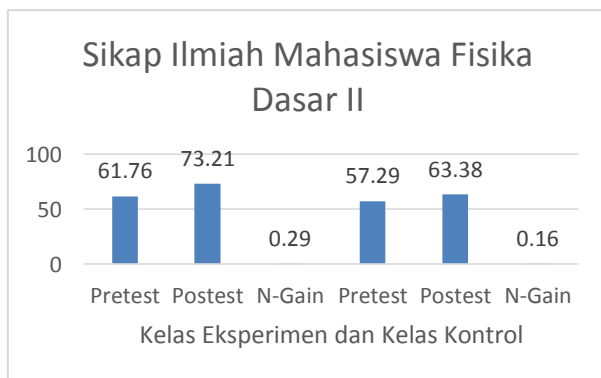
Rekapitulasi Pretes, Postes dan Gain Sikap ilmiah Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Eksperimen

Hasil Tes	Sikap ilmiah Fisika Dasar II		
	Pretes	Postes	N-gain
Rata-rata skor mahasiswa	59.92	77.88	0.46
Skor maksimal	79.40	90.80	0.61
Skor minimal	40.00	65.00	0.30

Tabel 2

Rekapitulasi Pretes, Postes dan Gain Sikap ilmiah Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Kontrol

Hasil Tes	Sikap ilmiah Fisika Dasar II		
	Pretes	Postes	N-gain
Rata-rata skor mahasiswa	58.88	65.38	0.16
Skor maksimal	79.40	85.90	0.29
Skor minimal	40.00	46.50	0.01



Gambar 1

Grafik Perbandingan Sikap Ilmiah Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Tabel 3

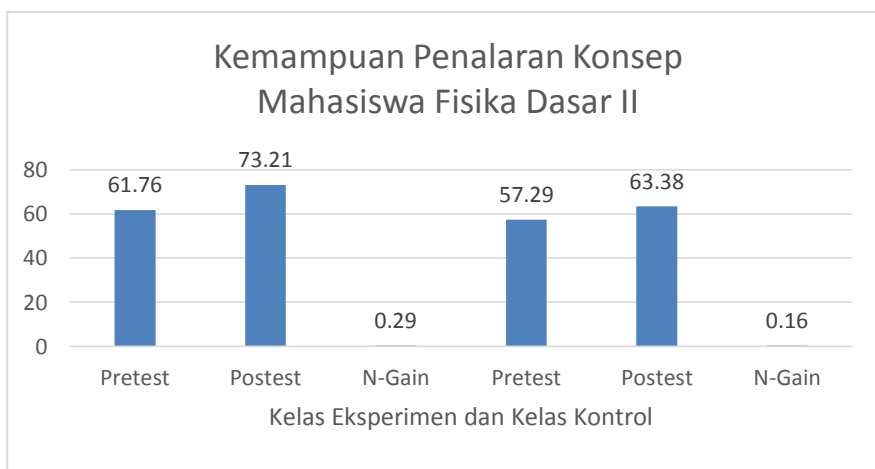
Rekapitulasi Pretes, Postes dan Gain Penalaran Konsep Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Eksperimen

Hasil Tes	Penalaran konsep Fisika Dasar II		
	Pretes	Postes	N-gain
Rata-rata skor mahasiswa	61.76	73.21	0.29
Skor maksimal	82.00	88.00	0.52
Skor minimal	40.00	60.00	0.15

Tabel 4

Rekapitulasi Pretes, Postes dan Gain penalaran konsep Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Kontrol

Hasil Tes	Penalaran konsep Fisika Dasar II		
	Pretes	Postes	N-gain
Rata-rata skor mahasiswa	57.29	63.38	0.16
Skor maksimal	77.40	83.90	0.29
Skor minimal	40.00	44.50	0.01



Gambar 2

Grafik Perbandingan penalaran konsep Fisika Dasar II Mahasiswa Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Tabel 5

Hasil Uji Normalitas Skor Pretes, Postes dan N-gain sikap ilmiah Kelas Eksperimen

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Pretes	Postes	N Gain
N		41	41	41
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	59,9195	77,8793	,4559
	Std. Deviation	11,69958	7,61090	,05827
Most Extreme Differences	Absolute	,137	,142	,111
	Positive	,137	,086	,111
	Negative	-,125	-,142	-,098
Kolmogorov-Smirnov Z		,879	,911	,713
Asymp. Sig. (2-tailed)		,423	,377	,689

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tabel 6

Hasil Uji Normalitas Pretes, Postes dan N-gain Sikap ilmiah Fisika Dasar II Kelas Kontrol

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Pretes	Postes	N Gain
N		40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	58,8750	65,3750	,1558
	Std. Deviation	11,13838	11,13838	,05358
Most Extreme Differences	Absolute	,116	,116	,120
	Positive	,078	,078	,120
	Negative	-,116	-,116	-,107
Kolmogorov-Smirnov Z		,734	,734	,760
Asymp. Sig. (2-tailed)		,654	,654	,611

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tabel 7

Hasil Uji Normalitas Skor Pretes, Postes dan N-gain Penalaran Konsep Kelas Eksperimen

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Pretes	Postes	N Gain
N		41	41	41
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	61,7634	73,2110	,2880
	Std. Deviation	12,61830	8,09640	,08617
Most Extreme Differences	Absolute	,110	,116	,110
	Positive	,110	,093	,110
	Negative	-,104	-,116	-,101
Kolmogorov-Smirnov Z		,705	,744	,705
Asymp. Sig. (2-tailed)		,704	,637	,703

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tabel 8

Hasil Uji Normalitas Pretes, Postes dan N-gain Penalaran Konsep Fisika Dasar II Kelas Kontrol

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Pretes	Postes	N Gain
N		40	40	40
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	57,2875	63,3750	,1558
	Std. Deviation	10,47775	11,13838	,05358
Most Extreme Differences	Absolute	,122	,116	,120
	Positive	,095	,078	,120
	Negative	-,122	-,116	-,107
Kolmogorov-Smirnov Z		,770	,734	,760
Asymp. Sig. (2-tailed)		,594	,654	,611

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Tabel 9

Hasil Uji Homogenitas Prestes Sikap ilmiah Fisika Dasar II Kelas Eksperimen – Kontrol

Test of Homogeneity of Variances

nilai pretes

Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
,923	1	79	,340

Tabel 10

Hasil Uji Homogenitas Prestes Penalaran Konsep Fisika Dasar II Kelas Eksperimen – Kontrol

Test of Homogeneity of Variances

nilai pretes

Levene Statistic	df 1	df 2	Sig.
,269	1	79	,605

Tabel 11

Hasil Analisis Uji-t Rata-rata Postes Sikap ilmiah Fisika Dasar II

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	nilai postes kelas eksperimen - nilai postes kelas kontrol	12,8263	13,63167	2,15536	8,4666	17,1859	5,951	39	,000

Tabel 12

Hasil Analisis Uji-t Rata-rata N – Gain Sikap ilmiah Fisika Dasar II

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	nilai N gain kelas eksperimen - nilai N gain kelas kontrol	,3025	,07242	,01145	,2793	,3257	26,417	39	,000

Tabel 13
Hasil Analisis Uji-t Rata-rata Postes Penalaran Konsep Fisika Dasar II

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	nilai postes kelas eksperimen - nilai postes kelas kontrol	10,1663	14,02262	2,21717	5,6816	14,6509	4,585	39	,000

Tabel 14
Hasil Analisis Uji-t Rata-rata N – Gain Penalaran Konsep Fisika Dasar II

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	nilai N Gain kelas eksperimen - nilaiN Gain kelas kontrol	,1322	,10093	,01596	,1000	,1645	8,287	39	,000

Kesimpulan

1. Terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan sikap ilmiah antara mahasiswa yang mendapat perkuliahan dengan pendekatan keterampilan proses dengan mahasiswa yang memperoleh perkuliahan biasa
2. Terdapat perbedaan yang signifikan peningkatan kemampuan penalaran antara mahasiswa yang mendapat perkuliahan dengan pendekatan keterampilan proses dengan mahasiswa yang memperoleh perkuliahan biasa

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat penulis selesaikan karena bantuan dan dorongan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis sampaikan jazakumullohukhoiron katsiron khususnya kepada:

1. Dekan Fakultas Tarbiyah UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
2. DIPA UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah membiayai penelitian ini.
3. Ketua Laboratorium Prodi Pendidikan Fisika UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
4. Para mahasiswa asisten mata kuliah Fisika Dasar II.
5. Dan pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu

Referensi

- [1] Saptuju (2005). Peningkatan Pemahaman dan pemecahan masalah Mahasiswa SMP melalui perkuliahan Kooperatif (Tesis). UPI Bandung: Tidak dipublikasikan
- [2] Baroody, A.J. (1993). Problem Solving, Reasoning, and Communicating, K-8 Helping Children Think. New York: Macmillan Publishing Company.
- [3] Dahlan, J.A. (2004). Meningkatkan Kemampuan Penalaran dan Pemahaman Mahasiswa Melalui Pendekatan Perkuliahan Open-Ended. Disertasi UPI: tidak dipublikasikan.
- [4] Semiawan, C. et al. (1992). Pendekatan Keterampilan Proses, Bagaimana Mengaktifkan Mahasiswa dalam Belajar. Jakarta: Grasindo.
- [5] Badan Standar Nasional Pendidikan (2005). Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar IPA. Jakarta : Departemen Pendidikan Nasional.
- [6] Abdullah, M.H. (2002). Studi Dasar-dasar Pemikiran Islam. Bogor : Pustaka Thariqul Izzah.

- [7] Alamsyah. (2000). Suatu Perkuliahan untuk Meningkatkan Kemampuan Penalaran Analogi. Tesis UPI: tidak dipublikasikan
- [8] Allo, E.L. (2005). Perkuliahan Zat Radioaktif Berbasis Komputer dalam Upaya Meningkatkan Pemahaman Konsep, Keterampilan Berpikir kritis, dan Sikap Positif Mahasiswa. Tesis Magister pada PPS UPI. Bandung : Tidak diterbitkan.
- [9] An-Nabhani, T. (2003). Syakhshiyah Islam. Bogor : Pustaka Thariqul Izzah.
- [10] Dahar, R.W. (1996). Teori-teori Belajar. Jakarta : Erlangga.
- [11] Dahlan, M.D., et al. (1990). Model-Model Mengajar. Bandung: C.V.Diponegoro.
- [12] Departemen Pendidikan Nasional. (2003a). Undang-undang Republik Indonesia No 20 tentang Sistem Pendidikan Nasional. Tersedia (On line) di [http : www.depdiknas.go.id](http://www.depdiknas.go.id).
- [13] Depdiknas. (2002a). Kurikulum dan Hasil Belajar. Jakarta: Depdiknas.
- [14] Depdiknas. (2002b). Kurikulum Berbasis Kompetensi. Jakarta: Depdiknas
- [15] Ennis, R.H. (1985). "Goals for a Critical Thinking Curriculum". In Costa, A.L. (ed.). Developing Mind: A Resource Book for Teaching Thinking. Virginia: ASCD Alexandria.
- [16] Haryono, A.D. (2008). Belajar Bermakna. [Online]. Tersedia: <http://aflah.wordpress.com/2008/02/23/BelajarBermakna/> [26 Pebruari 2008].
- [17] Lindquist, M.M dan Elliot, P.C. (1996). "Communication – an Imperative for Change: A Conversation with Mary Lindquist". dalam Communication in Mathematics, K-12 and Beyond. Virginia: NCTM, INC.
- [18] Meltzer, E.David. (2002). "The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible: hidden variabel in diagnostic pretest score". Ammerican Association of Physics Teachers: American Journal Physics. 70 (2), 1259–1268.
- [19] Mulyana, R. (2004). Mengartikulasi Pendidikan Nilai. Bandung: Alfabeta.
- [20] Mulyasa, E. (2002). Kurikulum Berbasis Kompetensi. Konsep, Karakteristik, dan Implementasi. Bandung: Alfabeta.
- [21] NCTM. (1989). Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics. Virginia: NCTM Inc.
- [22] Novak, J.D. & Gowin, D.B. (1984). Learning How To Learn. New York: Press Syndicate of The University Of Cambridge.
- [23] Nur, M dan Samani, M. (1996) Teori Perkuliahan IPA dan Hakekat Pendekatan Ketrampilan Proses. Jakarta: Depdikbud
- [24] Poedjiadi, A. (2005a). Sains Teknologi Masyarakat. Model Perkuliahan Kontekstual Bermuatan Nilai. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya.
- [25] Poedjiadi, A. (2005b). Pendidikan Sains dan Pembangunan Moral Bangsa. Bandung : Yayasan Cendrawasih.
- [26] PPPG, (2007). Pemecahan masalah, dan Penalaran. [Online]. Tersedia: <http://www.duniatenagapendidik.com/doc/matematika/sma/pemecahan masalah.pdf> [26 Pebruari 2008].
- [27] Presseisen, B.Z. (1985). "Thinking Skills: Meanings and Models" In Costa A.L. (ed). Developing Mind: A Resource Book for Teaching Thinking. Virginia: ASCD Alexandria.
- [28] Ratnaningsih, N. (2003). Mengembangkan Kemampuan Berpikir Mahasiswa Sekolah Menengah Umum (SMU) Melalui Perkuliahan Berbasis Masalah. UPI Bandung: Tidak dipublikasikan.
- [29] Ruseffendi. (1998). Statistika Dasar untuk Penelitian Pendidikan. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia Press.
- [30] Shadiq, F. (2007). Penalaran atau Reasoning. [Online]. Tersedia: <http://prabu.telkom.us/2007/08/29/> [26 Pebruari 2008].
- [31] Siegel, Sidney. (1992). Statistik Nonparametrik Untuk Ilmu-ilmu Sosial. Jakarta: PT Gramedia.
- [32] Stiggins, R.J. (1994). Student Centered Classroom Assessment. New York: Macmillan College Publishing Company.
- [33] Sudjana. (1989). Metoda Statistika. Bandung: Tarsito.
- [34] Sudrajat. (2001). Penerapan SQ3R pada Perkuliahan Tindak Lanjut untuk Meningkatkan Kemampuan Mahasiswa SMU. Tesis UPI: Tidak dipublikasikan.
- [35] Suhaena, E. (2001). Perkuliahan Ketrampilan Proses Melalui Belajara Kooperatif. Tesis UPI: tidak dipublikasikan

- [36] Suharta I.G.P. (2005, 01 April). Memecahkan Masalah dengan Nalar dan Komunikasi. Bali Post [Online], halaman 2. Tersedia: <http://www.balipost.co.id/BALIPOSTCETAK/2005/4/1/pen2.htm> [3 April 2008].
- [37] Suherman, E dan Sukjaya, Y. (1990). Evaluasi Pendidikan Matematika. Bandung: Wijaya Kusumah.
- [38] Sumarna, A. (1981). "Nilai-nilai dalam Mata Kuliah Dasar Umum Ilmu Alamiah Dasar. Bandung : Institut Ketenaga pendidikan dan Ilmu Pendidikan.
- [39] Suparno, P. (1997). Filsafat Konstruktivisme dalam Pendidikan. Yogyakarta : Kanisius.
- [40] Sudjana, N (1988). Dasar-dasar Proses Belajar Mengajar. Bandung : Sinar Baru
- [41] Suwardi, E. (2003). Perkuliahan Ketrampilan Proses Melalui Kerja Kelompok Pada Mahasiswa Sekolah Dasar. Tesis UPI: tidak dipublikasikan
- [42] Untung, S. (2002). Pendekatan Ketrampilan Proses melalui Metode Penemuan untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Mahasiswa Prosiding Konferensi Nasional XI, Edisi Khusus.
- [43] Wahyudin. (2008). Perkuliahan dan Model-model Perkuliahan (Pelengkap untuk Meningkatkan Kompetensi Pedagogis Para Tenaga pendidik dan Calon-tenaga pendidik Profesional).
- [44] Yudianto, S.A. (2004). "Pendidikan Sains untuk Peradaban Manusia", dalam Proceeding Seminar Nasional Pendidikan IPA-11 September 2004. Bandung : Universitas Pendidikan Indonesia.
- [45] Yudianto, S.A. (2005). Manajemen Alam Sumber Pendidikan Nilai. Bandung : PPS UPI.

Efektifitas Penerapan Pembelajaran Konseptual Interaktif untuk Meningkatkan Prestasi Belajar Siswa

Nurul Ashri^{1,a)}, Selly Feranie² dan Setiya Utari²

¹ Mahasiswa Prodi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Sekolah Pasca Sarjana Universitas Pendidikan Indonesia

² Dosen Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Pendidikan Indonesia

^{a)} penulis yang berkorespondensi : nurul.ashri.s.pd@sudent.upi.edu

Abstrak

Penelitian diawali dengan menganalisis nilai ulangan harian mata pelajaran fisika kelas XI SMA Negeri di kota Bandung. Dari hasil penelitian diperoleh nilai rata-rata ulangan harian siswa yaitu 40,94 yang ternyata lebih rendah dibanding KKM yaitu 65. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan prestasi belajar siswa dan mendapatkan gambaran cara apakah yang dipandang cukup efektif dalam meningkatkan prestasi belajar siswa. Pendekatan pembelajaran konseptual interaktif diterapkan dengan menggaris bawahi eksperimen virtual sebagai karakteristiknya. Hal ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan alat di laboratorium serta sebagai solusi bagi kegiatan eksperimen yang sulit untuk dilakukan secara real. Pembelajaran konseptual interaktif dilakukan pada materi termodinamika. Penelitian ini dilakukan terhadap siswa kelas XI di salah satu SMA Negeri di Kota Bandung dengan menggunakan desain penelitian *Pretest-posttest Kontrol Group Design*. Penggunaan metode pembelajaran tradisional digunakan sebagai perlakuan terhadap kelompok kontrol. Berdasarkan penelitian diperoleh nilai gain ternormalisasi $\langle g \rangle$ untuk kelas eksperimen adalah 0.72 dan 0.19 untuk kelas kontrol. Dari perbandingan nilai $\langle g \rangle$ antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pendekatan pembelajaran konseptual interaktif lebih efektif meningkatkan prestasi belajar siswa.

Kata kunci : Prestasi Belajar, Pendekatan Konseptual Interaktif

Pendahuluan

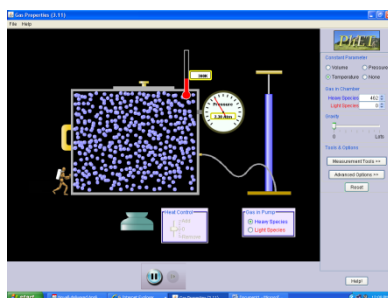
Konsep dalam fisika terdiri dari konsep yang abstrak dan konkret. Metoda yang dapat membuat konsep fisika menjadi lebih konkret adalah demonstrasi dan eksperimen. Karena kegiatan demonstrasi dan eksperimen dapat memberikan fenomena yang lebih nyata sehingga konsep lebih mudah dipahami. Escalada dan Zollman pun menegaskan dalam jurnal yang mereka tulis, bahwa pengalaman eksperimen siswa merupakan komponen penting dalam penguatan dan pemahaman konsep siswa. Dan hal ini secara tidak langsung berdampak kepada prestasi belajar yang dicapai siswa.

Kenyataan di lapangan berkata lain, keterbatasan alat di laboratorium dapat menjadi salah satu penghambat dilakukannya eksperimen. Apalagi jika konsep fisika yang diajarkan bersifat abstrak contohnya termodinamika. Termodinamika membahas kondisi-kondisi ideal untuk sistem gas, proses-proses dalam suatu mesin yang sulit diamati secara *real*. Untuk mengatasi permasalahan

keterbatasan alat di laboratorium ini terutama pada konsep-konsep termodinamika, maka diberikan suatu eksperimen yang bersifat virtual melalui suatu media simulasi yang telah teruji. Dalam penelitian kali ini, kegiatan eksperimen virtual tersebut dikemas di dalam suatu pendekatan yang sebelumnya telah dikembangkan oleh Savinainen dan Scott [1]. Pendekatan tersebut dinamakan *Interactive Conceptual Instruction* (ICI).

Teori

Interactive Conceptual Instruction (ICI) memiliki empat ciri utama yaitu berfokus pada segi konseptual (*Conceptual Focus*), mengutamakan interaksi kelas (*Classroom interaction*), menggunakan bahan-bahan ajar berbasis penelitian (*Research-based materials*) dan menggunakan referensi (*use of texts*). Berdasarkan penelitian Savinainen dan Scott, penerapan pembelajaran konseptual interaktif sangat membantu pemahaman konsep. Langkah-langkah pembelajaran pada penelitian kali ini yaitu pada sesi awal yang menitikberatkan dalam segi pemahaman konseptual, siswa diberi alat peraga sederhana yang berkaitan dengan konsep yang akan dibahas. Hal ini dimaksudkan untuk menggali konsepsi awal siswa sehingga mereka mengerti mengenai esensi konsep yang akan dipelajari. Kemudian konsepsi awal siswa dikemukakan dalam bentuk interaktif di kelas. Setelah siswa mengarah pada konsep awal yang benar barulah dilakukan eksperimen virtual menggunakan media simulasi *flash*, *Physics Education Technology* (PheT) dan *hyperphysics* yang merupakan produk-produk virtual hasil penelitian para ahli, salah satunya telah diuji oleh para ahli dari jurusan fisika, Universitas Colorado yaitu Noah Finkelstein, Wendy Adams, Christopher Keller, Katherine Perkins, Carl Wieman beserta tim mereka. Selama percobaan siswa diberi lembar kerja yang harus dilengkapi berdasarkan eksperimen yang mereka lakukan juga berdasarkan referensi yang ada yaitu dari buku sekolah elektronik dan buku paket fisika yang telah dicetak.



Gambar 1. Media Simulasi Virtual PheT

Maka dari itu, penerapan pembelajaran konseptual interaktif pada penelitian kali ini menitikberatkan pada eksperimen virtual sebagai media yang bisa meningkatkan pemahaman konsep pada materi termodinamika. Selain itu eksperimen virtual adalah salah satu solusi bagi permasalahan keterbatasan alat laboratorium yang tersedia di sekolah serta sebagai solusi bagi konsep termodinamika yang kegiatannya sulit untuk dilakukan secara real.

Penelitian ini penting untuk dilakukan agar kita dapat mengetahui keefektifan penerapan pembelajaran konseptual interaktif dalam meningkatkan prestasi belajar siswa. Juga agar dapat mengetahui apakah pembelajaran konseptual interaktif dapat diterapkan di konsep fisika lain selain konsep gaya yang seperti yang telah dikembangkan oleh Savinainen dan Scott .

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen semu. Desain penelitian yang digunakan adalah *Pretest-posttest Control Group Design*. Desain penelitian ini menggunakan dua kelas, yaitu kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kelas eksperimen adalah kelas yang diberikan *treatment* dengan pembelajaran konseptual interaktif di dalam pembelajarannya sedangkan kelas kontrol adalah kelas yang pembelajarannya tidak menggunakan pembelajaran konseptual interaktif yaitu hanya menggunakan metode tradisional saja.

Dalam desain ini, baik kelompok eksperimen maupun kelompok kontrol diberi *pre test*, kemudian kelompok eksperimen diberikan *treatment*. Setelah diberikan *treatment*, kemudian kedua kelompok tersebut diberi *post test*. Soal yang digunakan untuk *post test* sama dengan soal yang digunakan pada *pre test*. Pola desain penelitian dapat diilustrasikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. Pola Desain Penelitian

Kelompok	Pre Test	Treatment	Post Test
Eksperimen	T ₁	X	T ₂
Kontrol	T ₁	-	T ₂

(Arikunto, 2008; Gumilar .2009)

Keterangan :

- T₁ : Tes awal (*Pre Test*) dilakukan sebelum diberikan perlakuan (*treatment*) dan dilaksanakan pada kelas eksperimen maupun kelas kontrol
- X : Perlakuan (*Treatment*) dengan pembelajaran konseptual interaktif
- T₂ : Tes akhir (*Post Test*) dilakukan setelah diberikan *treatment* dan dilaksanakan pada kelas eksperimen dan kelas kontrol

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini, terdiri atas satu set tes prestasi belajar untuk mengevaluasi prestasi siswa pada saat sebelum dan sesudah pembelajaran. Instrumen yang digunakan dalam penelitian telah melewati ujicoba terlebih dahulu. Hasil ujicoba instrumen tersebut pun telah dianalisis agar dapat diketahui tingkat validitas, reliabilitas, daya pembeda dan tingkat kesukarannya. Hal yang paling ditekankan adalah validitas dan reliabilitas. Sebuah instrumen dikatakan valid apabila mampu mengukur apa yang diinginkan dan dapat mengungkapkan data dari variabel yang diteliti secara tepat. Nilai validitas dapat ditentukan dengan menentukan koefisien produk momen dengan angka kasar. Perumusan validitas soal dapat dihitung dengan menggunakan perumusan :

$$r_{xy} = \frac{N \sum Y - \sum Y \sum X}{\sqrt{(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{N}) (\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N})}} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 2. Interpretasi Validitas

Nilai r	Interpretasi
0,81 – 1,00	Sangat tinggi
0,61 – 0,80	Tinggi
0,41 – 0,60	Cukup
0,21 – 0,40	Rendah
0,00 – 0,20	Sangat Rendah

Keterangan :

r_{xy} = koefisien korelasi antara variabel X dan Y, dua variabel yang dikorelasikan.

X = skor tiap butir soal.

Y = skor total tiap butir soal.

N = jumlah siswa.

Sementara itu, reliabilitas adalah kestabilan skor yang diperoleh orang yang sama ketika diuji ulang dengan tes yang sama pada situasi yang berbeda atau dari satu pengukuran ke pengukuran lainnya. Nilai reliabilitas dapat ditentukan dengan menentukan koefisien reliabilitas. Teknik yang digunakan untuk menentukan reliabilitas tes adalah dengan menggunakan metoda belah dua (*split half*). Reliabilitas tes dapat dihitung dengan menggunakan perumusan :

$$r_{11} = \frac{2r_{1_2 1_2}}{(1+r_{1_2 1_2})} \dots\dots (2)$$

Tabel 3. Kriteria Reliabilitas

Koefisien Korelasi	Kriteria Reliabilitas
0,81 < r ≤ 1,00	Sangat tinggi
0,61 < r ≤ 0,80	Tinggi
0,41 < r ≤ 0,60	Cukup
0,21 < r ≤ 0,40	Rendah
0,00 < r ≤ 0,20	Sangat Rendah

Keterangan :

r_{11} = reliabilitas instrumen

$r_{1_2 1_2}$ = korelasi antara skor – skor setiap belahan tes

Efektifitas penggunaan pembelajaran konseptual interaktif dalam pembelajaran Fisika ditinjau berdasarkan perbandingan rata-rata gain yang dinormalisasi antara yang dicapai oleh kelompok eksperimen dan yang dicapai oleh kelompok kontrol. Suatu pembelajaran dikatakan lebih efektif dari pembelajaran lainnya jika menghasilkan rata-rata nilai gain yang dinormalisasi lebih besar [2]. Peningkatan prestasi belajar siswa dalam pembelajaran konseptual interaktif dicari dengan menghitung rata-rata gain yang dinormalisasi berdasarkan kriteria efektivitas pembelajaran menurut Hake R.R. Rumus yang digunakan untuk menghitung gain yang dinormalisasi adalah :

$$g = \frac{\text{skor tes akhir} - \text{skor tes awal}}{\text{skor maksimum} - \text{skor tes awal}} \dots (3)$$

Tabel 4. Interpretasi Nilai Gain yang Dinormalisasi

Nilai <g>	Klasifikasi
$g \geq 0,7$	Tinggi
$0,7 > g \geq 0,3$	Sedang
$g < 0,3$	Rendah

Hasil dan Diskusi

Pendekatan konseptual interaktif merupakan pendekatan yang berfokus pada pemahaman konsep yang secara tidak langsung mempengaruhi ketercapaian prestasi belajar siswa. Setiap karakteristik yang dijadikan tahapan proses pembelajaran pada pendekatan tersebut mempengaruhi prestasi belajar yang diraih. Prestasi belajar dalam penelitian ini adalah hasil belajar pada aspek kognitif, yang meliputi pengetahuan (C1), pemahaman (C2), aplikasi (C3) dan analisis (C4).

Rencana perencanaan pembelajaran (RPP) yang digunakan dalam penelitian ini telah melewati proses *judgment* oleh pihak dosen dan guru mata pelajaran fisika yang berada di sekolah tempat penelitian berlangsung. Penelitian dilakukan selama tiga pertemuan. Bahasan ketiga pertemuan tersebut terdiri dari :

- Pertemuan pertama : Usaha dan Berbagai Proses dalam Termodinamika
- Pertemuan kedua : Hukum I Termodinamika
- Pertemuan ketiga : Mesin Carnot dan Hukum II Termodinamika

Hasil ujicoba instrumen tes menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan untuk penelitian kali ini memiliki rentang validitas antara 0.56 – 1.18, angka tersebut menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan berada dalam rentang kategori cukup sampai kategori sangat tinggi. Sedangkan koefisien reliabilitas instrumennya adalah 0.65 yang termasuk ke dalam kategori cukup. Instrumen tes prestasi belajar berjumlah 20 item soal. Soal-soal tersebut mewakili aspek-aspek kognitif C1 (1 soal), C2 (4 soal), C3 (8 soal), C4 (7 soal).

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh skor rata-rata pretest-posttest dan rata-rata gain yang ternormalisasi sebagai berikut :

Tabel 5. Rata-Rata Skor Tes Prestasi Belajar

Kelompok eksperimen				Kelompok kontrol			
Rata-rata		<g>	Kategori	Rata-rata		<g>	Kategori
Pretest	Posttest			Pretest	Posttest		
6.29	16.21	0.72	Tinggi	7.54	9.93	0.19	Rendah

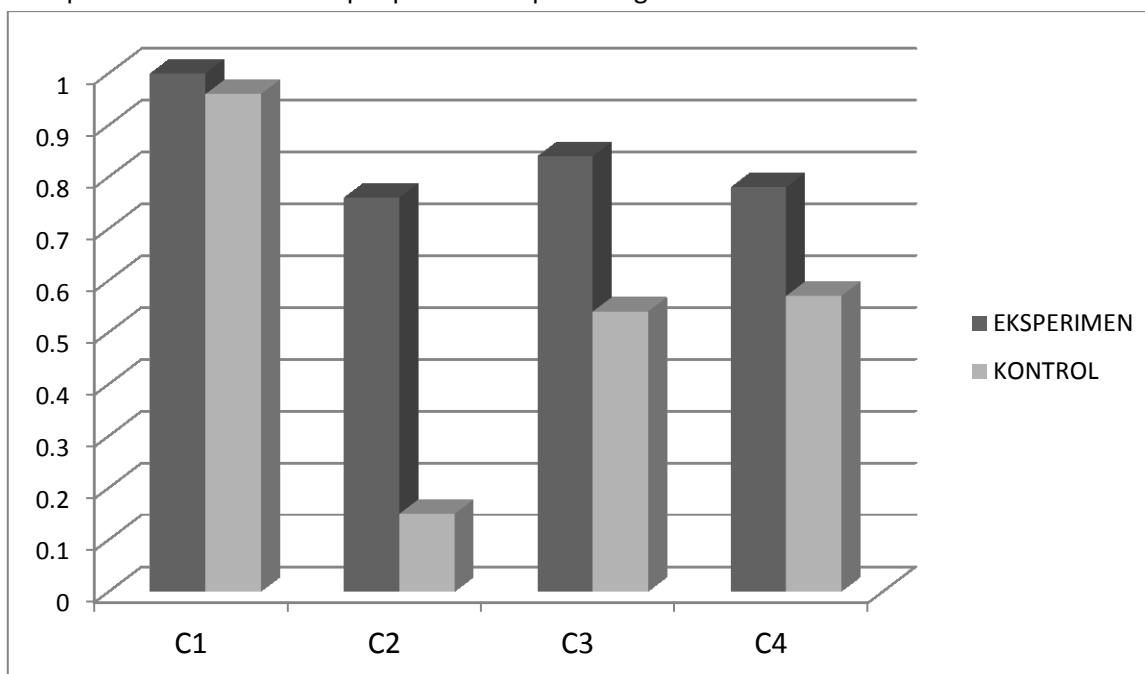
Dari perolehan data yang ditunjukkan tabel 5, dapat dilihat bahwa nilai gain ternormalisasi pada kelas eksperimen berada pada kategori tinggi, maka penerapan pembelajaran konseptual interaktif efektif dalam meningkatkan prestasi belajar siswa.

Pada tabel 6 dapat dilihat rata-rata aspek-aspek kognitif instrumen saat post-test untuk kelompok eksperimen dan kontrol setelah proses pembelajaran berlangsung.

Tabel 6. Perbandingan Rata-RataAspek Kognitif Pada *Posttest* Untuk Kedua Kelompok

Aspek Kognitif	Kelompok Eksperimen	Kelompok Kontrol
C1	1	0.96
C2	0.76	0.15
C3	0.84	0.54
C4	0.78	0.57

Gambaran rata-rata aspek-aspek kognitif tersebut dari hasil *post-test* untuk kelompok eksperimen dan kontrol dapat pula dilihat pada diagram berikut ini :



Gambar 2. Perbandingan Rata-rata Aspek Kognitif untuk Kedua Kelompok

Dari data yang diperoleh, dapat dilihat bahwa penerapan pembelajaran konseptual interaktif membuat rata-rata aspek kognitif pada kelompok eksperimen lebih tinggi daripada kelompok kontrol. Berdasarkan tabel 6 dan gambar 2, dapat dijelaskan bahwa untuk :

1. Aspek kognitif C1 memiliki selisih rata-rata kelas eksperimen dan kontrol sebesar 0.04, nilai selisih ini tidak terlalu signifikan karena C1 adalah aspek hafalan yang bisa diperoleh secara maksimal dengan metode apapun.
2. Aspek kognitif C2 memiliki selisih rata-rata kelas eksperimen dan kontrol sebesar 0.61, nilai selisih ini paling signifikan diantara aspek kognitif lainnya
3. Aspek kognitif C3 memiliki selisih rata-rata kelas eksperimen dan kontrol sebesar 0.30, selisih aspek kognitif aplikasi dapat ditepis dengan pemberian latihan soal yang sama antara kelas eksperimen dan kelas kontrol
4. Aspek kognitif C4 memiliki selisih rata-rata kelas eksperimen dan kontrol sebesar 0.21, selisih aspek kognitif analisis dapat ditepis karena kelompok eksperimen maupun kontrol diberikan multimedial pembelajaran yang sama, perbedaan terletak di aktivitas siswanya. Penyajian multimedia pembelajaran di kelas kontrol tidak disertai eksperimen virtual secara langsung sebagaimana kelompok eksperimen.

Nilai rata-rata skor aspek kognitif yang tinggi dipengaruhi oleh pendekatan yang dipakai. Pendekatan konseptual interaktif yang pada awalnya dikembangkan oleh Antti Savinainen dan Philip Scott sebagai pendekatan untuk meningkatkan pemahaman untuk konsep gerak ternyata juga dapat berlaku untuk konsep abstrak seperti termodinamika. Savinainen dan Scott mengemukakan bahwa proses pembelajaran yang interaktif dapat meningkatkan pemahaman siswa.

Tahapan *conceptual focus* pada pendekatan ini menyajikan berbagai demonstrasi dengan tujuan untuk meluruskan pemahaman awal siswa. Melalui demonstrasi disajikan sisi real dari konsep termodinamika yang hendak dibahas. Kemudian dilanjutkan dengan *classroom interaction*, sesi interaktif antara guru dan siswa sampai terbentuk satu pemahaman konsep yang sesuai. Selanjutnya bahasan abstrak dari termodinamika sangat tepat sebagai bahasan yang harus menggunakan media simulasi virtual sebagai media eksperimen virtual. Karena siswa dapat dikondisikan untuk melakukan percobaan-percobaan yang berada dalam keadaan ideal. Keadaan ideal pada sistem gas sulit untuk diperoleh jika eksperimen dilakukan secara real. Setelah rangkaian proses pembelajaran interaktif itu berlangsung, siswa diarahkan untuk merujuk pada referensi yang telah disediakan. Sehingga di akhir pembelajaran akan tertanam suatu konsep termodinamika tekstual yang telah di uji lewat eksperimen virtual. Maka dari itu, proses pembelajaran ini dapat dikatakan memiliki rangkaian yang komplisit untuk meningkatkan aspek-aspek kognitif siswa yang terintegrasi menjadi suatu prestasi belajar yang cemerlang.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian diperoleh nilai gain ternormalisasi $\langle g \rangle$ untuk kelas eksperimen adalah 0.72 dan 0.19 untuk kelas kontrol. Dari perbandingan nilai $\langle g \rangle$ antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, dapat disimpulkan bahwa penggunaan pendekatan pembelajaran konseptual interaktif lebih efektif meningkatkan prestasi belajar siswa.

Referensi

- [1] Savinainen, A & Scott, P. Using the Force Concept Inventory to Monitor Student Learning and to Plan Teaching. Dalam *Phys.Educ* [Online], Vol.37(1), 6 halaman. Tersedia : http://kotisivu.dnainternet.net/savant/FCI_monitoring.pdf [5 April 2010].
- [2] Olgiv, C. (2000). Effectiveness of different course component in driving gains in conceptual understanding, Cambridge, Internal report, Department of Physics at MIT [Online]. Tersedia : <http://relate.mit.edu/ogilvie.pdf>. [5 April 2010].
- [3] Escalda, L.T & Zollman, D.A. (1997). "An Investigation on The Effects of Using Interactive Digital Video in a Physics Classroom on Student Learning and Attitudes". *Journal of Research in Science Teaching*. 34,(5), 467-489.
- [4] Finkelstein, N. et al. (2006). High-Tech Tools for Teaching Physics: the Physics Education Technology Project. Dalam *the Journal of Online Teaching and Learning* [Online]. Tersedia : <http://jolt.merlot.org/vol2no3/shear.pdf>. [25 April 2010]
- [5] Suhandi, A. et al. (2009). Efektivitas Penggunaan Media Simulasi Virtual Pada Pendekatan Pembelajaran Konseptual Interaktif dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep dan Meminimalkan Miskonsepsi. Dalam *Jurnal Pengajaran MIPA* [Online], Vol. 13(1), 12 halaman. Tersedia : http://fpmipa.upi.edu/v3/www/jurnal/april2009/artikel%20jurnal%20pengajaran%20MIPA%20andi%20Fisika_%20revisi.pdf [5 April 2010]
- [6] Arikunto, S. (2008). *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan (Edisi Revisi)*. Yogyakarta: Bumi Aksara

- [7] Gumilar, I. (2009). *Penggunaan Media Simulasi Virtual Pada Pembelajaran Konseptual Interaktif Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Dan Meminimalkan Kuantitas Miskonsepsi Siswa Kelas X*. Skripsi pada FPMIPA UPI : tidak diterbitkan

Pengembangan Komik Sebagai Media Pembelajaran Ipa Pada Topik: Gelombang Bunyi

Hanna Nurul Husna^{1,a)}

¹*Prodi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam
Sekolah Pasca Sarjana Universitas Pendidikan Indonesia*

^{a)}hanna.nurul.husna@student.upi.edu

Abstrak

Komik sebagai media pembelajaran IPA pada topik Gelombang Bunyi telah dikembangkan. Pengembangan komik dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan fungsi komik agar tidak sekedar bersifat *entertainment* tapi juga dapat dimanfaatkan sebagai media *edutainment*. Penelitian pengembangan komik ini meliputi tahapan: analisis konten sebagai langkah awal dalam menentukan kedalaman dan keluasan materi yang sesuai dengan kebutuhan siswa; penyusunan storyboard yang mengintegrasikan ide cerita, indikator, dan konsep pembelajaran; pembuatan komik; dan evaluasi oleh ahli media dan materi. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode *research and development*, dengan data diperoleh dengan menggunakan instrumen penilaian komik berupa kuesioner bagi ahli media dan materi, dan guru, serta pertanyaan terbuka bagi siswa. Data dianalisis secara deskriptif. Untuk penilaian yang dilakukan oleh ahli media dan materi pada aspek cerita memiliki persentase rata-rata skor 85% dengan kriteria sangat baik, pada aspek komponen komik memiliki persentase rata-rata skor 91% dengan kriteria sangat baik, dan pada aspek kandungan konsep memiliki persentase rata-rata skor 75% dengan kriteria baik. Kesimpulannya adalah bahwa komik ini memiliki kriteria baik dan layak digunakan sebagai media pembelajaran IPA bagi siswa.

Kata kunci: media pembelajaran, komik, gelombang bunyi

Pendahuluan

Permendikbud No. 81A Tahun 2013 menjelaskan bahwa siswa harus memiliki kemampuan untuk secara aktif mencari, mengolah, mengkonstruksi, dan menggunakan pengetahuan dari siapa saja dan dari mana saja. Hal ini berarti bahwa saat mencari ilmu pengetahuan, siswa tidak lagi berada dalam batasan dinding-dinding kelas tapi bisa menjelajah pengetahuan dari dunia di luar kelas seperti dari media pembelajaran berupa bacaan di luar buku pelajaran dan juga internet. Karena itu, guru tidak lagi bertindak sebagai pemberi informasi tapi lebih berfungsi sebagai fasilitator pembelajaran. Seperti yang dikemukakan oleh Birisci & Metin [1] bahwa guru berperan dalam membimbing dan menolong siswa untuk menghubungkan pengetahuan awalnya dengan informasi baru. Guru pun harus bisa memberikan kesempatan bagi siswa untuk mempertanyakan, mendebat, dan menginvestigasi ide-ide yang mereka kembangkan [2]. Untuk menjembatani antara peran guru sebagai fasilitator pembelajaran dan kebutuhan siswa dalam belajar mandiri maka dalam proses pembelajaran dapat digunakan media pembelajaran. Media pembelajaran dapat membantu siswa dalam menghubungkan pengetahuan awal dengan pengetahuan yang dipelajarinya [3]. Salah satu media yang dapat digunakan siswa untuk belajar adalah komik.

Komik merupakan gambar-gambar yang disusun berjajar dan berurutan, dengan tujuan untuk menyampaikan informasi dan/atau menghasilkan respon estetis pada pembaca (McCloud, 1994). Istilah komik yang merujuk pada cerita bergambar telah dikenal di seluruh dunia dengan menggunakan berbagai istilah seperti *manhuá* dari Tiongkok, *mangá* dari Jepang, *the comic books* dari Amerika, dan *the comic magazines* dari Eropa [5].

Penggunaan komik pada pembelajaran IPA di sekolah di Indonesia merupakan hal yang baru. Banyak pihak yang memandang sebelah mata pada komik dan adanya anggapan bahwa komik merupakan ‘musuh’ bagi siswa dalam belajar. Penggunaan komik di pendidikan sendiri pertama kali diprakarsai oleh W.W. D. Sones pada tahun 1940-an dan telah digunakan dalam pembelajaran di kelas sekitar tahun 1970-an oleh guru-guru seperti R. W. Campbell, R. Schoof dan B. Brocka [6]. Sifat komik yang disukai siswa telah memunculkan gagasan untuk menambah fungsi komik sebagai media *edutainment* – media yang dapat digunakan untuk bermain sambil belajar, dan meningkatkan minat serta ketertarikan siswa untuk belajar.

Hadzigeorgiou dan Stefanich [7] menyatakan bahwa cerita merupakan metode pengajaran yang sangat berpengaruh, karena cerita membuat pembelajaran lebih kontekstual dan bermakna. Penelitian yang dilakukan oleh Nagata [8] dan Marianthi *et al.* [6] mengungkapkan bahwa penggunaan komik dalam pembelajaran, memberikan sikap yang positif dari siswa karena penggunaan komik memudahkan siswa dalam mengingat dan *me-recall* pelajaran yang diterima. Ketika guru menggunakan komik dalam menyajikan informasi-informasi ilmiah, guru membuat informasi-informasi - yang biasanya bersifat kaku - menjadi lebih familiar dengan imajinasi siswa [9].

Berdasarkan hasil penelusuran ke toko buku, peneliti menemukan bahwa terdapat komik yang dapat digunakan untuk belajar karena komik tersebut telah disisipi oleh materi pelajaran. Sayangnya komik-komik tersebut bukan buatan Indonesia melainkan hasil alih bahasa dari komik pembelajaran Korea. Setelah dianalisis, tidak diketahui dasar dari pembuatan dan pengembangan komik tersebut dan komik tersebut belum sesuai dengan Kompetensi Inti yang telah ditentukan oleh Kurikulum 2013.

Komik yang dikembangkan dalam penelitian ini dibuat berdasarkan indikator dan tujuan pembelajaran yang dirumuskan dari Kompetensi Inti Kelas VIII Kurikulum 2013 pada topik “Pendengaran dan Sistem Sonar pada Makhluk Hidup”. Pengembangan komik ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran yang dapat digunakan guru saat pembelajaran IPA dan menjadikan pembelajaran IPA yang menyenangkan bagi siswa

Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *research and design* (RnD). Topik yang dikembangkan dalam komik ini adalah topik “Pendengaran dan Sistem Sonar pada Makhluk Hidup” untuk kelas VIII pada Kompetensi Dasar 3.10 Kurikulum 2013.

Komik pendidikan sains ini dibuat dengan menggunakan langkah-langkah yang diadaptasi dari langkah-langkah pembuatan komik yang dikemukakan oleh Park *et al.* [10] dan Inziati [11] yaitu:

1. Menganalisis kurikulum IPA SMP yang berlaku.
2. Merumuskan Indikator dan Tujuan Pembelajaran yang ingin dicapai.
3. Menganalisis konsep-konsep IPA yang terkait dengan tema yang diajukan.
4. Mengembangkan *storyboard* berdasarkan tujuan pembelajaran, struktur makro, konsep-konsep esensial, dan tema cerita.
5. Pembuatan komik sesuai dengan *storyboard* yang dibuat.
6. Tahap evaluasi oleh ahli media dan konten, guru, dan siswa.
7. Tahap revisi dan uji coba.

Hasil dan Diskusi

1) Menganalisis kurikulum IPA SMP yang berlaku.

Analisis kurikulum merupakan langkah awal yang penting dalam menentukan pokok bahasan yang akan dikembangkan sebagai media pembelajaran, mengingat luas dan dalamnya cakupan materi IPA yang harus dipelajari siswa. Penulis menggunakan acuan Kurikulum 2013 dengan pertimbangan bahwa pada hakikatnya IPA merupakan mata pelajaran yang mengintegrasikan pembahasan Fisika, Kimia, Biologi. Oleh karena itu pada komik ini, fenomena yang ditampilkan akan dibahas dalam perspektif Fisika, Kimia, dan Biologi.

Langkah awal dalam tahapan analisis kurikulum IPA SMP yaitu menganalisis:

- a. Kompetensi Inti;
- b. Kompetensi Dasar;
- c. Kedudukan materi dalam kurikulum untuk mengetahui apakah materi memiliki konsep prasyarat atau tidak;
- d. Keluasan dan kedalaman materi yang akan digunakan dalam komik.

Materi untuk kelas VIII terdiri dari 11 bab, yang dibagi menjadi 6 bab di semester pertama dan 5 bab di semester kedua. Penelitian ini akan dilaksanakan pada semester genap karena itu penulis memilih materi dari 5 bab. Pengembangan komik ini akan diterapkan pada bab 9 dengan pokok bahasan "Pendengaran dan Sistem Sonar pada Makhluk Hidup" karena pada materi ini memiliki banyak fenomena dan aplikasi dalam kehidupan sehari-hari sehingga akan mudah untuk diilustrasikan dalam bentuk komik. Pokok bahasan ini pun dipilih karena tidak memiliki konsep prasyarat pada materi sebelumnya.

2) Merumuskan Indikator dan Tujuan Pembelajaran yang ingin dicapai.

Setelah analisis KI dan KD dilakukan, langkah selanjutnya adalah merumuskan indikator. Perumusan indikator akan menentukan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai dan strategi pembelajaran yang akan digunakan nantinya. Perumusan indikator dan tujuan pembelajaran pun sangat mempermudah penulis dalam menentukan tema cerita.

Komik ini akan menggunakan tema 'Musik' sebagai tema cerita karena musik merupakan aplikasi dari gelombang bunyi dan fenomena ini sering ditemukan siswa dalam kehidupan sehari-hari. Musik juga merupakan hal yang disukai siswa terutama siswa remaja. Pemilihan tema ini diharapkan akan meningkatkan motivasi dan keinginan siswa untuk tertarik dan membaca komik.

3) Menganalisis konsep-konsep IPA yang terkait dengan tema 'Musik'.

- a. Menentukan hubungan antara tema dengan sub topik pada bidang yang dipadukan;
Konsep IPA tidak dapat berdiri sendiri. Konsep IPA mengharuskan pengintegrasian dari disiplin ilmu terutama Fisika, Kimia, dan Biologi. Penulis pun mencoba untuk mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu yang terkait dengan tema 'Musik' Tabel 1 di bawah ini menguraikan matriks keterhubungan tema 'Musik' dengan sub topik pada bidang lainnya.

Tabel 1 Matriks Keterhubungan Tema dan Sub-Topik pada Bidang yang Dipadukan

Tema	Sub Topik Biologi	Sub Topik Kimia	Sub Topik Fisika	Bidang lainnya (pengayaan)
Musik	- Pita suara - Proses pendengaran pada manusia - Hewan yang memanfaatkan sonar	-	- Gelombang bunyi, - Tangga nada - Resonansi	Teknologi: - Mikrofon - <i>Walkie talkie</i> - Kapal selam

- b. Menentukan konsep-konsep esensial yang terkait tema;

Setelah indikator dan tujuan pembelajaran ditentukan, tahapan selanjutnya adalah menentukan konsep esensial terkait tema.

Tabel 2 Hubungan Indikator, dan Konsep Esensial pada Tema ‘Musik’

Indikator	Konsep
1. Menjelaskan konsep bunyi sebagai gelombang longitudinal.	Gelombang terdiri dari gelombang transversal dan gelombang longitudinal.
2. Menjelaskan karakteristik gelombang bunyi.	Frekuensi, amplitudo, panjang gelombang, cepat rambat bunyi, tingkat kenyaringan, pantulan bunyi.
3. Menjelaskan bagaimana gelombang bunyi dihasilkan.	Gelombang bunyi dihasilkan oleh benda-benda yang bergetar seperti pita suara dan alat musik.
4. Menentukan aplikasi bunyi pada teknologi dalam kehidupan sehari-hari.	Aplikasi bunyi dalam kehidupan sehari-hari: mikrofon, <i>walkie talkie</i>
5. Membedakan bunyi infrasonik, audiosonik, dan ultrasonik.	Bunyi audiosonik, bunyi infrasonik, dan bunyi ultrasonik.
6. Menjelaskan proses mendengar pada manusia.	Proses mendengar pada manusia.
7. Menentukan kecepatan perambatan gelombang bunyi melalui berbagai medium.	Gelombang dapat merambat melalui zat padat, cair, gas
8. Menjelaskan pemantulan bunyi dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari.	Aplikasi pemantulan bunyi: gaung, gema
9. Mendeskripsikan sistem sonar pada hewan.	Ekolokasi
10. Mengaitkan prinsip kerja sistem sonar pada hewan dengan teknologi manusia.	Aplikasi sonar pada hewan dan teknologi manusia: kapal selam.

c. Menentukan struktur makro materi.

d. Menentukan sumber rujukan konsep-konsep IPA dalam komik.

Konsep-konsep dalam komik ini dirujuk dari berbagai sumber, yaitu:

1. Glencoe Science – Waves, Sounds, and Light
2. Glencoe Science – Level Blue, Chapter 24 Waves, Sounds, and Light
3. Science Dimension 1 – Chapter 4 Heat, Light, and Sound
4. BSE IPA Kelas 8
5. Conceptual Integrated Science

Sumber-sumber rujukan ini digunakan karena memiliki penjelasan yang mudah dipahami, ilustrasi konten yang konkrit dan tepat, serta sesuai dengan tujuan pembelajaran yang diinginkan.

- 4) Mengembangkan *storyboard* berdasarkan tujuan pembelajaran, struktur makro, konsep-konsep esensial, dan tema cerita.

Dialog	Indikator Pembelajaran dalam Komik	Konsep IPA	Penekanan Gambar terkait Konsep
<p>Cerita 1:</p> <p>[Latar: Rumah saudagar kaya, Mat Solar yang penuh dengan hiruk pikuk orang-orang yang hendak melihat kompetisi]</p> <p>Pak Zoe : "Ada acara apa ini? Mengapa orang-orang berkumpul disini?"</p> <p>Zeboo : "Ada pembagian makanan kah? Asyiiikkk, aku mau bapao" (muka ngiler)</p> <p>Pak Zoe : "Makan saja dipikiranmu itu, tuh lihat! Disana ada pengumuman"</p> <p>(PENGUMUMAN : Disini sedang diadakan kompetisi menyanyi untuk memperbutkan putri Mat Solar. Makan gratis akan diberikan setelah kompetisi selesai)</p> <p>Zeboo : "Tuuuuuhhh kan, aku bilang apa, ada makan gratis.. BANZAAAIII!" (sambil berlari ke arah panggung)</p>			
<p>[Tiba-tiba terdengar pengeras suara]</p> <p>Panitia : "Ya, mari kita sambut peserta ke 49... Bangbara!!!!"</p> <p>[Orang yang bernama Bangbara maju ke panggung, dan mulai bernyanyi] (gemuruh tepuk tangan: PLOK PLOK PLOK)</p> <p>Bangbara : "NNNggggg S... ssakiiittt nyyyaaaaa tuh disini (ekspresi pede, suara menggelegar dan menyengat, sambil bergoyang)</p> <p>[Semua penonton menutup telinga menahan sakit karena suaranya yang tinggi dan tidak enak di dengar, kemudian ada sorak: "TURUN! TURUN! TURUN! HUUUUU"]</p> <p>Penonton 1 : "Suaranya ketinggian!"</p> <p>Penonton 2 : "Fals"</p> <p>Penonton 3 : "Sudah sudah kami tidak kuat lagi menahan derita ini" (bercucuran air mata)</p> <p>Zeboo : (sambil menutup telinga dan memejamkan mata) "Kenapa suara nyanyiannya seperti ituuu"</p> <p>Pak Zoe : "Suaranya? Tentu ia bisa bernyanyi karena pita suaranya"</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menjelaskan konsep bunyi sebagai gelombang longitudinal. 2. Menjelaskan karakteristik gelombang bunyi. 3. Menjelaskan bagaimana gelombang bunyi dihasilkan. 11. Merumuskan pertanyaan-pertanyaan yang berkaitan dengan 	<ul style="list-style-type: none"> • Proses bagaimana suara dihasilkan • Suara bunyi sebagai gelombang longitudinal. • Karakteristik gelombang longitudinal. • Tangga nada • <i>Pitch</i>/tinggi nada. • Keras lemah nada. 	<p>Bangbara menyanyi dengan suara tinggi dan fals. Penonton, Pak Pak Zoe dan Zeboo menutup telinga, menahan rasa sakit akibat nyanyian Bangbara.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gambar pola suara dan pola musik • Gambar rapatan dan renggangan • Gambar satu gelombang • Gambar tangga nada

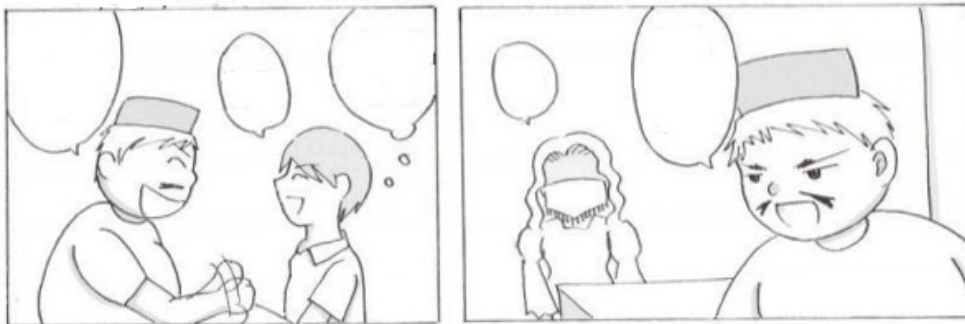
Gambar 1. *Storyboard* yang dikembangkan dengan tema "Musik"

- 5) Pembuatan komik sesuai dengan *storyboard* yang dibuat.
- a. Membuat karakter berdasarkan deskripsi cerita,



Gambar 2. Ilustrasi karakter berdasarkan deskripsi cerita

- b. *Panelling* : membuat panel untuk rancangan gambar komik,
- c. Membuat sketsa ilustrasi gambar yang merepresentasikan adegan dan dialog pada panel yang telah dibuat,



Gambar 3. Sketsa ilustrasi gambar sebelum diberi teks deskripsi cerita

- d. Mempertebal sketsa dengan menggunakan *Drawing Pen*,

- e. Gambar yang telah dipertebal kemudian di-*scan* dan di-*edit* menggunakan Adobe Photoshop untuk mengisi teks dialog, memberikan efek, dan *finishing*. Komik menggunakan *font* Anime Ace 2.0 dengan ukuran huruf 12 dengan ukuran kertas A5 mode *Portrait*. Penggunaan ukuran kertas dan *font* tersebut dimaksudkan untuk membuat pembaca familiar dengan bentuk komik dan huruf yang biasa pembaca temukan pada komik.
- 6) Tahap evaluasi oleh ahli media dan konten, guru, dan siswa

Setelah komik selesai dibuat, tahapan selanjutnya adalah tahap evaluasi. Komik ini dievaluasi oleh ahli media dan konten serta guru.

- a. Evaluasi oleh ahli media dan konten

Media komik dinilai oleh dua dosen yang ahli dalam media dan konten serta satu orang ahli media dan multimedia yang ketiganya berlatar belakang pendidikan Fisika dan pendidikan Biologi. Penilaian menggunakan kuesioner dengan menggunakan skala Likert dalam rentang penilaian 1 sampai 3 dan/atau 4 dan disertai dengan kolom uraian yang menunjukkan saran perbaikan untuk komik tersebut. Kuesioner skala Likert dinilai berdasarkan rubrik penilaian yang diadaptasi dari buku, jurnal dan beberapa penelitian tentang pembuatan dan penggunaan komik di kelas.

Penilaian yang dilakukan oleh ahli media meliputi aspek penilaian: cerita komik dan komponen komik. Pada aspek cerita komik, indikator penilaian terkait dengan kesesuaian alur cerita dengan *storyboard*, penggunaan kata-kata, kejelasan teks, kesesuaian dengan fenomena dalam kehidupan sehari-hari, aspek humor, ilustrasi dan gambar cerita, ketertarikan dan pengalaman berbeda bagi siswa, serta kemungkinan penggunaannya pada pelajaran IPA. Pada penilaian ahli media, komik ini mendapat presentase rata-rata skor 85%. Berdasarkan kriteria interpretasi skor yang telah ditetapkan (Riduan dalam [12]) maka kriteria penilaian untuk komik ini adalah "Sangat Baik". Penilaian kriteria ini sangat baik disebabkan karena komik ini menggunakan bahasa dan kata-kata yang sesuai dengan bahasa anak umur 13-14 tahun, komik ini menggunakan ilustrasi gambar yang baik, memberikan pengalaman yang berbeda bagi siswa dalam membaca komik, dan membangkitkan rasa ingin tahu siswa terhadap konsep IPA. Terkait dengan aspek cerita komik ahli media memberikan saran dan revisi berupa: penggunaan bahasa Indonesia untuk istilah yang ditampilkan dengan menggunakan bahasa Inggris, penggunaan ilustrasi yang lebih banyak pada saat pembahasan konsep apalagi untuk konsep yang abstrak.

Pada aspek penilaian komponen komik, indikator penilaian terkait dengan format komik, alur cerita, frame, ilustrasi karakter, ilustrasi cerita, dan originalitas cerita. Pada penilaian aspek komponen komik, komik ini mendapat presentase rata-rata skor 91% dengan kriteria "Sangat Baik". Penilaian sangat baik disebabkan karena menggunakan format komik yang sesuai dengan *storyboard*, ilustrasi yang digunakan tepat, serta memiliki nilai originalitas. Ahli media juga memberikan saran terkait aspek penilaian komponen komik saran dan revisi berupa: penggunaan teks tambahan untuk ilustrasi konsep yang ditampilkan. Ahli menilai bahwa terdapat beberapa ilustrasi konsep yang sangat memerlukan tambahan penjelasan agar pembaca memahami makna dari ilustrasi konsep yang ditampilkan.

Penilaian pada aspek kandungan konsep IPA pada komik meliputi indikator penilaian: keterkaitan tema dengan KD dan indikator, konsep yang mudah dipahami pembaca, konsep yang terintegrasi, miskonsepsi, dan ketepatan ilustrasi konsep. Komik ini memperoleh presentase rata-rata skor 74% dengan kriteria "Baik". Ahli konten juga memberikan saran dan revisi berupa: perlunya penambahan ilustrasi konsep, terdapat beberapa konsep yang penting

tapi tidak ditampilkan, konsep Biologi yang kurang menonjol, disiplin ilmu lainnya kurang terintegrasi dengan baik.

Tabel 3 Presentase Rata-rata Skor Penilaian Komik

Aspek	Presentase Rata-rata Skor	Kriteria
Cerita	85%	Sangat Baik
Komponen komik	91%	Sangat Baik
Kandungan konsep	74%	Baik

Penilaian yang dilakukan oleh para ahli ini bukanlah penilaian mutlak yang digunakan sebagai tolak ukur yang pasti mengenai komik ini. Penilaian ini digunakan sebagai acuan dan saran perbaikan komik agar komik menjadi lebih baik dalam segi cerita dan sesuai dengan indikator dan tujuan pembelajaran yang diharapkan, serta dapat digunakan sebagai masukan agar komik ini dapat diterima siswa dan dapat digunakan dalam pembelajaran IPA di kelas.

b. Evaluasi oleh guru

Tahapan selanjutnya adalah penilaian guru. Komik dinilai oleh seorang guru IPA. Instrumen yang digunakan adalah kuesioner dengan bentuk pertanyaan terbuka. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk mengetahui bagaimana pandangan dan pendapat guru mengenai struktur komik, konten yang terdapat dalam komik serta kesesuaiannya dengan kompetensi dasar, ketepatan ilustrasi yang digunakan, dan penggunaannya dalam pembelajaran IPA.

Secara umum, menurut pendapat guru komik ini menarik dan konten materinya pun sudah sesuai dengan KD yang digunakan. Menurut pendapat guru bahwa komik ini dapat digunakan dalam pembelajaran di kelas, dan jika dihubungkan dengan membangkitkan rasa ingin tahu, guru berpendapat bahwa rasa ingin tahu akan muncul seiring dengan penggunaan komik dalam pembelajaran.

7) Tahap Revisi dan Uji Coba

Setelah komik dinilai oleh ahli dan juga guru, tahapan selanjutnya adalah revisi. Berdasarkan saran yang diberikan oleh para ahli dan guru, maka penulis melakukan beberapa revisi, yaitu

Tabel 4 Revisi Komik Pendidikan Sains

No.	Hasil Revisi
1.	Penggunaan bahasa Indonesia untuk istilah berbahasa asing yang belum diubah.
2.	Penghapusan kata yang kurang etis dan tidak bermakna.
3.	Perbaikan teks materi konsep.
4.	Penambahan konsep-konsep esensial.
5.	Penambahan ilustrasi konten.
6.	Perbaikan miskonsepsi.
7.	Ilustrasi yang tidak terlalu penting dibuang.

Setelah revisi dilakukan, maka tahapan selanjutnya adalah tahapan uji coba. Uji coba dilakukan pada siswa karena siswa merupakan objek utama dari penggunaan komik ini di kelas dengan tujuan untuk melihat bagaimana respon siswa saat membaca komik ini dan bagaimana keterbacaan cerita dan konten materinya. Tahapan uji coba ini melibatkan 6 siswa yang telah mempelajari materi 'Bunyi dan Pendengaran'. Instrumen yang digunakan adalah kuesioner dalam bentuk pertanyaan terbuka. Mereka diminta untuk merespon tujuh pertanyaan berkaitan dengan karakter, keterbacaan cerita,

pesan moral yang ditangkap, keterbacaan konten materi, motivasi siswa untuk belajar menggunakan komik dan kemungkinan penggunaan komik pada pembelajaran IPA.

Pertanyaan pertama berkaitan dengan tokoh dan karakter komik. Semua responden siswa dapat menentukan tokoh meskipun ada beberapa siswa yang tidak menyebutkan karakternya. Hal yang dapat dicermati dari poin ini adalah bahwa siswa memahami tokoh, karakter, beserta peran yang akan tokoh-tokoh tersebut mainkan.



Gambar 4. Komik Pembelajaran IPA: Pak Zoe dan Zeboo – Tongtong dan Seruling Ajaib

Pertanyaan kedua berkaitan dengan alur cerita. Pada pertanyaan ini, siswa diminta untuk menuliskan adegan dan percakapan tokoh yang paling mereka ingat. Tujuan dari diajukan pertanyaan ini adalah untuk mengetahui adegan mana yang paling siswa ingat karena dengan mengingat suatu adegan maka hal ini menunjukkan bahwa ilustrasi tersebut telah berhasil menarik perhatian siswa dan dimaknai oleh siswa sebagai pembaca.

Pertanyaan ketiga berkaitan dengan pesan yang ditangkap oleh pembaca. Hal ini penting untuk ditanyakan dan diketahui karena bacaan yang baik adalah bacaan yang dapat menyampaikan pesan kepada pembacanya dan pembaca memahaminya. Dari keenam responden, jawaban yang diberikan bervariasi. Ada yang menyampaikan tentang pesan moral, tentang manfaat yang dapat diperoleh dari membaca komik, tentang aplikasi dari konsep dalam kehidupan sehari-hari, dan tentang pengalaman yang berbeda saat membaca belajar sambil membaca komik

Pertanyaan keempat diajukan untuk mengetahui bagaimana kemampuan komik untuk membelajarkan pembaca. Mereka menjawab bahwa mereka dapat belajar IPA dengan menggunakan komik ini. Beberapa alasan yang dikemukakan menyatakan bahwa konsep IPA yang terdapat dalam komik ini mudah dipahami, belajar IPA dengan menggunakan komik merupakan hal yang mengasyikkan dan membuat siswa tidak bosan membacanya.

Pertanyaan kelima diajukan untuk mengetahui apakah konsep IPA yang terdapat dalam komik ini dapat diingat oleh pembaca. Ada siswa yang mengingat nama konsepnya saja sehingga ia hanya menuliskan nama-nama konsep. Ada siswa yang menggambarkan konsepnya. Ia mengingat sebuah gambar dan menjelaskan makna dari gambar tersebut. Ada juga siswa yang mengingat rumus yang ia temukan dalam komik ini. Komik pembelajaran akan berguna jika pembaca mengingat konsep yang terdapat di dalamnya. Hal ini menunjukkan bahwa ilustrasi dan teks materi konten tepat dan komik pembelajaran bekerja sesuai dengan apa yang diharapkan.

Pertanyaan keenam berkaitan dengan motivasi dan rasa ingin tahu siswa untuk belajar IPA dengan menggunakan komik. Beberapa responden setuju bahwa belajar IPA dengan menggunakan

komik membangkitkan motivasi dan rasa ingin tahu siswa. Mereka berpendapat bahwa membaca komik sambil belajar IPA merupakan hal menarik bagi mereka karena dengan ditampilkannya ilustrasi konsep membuat konsep menjadi lebih mudah dipahami dan belajar pun menjadi lebih menarik. Tapi ada juga yang berpendapat bahwa membaca komik sambil belajar tidak terlalu membangkitkan rasa ingin tahunya mengingat bahwa gelombang merupakan materi yang cukup sulit. Hal ini memang dapat dimengerti. Tidak semua orang suka komik dan suka membaca, dan topik yang disampaikan pun sangat berpengaruh. Konten materi yang terlalu berbobot tentu akan membuat siswa kurang tertarik. Oleh karena itu, komik ini dibuat hanya sebagai bahan ajar yang berfungsi untuk memperkenalkan konsep kepada siswa, menjadi pelengkap materi yang disampaikan oleh guru, dan meningkatkan ketertarikan siswa untuk belajar IPA.

Pertanyaan ketujuh berkaitan dengan pengalaman yang dirasakan siswa saat membaca komik. Semua responden sepakat bahwa membaca komik ini memberikan pengalaman yang berbeda bagi siswa saat belajar IPA. Siswa menganggap bahwa belajar IPA dengan dibungkus komik menjadikan kegiatan belajar menjadi menyenangkan.

Kesimpulan

Berdasarkan temuan penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Komik yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan langkah-langkah: menganalisis kurikulum IPA SMP yang berlaku; merumuskan indikator dan tujuan pembelajaran yang ingin dicapai; menganalisis konsep-konsep IPA yang terkait dengan tema yang diajukan; mengembangkan *storyboard* berdasarkan tujuan pembelajaran, struktur makro, konsep-konsep esensial, dan tema cerita; pembuatan komik sesuai dengan *storyboard* yang dibuat; tahap evaluasi oleh ahli media dan konten, guru, dan siswa; tahap revisi dan uji coba.
2. Pada pengembangan komik yang akan digunakan sebagai media pembelajaran IPA menggunakan tema 'Musik' dengan memadukan disiplin ilmu Biologi, Fisika, dan bidang lainnya yaitu Teknologi.
3. Indikator yang dikembangkan dari kompetensi dasar menentukan konsep-konsep esensial. Komik ini menggunakan 10 indikator sehingga dikembangkan 10 konsep esensial.
4. Pengembangan storyboard ditentukan oleh indikator, tujuan pembelajaran, struktur makro, konsep esensial, dan tema cerita.
5. Komik dinilai oleh ahli pada aspek cerita komik mendapat presentase rata-rata skor 85% dengan kriteria "Sangat Baik". Untuk aspek komponen komik, mendapat presentase rata-rata skor 91% dengan kriteria "Sangat Baik". Dan untuk aspek kandungan konsep IPA mendapat presentase rata-rata skor 74% dengan kriteria "Baik".

Referensi

- [1] Birisçi, S., & Metin, M. (2010). Developing an instructional material using a concept cartoon adapted to the 5E model: A sample of teaching erosion. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(1).
- [2] Kabapinar, F. (2005). Effectiveness of Teaching via Concept Cartoon from the Point of View of Constructivist Approach. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 5(1), 135-146.
- [3] Rundgren, C., Hirsch, R., Rundgren, S., & Tibell, L. (2012). Students' Communicative Resource in Relation to Their Conceptual Understanding-The Role of Non-Conventionalized Expressions in Making Sense of Visualizations of Protein Function. *Research of Science Education*, 42, 891-913.
- [4] McCloud, Scott. (1994). *Understanding Comics*. New York: HarperCollins.

- [5] Arroio, A. (2011). Comics as Narrative in Natural Science Education. *Western Anatolia Journal of Educational Sciences*, 93-98.
- [6] Marianthi, V., Boloudakis, M., Retalis S. (2007). From Digitised Comic Books To Digital Hypermedia Comic Books: Their Use In Education. [Artikel, University of Pirraeus]. Retrieved from: <http://www.comicstripcreator.org/files/papers/DigitalHypermediaComics.pdf>
- [7] Hadzigeorgiou, Y., Schulz, R. M., (2000). Romantic Science: Its Essence and Possible Contribution to Science Education Today. Retrieved from: <http://archive.ihpst.net/2013/Procs/Hadzigeorgiou-Schulz.pdf>.
- [8] Nagata, Ryoichi. (1999). Learning Biochemistry Through Manga, Helping Students Learn And Remember, And Making Lectures More Exciting. *Biochemical Education*, 27, 200-203.
- [9] Rota, G., & Izquierdo, J. (2003). "Comics" as a tool for teaching biotechnology in primary schools. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6 (2).
- [10] Park, J. S., Kim, D. H., & Chung, M. S. (2011). Anatomy Comic Strips. *Anatomical Science Education*, 275-279. DOI 10.1002/ase.224.
- [11] Inziati, Ifa Ambarita (2013). The Development Of Science Comic On Light Topic For Junior High School. [Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia, 2013].
- [12] Indrayani, R. (2014). Penggunaan Komik IPA Terpadu untuk Meningkatkan Penguasaan Konsep dan Retensi Siswa [Tesis, Universitas Pendidikan Indonesia, 2014].

Menentukan Peluang dan Periode Ulang Gempa Dengan Magnitude Tertentu Berdasarkan Model *Guttenberg - Richter*

Tati Zera^{1,a)}

¹Prodi Fisika, FST UIN Syarif Hidayatullah, Jln. Ir. H. Juanda no. 95 Ciputat, Jakarta

^{a)}email: tati_zera@uinjkt.ac.id

Abstrak

Salah satu model sederhana prediksi gempa bumi yang dibangun berdasarkan hubungan magnitudo (kekuatan gempa) dengan frekuensi kumulatif kejadiannya adalah model yang mengacu pada persamaan Guttenberg - Richter. Telah dilakukan pengujian terhadap model tersebut dengan suatu simulasi penentuan peluang dan periode ulang gempa dengan kekuatan tertentu. Eksekusi model terhadap 204 data gempa bumi dengan magnitudo ≥ 5 SR dan kedalaman pusat gempa < 100 Km yang terjadi selama Januari 1910 sampai Januari 2010 di wilayah Barat pulau Jawa dengan batas Geografis 6° – 8° LS dan 105° – 109° BT, menunjukkan bahwa gempa dengan kekuatan yang lebih kecil mempunyai periode ulang yang lebih singkat dan peluang terjadinya lebih besar. Sedangkan gempa dengan kekuatan lebih besar mempunyai periode ulang lebih panjang dan peluang terjadinya lebih kecil. Pengujian terhadap data tersebut juga menghasilkan nilai *indeks seismisitas* $a = 0.06 - 1.38$ dan nilai *kerentanan batuan* b sebesar $0.63 - 1,19$ yang menggambarkan resistensi daerah tersebut terhadap kejadian gempa. Periode ulang (100 tahun) terbesar = 99,9% berada pada wilayah 3 dengan periode ulang 19 tahun dan indeks seismisitas gempa terbesar terbesar 1,38

Kata kunci : *Earthquake Prediction, Guttenberg-Richter, seismicity index, rock resistance.*

Pendahuluan

Bagian Barat pulau Jawa yang terbentang pada wilayah 6° – 8° LS dan 105° – 109° BT merupakan bagian wilayah kepulauan Indonesia yang terletak pada lempeng tektonik Samudera Hindia-Australia yang bergerak ke utara dengan kecepatan 70 mm pertahun dan menunjam di bawah bagian lempeng tektonik Benua Eurasia. Lokasi ini menjadi daerah dengan tingkat aktivitas gempabumi yang cukup tinggi. Dalam kerangka geotektonik, wilayah ini dikelompokkan menjadi empat zona utama patahan. Zona-zona patahan tersebut adalah zona patahan Cimandiri dan zona patahan Lembang yang berjurus Timur Laut-Barat Daya serta zona patahan Baribis dan zona patahan Cilacap-Kuningan yang berjurus Barat Laut-Tenggara.

Berdasarkan fakta yang ada, di bagian Barat pulau Jawa Barat memiliki sejarah panjang gempabumi merusak, diantaranya adalah gempabumi Kuningan tahun 1875, gempabumi Tasikmalaya tahun 1979, gempabumi Majalengka tahun 1990, gempabumi Sukabumi tahun 2000, 633, gempabumi Gunung Halu 2005, gempabumi dan Tsunami Pangandaran tahun 2006.

Dari tinjauan tektonik dan distribusi kegempaan dapat dilihat secara umum wilayah Jawa bagian Barat mempunyai peluang terjadinya gempabumi tektonik yang tinggi, namun dengan metode statistik akan dapat diketahui secara numerik tingkat kegempaan, indeks seismisitas,

probabilitas terjadinya gempabumi, dan periode ulang kejadian gempabumi untuk magnitude tertentu. Peluang terjadinya gempabumi dengan kekuatan yang sama yang pernah terjadi di suatu daerah tertentu juga dapat diperkirakan, sehingga dapat diminimalisir kerusakan yang mungkin terjadi.



Gambar 1. Zona patahan aktif di wilayah Jawa bagian Barat

Berdasarkan formulasi Gutenberg-Richter (1) suatu daerah dapat dikatakan memiliki tingkat aktivitas gempabumi yang tinggi jika nilai b nya kecil. Nilai b berkaitan langsung dengan karakteristik tektonik dari setiap wilayah dan menunjukkan parameter seismotektonik pada daerah tersebut yang berhubungan dengan kerentanan batuan. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan *indeks seismisitas a, nilai b, peluang terjadinya gempa dengan magnitude tertentu serta periode ulangnya* berdasarkan persamaan Gutenberg-Richter dengan dukungan fakta dan data historis kejadian gempa bumi merusak sejak Januari 1910 sampai Januari 2010 (100 tahun).

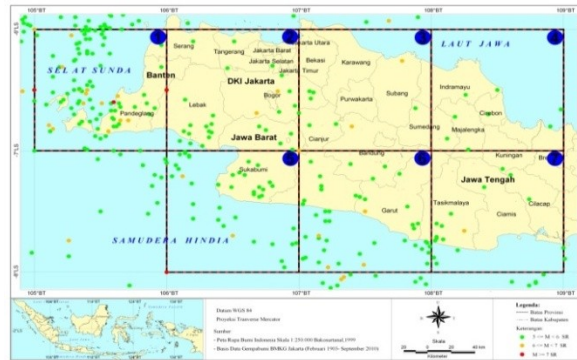
Metode Penelitian

Parameter seismotektonik suatu wilayah dapat diketahui dari relasi Gutenberg-Richter atau hubungan *magnitude-frekuensi* (Gutenberg and Richter, 1942) yang dituliskan sebagai

$$\text{Log } N(M) = a - bM \quad (1)$$

dimana $N(M)$ adalah jumlah gempabumi dengan magnitude M , a dan b adalah konstanta, dimana nilai a merupakan parameter seismik atau indeks seismisitas yang besarnya bergantung pada banyaknya gempa dan untuk wilayah tertentu. Nilai b merupakan parameter tektonik yang menunjukkan karakteristik seismotektonik wilayah tersebut.

Data yang digunakan pada penelitian adalah data gempabumi yang terjadi di wilayah dengan batas geografis 6° - 8° LS dan 105° - 109° BT dengan magnitude ≥ 5 dan kedalaman pusat gempabumi ≤ 100 km, (gempa dangkal) yang berjumlah sebanyak 204 kejadian gempa. Agar lebih spesifik dan terperinci maka wilayah penelitian tersebut dibagi menjadi 7 wilayah. Gambaran seismisitas dan pembagian wilayah penelitian di tunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Peta seismisitas dan pembagian wilayah penelitian

Dua parameter seismotektonik yang sering digunakan dalam menganalisa berbagai hal menyangkut gempa bumi adalah **indeks seismisitas a** yang menunjukkan intensitas kejadian gempa bumi di suatu daerah tertentu dan **nilai b** yang menunjukkan nilai kerentanan batuan. Dalam formulasi Gutenberg – Richter, nilai **a** dan **b** merupakan konstanta dalam hal ini ditentukan dengan *metode likelihood maksimum* yang telah diformulasikan oleh Utsu (1967), yaitu

$$\hat{b} = \frac{\log e}{M - M_0} \quad 2)$$

Dimana $e = 2,71828$, \bar{M} adalah magnitudo rata-rata dan M_0 adalah magnitudo minimum. Selanjutnya perhitungan nilai indeks seismisitas a , ditentukan dengan menggunakan formula berikut

$$a = \log N(M > M_0) + \log(\hat{b} \ln 10) + M_0 \hat{b} \quad 3)$$

Perhitungan probabilitas (peluang) terjadinya gempa (P) dengan magnitudo M untuk beberapa nilai waktu T yaitu 10 tahun, 30 tahun, 50 tahun dan 100 tahun dengan formula berikut :

$$P(M, T) = 1 - e^{-N_1(M)T} \quad 4)$$

Sedangkan perhitungan periode ulang (\bar{T}) kejadian gempabumi merusak didapatkan dengan menggunakan formula :

$$\bar{T} = \frac{1}{N, M} \quad 5)$$

dengan N adalah jumlah kejadian gempa bumi dengan magnitudo M.

Hasil dan Pembahasan

Dengan menggunakan metode Likelihood Maksimum sebagaimana yang telah dibahas dan diuraikan diatas, diperoleh nilai **a** (indeks seismisitas) dan **b** untuk ke tujuh grid wilayah sebagaimana pada gambar 2, diperoleh hasil sebagai berikut;

Tabel 1. Hasil pernilai indeks seismisitas **a** dan **b**.

Wilayah	a	b
1	6.34	0.85
2	6.45	0.96
3	5.45	0.63
4	7.22	1.19
5	7.86	1.18
6	7.88	1.19
7	5.99	0.90

Nilai **b** (kerentanan batuan)

Tabel 1. Menunjukkan bahwa **a** mempunyai nilai dalam rentang 5,45 – 7,88 dan nilai **b** berkisar 0.63 - 1.19. Harga **b** berhubungan dengan sifat kerentanan batuan. Nilai **b** besar berarti kondisi batuan di daerah tersebut rentan terhadap resiko gempa bumi. Dan sebaliknya jika nilai **b** kecil berarti bahwa batuan di daerah tersebut kurang rentan terhadap resiko gempa bumi. Dari tabel 1. nilai terendah **b** terdapat pada wilayah 3 dengan nilai 0.63 yang berarti bahwa wilayah 3 lah yang mempunyai kerentanan batuan terendah dibanding wilayah lainnya dan berarti bahwa wilayah 3 mempunyai resiko kerentanan batuan yang terendah. Dan nilai terbesar **b** (1.19) berada pada wilayah 4 dan 6. Artinya wilayah 4 dan 6 adalah wilayah yang mempunyai tingkat stress yang tinggi dan yang mempunyai potensi resiko gempa yang tinggi juga di banding wilayah lainnya. Namun jika dilihat dari data pada tabel 2, wilayah ini memiliki frekuensi gempa yang paling kecil di banding wilayah lainnya. Hal ini dimungkinkan karena nilai **b** yang diperoleh pada penelitian ini tidak bergantung pada aktifitas kegempaan pada daerah pengamatan karena nilai **b** yang rendah pada wilayah tersebut disebabkan oleh akumulasi stress yang belum dilepaskan.

Indeks Seismisitas

Untuk menghitung jumlah rata-rata gempabumi pertahun dengan magnitudo tertentu digunakan nilai indeks seimisitas (**a**). Nilai **a** untuk distribusi kumulatif ditentukan dengan metode likelihood maksimum dengan menghitung indeks seismisitas gempa bumi dengan $M \geq 5$. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 2. Perbandingan parameter aktifitas seismik dan indeks seismisitas tiap wilayah

Wilayah	a_1	a'	a'_1	$N_1^{(M \geq 5)}$
1	4.34	6.05	4.05	0.63
2	4.45	6.11	4.11	0.20
3	3.45	5.29	3.29	1.38
4	5.22	6.79	4.79	0.06
5	5.86	7.43	5.43	0.33
6	5.88	7.45	5.45	0.31
7	3.99	5.68	3.68	0.15

Indeks seismisitas merupakan normalisasi dari jumlah gempabumi pertahun. Daerah dengan indeks seismisitas tinggi merupakan rawan bencana gempa bumi. Hasil perhitungan indeks seismisitas pertahun untuk 7 wilayah berkisar antara 0.06 s/d 1.38, dimana untuk wilayah 3 memiliki

indeks seismisitas lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya yaitu sebesar 1.38. Sedangkan wilayah 4 memiliki indeks seismisitas lebih kecil dibandingkan wilayah lainnya yaitu sebesar 0.06.

Probabilitas Kejadian Gempabumi

Untuk menghitung besar peluang terjadinya gempabumi diambil periode $T=10, 30, 50,$ dan 100 . Sedangkan magnitudo yang dipilih adalah $M \geq 5$ SR dengan asumsi gempa tersebut berpotensi merusak. Parameter yang dihitung sebagai indeks seismisitas akan memberikan kemudahan bagi kita untuk mengetahui kemungkinan terjadinya paling sedikit satu kali terjadi gempa besar (merusak) di suatu daerah dalam jangka waktu tertentu.

Hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 4 (besarnya peluang) dan 5 (periode ulang), untuk masing –masing wilayah dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Probabilitas kejadian gempa untuk periode T (tahun) dan nilai rata-rata periode ulang gempa merusak pada tiap wilayah

Wilayah	Indeks Seismisitas	T=10 Thn (%)	T=30 Thn (%)	T=50Thn (%)	T=100Thn (%)	Θ (Tahun)
1	0.019	17.4	43.5	61.4	85.1	53
2	0.012	88.6	30.3	45.2	69.8	83
3	0.054	41.8	46.3	93.3	99.6	19
4	0.004	4	11.4	18.2	33	250
5	0.004	4	11.4	18.2	33	250
6	0.004	4	11.4	18.2	33	250
7	0.015	14.4	36.3	52.8	77.7	67

Periode ulang yang pendek mengindikasikan seringnya kejadian gempa bumi pada suatu wilayah dan sebaliknya periode ulang yang panjang menunjukkan gempa bumi jarang sekali terjadi. Periode ulang yang pendek ini akan berkorelasi dengan harga indeks seismisitas yang tinggi dan mengindikasikan tingginya frekuensi kejadian gempa bumi di daerah tersebut. Demikian juga sebaliknya. Hasil perhitungan pada semua wilayah memperlihatkan bahwa periode ulang paling singkat adalah 19 tahun pada wilayah 3 dengan nilai indeks seismisitas 0.054 (tertinggi) dan paling lama 250 tahun pada wilayah 4, 5, dan 6 dengan indeks seismisitas 0,004 (terendah). Peluang terjadinya gempa merusak tertinggi berada pada periode ulang $T = 100$ tahun dengan peluang 99.6 % yang artinya dalam waktu seratus tahun pasti terjadi gempa bumi merusak. Dengan memperhatikan harga peluang terjadinya gempa bumi yang tinggi pada wilayah 4 dan harga indeks seismisitasnya yang tertinggi, dapat dikatakan bahwa daerah paling beresiko mengalami gempa bumi merusak adalah wilayah 4.

Kesimpulan

Dari hasil analisa data gempa dari periode Februari 1910 s/d September 2010 dengan menggunakan metode likelihood maksimum untuk daerah Jawa bagian Barat dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan nilai b untuk 7 wilayah dengan $M \geq 5$ SR nilainya berkisar antara 0.63 - 1.19 dengan indeks seismisitas pertahun 0.06 - 1.38.
2. Peluang terbesar kejadian gempa berada pada wilayah 3 untuk periode 100 tahun sebesar 99.9% dengan periode ulang gempa tercepat yaitu 19 tahun. Periode ulang yang pendek biasanya berkorelasi dengan wilayah dengan aktifitas kegempaan yang relatif tinggi, dan sebaliknya.

3. Probabilitas terkecil kejadian gempa bumi berada pada wilayah 4, 5 dan 6 dengan periode ulang terbesar 250 tahun.

Referensi

- [1] Welkner, Peter. *Stastical Analysis of Eartquake Occurance in Japan 1926 – 1952*. BUSBE, Vol 2 Hal 1-27. 1945
- [2] Soehaimi, A. *Seismotektonik dan Kegempaan Wilayah Jawa*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol.3 Hal 227-240. 2008.
- [3] Rohadi, Supriyanto. Grandis, Hendra. A. Ratag, Mezak. *Studi Potensi Seismotektonik sebagai Precursor Tingkat Kegempaan di Wilayah Sumatera*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol.9 No.2 November 2008. BMKG. Jakarta. 2008.
- [4] Rohadi, Supriyanto. Grandis, Hendra. A. Ratag, Mezak. *Studi Variasi Seismisitas Zona Subduksi Jawa*. Jurnal Meteorologi dan Geofisika. Vol.8 No.1 Juli 2007. BMKG. Jakarta.2007.
- [5] Rohadi, Supriyanto. *Distribusi Spasial dan Temporal Seismotektonik Wilayah Subduksi Jawa*. Jurnal Megasains 1 (4) Hal 180-188. BMKG. Jakarta.
- [6] Prawirodikromo, Widodo, *Seismologi Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta (2012), ISBN 978-602-229-110-7, p. 232-237
- [7] P.Utomo, Edi. Tohari, Adrin. Soebowo, Eko. Subardyanto. *Studi Kebijakan IPTEK, Zona Resiko Bencana Geologi Jawa Barat*. Pusat Penelitian Geoteknologi-LIPI. Bandung. 2003.
- [8] Sulaiman, Rasyidi. T. Gunawan, Mohamad. Pasaribu, Robert. *Analisis Statistik Keaktifan Gempabumi di Indonesia Tahun 1900-1998*. Jurnal Prosiding.

Rancangan Purwarupa Dasar Perangkat untuk Akuisisi Data Rute Jelajah Belanja Pelanggan Supermarket Swalayan Memanfaatkan RFID

Markus Tanubrata^{1,a)}

¹*Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: markus.tanubrata@eng.maranatha.edu*

Abstrak

Rute yang ditempuh seorang pelanggan di suatu *supermarket* swalayan ketika berbelanja menjadi menarik untuk diteliti dalam riset pemasaran terkait konsep perilaku pelanggan. Pada umumnya area belanja di *supermarket* swalayan memiliki banyak rak-rak bertingkat yang ditempatkan sedemikian rupa agar barang-barang yang dijual dapat ditampilkan dengan memanfaatkan tempat di area belanja secara efisien, sekaligus memudahkan pelanggan dalam menemukan dan mengambil barang yang akan dibeli. Tiap pelanggan memiliki preferensi masing-masing ketika menjelajah rak demi rak barang di area penjualan *supermarket*. Rute yang ditempuh pelanggan ini, jika dapat diketahui kecenderungannya, akan banyak bermanfaat bagi pemasar di *supermarket* swalayan untuk menentukan taktik yang tepat ketika mengatur letak berbagai jenis barang yang dijual demi untuk meningkatkan penjualan. Dalam riset pemasaran, mengumpulkan data untuk mengetahui rute jelajah pelanggan di area belanja, jika dilakukan secara konvensional seperti misalnya lewat observasi manual atau survey terhadap pelanggan tidaklah mudah. Makalah ini membahas tentang rancangan purwarupa dasar peralatan dengan teknologi komputer yang memanfaatkan *Radio Frequency Identification (RFID)* untuk membantu mengumpulkan data dalam riset pemasaran untuk mengetahui kecenderungan rute jelajah pelanggan di *supermarket* swalayan yang diharapkan lebih mudah dan praktis dibandingkan pengumpulan data secara manual.

Kata kunci: RFID, akuisisi data, riset pemasaran, *supermarket* swalayan, perilaku pelanggan.

Pendahuluan

Supermarket swalayan sebagai bentuk pasar modern adalah salah satu bisnis yang besar di Indonesia. Gambar 1 memperlihatkan grafik pertumbuhan omzet retail 10 tahun terakhir di Indonesia. Adalah fakta bahwa omzet industri retail nasional selama 10 tahun terakhir selalu tumbuh dengan laju yang cukup besar [1]. Konsekuensinya, pasar retail modern seperti supermarket swalayan terus bermunculan mulai di kota-kota besar sampai kota-kota kecil di daerah yang dekat dengan pusat pemukiman penduduk urban. Perusahaan-perusahaan di bidang ini saling bersaing untuk merebut pelanggan, memperluas pangsa pasar, dan berusaha meraih angka penjualan yang tinggi.

Bagi para pemasar di supermarket swalayan, kesempatan meningkatkan penjualan dapat dilakukan dengan menerapkan taktik pemasaran yang sesuai dengan konsep pemasaran terkait dengan perilaku pelanggan. Pemasar dari perusahaan perlu mengenali dan mengerti perilaku

konsumennya. Salah satu aspek perilaku konsumen yang biasa diteliti adalah pola belanja dan pembelian.

Pola belanja dan pembelian barang di supermarket untuk kategori seperti barang apa saja yang dibeli, berapa banyak jumlah pembelian, seberapa sering pelanggan berbelanja, dan metode pembayaran yang biasa dilakukan masing-masing pelanggan relatif mudah untuk dikumpulkan datanya melalui mesin-mesin Point-of-Sale (POS) yang terintegrasi dengan sistem komputer. Namun rute jelajah pelanggan saat berbelanja di area belanja dalam gedung supermarket tidak dapat diketahui dengan mudah. Cara manual untuk mengetahui rute jelajah tersebut dengan pengamatan oleh petugas sangat tidak praktis dan hampir mustahil untuk dilakukan mengingat skala kompleksitasnya. Teknologi RFID dapat dimanfaatkan untuk mengumpulkan data rute belanja pelanggan secara praktis dan relatif mudah.

Makalah ini menjelaskan rancangan purwarupa perangkat dasar untuk akuisisi data memanfaatkan teknologi RFID untuk mengetahui dua hal utama yaitu rute jelajah pelanggan saat berbelanja di area belanja supermarket swalayan dan waktu yang dihabiskan pelanggan di tiap spot area tertentu sepanjang rute, misalnya berapa menit lamanya seorang pelanggan ketika berada di spot area kelompok barang-barang perlengkapan masak.

Jika rute jelajah pelanggan saat berbelanja di area belanja dalam gedung supermarket swalayan ditambah data tentang waktu singgah di tiap spot area belanja dapat diketahui, akan sangat bermanfaat bagi pemasar untuk dijadikan dasar untuk menentukan taktik pemasaran seperti penempatan berbagai jenis produk yang dijual di area belanja agar produk memiliki kemungkinan besar ditemukan dan dibeli oleh pelanggan.



Gambar 1. Pertumbuhan Omzet Ritel Nasional

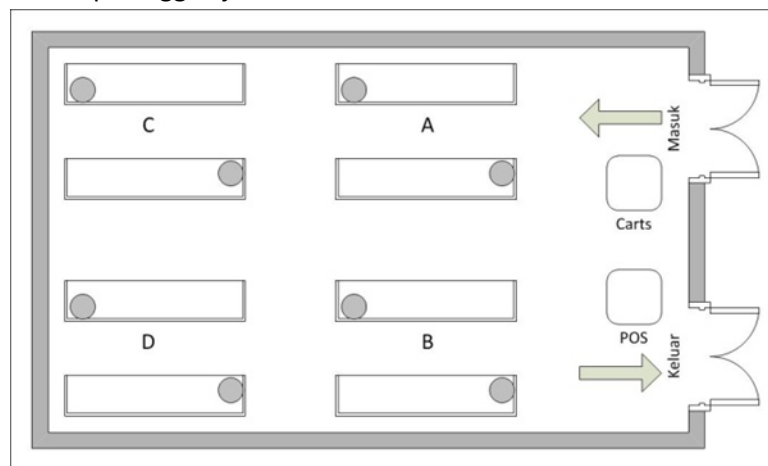
Teori dan Rancangan

Pada umumnya area belanja di dalam gedung supermarket swalayan diatur sedemikian rupa agar tiap jenis barang dapat terlihat dengan jelas di rak-rak pajang bertingkat. Dilihat dari atas, rak-rak ini diletakkan melintang atau membujur sehingga terbentuk koridor-koridor yang dapat dilalui oleh pelanggan untuk berbelanja dibantu keranjang belanja atau kereta belanja. Barang-barang yang memiliki tema serupa diletakkan mengelompok di rak pajang yang sama atau di dua atau lebih rak pajang yang saling berdekatan. Sebagai contoh, ada barang-barang yang termasuk kelompok peralatan masak, kelompok buah-buahan segar, kelompok minuman ringan dalam botol PET, kelompok peralatan olahraga, dan sebagainya.

Gambar 2. memperlihatkan penampilan model dari penyederhanaan bentuk layout area belanja di supermarket swalayan untuk keperluan eksperimen. Pelanggan diasumsikan datang melalui pintu masuk kemudian mengambil keranjang belanja atau kereta belanja (*cart*). Pelanggan kemudian melakukan kegiatan berbelanja dengan menempuh rute jelajah tertentu. Misalnya mulai dari spot area A kemudian menuju ke spot area D, kemudian menuju spot area B, kemudian kembali ke spot

area A, dan sebelum menuju pintu keluar, pelanggan memberikan kumpulan barang belanjanya kepada petugas di mesin POS untuk dihitung nilai pembelian serta membayar belanja. Rute jelajah pelanggan dapat diketahui karena di setiap spot area dipasang RFID tag. Setiap keranjang belanja atau kereta belanja dipasang modul RFID reader yang akan membaca RFID tag ketika berada di cakupan jarak efektif pengenalan tag. Jika RFID reader membaca tag yang kodenya sama, berarti pelanggan masih berada di spot area yang sama, sedangkan jika RFID reader membaca tag yang kodenya berbeda dengan kode terakhir yang terbaca, diasumsikan pelanggan sudah beralih dari satu spot area ke spot area yang lain. Lama waktu

yang dihabiskan pelanggan di spot area yang sama juga bisa dicatat oleh modul RFID reader. Modul RFID reader dilengkapi dengan rangkaian mikrokontroler yang dapat menyimpan data rute jelajah beserta waktu singgah di tiap spot area. Saat keranjang atau kereta belanja sampai di tempat POS, data dari modul RFID reader diunduh di mesin POS dan digabung dengan data barang-barang belanjaan beserta identitas pelanggan jika ada.



Gambar 2. Model Layout Area belanja

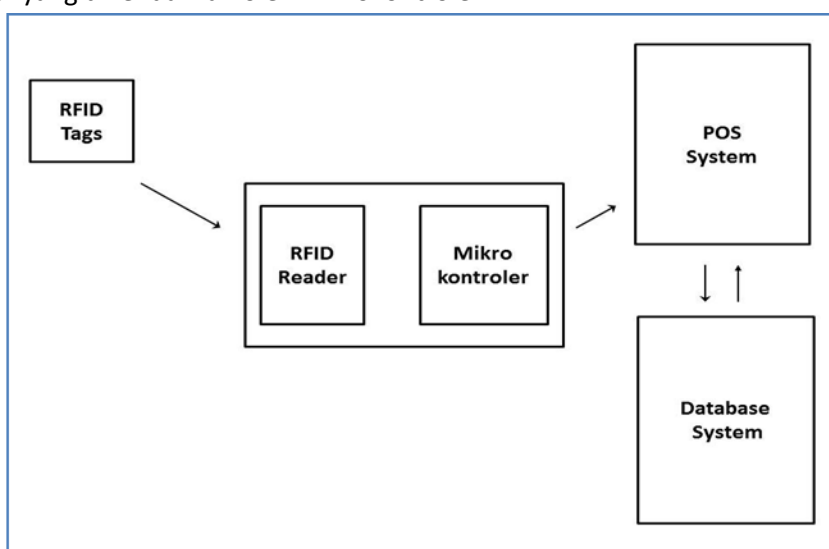
Penempatan dan pemasangan perangkat Modul RFID maupun semua tag RFID diusahakan tidak menyebabkan gangguan terhadap kegiatan belanja itu sendiri, terutama bagi pelanggan. Sesuai prinsip *pervasive computing*, ada dua hal penting yang perlu diperhatikan agar kehadiran perangkat-perangkat ini bersifat tidak terlihat (*invisible*) bagi para pemakai [2]. Pertama, perangkat komputer maupun elektronik pada bagian-bagian perangkat diusahakan agar bersifat *embedded* pada rak, kereta mau pun keranjang belanja sehingga pelanggan bisa melakukan kegiatan belanja seperti jika tidak ada tambahan perangkat tersebut. Untuk itu desain bagian-bagian perangkat diusahakan berukuran kecil, ringan, dan bisa dipasang tersembunyi dan tidak mengganggu aktivitas atau gerakan pengguna. Kedua, perangkat yang dimaksud harus bisa bekerja sesuai fungsinya tanpa harus ada interaksi eksplisit antara pengguna dengan perangkat [3] sehingga pelanggan tidak perlu melakukan kegiatan belanja yang disertai aktivitas tambahan berupa mengoperasikan perangkat komputasi secara implisit.

Gambar 3. memperlihatkan posisi pemasangan perangkat RFID pada kereta belanja dan rak barang.



Gambar 3. Posisi Pemasangan Perangkat RFID

Gambar 4. memperlihatkan diagram blok sistem yang disarankan untuk akuisisi data, dengan pembatasan bahwa yang difokuskan dalam makalah ini adalah perangkat RFID termasuk tag dan modul RFID reader yang dikendalikan oleh mikrokontroler.



Gambar 4. Blok Diagram Sistem yang Disarankan

Perangkat RFID yang dipergunakan adalah perangkat RFID *medium range*, dengan jarak efektif antara tag dengan RFID reader sekira 1 meter. Perangkat RFID yang sesuai dengan klasifikasi ini adalah jenis *proximity coupling* yang tidak memerlukan kontak fisik dan umumnya merupakan RFID dengan transponder aktif [4].

Para pemasar dari pihak supermarket swalayan berusaha meningkatkan nilai penjualan dengan berusaha menempatkan barang-barang belanjaan di sekitar area belanja sedemikian sehingga kemungkinan barang-barang tersebut terjangkau perhatian dan mudah diperoleh oleh pelanggan. Hal ini bisa dilakukan jika pemasar mengetahui kecenderungan pelanggan berada di spot area tertentu pada rute jelajah belanja selama berbelanja. Pemikiran ini sesuai dengan konsep pemasaran tentang perilaku pelanggan [5]. Informasi tentang kecenderungan pelanggan tersebut saat berbelanja sangat berguna dalam mengenal dan mengetahui salah satu aspek dari perilaku pelanggan [6].

Hasil dan Diskusi

Sesuai perancangan, purwarupa perangkat RFID dapat direalisasikan dengan tingkat keberhasilan cukup baik. Dari 50 percobaan pada model layout area belanja supermarket swalayan, terdapat 2 percobaan yang memberikan hasil tidak sesuai dengan yang seharusnya atau tingkat kesalahan sekira 4%. Contoh hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1. Jika perangkat ini diterapkan pada situasi nyata, maka data yang dikumpulkan oleh Modul RFID Reader dengan mikrokontroler perlu dapat diunduh oleh POS dan kemudian melalui jaringan komputer diinputkan secara otomatis ke server database. Dengan sistem database, data dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan berbagai informasi yang diperlukan untuk riset pemasaran terkait aspek perilaku pelanggan khususnya yang memerlukan informasi tentang rute belanja pelanggan di dalam area belanja supermarket swalayan.

Tabel 1. Contoh Hasil Akuisisi Data Melalui Percobaan Pada Model Layout Area Belanja

Pelanggan	Rute yang ditempuh	Durasi Spot A	Durasi Spot B	Durasi Spot C	Durasi Spot D
1	A → B → A → D → C → B → POS	14 m	8m	3m	5m
2	B → D → C → A → POS	7m	6m	3m	2m
3	A → C → D → B → C → POS	7m	7m	12m	8m
4	A → B → D	5m	4m	0m	7m
5	A → D	11m	0m	0m	8m

(Durasi dalam satuan menit)

Kesimpulan

Menggunakan teknologi RFID, data rute jelajah belanja dan waktu singgah tiap spot area untuk pelanggan selama berbelanja di area belanja supermarket swalayan dapat diperoleh. Data ini bermanfaat untuk kemudian diolah menjadi informasi yang berguna bagi para pemasar untuk menentukan penempatan dan pengaturan barang-barang yang dijual sehingga dapat meningkatkan kemungkinan barang ditemukan dan dibeli oleh pelanggan. Potensi lain data yang diperoleh untuk digunakan dalam aspek pemasaran lain juga terbuka.

Referensi

- [1] Destry Damayanti, "Industry Update", Bank Mandiri Office of Chief Economist, Sep 2014, p. 1
- [2] J. Krumm, "Ubiquitous Computing Fundamentals", CRC Press, Boca Raton, 2010, p. 48
- [3] S. Poslad, "Ubiquitous Computing: Smart Devices, Environment, and Interactions", John Wiley & sons, Chichester, 2009, p. 12
- [4] K. Finkenzerler, "RFID Handbook", Wiley, Chichester, 2010, p. 22
- [5] J. P. Peter, and J. C. Olson, "Consumer Behavior and Marketing Strategy", McGraw-Hill Irwin, New York, 2010, p. 5
- [6] K. Yada, "String analysis technique for shopping path in a supermarket", J Intell Information System, 36:385–402, 2011

News Web Crawler Dengan Metode Xpath

Ichsan Taufik^{1,a)}, Jumadi^{2,b)}, Fajri Abdillah^{3,c)}

^{1,2,3}Jurusan Tek. Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

a) Penulis yang berkorespondensi: ichsan@uinsgd.ac.id

b) jumadi@uinsgd.ac.id,

c) fajri.abdillah@if.uinsgd.ac.id

Abstrak

Data yang tersebar di dunia Internet itu sangat beragam dan penuh dengan *noise*. Seperti konten berita yang diselingi dengan banyak iklan, sehingga mengganggu *user* dalam membaca konten berita. Data berita (*News*) juga sangat cepat dalam hal *publish*, dalam 20 menit saja bisa ter-*publish* lebih dari 50 berita baru. Data berita tersebut dapat digunakan dalam bermacam – macam hal, salah satunya adalah untuk *Social Media Analytic Service*. Kecepatan penangkapan data (*Crawl*), pemrosesan data (*Scraping*) menjadi salah satu hal yang sangat penting, agar tidak terjadi data yang kurang sempurna, dan data yang diterima adalah data yang paling baru. Untuk itu, maka dibuatlah aplikasi yang dapat menangkap data – data berita tersebut hingga semua data tidak ada yang terlewat. Aplikasi ini dibuat dengan bahasa pemrograman *Python* untuk menangkap data – data berita tersebut, menggunakan *Web Framework Django* untuk tampilan berbasis *Website* dan pemodelannya menggunakan UML dengan *toolStar UML*. *Database* yang sudah ada yaitu *Facebook* dan *Twitter*. *Database* yang sudah ada dapat membantu dalam proses *analytic* kepada *client* yang berguna untuk *brand* yang dipergunakan oleh *client*. *Client* akan menerima *report* yang berguna dalam pengambilan keputusan, dengan menyertakan hasil *analytic* dari *Facebook*, *Twitter* dan *News*.

Kata kunci: *Crawl, Scraping, Python, Django, News*

uan

Social Media Analytics saat ini sedang menjadi trend di dunia, banyak yang menggunakan untuk internal perusahaan sendiri, atau dijadikan *Software as a Service (SAAS)*. Tujuan menggunakan *Social Media Analytics* sendiri, yaitu untuk mengetahui, sejauh mana *Brand* suatu perusahaan itu berefek di masyarakat, apakah baik atau buruk, berapa orang yang suka atau tidak, dan siapakah *Influencer* pada suatu *Brand* tersebut.

PT. Mediawave Analytic adalah perusahaan IT & digital marketing yang didirikan pada tahun 2009, yang berfokus pada *Social Media Analytics*. Mereka memiliki mesin sendiri untuk melakukan *Social Media Analytics*, sumber data utama untuk *Analytic* didapat dari *twitter*, *facebook*, *blog*, *news*, sebagian memanfaatkan *API (Application Programming Interface)* yang *Open* salah satunya dari *Google* untuk mendapatkan data dari *blog*, *news*, *images* dan *video*. PT. Mediawave Analytic sendiri merupakan perusahaan pertama di Indonesia yang memulai *Social Media Analytics Service*. Di luar Indonesia, beberapa perusahaan yang memiliki *Social Media Analytics Service* yaitu *Radian6*, dan *UberVU*.

Untuk mendapatkan data berupa *News*, *Blogs*, *Images*, dan *Video*, PT Mediawave Analytic memanfaatkan *API Searching* milik *Google*. Dan saat ini, *API* mereka sudah dibatasi, bahkan tidak bisa

diakses. Maka sumber data berupa *News*, tidak bisa didapat dengan mudah. Maka cara untuk mendapatkannya yaitu mengambil (*crawl*) dari *Website* penyedia berita. *Web crawler* adalah program yang mengeksplorasi struktur grafik *Web* untuk berpindah dari halaman ke halaman. Dalam tahap awal pengembangan aplikasi, bisa disebut juga dengan *Spiders*, *wanderers*, *fish*, atau *worms*.

Pembuatan aplikasi *News Crawler* adalah langkah awal untuk mendapatkan data berupa *News* yang sangat kompleks. Dengan begitu aplikasi yang dibangun dapat menjadi sumber data yang bisa dengan mudah diakses dan dapat dipergunakan dalam *Analytic Tool* milik PT Mediawave Analytic, sehingga dapat menjawab permasalahan yang ada.

Landasan Teori

Web Crawler

Pengertian Web Crawler

Sebuah *Webcrawler* adalah program yang secara otomatis melintasi struktur *hyperlink Web* dan men-*download* setiap halaman yang terhubung ke penyimpanan lokal. Metode *Crawling* inisiering menjadi langkah pertama dari *WebMining* atau dalam membangun sebuah mesin pencari *Web (Search Engine)*. Karena informasi di *Web* ini tersebar di antara milyaran halaman yang dilayani oleh jutaan *server* di seluruh dunia, pengguna yang menjelajah *Web* dapat mengikuti *hyperlink* untuk mengakses informasi, bias bergerak dari satu halaman ke halaman berikutnya.

Meskipun secara konseptual mudah, menerapkan *crawler* yang menurut teori praktis ini tidak berarti sesederhana itu. Karena efisiensi dan kekhawatiran lainnya. Ada juga aplikasi yang berbahaya dari *crawler*, misalnya, *crawler* untuk panen email yang akan digunakan oleh spammer atau mengumpulkan informasi pribadi yang akan digunakan dalam serangan *phishing* dan identitas lain untuk digunakan dalam pencurian data. [3]

Penggunaan yang paling luas dari *crawler* yaitu untuk mendukung mesin pencari (*Search Engine*). Bahkan, *crawler* adalah konsumen utama dari *bandwidth* internet. Mereka mengumpulkan halaman untuk *Search engine* untuk membangun indeks mereka. Mesin pencarian terkenal seperti *Google*, *Yahoo!* dan *MSN* menjalankan *crawler* universal yang sangat efisien yang dirancang untuk mengumpulkan semua halaman tanpa terlepas dari konten mereka sedikitpun. *Crawler* lainnya, kadang-kadang disebut *crawler* istimewa (fokus), lebih bertarget. Mereka berusaha untuk men-*download* halaman hanya untuk jenis tertentu atau topik tertentu. [4]

Jenis Web Crawler

1. Crawler Universal

Crawler universal bertugas mendownload seluruh isi halaman *Web*nya. Sesuai juga dengan apa yang ada di dalam *source code* sebuah halaman *Web*. Iklan atau *link* yang lain bisa ter-*download* juga [4].

2. Crawler Topik (Focused Web Crawler)

Crawler topik hanya men-*download* halaman topik tertentu. Kesulitan dalam *crawler* topik adalah bagaimana mengenali halaman tersebut. Contohnya, dalam pembahasan di skripsi ini, akan mengambil *news* / berita. Sedangkan Kita mengetahui semua, situs *Web* penyedia berita itu 'banyak iklan', banyak yang mengganggu konsentrasi Kita. Padahal yang Kita butuhkan itu hanya inti dari beritanya saja.

XPATH

Xpath, *XML Path Language*, adalah bahasa *query* untuk memilih *node* dari dokumen XML. *Xpath* dapat digunakan untuk menghitung nilai (misalnya, string, angka, atau nilai *Boolean*) dari isi dokumen XML. *Xpath* didefinisikan oleh *World Wide Web Consortium (W3C)*[7].

Bahasa *Xpath* didasarkan pada representasi pohon dokumen XML, dan menyediakan kemampuan untuk menavigasi di sekitar pohon XML, memilih *node* dengan berbagai kriteria. Dalam penggunaannya yang populer, meskipun tidak dalam spesifikasi resmi, ekspresi *Xpath* sering disebut hanya sebagai *Xpath*.

Xpath awalnya didorong oleh keinginan untuk menyediakan sintaks yang umum dan model dari perilaku Antara XPointer dan XSLT, yang merupakan *subset* dari bahasa *query Xpath* digunakan dalam spesifikasi W3C lainnya seperti XML Schema, XForms dan Tag Set Internasionalisasi (ITS). *Xpath* telah diadopsi oleh sejumlah *library* dan alat-alat pemrosesan XML, banyak yang juga menawarkan *Selectors CSS*, W3C memiliki standar yang berbeda, sebagai *alternative* sederhana untuk *Xpath* [7].

Analisis dan Perancangan

Identifikasi Aktor

Berdasarkan proses dalam konsep *Focused Web Crawler (News Web Crawler)* maka proses identifikasi aktor didapatkan berdasarkan siapa saja yang akan menggunakan dan mempengaruhi sistem (aktor tidak selalu berupa manusia tetapi juga bisa berupa *hardware* ataupun sistem lain yang mempengaruhi sistem).

Aplikasi *News Web Crawler* ini diidentifikasi 2 aktor yaitu *Admin* dan *User*. *Admin* merupakan aktor yang melakukan pengelolaan data pada aplikasi *News Web Crawler*, dan *User* merupakan *User* biasa yang dapat melakukan pencarian ke dalam *database News Web Crawler*.

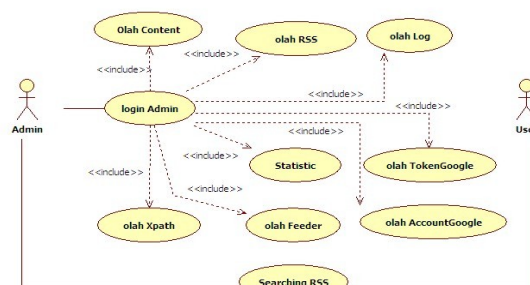
Pada sistem aplikasi ini terdapat beberapa aktor yang saling berkaitan, adapun deskripsinya dijelaskan pada Tabel 1

Tabel 1 Identifikasi aktor

No	Nama Aktor	Dekripsi
1.	<i>Admin</i>	Aktor yang berinteraksi langsung dengan sistem, aktor ini merupakan seseorang yang diberi hak akses dari PT Mediawave Analytic untuk mengoperasikan <i>News Web Crawler</i> .
2.	<i>User</i>	Aktor yang berinteraksi langsung dengan sistem dasar dari <i>News Web Crawler</i> , yaitu melakukan pencarian data ke dalam <i>database News Web Crawler</i>

Use Case Diagram

Use case diagram menggambarkan fungsionalitas dari sebuah sistem, yang ditekankan adalah “apa” yang diperbuat sistem dan “bukan” bagaimana. Sebuah *use case* mempresentasikan interaksi antara aktor dengan sistem. *Use case* merupakan pekerjaan tertentu, sebagaimana dijelaskan pada Gambar 1.



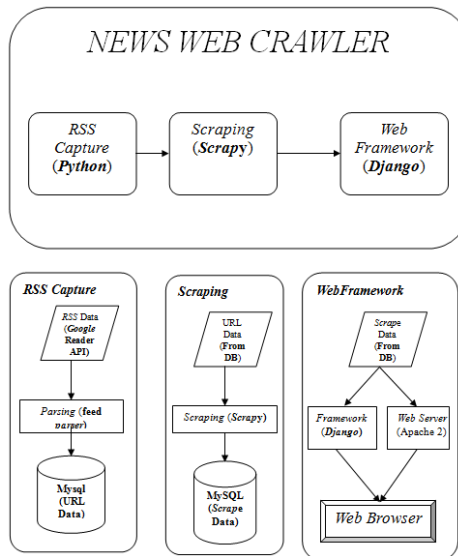
Gambar 1. Use case Diagram

Arsitektur Sistem

Aplikasi News *Web Crawler* ini dijalankan oleh 3 proses yaitu :

1. Proses pengambilan data *RSS* dari API *Google Reader* dengan menyimpan data URL karena dalam *RSS feed* hanya menampilkan *summary* dari sebuah berita saja. Proses ini menggunakan *library Python feedparser*, dan dijalankan secara otomatis oleh *cronjob* yang sudah ada di OS berbasis linux. OS yang digunakan di *server* (VPS) adalah *ubuntu 10.04 server* yang berbasis *command line*, dan memiliki IP statis 49.50.9.13. Dan data disimpan dalam *Database MySQL* versi 5.1 dengan *engine MyISAM*.
2. Proses *Scraping* data berita (*content*) dengan mengacu pada URL hasil *capture* dari proses pertama. Proses ini menggunakan *Scraping Framework Scrapy*, yang sudah mendukung *multi spiders*. *Scrapy* sangat cepat dalam memproses sebuah URL untuk di *Scraping*, karena memakai metode *xpath* dalam akses kode HTML nya. Data yang disimpan yaitu Title dari sebuah berita, *content*, dan *content* yang berisi kode HTML (untuk visualisasi).
3. Proses visualisasi pada *Web browser* menggunakan *Framework Django* yang berbasis MTV (*Model Template View*) dan menggunakan metode ORM dalam memetakan *databasenya*. *Webserver* yang digunakan adalah *Apache2* dengan *library WSGI*. *Port* yang digunakan adalah *port 8080*. Juga untuk *library charting*, digunakan *library Highcharts* yang sudah *full support animation*, karena *Highcharts* dibuat menggunakan metode SVG (*Scalable Vector Graphics*), karena *vector*, maka tak ada masalah dengan resolusi layar *user*.

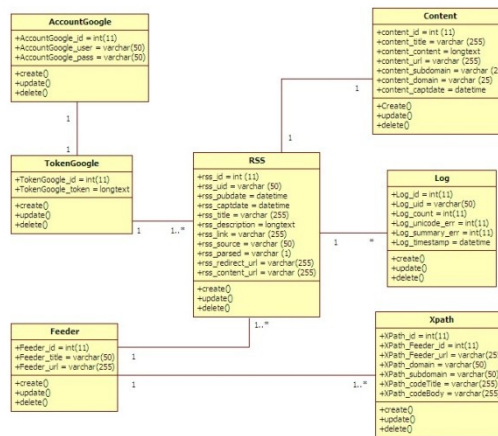
Gambaran umum tentang Arsitektur News WebCrawler yang digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Arsitektur News Web Crawler

Class Diagram

Diagram kelas merupakan gambaran relasi yang terjadi antar objek yang didalamnya terdapat *class* dan *interface* beserta atributnya. Diagram kelas mendeskripsikan jenis-jenis objek dalam sistem dan berbagai macam hubungan statis. *Class Diagram News Web Crawler* digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Class Diagram News Web Crawler

Implementasi

Implementasi sistem merupakan tahap meletakkan sistem supaya dapat siap untuk dioperasikan.

Struktur Aplikasi

Struktur Aplikasi *News Web Crawler* ditunjukkan pada Gambar 4

```
NewsParser/  
Python/  
Google_login.py  
focused_crawler.py  
db_base.py  
libs_def.py  
Scrapy/  
scrapy.cfg  
    focused_crawler/  
        news_crawler/  
            spiders/  
                News_spider.py  
Django/  
    focused_crawler/  
        manage.py  
        media/  
        templates/  
        news_crawler/  
            settings.py  
context_processor.py  
models.py  
views.py  
urls.py  
sql/  
django_crawler.sql
```

Gambar 4 Struktur aplikasi *News Web Crawler*

User Interface

Statistic

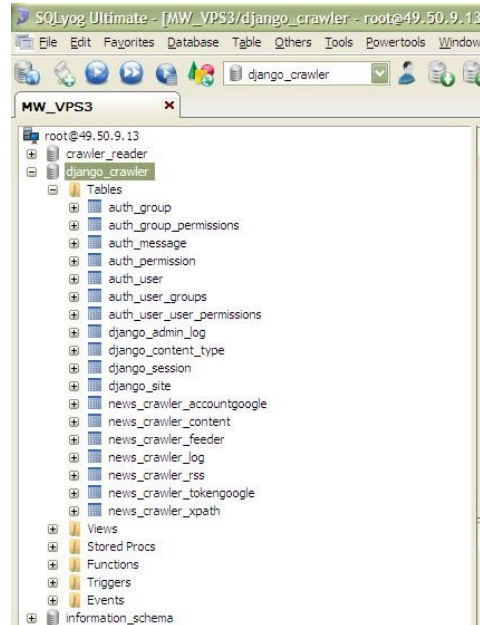
Menu *Statistic* hanya bisa diakses oleh *admin* setelah *login*, ditampilkan dalam bentuk *chartline* dan *chartpie*. Menu *Statistic* ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Menu *statistic*

Database

Tools untuk berinteraksi dengan MySQL yang berbasis GUI paling mudah menggunakan aplikasi SQLyog, Gambar 6 menunjukkan hasil pembuatan *database* dan tabel pada VPS yang memiliki IP static 49.50.9.13.



Gambar 6 Implementasi Database

Tabel yang memiliki *prefix* *auth_* dan *django_* adalah tabel yang otomatis dibuat oleh *django*, karena *classdjango.contrib* di-*enable*-kan pada *tupleINSTALLED_APPS*, aplikasinya yaitu *auth, content types, sessions, sites, messages, static files, admin, dan admindocs*.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

News Web Crawler sudah dipergunakan untuk produksi oleh PT Mediawave Analytics, kesimpulan yang diambil yaitu:

1. Mesin pencari berita sudah berjalan dengan baik, setiap *update* terbaru langsung tersimpan di dalam *database*, dan dapat dilakukan fitur pencarian, baik itu mencari data *RSS* saja maupun mencari data *content*.
2. Tidak ditemukannya data yang tidak tersimpan, kecuali memang terdapat *error* dari penyedia berita tersebut, baik itu *error* di *RSS* maupun *content* hasil *Scraping*.
3. *Database* yang digunakan (dalam penelitian ini namadatabasenya adalah *django_crawler*) akan memiliki banyak sekali record, mungkin hingga jutaan *record*. Dari 3 penyedia berita saja, dalam 1 hari bisa mendapatkan ratusan data hingga yang terbanyak pada tanggal 21 Juni 2012 terdapat 1260 data. Apabila penyedia berita ditambah, data akan semakin banyak.
4. *Scrapy* menggunakan *library lxml* dalam *Scraping* data, maka *resource* yang digunakannya pun tidak terlalu besar dan tidak membebani *server* dalam hal penggunaan *processor* maupun *RAM*.

Saran

Saran untuk *News Web Crawler* yaitu:

1. Untuk meningkatkan *performance* dalam fitur pencarian, proses pencarian dapat dialihkan ke *library* yang khusus untuk melakukan pencarian salah satunya yaitu *Apache Lucene*.
2. Hasil *scraping* yang tidak masuk ke database memang disebabkan oleh *feeder* yang memang *error*. Hal ini bisa disebabkan jaringan internet pada *feeder* sedang mengalami masalah. Maka *url* yang bermasalah tersebut, harus di simpan di dalam *queue*. Dengan adanya *queue* memungkinkan untuk kembali melakukan proses *crawling* pada lain waktu.
3. *Record* yang sangat dihasilkan oleh *News Web Crawler* ini akan bertambah seiring waktu. Pencarian 10 data pada database yang berjumlah 1,000 baris akan lebih cepat dibandingkan mencari 10 data pada database yang berjumlah 1,000,000. Untuk *level hardware* dengan mengganti media penyimpanan *Harddisk* menjadi *SSD (Solid State Disk)* akan sangat berpengaruh, karena setiap data yang tersimpan ke dalam database, itu akan tersimpan di dalam media penyimpanan. Dan untuk membagi beban database juga dapat mempergunakan sistem *clustering* dengan menggunakan beberapa server.
4. *Scrapy* menggunakan *resource processor* dan *RAM* yang kecil, walaupun begitu, *scaling server* secara vertical, seperti menambah jumlah *processor*, dan *RAM* akan membuat proses *scraping* semakin cepat. *Scrapy* dapat dioptimisasi menggunakan *Cpython* atau *PyPy*. *Cpython* meng-*compile source Python* ke bahasa C. Sedangkan *PyPy* menggunakan *JIT (Just in Time Compiler)*.

Referensi

- [1] Booch, G., Maksimchuk, R. A., Engle, M. W., Young, P. B., Conallen, J., & Houston, A. K. (2007). *Object-Oriented Analysis and Design with Applications Third Edition*. Massachusetts: Addison - Wesley.
- [2] Pressman, R. S. (2001). *Software Engineering : A Practitioner's Approach 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Junghoo Cho, Sougata Mukherjea *HYPERLINK*"<http://oak.cs.ucla.edu/~cho/papers/cho-vis99.pdf>" "Crawling Images on the Web." *In Proceedings of Third International Conference on Visual Information Systems (Visual99)*, Amsterdam, The Netherlands. diakses tanggal 15 Mei 2012.
- [4] Liu, B. (2011). *Web Data Mining : Exploring Hyperlinks, Contents, and Usage Data Second Edition*. New York: Springer.
- [5] Hammersley, B. (2005). *Developing Feeds with RSS and Atom*. Sebastopol, CA : O'Reilly.
- [6] <URL:<http://www.google.com/reader/>> diakses 1 Juni 2012 11:30
- [7] Clark, James; DeRose. (1999). *HYPERLINK* <http://www.w3.org/TR/xpath/>"XML Path Language (*Xpath*)". Inso Corp. and Brown University.WTC.diakses 1 Juni 2012 11:30
- [8] Hermawan, Julius (2000), *Analisa Desain & Perograman Berorientasi Obyek dengan UML dan Visual Basic*. Net. Yogyakarta. Andi Publisher.
- [9] Munawar, (2005). *Pemodelan Visual dengan UML*, Penerbit Graha Ilmu.
- [10] Roques, P. (2004). *UML in Practice*. West Sussex: John Wiley & Sons.
- [11] <URL:<https://docs.djangoproject.com/en/1.4/topics/db/queries/>>diakses2 Juni 2012 11:30
- [12] Lee, K. D. (2011). *Python Programming Fundamentals*. London: Springer.
- [13] Forcier, J., Bissex, P., & Chun, W. (2009). *Python Web Development with Django*. Boston: Addison - Wesley.
- [14] <URL:<http://scrapinghub.com/faq/>> diakses 2 Juni 2012 13:30
- [15] <URL:<http://www.robotstxt.org/robotstxt.html>> diakses 2 Juni 2012 14:00

REKOMENDASI KOTTER'S MODEL UNTUK MENGIMPLEMENTASIKAN UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG MENUJU *RESEARCH UNIVERSTY* DALAM MENYONGSONG MASYARAKAT EKONOMI ASEAN (MEA) 2015

Ade Rahmat Iskandar^{1,a)}

¹⁾ Program studi Teknik Informatika, UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru - Bandung

^{a)} Email : blog.ader@gmail.com

Abstrak

Paper ini dibuat untuk merekomendasikan model dalam mengimplementasikan Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Gunung Djati Bandung menuju *research university* dengan pendekatan Manajemen Perubahan. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kotter's eight-step. Penelitian ini dilakukan dengan metode *action research* dengan melakukan interview kepada principle UIN Sunan Gunung Djati Bandung, penelitian ini difokuskan untuk mentransformasikan setiap tahap dari Kotter's eight step model dalam mengimplementasikan institusi menuju Universitas Islami terkemuka yang memiliki reputasi penelitian yang baik menuju masyarakat ekonomi asean (MEA) 2015.

Artikel ini dibangun dengan beberapa langkah berikut: langkah pertama adalah memberikan pemahaman terjadinya manajemen perubahan, resistensi terhadap perubahan, upaya untuk mengelola resistensi, langkah kedua mentransformasikan langkah-langkah yang dilakukan oleh para pendukung perubahan di Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung menuju universitas berbasis penelitian menggunakan Kotter's eight stage model, best practice universitas Adelaide dan framework surendro's tata kelola teknologi informasi.

Kata kunci: Kotter's eight-step, *action research*, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Best practice of Adelaide University

Pendahuluan

Beberapa hari ini instiusi-institusi perguruan tinggi berupaya merubah sistem dan teknologi mereka untuk mencapai keuntungan kompetitif. Pada kenyataannya implementasi manajemen perubahan dan penolakan terhadap perubahan telah menjadi topik diskusi sejak beberapa periode waktu lalu, hal ini dianggap wajar ketika adanya perubahan sistem dan teknologi baru akan membawa orang-orang kedalam lingkungan, sistem dan budaya baru. Para pembuat perubahan harus mampu mengidentifikasi penyebab kenapa adanya penolakan terhadap perubahan, hal apa yang harus dikerjakan oleh pendukung perubahan yang mengacu pada model manajemen perubahan yang dibuat [1].

Penelitian ini dibuat untuk membuat model rekomendasi untuk mengimplementasikan Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung menuju universitas Islam berbasis *credible reseach*. Istilah penelitian yang kredibel adalah mengacu pada penelitian yang diakui pada tataran nasional / terakreditasi dan internasional. Minat penelitian di UIN Sunan Gunung Djati Bandung harus ditingkatkan berkenaan migrasi Institut Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung menjadi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, dengan dibukannya fakultas-fakultas baru seperti fakultas sains dan teknologi, fakultas yang mengajarkan ilmu-ilmu umum seperti informatika, elektro, agrobisnis, fisika, kimia, dan matematika dengan tetap mengacu pada falsafah keislaman.

Theory and method

Istilah *change management* sering dihubungkan dengan upaya organisasi dalam mengimplementasikan suatu sistem baru untuk meningkatkan pelayanan yang lebih baik kepada para stakeholdernya. Manajemen perubahan merupakan suatu pendekatan terstruktur untuk merubah orang-orang, kelompok dan organisasi dari suatu keadaan saat ini (as is) kedalam suatu keadaan baru yang diharapkan [2].

Perubahan organisasi sering distimulasi oleh beberapa faktor eksternal, adanya penurunan dalam kesempatan pasar, pembatasan modal dalam perusahaan dan untuk meningkatkan pelayanan yang lebih baik. Secara khas, organisasi akan menjalankan beberapa perubahan strategis, terstruktur dan teknis untuk mengembangkan siklus hidup yang berbeda pada organisasi tersebut, seperti merubah pola organisasi yang bersifat *reactive* menjadi lingkungan organisasi yang bersifat *proactive* [3] .

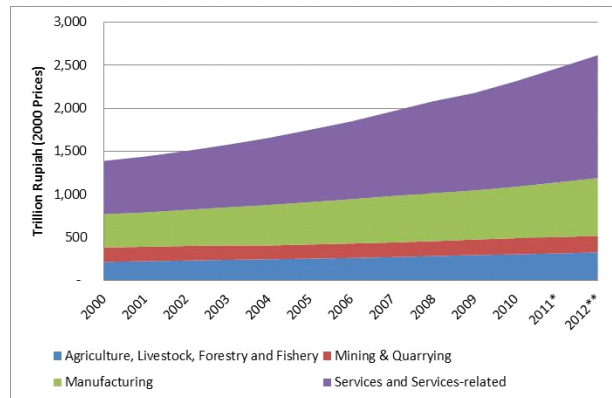
II.1 Snapshot Masyarakat Ekonomi Asean (MEA) 2015

Sektor jasa dan daya saing Indonesia potensial tetapi belum maksimal [4]. Sektor jasa adalah salah satu sektor yang belakangan ini mendapatkan perhatian khusus dari berbagai pihak di Indonesia. Menteri Perdagangan, Gita Wirjawan, menyampaikan bahwa peran sektor jasa dalam perdagangan internasional sangat penting dan oleh karena itu sangat penting bagi Indonesia untuk terus mendukung sektor tersebut. Menurutnya, semakin maju perekonomian suatu negara, sektor jasa menjadi semakin penting dan melampaui pentingnya sektor agrikultur dan industri [5]. Pandangan senada juga disampaikan oleh Menteri Perindustrian, M.S. Hidayat, yang menyampaikan bahwa sektor jasa adalah sektor yang penting dalam perekonomian Indonesia dan menyumbang sekitar 60-80% dalam penurunan kemiskinan di Indonesia [6].

II.2 Sektor yang tumbuh dan semakin berkembang

Sektor jasa adalah sektor yang tumbuh dengan sangat pesat di Indonesia, terutama dalam satu dekade terakhir ini. Kontribusinya bagi Pendapatan Nasional tercatat terus meningkat. Pada awal tahun 2000-an, sektor jasa menyumbang 44% dari GDP. Pada tahun 2010, kontribusi sektor jasa sudah mencapai lebih dari 50%.²¹ Perkembangan ini dapat terlihat dengan jelas di dalam grafik berikut ini [4]:

Grafik II.1. Komposisi GDP berdasarkan Sektor



Sumber: Chris Manning dan Haryo Aswicahyono, "Perdagangan dan Pekerjaan di Sektor Jasa di Indonesia," Laporan International Labour Organization (ILO), 12 Juli 2012, dapat diakses di http://www.ilo.org/jakarta/whatwedo/publications/WCMS_185656/lang--en/index.htm

Meskipun demikian, banyak kalangan yang juga melihat hal ini dengan hati-hati karena pertumbuhan sektor jasa ini bersamaan dengan merosotnya sektor industri. Sebagaimana dicatat oleh Chris Manning dan Haryo Aswicahyono (2012), Indonesia mengalami fenomena yang berbeda dengan negara-negara lain di Asia Tenggara dalam hal perbandingan antara pertumbuhan sektor jasa dan sektor manufaktur. Setelah krisis ekonomi pada tahun 1997/1998, jasa tercatat tumbuh jauh lebih cepat dibandingkan manufaktur yang tumbuh dengan sangat lambat. Kondisi ini berbeda jika dibandingkan dengan Thailand dan Malaysia di mana sektor manufaktur berkembang sama cepatnya dengan sektor jasa di kedua negara tetangga tersebut (meskipun tetap lebih lambat dibandingkan dengan pertumbuhan di masa sebelum krisis Asia 1997/1998) [7].

II.3 Perubahan Teknologi Baru

Pengenalan perubahan teknologi dalam suatu organisasi telah menjadi perhatian yang khusus dari aktivitas-aktivitas manajemen dalam beberapa tahun. Beberapa isu tersebut masih sesuai dengan para manajer di tahun-tahun sekarang seperti inisiatif dari e-commerce sampai *customer relationship management* (CRM) yang dikenalkan pada organisasi.

Tantangan yang dihadapi dalam mengimplementasikan Teknologi baru, yaitu :

1. *Goal synthesis*. Suatu kunci permasalahan ketika mengimplementasikan suatu teknologi baru adalah mengidentifikasi area dimana organisasi tersebut berada. Teknologi Informasi biasanya ditempatkan sebagai *supporting function* untuk operasional organisasi, para manajer perubahan perlu menyeimbangkan ketidaksesuaian ini.
2. *Choice of technology*. Suatu tantangan yang sangat penting adalah bagaimana dapat ditemukan suatu *platform* atau aplikasi yang tepat untuk keseluruhan perusahaan tersebut.
3. *Identifying political barriers*. Hal ini dapat berulang ketika dirasakan hilangnya pengendalian dan wewenang dibawah sistem baru. Suatu tantangan yang paling penting adalah mendapatkan dukungan dari para pimpinan untuk menyediakan dukungan untuk perubahan.
4. *The IT team*. Departemen TI dapat dikatakan sebagai suatu bidang yang menyenangkan yang dianggap terpisah dari bagian organisasi tersebut. Bagaimana manajer harus dapat membuat kedua departemen ini saling bekerjasama (departemen TI dan *corporate*) untuk menginisiasikan perubahan.

5. *Communication*. Mengkomunikasikan arah, dan proses untuk mengimplementasikan suatu perubahan teknologi merupakan suatu unsur yang sangat penting dari suatu proyek, ketika hal ini tidak dilakukan dengan baik, maka kesuksesan akan bertolak belakang dengan rencana yang ditentukan.
6. *Time frame*. Terdapat perbedaan pendapat apakah perubahan teknologi seharusnya diimplementasikan pada jangka waktu pendek atau jangka panjang. Kedua pilihan ini dapat menjadi pilihan yang sulit bagi manajer perubahan [8].

II.4 Merger dan Akuisisi

Chandler (1987) berpendapat bahwa merger telah menjadi kian populer sejak tahun 1890-an. *Merger* dan *acquisition* memungkinkan pertumbuhan organisasi secara lebih cepat. Penelitian yang dilakukan di Kanada tahun 2000 menunjukkan bahwa, kesuksesan dalam melakukan merger dalam organisasi atau perusahaan tersebut adalah hanya mencapai 30%, hal ini yang menjadi pertimbangan ketika organisasi akan melakukan merger. Beberapa hal berikut, mengidentifikasi sejumlah isu yang dihadapi para manajer dalam melakukan *merger* atau *acquisition*, yaitu:

1. *Cost savings*. Penaksiran terhadap *cost saving* biasanya diinisiasikan secara lebih. Hal ini memungkinkan para manajer untuk fokus pada pengembalian atau terpenuhinya tujuan jangka pendek.
2. *Cultural adjustment*. Dengan menggabungkan budaya yang berbeda dan mengadopsi suatu sistem operasional atau prosedur baru dapat menimbulkan konflik di organisasi tersebut. Cara yang dapat dikelola dapat menentukan faktor yang menentukan apakah kesuksesan atau kegagalan dari adanya merger atau *acquisition* tersebut.
3. *Balancing change and continuity*. Beberapa penelitian menyarankan adanya keseimbangan antara gangguan yang disebabkan oleh perubahan dan perlu dilakukan keberlangsungan dari kerja dan posisi sebagai upaya untuk membangun kembali identitas pegawai dengan komitmen baru untuk organisasi [9].

II.5 Dukungan terhadap Perubahan

Walaupun resistensi untuk perubahan sangat tinggi. Namun disisi lain adanya sebagian orang yang memberikan penghargaan dengan adanya perubahan yang akan dilakukan organisasinya. Mereka akan memberi dukungan dan bekerja dengan penuh semangat dalam mendukung perubahan. Terdapat beberapa alasan mengapa orang memberi dukungan pada perubahan. Kirkpatrick (2001) mengidentifikasi beberapa hasil yang dapat menyebabkan orang memberi respon positif terhadap perubahan:

1. *Security*. Perubahan akan meningkatkan permintaan keahlian-keahlian yang bersifat individual.
2. *Money*. Perubahan akan melibatkan kenaikan salary bagi karyawannya.
3. *Authority*. Perubahan akan menyebabkan adanya promosi dan atau adanya alokasi dari kebijaksanaan pengambilan keputusan.
4. *Status/prestige*. Perubahan terkadang memerlukan peran dari orang yang memiliki gelar, penugasan pekerjaan, alokasi jabatan dan sebagainya.
5. *Responsibility*. Perubahan-perubahan mungkin akan berulang.
6. *Better working conditions*. Lingkungan baru mungkin akan berubah, perlengkapan-perengkapan baru semestinya disediakan.
7. *Self-satisfaction*. Beberapa individu akan merasa senang dengan tercapainya suatu tantangan baru.

8. *Better personal contacts*. Perubahan dapat menyebabkan beberapa individu dengan relasi baru.
9. *Less time and effort*. Perubahan dapat memperbaiki efisiensi-efisiensi operasional [10]

II.6 Resistensi terhadap perubahan

Resistensi terhadap perubahan bersifat “tridimensional” melibatkan *affective*, *behavioral*, dan komponen-komponen *cognitive*. *Affective* adalah bagaimana orang akan merasakan mengenai suatu perubahan tersebut (misalnya: marah), *cognitive* adalah bagaimana orang berfikir mengenai perubahan (misalnya: ini merupakan ide konyol), dan *behavioral* adalah bagaimana orang bertindak menghadapi perubahan tersebut. *Affective resistance* dapat melakukan hal-hal kritis seperti, berusaha mencari kesalahan, menertawakan, menyalahkan atau melakukan sabotase.

Perubahan dalam suatu organisasi dianggap sebagai suatu kondisi yang akan mengancam posisi sekelompok orang di organisasi tersebut, sehingga para pegawai yang merasa akan dirugikan dengan adanya perubahan di organisasi tersebut melakukan penolakan atau resistensi, Palmer (2009) menyebutkan beberapa hal yang menyebabkan pegawai menentang perubahan, yaitu:

1. *Dislike of change*

Hal yang umum dihadapi manajer adalah adanya pertentangan, sebagian karyawan tidak menyukai adanya perubahan dan mereka berupaya untuk menggagalkannya. Bagaimana pun sulitnya dan banyaknya pertentangan yang tidak menyukai adanya perubahan, pertanyaannya adalah bagaimana cara agar tiap karyawan dapat menyadari bahkan mendukung upaya perubahan tersebut.

2. *Discomfort with uncertainty*

Sebagai individu, bagaimana kondisi akan menyenangkan jika dilibatkan dalam suatu lingkungan yang tidak jelas. Sebagian lain merasa senang dengan adanya perubahan yang akan dijalankan, walaupun arah perubahan belum jelas. Bagaimanapun pihak yang lain merasa tidak nyaman dengan adanya perubahan dan mencoba melakukan pertentangan terhadap perubahan kecuali arah atau tujuan yang rinci dipaparkan secara terbuka.

3. *Perceived negative effect on interests*

Kesiapan untuk perubahan akan dipengaruhi juga oleh persepsi-persepsi orang dari pengaruh perubahan pada kepentingan mereka yang dapat mencakup sejumlah faktor termasuk wewenang, status, dan penghargaan (termasuk penggajian), hubungan dengan rekan kerja, dan keamanan. Orang akan cenderung mendukung jika perubahan-perubahan tersebut tidak mengancam kepentingan mereka dan mereka akan menentang jika perubahan tersebut akan merusak kepentingan-kepentingan mereka.

4. *Attachment to the established organizational culture/identity*

Readiness untuk perubahan dapat secara significant dipengaruhi oleh derajat lampiran dari budaya yang ada. Reger, dkk (1994) berpendapat bahwa dua rintangan yang paling mendasar cenderung mengurangi dukungan dari inisiatif perubahan yang diinterpretasikan sebagai ketidaksesuaian dengan identitas organisasi yang ada.

5. *Perceived Breach of psychological contract*

Para pegawai merasa adanya timbal balik antara mereka dengan pihak pemilik perusahaan. Hal tersebut adalah “psychological contract”. Karyawan merasa adanya pelanggaran terhadap kontrak tersebut ketika pemilik perusahaan tidak lagi menghormati bagian yang disepakati dari kontrak tersebut.

6. *Lack of Conviction That Change is Needed*

Hal yang membantu para pendukung perubahan adalah bahwa mereka percaya jika perubahan diperlukan tersebar luas diantara organisasi. Namun demikian, jika perubahan tersebut nampak sesuatu yang jelas untuk karyawan tertentu, di sisi lain hal tersebut dipertanyakan oleh karyawan di sisi lain, mereka beranggapan tidak ada yang salah dengan sistem saat ini. Orang akan cenderung bereaksi negatif untuk berubah ketika mereka merasa tidak perlu melakukan perubahan tersebut.

7. *Belief that the spesific change being proposed is inappropriate*

Mengimplementasikan perubahan adalah melihat pandangan dalam dua sisi, suatu ide yang bagus (kita harus melakukan hal ini) atau sisi jelek (ide gila siapa ini?). seorang pendukung perubahan harus berpikir tajam dalam melihat hal tersebut, dalam hal ini tidak baik untuk merendahkan pihak yang tidak mendukung adanya perubahan tersebut "*resistance to change*". Mungkin ada betulnya pendapat dari para *resistor* bahwa hal ini bukan saat yang tepat dalam mengimplementasikan perubahan. Strategi adalah upaya mencapai tujuan-tujuan yang mengalir didalam suatu visi organisasi. Perubahan sebagai suatu peran dari strategi, karena itu adanya perbedaan dalam area organisasi tersebut harus dilihat sebagai bagian dari suatu strategi organisasi yang harus dipecahkan dengan benar.

8. *Belief that the timing is wrong*

Orang bereaksi untuk menentang perubahan, bukan berarti mereka tidak setuju dengan maksud dari perubahan tersebut, tetapi disebabkan mereka percaya bahwa waktu saat ini bukan waktu yang tepat untuk mengimplementasikan perubahan tersebut. Jika permasalahannya seperti itu, pendukung perubahan harus dapat menjaga dampak yang tidak diharapkan dari sisi pelanggan, karyawan utama, atau partner perusahaan tersebut dengan mengubah perubahan pada waktu yang tepat [11]

II.7 Mengelola Resistensi

Terdapat beberapa pendekatan dalam menangani resistensi untuk perubahan. Pada pendekatan ini terdapat beberapa pilihan yang dapat dipertimbangkan oleh para manajer.

Suatu tinjauan dari Harvard Business oleh Kotter dan Schlesinger (1979) menyediakan suatu cara klasik dalam menangani resistensi untuk perubahan. Kotter dan Schlesinger (1979) menganjurkan enam metode dalam mengelola resistensi:

1. Pendidikan dan Komunikasi
2. Partisipasi dan pelibatan
3. Fasilitasi dan dukungan
4. Negosiasi dan persetujuan
5. Manipulasi dan *cooptation*
6. Paksaan baik secara ekplisist maupun implisit

Pendekatan ini bersifat situasional, artinya mereka menganjurkan bahwa pemilihan dari metode-metode oleh manajer seharusnya ditentukan faktor-faktor konstekstual. Mengacu kepada pendapatnya kotter dan Schlesinger (1979), "Kesalahan umum yang paling banyak dilakukan oleh para manajer adalah hanya menggunakan satu pendekatan tanpa menghiraukan terhadap situasi tersebut" [12].

II.8 Pendekatan Manajemen Perubahan

Salah satu pemodelan yang dikenal baik dalam manajemen perubahan sebagai suatu model yang paling baik adalah John Kotter's eight-step model (1996). Yang pertama kali diterbitkan dalam sebuah artikel di *Harvard Business Review* (HBR). Pada tahun 1996 artikel tersebut diterbitkan dalam buku berjudul *Leading Change*, yang dikembangkan pada tahun 2002 dengan buku berjudul *The Heart of the Change*, tabel II.7 menggambarkan ringkasan dari model klasik tersebut.

Tabel II.1 Pendekatan Kotter dalam Mengimplementasikan Perubahan [13]

langkah	Tindakan
1. Membangun pengertian perlunya perubahan dengan cepat.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melakukan analisis pasar 2. Menentukan permasalahan dan kesempatan 3. Gunakan teknik-teknik untuk menfokuskan orang pada kepentingan perubahan
2. Pastikan terdapat suatu kelompok yang kuat yang mengemudikan perubahan tersebut.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Buat suatu struktur kelompok yang menggerakkan perubahan tersebut 2. Pastikan tiap kelompok tersebut memiliki kekuatan yang mencukupi untuk mencapai perubahan yang diharapkan
3. Membangun suatu visi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kembangkan suatu visi yang menyediakan suatu <i>concern</i> untuk perubahan tersebut
4. Komunikasikan visi tersebut	<ol style="list-style-type: none"> 2. Berpatokan pada model aturan yang mengacu pada visi tersebut 3. Gunakan beberapa cara secara terus menerus mengkomunikasikan visi tersebut

langkah	Tindakan
5. Memberikan wewenang pada pegawai	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hilangkan kebijakan dan struktur organisasi yang merintanginya tercapainya visi tersebut 2. Berikan dukungan untuk pengambilan resiko.
6. Pastikan kemenangan jangka pendek dapat diraih	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kemenangan memberikan sugesti untuk perubahan. 2. Kemenangan akan memberikan motivasi bagi para karyawan
7. Konsolidasikan hasil yang diperoleh	<ol style="list-style-type: none"> 1. Teruskan untuk menghilangkan kebijakan-kebijakan dan proses organisasi yang merintanginya perubahan 2. Berikan <i>reward</i> untuk pegawai yang memberi dukungan positif untuk perubahan 3. Bangun suatu proyek perubahan baru
8. Tanamkan perubahan tersebut dalam budaya perusahaan.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hubungkan perubahan dengan kinerja dan kepemimpinan organisasi.

Sementara Kotter (1996) menyatakan bahwa framework yang dikembangkan dapat menyederhanakan proses perubahan tersebut “walaupun usaha-usaha untuk memperoleh kesuksesan perubahan tersebut bersifat *messy* dan penuh dengan hal-hal yang mengherankan” Kotter berpendapat dengan mengikuti kedelapan langkah yang digambarkan akan membawa kepada kesuksesan perubahan tersebut. Kotter berpendapat dengan tidak menghilangkan alternatif “analysis-think-change”, Kotter menganjurkan bahwa “see-feel-change” akan lebih memotivasi untuk orang-orang ikut serta dalam perubahan.

III. Implementasi UIN Sunan Gunung Djati menjadi Research University berdasarkan Kotter's eight stage model

Langkah-langkah Implementasi Manajemen Perubahan UIN Sunan Gunung Djati Bandung menuju research university terdiri dari beberapa langkah utama. Tahap-tahapan yang dilakukan mengacu kepada pendekatan *Kotter's eight-step*[9] dan best practice Adelaide University[10] dengan farenwork tabel dari Surendro' Tata kelola teknologi informasi[11]. Tahap-tahapan yang dibuat, merupakan rekomendasi dalam mengimplementasikan UIN Sunan Gunung Djati Bandung menuju universitas yang memiliki reputasi penelitian yang baik.

Tabel 1

Membangun Pengertian Perlunya Perubahan

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Membangun pengertian perlunya perubahan dengan cepat	
Sasaran proses	Memperoleh pemahaman mengenai pentingnya melakukan perubahan dengan cepat. Mendefinisikan beberapa permasalahan dari sistem lama
Pertimbangan	UIN Sunan Gunung Djati memiliki beberapa fakultas umum baru diluar fakultas yang mengajarkan ilmu-ilmu keislaman diantaranya fakultas sains dan teknologi yang memiliki beberapa program studi yaitu Teknik informatika, teknik elektro, matematika, fisika, kimia, biologi, dan agrobisnis. UIN Sunan Gunung Djati menganggap dengan rutinitas kegiatan penelitian baik yang diselenggarakan untuk penelitian tingkat nasional maupun internasional akan melahirkan budaya peneliti di lingkungan sivitas akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
Tasks	Melakukan analisis pasar Menentukan permasalahan dan kesempatan Menggunakan teknik-teknik untuk menfokuskan orang pada kepentingan perubahan
Input	Kebijakan organisasi, rencana pengembangan sistem (Cerita sukses; dengan cara benchmark dengan beberapa perguruan tinggi yang memiliki reputasi penelitan yang kredibel baik di dalam maupunluar negeri), studi kasus
Output	Partisipasi pegawai (Rektor, para pembantu rektor, dosen, staff, dan mahasiswa) dalam perubahan
Tools	Analisis SWOT

Tabel 2

Pastikan terdapat kelompok yang kuat yang mengendalikan perubahan tersebut

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Pastikan terdapat kelompok yang kuat yang mengendalikan perubahan tersebut	
Sasaran proses	Memastikan adanya tim program yang dibentuk, dan memahami tujuan untuk mengendalikan perubahan.
Pertimbangan	Implementasi UIN Sunan Gunung Djati menuju <i>research university</i> harus mendapat dukungan dari tim yang kuat untuk menjamin bahwa proses perubahan menuju universitas dengan budaya meneliti dapat diimplementasikan dengan baik. Dalam hal ini peranan seorang pemimpin perubahan (Rektor, para pembantu lektor, dosen, mahasiswa, rekanan universitas) sangat berpengaruh untuk memberikan pengendalian terhadap sistem yang akan dijalankan
Tasks	Buat suatu struktur kelompok yang menggerakkan perubahan tersebut. Pastikan tiap kelompok tersebut memiliki kekuatan yang mencukupi untuk mencapai perubahan yang diharapkan
Input	Rencana dan strategi pengendalian
Output	Tujuan pengendalian perubahan yang telah dipahami dan dampak pada lingkungan pegawai
Tools	Tuckman's forming storming norming performing four-stage model (University of Adelaide collective agreement, 2006-2008)

Tabel 3

Membangun Suatu Visi dan Strategi

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Membangun Suatu Visi dan Strategi	
Sasaran proses	Membangun visi dan strategi yang efektif untuk memandu pengambilan keputusan
Pertimbangan	Visi merupakan "suatu pernyataan dari tujuan yang ditetapkan oleh manajemen berdasarkan nilai-nilai utama dan keyakinan organisasi yang mengidentifikasi identitas organisasi dan perwujudan dari arah secara bersama dengan suatu acuan yang nyata untuk merealisasikan tujuan-tujuannya" (Landau, Drori, dan Porras, 2006). Perlu adanya perubahan visi dari Universitas, misalnya "Menjadi Universitas Berahlak Islam yang memiliki reputasi penelitian internasional"
Tasks	mengembangkan suatu visi yang menyediakan suatu <i>concern</i> untuk perubahan tersebut
Input	Para eksekutif dari organisasi lain
Output	Tercipta visi yang <i>imaginable, desirable, feasible, focused, flexible, dan communicable</i> (Kotter, 1996)
Tools	Vission building tool

Tabel 4

Komunikasikan Visi tersebut

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Komunikasikan Visi tersebut	
Sasaran proses	Menyebarkan visi yang efektif kepada seluruh pegawai di organisasi
Pertimbangan	Komunikasi merupakan langkah yang harus dijakankan secara efektif kepada seluruh sivitas akademika UIN Sunan Gunung Djati Bandung, para stakeholder, rekanan institusi. Beberapa metoda komunikasi baik secara lisan, rapat-rapat formal maupun non formal, informasi secara <i>upto date</i> pada website UIN Sunan Gunung Djati untuk memberikan pemahaman dan pencapaian visi yang sudah ditentukan.
Tasks	Berpatokan pada model aturan yang mengacu pada visi tersebut Gunakan beberapa cara secara terus menerus mengkomunikasikan visi tersebut
Input	Para eksekutif dari organisasi
Output	Posisi penerimaan visi dan profil visi
Tools	Communication model

Tabel 5

Memberikan wewenang pada pegawai

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Memberikan wewenang pada pegawai	
Sasaran proses	Menentukan wewenang yang terkait dengan manajemen perubahan
Pertimbangan	Berupaya untuk menghilangkan semua rintangan yang menghalangi tercapainya visi yang sudah dibentuk. Beberapa rintangan dapat berupa resistensi terhadap upaya menjadikan UIN Sunan Gunung Djati sebagai research universities dengan adanya kekhawatiran akan meminggirkan keilmuan agama islam yang sudah menjadi landasan utama di institusi ini. Rektor harus berani memberikan dukungan untuk mengambil resiko kepada para pihak yang terkait (para wakil ketua, dosen, staff, mahasiswa dan stakeholder) untuk mengimplementasikan <i>goal</i> yang sudah ditentukan.
Tasks	Hilangkan kebijakan dan struktur organisasi yang merintang tercapainya visi tersebut, Berikan dukungan untuk pengambilan resiko
Input	Kebijakan para eksekutif, rencana kelanjutan perubahan
Output	Analisis wewenang
Tools	Pendekatan analisis resiko

Tabel 6

Pastikan Kemenangan jangka pendek dapat diraih

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Pastikan Kemenangan jangka pendek dapat diraih	
Sasaran proses	Menentukan target jangka pendek yang dapat dicapai, memberikan motivasi secara berkelanjutan
Pertimbangan	Rektor selaku <i>navigator</i> dalam mengimplementasikan perubahan harus berupaya untuk mencapai kesuksesan dari implementasi <i>Research University</i> dalam jangka pendek, dalam tataran fakultas. Kemenangan atau kesuksesan salah satu fakultas dalam mengimplementasikan reputasi penelitian ini akan memberikan dampak yang positif bagi tiap fakultas lain dilingkungan UIN Sunan Gunung Djati Bandung untuk melakukan perubahan, disisi lain kemenangan ini akan memberikan motivasi bagi para dosen, akademisi dan seluruh sivitas akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
Tasks	Kemenangan memberikan sugesti untuk perubahan. Kemenangan akan memberikan motivasi bagi para karyawan
Input	Tujuan perubahan sistem
Output	Sasaran kemenangan yang terpilih
Tools	Reward and recognition

Tabel 7

Konsolidasikan hasil yang diperoleh

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Konsolidasikan hasil yang diperoleh	
Sasaran proses	Mengkonsolidasikan hasil yang diperoleh kepada para pegawai di organisasi
Pertimbangan	Para manajer perubahan harus dapat meningkatkan perubahan yang sudah diperoleh secara lebih cepat, konsolidasikan perbaikan-perbaikan dan upaya peningkatan semangat perubahan harus selalu dilekatkan pada seluruh sivitas akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Manajer perubahan harus dapat meningkatkan kepercayaan untuk merubah seluruh sistem, struktur serta kebijakan-kebijakan yang tidak sesuai dengan usaha untuk mentransformasikan perubahan yang direncanakan. Rektor dapat menyewa, mempromosikan dan membangun orang-orang yang dapat mengimplementasikan visi perubahan tersebut, hal terakhir yang dapat dilakukan Rektor adalah dengan memperkuat kembali proses-proses tersebut dengan proyek-proyek baru, dan agen-agen perubahan
Tasks	Teruskan untuk menghilangkan kebijakan-kebijakan dan proses

Konsolidasikan hasil yang diperoleh	
	organisasi yang merintangi perubahan Berikan <i>reward</i> untuk pegawai yang memberi dukungan positif untuk perubahan Bangun suatu proyek perubahan baru
Input	Rencana organisasi
Output	Analisis hasil perubahan
Tools	<i>Templates</i> (inisiasi hasil perubahan)

Tabel 8

Tanamkan perubahan tersebut dalam budaya perusahaan

(Acuan Model Kotter's eight-step, 1996, Surendro's Implementasi tatakelola TI, 2010, dan Best practice Adelaide University, 2008)

Tanamkan perubahan tersebut dalam budaya perusahaan	
Sasaran proses	Menciptakan perubahan kedalam budaya organisasi, menanamkan prilaku baru kepada seluruh pegawai
Pertimbangan	Prilaku baru harus dapat terjaga dan yakinkan bahwa kesuksesan tersebut dapat dipertahankan sampai menjadi budaya kelompok dalam institusi UIN Sunan Gunung Djati Bandung, ciptakan kinerja yang jauh lebih baik lagi berorientasi produktivitas dan pelanggan dalam hal ini (mahasiswa dan stakeholder) dengan kepemimpinan dan manajemen yang lebih efektif. mengartikulasikan hubungan dari prilaku-prilaku baru tersebut dan kesuksesan organisasi serta mengembangkan metode-metode untuk menjamin kesuksesan dan pengembangan kepemimpinan
Tasks	Hubungkan perubahan dengan kinerja dan kepemimpinan organisasi
Input	Tujuan implementasi perubahan
Output	Program yang sudah difinalisasi
Tools	<i>Templates</i> (inisiasi budaya baru)

IV. Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil eksplorasi yang telah dilakukan dapat diidentifikasi bahwa UIN Sunan Gunung Djati dalam mengimplementasikan *research university* terdapat beberapa kendala atau kekurangan. Secara umum kendala yang *significant* dalam penelitian ini adalah tingkat kesadaran melakukan penelitian di internal masing-masing fakultas belum maksimal, penelitian lebih didominasi oleh para Dosen sebagai salah satu fungsi dari Tri darma perguruan tinggi, masih sedikitnya penelitian kolaborasi antara Dosen dan mahasiswa.

Penelitian ini merekomendasikan para pendukung perubahan di institusi UIN Sunan Gunung Djati Bandung untuk mengimplementasikan model *Kotter's eight-step, best practice* universitas Adelaide dan Surendro Tatakelola teknologi informasi untuk menjadi perguruan tinggi yang memiliki reputasi penelitian yang baik dalam memasuki masyarakat ekonomi asean (MEA) 2015.

Hasil akhir penelitian ini dapat disimpulkan UIN Sunan Gunung Djati Bandung dalam beberapa tahun mendatang dapat memiliki reputasi penelitian yang kredibel dan memiliki daya saing yang kompetitif dalam wilayah masyarakat ekonomi asean (MEA) 2015, beberapa *key succes factor* yang

ditelaah adalah membiasakan penelitian pada level nasional maupun internasional, kolaborasi kerjasama dengan stakeholder di dalam dan luar negeri, kesadaran sivitas akademika terutama Dosen untuk menjadikan institusi islami berbasis *research university* yang kredibel.

Referensi

- [1] Egan, R. and Fjermestad, J, "Change and Resistance help for the practitioner of change", in *Proc of the 38th*, Hawaii International Conference on System Sciences, IEEE 0-7695-2268-8-2005.
- [2] (2011) Hiatt, J Changemanagement website [online]. Available of <http://www.changemanagement.com>.
- [3] (2011) Adelaide University website [online]. Available of <http://www.adelaide.edu.au>.
- [4] Keliat M, Virgianita A, Al Banna S, Aryanto A C, "Laporan Penelitian ASEAN Study Center Universitas Indonesia bekerja sama dengan Kementerian Luar Negeri Republik Indonesia", 2013
- [5] Sektor Jasa Berpotensi Naikkan Daya Saing Indonesia," *Republika*, Jumat, 19 April 2013, diakses dari <http://www.republika.co.id/berita/ekonomi/makro/13/04/19/mlhx7a-sektor-jasa-berpotensi-naikkan-daya-saing-indonesia>
- [6] Sektor Jasa Pegang Peranan Penting dalam Perekonomian Indonesia," diakses dari [http://satuharapan.com/index.php?id=109&tx_ttnews\[tt_news\]=4222&cHash=1](http://satuharapan.com/index.php?id=109&tx_ttnews[tt_news]=4222&cHash=1)
- [7] Sumber: Chris Manning dan Haryo Aswicahyono, "Perdagangan dan Pekerjaan di Sektor Jasa di Indonesia," Laporan International Labour Organization (ILO), 12 Juli 2012, dapat diakses di http://www.ilo.org/jakarta/whatwedo/publications/WCMS_185656/lang--en/index.htm
- [8] Palmer, I., Dunford, R., Akin, G, "Managing Organizational Change", a Multiple perspective Approach, p. 139, 2009
- [9] Palmer, I., Dunford, R., Akin, G, "Managing Organizational Change", a Multiple perspective Approach, p. 24, 2009.
- [10] Palmer, I., Dunford, R., Akin, G, "Managing Organizational Change", a Multiple perspective Approach, p. 103, 2009.
- [11] Palmer, I., Dunford, R., Akin, G, "Managing Organizational Change", a Multiple perspective Approach, p. 103, 2009.
- [12] Palmer, I., Dunford, R., Akin, G, "Managing Organizational Change", a Multiple perspective Approach, p. 103, 2009.
- [13] Kotter, J.P., "Leading Change", Boston, M.A, Harvard Business School Press, 1996.
- [14] (2011) Adelaide University website [online], "Leading_Change_toolIT", Available of <http://www.adelaide.edu.au>.
- [15] (2011) Surendro Kridanto, "Strategi Kebijakan Teknologi Informasi", penerbit Informatika.

Klasifikasi Emosi dengan *Rule Based* menggunakan Algoritma Synesketch

Aldy Rialdy Atmadja^{1, a)}

¹Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: aldy@if.uinsgd.ac.id

Abstrak

Penelitian ini berfokus pada klasifikasi emosi untuk media sosial Twitter dengan menggunakan aturan (*rule based*). Data yang dipergunakan dalam klasifikasi berjumlah 7.622 data tweet dan telah dilabeli oleh 5 annotator. Data tersebut dikategorikan dalam tujuh kelas emosi (kelas marah, jijik, takut, senang, sedih, terkejut dan tidak ada emosi). Adapun langkah-langkah klasifikasi dengan aturan diawali dari praproses, penentuan *synset* emosi yang didapat dari translasi *synset* pada *WordNet-Affect*, kumpulan *synset* emosi secara manual dan gabungan antara kedua tipe *synset*. Pembobotan dilakukan dengan melihat jumlah kemunculan kata *synset* pada data *tweet* untuk setiap kategori emosi. Dalam menentukan kelas emosi dilakukan dengan menggunakan algoritma Synesketch. Algoritma tersebut terdiri dari dua tahapan, yakni dengan melakukan deteksi aturan pada kalimat (*sentence level rules*) dan deteksi aturan pada kata (*word level rules*). Berdasarkan aturan yang diterapkan pada algoritma Synesketch, akurasi terbaik didapatkan dari klasifikasi emosi dengan menggunakan kumpulan *synset* emosi secara manual dengan persentase sebesar 63,172 %. Pada pengujian lainnya, hasil pengujian membuktikan bahwa gabungan antara kumpulan *synset* emosi secara manual dan translasi *WordNet-Affect* tidak terbukti meningkatkan akurasi dalam klasifikasi emosi dengan aturan (*rule based*).

Kata kunci: *rule based*, praproses, *synset*, *WordNet-Affect*, algoritma Synesketch

Pendahuluan

Perkembangan media sosial di Indonesia dalam beberapa tahun ini menunjukkan kemajuan yang pesat. Salah satunya, dibuktikan dengan tercatatnya Indonesia sebagai pengguna media sosial terbanyak di dunia [1]. Fakta tersebut menjadikan potensi dalam dunia industri untuk melakukan analisis terhadap aktivitas pengguna pada media sosial. Aktivitas pada media sosial dapat menggambarkan kondisi perasaan dan emosi seseorang. Dengan demikian, tingkat emosi seseorang dapat diukur melalui aktivitasnya dalam media sosial. Akan tetapi, pengukuran emosi tidak mudah dilakukan, karena terdapat beberapa parameter dalam mengukur emosi seseorang. Menurut Ekman, terdapat beberapa karakteristik dasar yang dapat mempengaruhi emosi seseorang diantaranya yaitu adanya korelasi dengan kejadian sebelumnya, kejadian yang tidak disangka, ataupun hubungan antar individu [2]. Dalam menentukan emosi, Ekman melakukan kategorisasi emosi kedalam emosi dasar yang terdiri dari marah (*anger*), jijik (*disgust*), takut (*fear*), gembira (*joy*), sedih (*sad*), terkejut (*surprise*) [3].

Beberapa penelitian sebelumnya, klasifikasi emosi dapat dilakukan pada teks. Namun penelitian tersebut berfokus pada teks formal yang memiliki *noise* yang relatif lebih sedikit dibandingkan teks yang diambil dari media sosial. Penelitian terkait klasifikasi emosi dengan menggunakan *rule based* telah dilakukan sebelumnya, klasifikasi emosi dengan teknik ini menekankan pada aturan sintaksis teks. Studi terkait dengan pendekatan aturan sintaksis dilakukan pada penelitian Neviarouskaya, dkk yang mengembangkan Affect Analysis Model [4] dan Krcadinac, dkk yang mengembangkan algoritma Synesketch [5].

Affect Analysis Model (AAM) merupakan model yang dikembangkan untuk melakukan klasifikasi emosi dengan dengan 5 tahapan, diantaranya adalah analisis terhadap simbol isyarat atau tanda baca pada suatu dokumen yang sudah dipisahkan (*split*), analisis sintaks, analisis terhadap kata-kata afektif seperti *WordNet-Affect*, analisis pada level frasa, dan analisa dalam kalimat untuk mengetahui intensitas emosi dominan yang muncul. Pada penelitian tersebut, dipergunakan dataset yang diambil dari blog sebanyak 700 kalimat [4]. Sedangkan, penelitian lain yang menggunakan algoritma Synesketch dilakukan melalui tahapan *sentence level rules* dan *word level rules*. Penelitian ini didasarkan pada enam kategori emosi (marah, jijik, takut, gembira, sedih, terkejut) dengan menggunakan data sebanyak 149 kalimat [5]. Pada penelitian lain, *WordNet-Affect* dipergunakan sebagai kamus dalam mengenali adanya emosi dalam teks dengan menghitung kemunculan kata emosi tersebut pada suatu dokumen (*WordNet-Affect presence*) [6]. Dalam beberapa riset lainnya, identifikasi dilakukan dengan menggunakan pembelajaran mesin (*machine learning*) dengan memanfaatkan data korpus sebagai fitur [7].

Dengan demikian, tujuan dari penelitian ini yakni untuk menjawab permasalahan dalam melakukan klasifikasi emosi dengan memanfaatkan aturan (*rule based*) untuk teks berbahasa Indonesia pada media sosial twitter. Penelitian ini berfokus pada penggunaan aturan dengan algoritma Synesketch dengan menggunakan *synset* emosi (kata-kata yang relevan dengan suatu emosi). Pada setiap kata emosi tersebut dilakukan pembobotan melalui kemunculan kata pada emosi tertentu, sehingga nilai dari bobot yang dihasilkan, akan dipergunakan untuk menentukan emosi dalam teks tersebut. Pengujian dilakukan dengan membandingkan tiga tipe *synset* emosi *synset* emosi yang berasal dari hasil translasi *WordNet-Affect*, kumpulan manual kata emosi dan gabungan antara keduanya.

Klasifikasi Emosi dengan Rule Based

Penentuan emosi dilakukan dengan mengkategorikan kedalam beberapa emosi dasar, emosi dasar yang digunakan mengacu pada penelitian yang dilakukan Ekman [2]. Kategori ini terdiri dari enam emosi dasar, diantaranya marah (*anger*), jijik (*disgust*), takut (*fear*), gembira (*joy*), sedih (*sad*), terkejut (*surprise*). Selain itu, bila tidak terdapat emosi dalam teks tersebut akan dikategorikan sebagai netral (tidak ada emosi) [7].

Tahapan klasifikasi emosi dimulai dari pengumpulan data melalui proses penarikan data (*crawling data*). Pengumpulan data pada media sosial twitter dilakukan dengan menggunakan fasilitas API (*Application Programming Interface*). Pada penelitian ini, data yang dipergunakan sejumlah 7.622 data tweet. Berikut ini jumlah data pada setiap kategori yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Jumlah data pada setiap kategori emosi

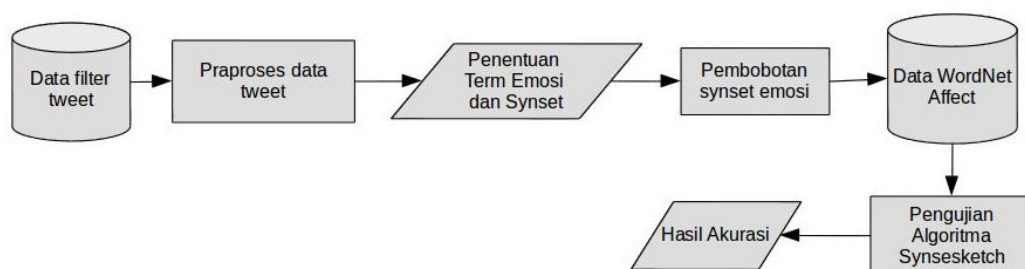
Kategori Emosi	Jumlah	Persentase
Marah	246	3.23 %
Jijik	17	0.22 %
Takut	42	0.55 %
Gembira	3282	43.06 %
Sedih	888	11.65 %
Terkejut	174	2.28 %
Tidak ada emosi	2973	39.01 %
Total	7622	100 %

Data pada tabel 1 merupakan data dari hasil proses filter data, proses filter diperlukan untuk menghindari data seperti duplikasi dan *noise* yang tidak dipergunakan dalam penelitian. Selanjutnya, pelabelan dilakukan oleh 5 (lima) annotator, emosi dominan yang muncul dari pelabelan yang dilakukan akan menjadi kelas dalam emosi tersebut. Berikut ini merupakan contoh pelabelan yang dilakukan oleh 5 anotorator.

Tabel 3. Pelabelan Data oleh 5 Anotorator

Tweet	1	2	3	4	5	Dominan
<user>kesini ki,, ngampus hayooh rame :D.	Gembira	Gembira	Takut	Gembira	Gembira	Gembira
Faakkkk bru sadar lahh akunnya dibajak brengsek	Marah	Marah	Terkejut	Marah	Marah	Marah
RT <user>: Pemuda merupakan tulang punggung kemajuan suatu bangsa. #YouthContribution	Tidak ada emosi	Tidak ada emosi	Tidak ada emosi	Gembira	Tidak ada emosi	Tidak ada emosi

Kemudian, setelah melalui proses pelabelan dan filter data, dilanjutkan dengan tahapan praproses. Tahapan praproses dilakukan dengan beberapa langkah, seperti casefolding (perubahan huruf besar kedalam huruf kecil), tokenisasi (pemecahan kalimat kedalam kata), dan normalisasi teks (penghapusan http, https, RT dan username) [8]. Selanjutnya penentuan *term* emosi dan pembobotan dilakukan, *term* tersebut digunakan sebagai referensi kata WordNet-Affect untuk diuji dengan algoritma Synesketch. Pada tahapan akhir, dilakukan perbandingan akurasi yang terbaik dari penggunaan tipe synset pada klasifikasi emosi ini. Berikut ini, merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam klasifikasi emosi.



Gambar 4. Teknik Klasifikasi dengan Rule Based

Penentuan synset dan bobot emosi dilakukan untuk menghitung bobot yang dihasilkan dari setiap synset emosi pada klasifikasi. Synset emosi didapatkan dari beberapa jenis kata emosi yang digunakan, berikut ini deskripsi dan jumlah synset yang dipergunakan untuk klasifikasi emosi.

1. *WordNet-Affect*, kumpulan kata emosi dalam bahasa Inggris ini diterjemahkan kedalam bahasa Indonesia sebagai synset yang dipergunakan dalam klasifikasi (WNA-SS).
2. Kumpulan kata emosi secara manual, kata ini didapatkan dari hasil analisa kata-kata emosi yang sering muncul pada tweet berbahasa Indonesia (WNA-M).
3. Gabungan antara keduanya, hasil translasi *WordNet-Affect* dan kumpulan kata emosi secara manual (WNA-SS+M).

Tabel 4. Jumlah kata (synsets) yang digunakan pada proses klasifikasi emosi

WNA- SS	WNA-M	WNA-SS+M
208	318	433

Untuk dapat menghitung nilai emosi pada klasifikasi emosi diperlukan bobot pada setiap term emosi (*synsets*). Pada penelitian ini, bobot *synsets* dihitung dengan cara sebagai berikut.

1. Pada setiap data *tweet* yang telah diambil akan dilakukan praproses terlebih dahulu, sehingga mendapatkan kata-kata yang sudah disederhanakan.
2. Bobot *synsets* didapatkan dengan menghitung kemunculan kumpulan *synsets* dengan data *tweet* yang telah dilakukan proses tokenisasi. Kemunculan *synsets* dicocokkan dengan 7 (enam) kategori emosi, yakni : marah, jijik, takut, gembira, sedih, terkejut, tidak ada emosi. Berikut ini adalah beberapa contoh *synsets* dan perhitungannya setelah dihitung kemunculan kata dengan data *tweet*.

Tabel 5. Contoh Synsets dan Perhitungan Bobot yang dihasilkan

Synsets	1	2	3	4	5	6	7
keji	2 (1.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
Tai	0 (0.00)	1 (1.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)
serem	0 (0.00)	0 (0.00)	3 (0.60)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	2 (0.40)
lancar	1 (0.04)	0(0.00)	0 (0.00)	17 (0.65)	1 (0.04)	1 (0.04)	6(0.23)
pening	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	0 (0.00)	4 (0.80)	1 (0.20)	0 (0.00)

Keterangan : 1 = Marah , 2 = Jijik, 3 = Takut, 4 = Gembira, 5 = Sedih,

6 = Terkejut, 7 = Tidak ada emosi

3. Pada tabel diatas, bobot didapatkan dari kemunculan kata *synsets* pada satu emosi dibandingkan dengan jumlah keseluruhan, sebagai contoh kata lancar menghasilkan emosi dominan gembira dengan bobot 0.65. Bobot tersebut didapatkan dari :

$$\text{Bobot (lancar, gembira)} = \frac{\text{jumlah kemunculan kata (lancar, gembira)}}{\text{jumlah keseluruhan emosi (7 dimensi emosi)}}$$
 Sehingga, untuk menghitung bobot lancar, pada emosi gembira yaitu :

$$\text{Bobot lancar, gembira} = \frac{17}{26} = 0,65$$
4. Hasil perhitungan bobot yang telah dihitung, akan digunakan untuk klasifikasi emosi menggunakan aturan (*rule*).

Dalam melakukan klasifikasi emosi menggunakan aturan (*rule*) dipergunakan algoritma Synesketch [5]. Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan klasifikasi emosi pada teks yang akan diimplementasikan dengan algoritma tersebut.

1. Tahapan awal dilakukan pendeteksian aturan pada kalimat (*sentence level rules*) dengan melihat aturan sebagai berikut :
 - Jika terdapat kata negasi dalam suatu kalimat yang dibatasi tanda baca tertentu atau spasi, dimana terdapat kata emosi. Dengan demikian, nilai valensi akan dibalik dan bobot nilai ditukar dengan bobot kebalikan emosi tersebut. Sebagai contoh bila terdapat kalimat “hidup terasa tidak tenang”. Pada kalimat tersebut, kata “tidak” akan membuat nilai bobot emosi dibalik dari bobot yang bernilai positif (gembira) menjadi bobot emosi yang bernilai negatif (sedih, marah, takut atau jijik).
 - Jika terdapat tanda baca seru (!) pada kalimat. Maka intensitas emosi akan bertambah. Pada setiap tanda baca seru, bobot emosi ditambahkan sebesar 20%.
 - Jika terdapat kombinasi tanda baca (?!) ataupun (!?), maka bobot emosi terkejut (surprise) berubah menjadi 1.0.
2. Tahapan setelah pendeteksian aturan kalimat yakni dilakukan proses tokenisasi, yakni memecah kalimat menjadi kata.
3. Selanjutnya, dilakukan tahap pendeteksian aturan pada kata (*word level rules*), tahapan tersebut terdiri dari 3 (tiga) bagian, yakni sebagai berikut :
 - Tahapan pertama yakni pendeteksian emoticon yang dicocokkan pada kamus emoticon. Pada setiap emoticon yang terdapat dalam kamus, maka bobot emosi akan ditingkatkan menjadi 20%.
 - Jika terdapat kata emosi yang ditulis kapital, maka bobot emosi akan ditingkatkan sebanyak 50%.
 - Jika pada suatu kalimat terdapat kata keterangan yang menjelaskan kata emosi tertentu, maka bobot emosi pada kalimat tersebut akan ditambahkan sebanyak 50%.
4. Kemudian bobot emosi diperbaharui yang didasarkan pada aturan kata (*word level rules*).
5. Kata-kata yang mengandung emosi dimasukkan kedalam kumpulan kata emosi pada kalimat dan dilakukan *update* terhadap bobot pada kalimat tersebut.
6. Bobot emosi pada setiap vektor emosi didasarkan pada nilai maksimal pada semua kata yang muncul pada emosi yang sama dan emosi dominan dipilih dari emosi yang mempunyai nilai terbesar dari dimensi vektor emosi.
7. Kemudian emosi yang dominan yang dihasilkan pada teks akan dibandingkan dengan hasil anotasi sebelumnya untuk mendapatkan akurasi yang dihasilkan.

Dengan demikian, klasifikasi emosi dengan menggunakan teknik aturan (*rule*) hanya melihat kemunculan kata pada tiga tipe *WordNet-Affect* yang digunakan. Pada setiap kata tersebut akan ditentukan bobotnya terlebih dahulu yang dilihat dari kemunculan kata pada setiap dimensi emosi.

Hasil dan Diskusi

Adapun hasil pengujian dengan aturan (*rule*) yakni memperlihatkan akurasi yang dihasilkan dari ketiga tipe *WordNet-Affect* diantaranya hasil translasi dari *WordNet-Affect* (WNA-SS), kumpulan synsets emosi secara manual (WNA-M), dan gabungan kata pada *WordNet-Affect* dan kumpulan kata manual (WNA-SS+M). Akurasi didapatkan dari persentasi target dan kelas prediksi yang dihasilkan dari aturan tersebut. Berikut ini deskripsi prediksi yang dihasilkan melalui pengujian dengan aturan yang diperlihatkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 6. Akurasi pada Pengujian dengan Rule Based

	WNA-SS	WNA-M	WNA-SS+M
Jumlah data	7622	7622	7622
Jumlah data akurat	4731	4815	4764
Jumlah data tidak akurat	2891	2807	2858
Akurasi	62.070 %	63.172 %	62.503 %

Tabel 5 diatas menunjukkan bahwa hasil pengujian terbaik didapatkan dari klasifikasi emosi dengan menggunakan *WordNet-Affect* secara manual. Hasil tersebut memperlihatkan klasifikasi emosi pada data tweet menggunakan WNA-M dapat memprediksi emosi secara tepat yang berjumlah 4.815 tweet, sehingga persentase akurasi yang dihasilkan mencapai 63.172 %.

Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian klasifikasi emosi dengan *rule based* menggunakan algoritma Synesketch yakni sebagai berikut.

- Pengujian tersebut menghasilkan nilai akurasi terbesar pada pengujian dengan memanfaatkan *WordNet-Affect* secara manual yang telah dikumpulkan dengan persentase akurasi mencapai 63,172 %.
- Hasil gabungan antara *WordNet-Affect* secara manual dan translasi *WordNet-Affect* tidak menaikkan akurasi. Hal ini disebabkan karena hasil translasi dari *WordNet-Affect* yang tidak cocok diterapkan sebagai *WordNet-Affect* dalam berbahasa Indonesia. Dengan demikian, bahasa penggunaan kata tersebut memiliki karakteristik berbeda antara bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih terhadap pembimbing tesis yang membantu dalam berkonsultasi perihal penelitian klasifikasi emosi yang dilakukan ini. Kemudian, tak lupa penulis mengucapkan banyak terima kasih terhadap dosen, staff jurusan Teknik Informatika yang membantu baik moril dan materil selama penelitian berlangsung.

Referensi

- [1] Exploring the Use of Twitter Around the World, <http://www.sysomos.com/insidetwitter/geography> [diakses pada 01 April 2014]
- [2] Ekman, P. (1992) : An Argument for Basic Emotion.
- [3] Ekman, P. (1999) : Are There Basic Emotion ?.
- [4] Neviarouskaya, A., Prendinger, H., dan Ishizuka, M. (2010). User study on AffectIM, an avatar-based Instant Messaging system employing rule-based affect sensing from text. *International journal of human-computer studies* 68.7 (2010): 432-450.
- [5] Krcadinac, U., Pasquier, P., Jovanovic, J., dan Devedzic, V. (2013). Synesketch: An Open Source Library for Sentence-based Emotion Recognition.
- [6] Strapparava, C., dan Mihalcea, R. (2008). Learning to identify emotions in text. *Proceedings of the 2008 ACM symposium on Applied computing*. ACM.
- [7] Burget, R., Karasek, J., Směkal, Z. (2011). Recognition of emotions in Czech newspaper headlines. *Radioengineering* 20.1 (2011): 39-47.
- [8] Hasan, M., Rundensteiner, E., and Agu, Emanuel. (2014). EMOTEX: Detecting Emotions in Twitter Messages. 2014 ASE BIGDATA/ SOCIAL/ CYBERSECURITY Conference, Stanford University, May 27-31, 2014.

Perancangan Aplikasi Android untuk Pembelajaran Tahsin Tilawah Kelas Iqra

Alim Hardiansyah^{1, a)}, Ravie Kurnia Laday^{2, b)} dan Abdul Hadi^{3, c)}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi Visual, IST Al-Kamal

Jl. Raya Al-Kamal No. 2. Kedoya, Kebon Jeruk, Jakarta Barat (021) 5811088

^{a)}hardiansyahalim@gmail.com ^{b)}ravie.ifista@yahoo.com

^{c)} Penulis yang berkorespondensi : abdulhadialmuslim@gmail.com

Abstrak

Tahsin dan tajwid merupakan ilmu yang penting dipelajari kaum muslimin. Tahsin yang berarti memperbaiki atau memperbaiki. Kata ini semakna dengan tajwid yang bermakna sama yakni memperbaiki. Seiring berkembangnya teknologi hampir semuanya dikaitkan dengan *smartphone*. Yang akhirnya *user* lebih nyaman menggunakan *smartphone*. Berdasarkan kondisi tersebut maka dirancanglah sebuah aplikasi yang dapat membantu proses pembelajaran tahsin. Metode yang digunakan dalam pembuatan aplikasi pembelajaran tahsin kelas iqra berbasis android dan penyusunan laporan penelitian ini adalah metode pengumpulan data, metode wawancara, studi kepustakaan, analisis sistem, merancang dan mengimplementasi. Metode pengembangan aplikasi yang digunakan dalam perancangan aplikasi ini yaitu *prototype* dan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat program aplikasi ini diantaranya adalah *Java Development Kit 1.7 windows* dan *Eclipse Android Developer Tools v22.6.2*, *Arabic pad 1.4*, *GoldWave*, serta *android software Development Kit (Android SDK Manager)*. Penyusunan aplikasi tahsin tilawah ini sudah dapat digunakan pada *smartphone* yang berbasis android minimal 2.2. (*Froyo*). Aplikasi ini diuji dengan dua cara yaitu pengujian *blackbox* dan pengujian beta atau pengujian langsung kepada pengguna, dengan teknik *Accidental Sampling* hasil pengujian kedua ini menghasilkan 83% menyatakan aplikasi ini bermanfaat dan dapat membantu *user* dalam belajar huruf-huruf *hijaiyah*.

Kata Kunci : android, java eclipse, tahsin.

Pendahuluan

Bismillahirrahmanirrahim, pada zaman modern saat ini khususnya dalam bidang teknologi informasi saat ini terlihat perkembangan *software* dan *hardware* yang cukup signifikan terlihat dari data IDC (*International Data Corporation*) diambil dari beberapa sumber, yang menyatakan bahwa perkembangan dan penjualan *smartphone* berbasis android sekitar 96,4% menguasai pasar dunia[1]. *Survey* pertama yang dilakukan adalah mengenai apa yang menjadi kriteria utama para responden yang mempengaruhi mereka dalam keputusan membeli perangkat pintar ini, selain karena alasan harga namun juga merk dan desain yang atraktif. Selain itu aplikasi-aplikasi android tersebut dapat dibuat dan dikembangkan sendiri sesuai dengan keinginan, sehingga penulis mencoba memberi perhatian dan ikut serta untuk memanfaatkan fungsi dari telepon seluler berbasis android tersebut.

Membaca Al-Qur`an tidak seperti membaca kitab-kitab yang lain buatan manusia. Membaca Al-Qur`an harus sesuai dengan yang diperintahkan ﷻ dan dicontoh-kan Rasul-Nya.

ﷻ berfirman :

أَوْزِدْ عَلَيْهِ وَرَتِّلِ الْقُرْآنَ تَرْتِيلاً

artinya " ... dan bacalah al-Qur`an itu dengan perlahan-lahan" (Q.S Al-Muzammil: 4).[2]

Berdasarkan dalil diatas, hendaklah kaum muslimin mengupayakan semaksimal mungkin untuk memperbaiki diri mereka dalam membaca Al-Qur'an. Oleh karena itu ilmu tajwid dan tahsin merupakan ilmu yang sangat penting dipelajari kaum muslimin dan cara yang terbaik dengan berguru kepada seorang yang ahli, sebagaimana Rasulullah ﷺ pun diajarkan langsung oleh malaikat Jibril ﷺ [3].

Permasalahan yang dapat diambil dari beberapa responden yang penulis wawancarai dan data dari beberapa artikel salah satunya dari *website* keminfo.go.id bahwa menurut data dari Webershandwick, perusahaan *public relations* dan pemberi layanan jasa komunikasi, untuk wilayah Indonesia ada sekitar 65.000.000 pengguna *facebook* aktif. Sebanyak 33.000.000 pengguna aktif per harinya, 55.000.000 pengguna aktif yang memakai perangkat *mobile* dalam pengaksesannya per bulan dan sekitar 28.000.000 pengguna aktif yang memakai perangkat *mobile* per harinya [4]. Data tersebut berbanding terbalik dengan data yang penulis dapatkan bahwa sekitar 53% dari penduduk Indonesia yang masih buta dengan huruf Al-Qur'an [5] dan 65% muslim Indonesia tidak bisa baca Al-Qur'an dari hasil *survey* Institut Ilmu Al-Qur'an [6]. Penulis mengutip kata tahsin yang dimaksudkan disini adalah tahsin dalam tahap memperbaiki cara membaca huruf-huruf *hijaiyah* sesuai *makhraj* hurufnya, belum sampai pada tahap hukum-hukum bacaannya. Penelitian ini bertujuan membangun sebuah aplikasi pembelajaran untuk memperbagus pengucapan atau membaca huruf-huruf hijaiyah yang dapat digunakan oleh pengguna *mobile phone* tanpa harus membawa buku.

Teori

Tahsin Tilawah

Kata Tahsin (تَحْسِينٌ) dalam Bahasa Arab berasal dari kata (تَحْسِينًا - يُحَسِّنُ - حَسَنٌ) yang artinya memperbaiki, membaguskan, menghiasi, mempercantik, membuat lebih baik dari semula [7]. Kata ini merupakan turunan dari kata dasar (حَسُنَا - يَحْسُنُ - حَسَنٌ) yang artinya "bagus, baik, cantik". Contoh paling baik adalah sebuah doa yang diajarkan oleh Rasulullah ﷺ ketika kita bercermin:

"Ya Allah, sebagaimana Engkau telah memperindah bentuk fisikku, perindah pulalah akhlaqu!" (HR. Thabrani).

Jadi, yang bisa di-tahsin itu banyak, bisa bentuk fisik (itu adalah kewenangan Allah), akhlaq, dan juga kemampuan *tilawah* kita. Kata *tilawah* (تِلَاوَةٌ) berasal dari kata (يَتْلُو - تَلَا - تِلَاوَةٌ) yang bermakna bacaan [7]. Contohnya terdapat di dalam surat Al-Baqarah (2) ayat 127 :

"Mereka membacanya dengan bacaan yang sebenar-benarnya." [2].

Kata *tilawah* ini senada dengan *qira'ah* (قِرَاءَةٌ) yang berasal dari kata (يقرأ - قرأ) dan bermakna "bacaan, menelaah, mempelajari". Jadi bisa kita gunakan ungkapan Tahsin Tilawah dan *Qira'atul Qur'an* untuk menyatakan maksud membaca Al-Qur'an.

Penggunaan ungkapan yang tepat adalah tahsin tilawatil Qur'an yang bermakna "memperbaiki cara membaca Al-Qur'an". Jadi yang diperbaiki itu cara membacanya, bukan Al-Qur'an-nya. Artinya, cara kita membaca Al-Qur'an yang salah harus diperbaiki sesuai dengan cara yang Rasulullah ﷺ ajarkan. Targetnya adalah agar benar pengucapan hurufnya, tepat ukuran *mad*-nya, pas dalam *berwaqaf*, dan memperindahkannya dengan menyempurnakan *ghunnah* serta *tafkhim-tarqiq* [8].

Iqro' (اِقْرَأْ) berasal dari bahasa arab yang berarti "bacalah". Kalau kata *iqro'* digabungkan dengan metode, maka memiliki arti suatu cara yang tersusun rapi (sistematis) untuk mencapai tujuan yang dalam hal ini adalah mampu membaca al-Qur'an secara fasih dan tartil.

Pengujian Blackbox

Pengujian *Black-Box* yaitu menguji perangkat lunak dari segi spesifikasi fungsional tanpa menguji design dan kode program. Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui apakah fungsi-fungsi, masukan, dan keluaran dari perangkat lunak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan [9].

Pengujian White-box

Menurut Pressman [10], pengujian *white-box* atau disebut juga dengan pengujian *glass-box* adalah metode desain *test case* yang menggunakan struktur kontrol desain prosedural untuk memperoleh *test case*. Dengan menggunakan pengujian *white-box*, perancang sistem dapat

melakukan *test case* yang memberikan jaminan bahwa semua jalur independen pada suatu modul telah digunakan paling tidak satu kali, menggunakan semua keputusan logis pada sisi *true* dan *false*, mengeksekusi semua *loop* pada batasan mereka dan pada batas operasional mereka, dan menggunakan struktur data internal untuk menjamin validitasnya.

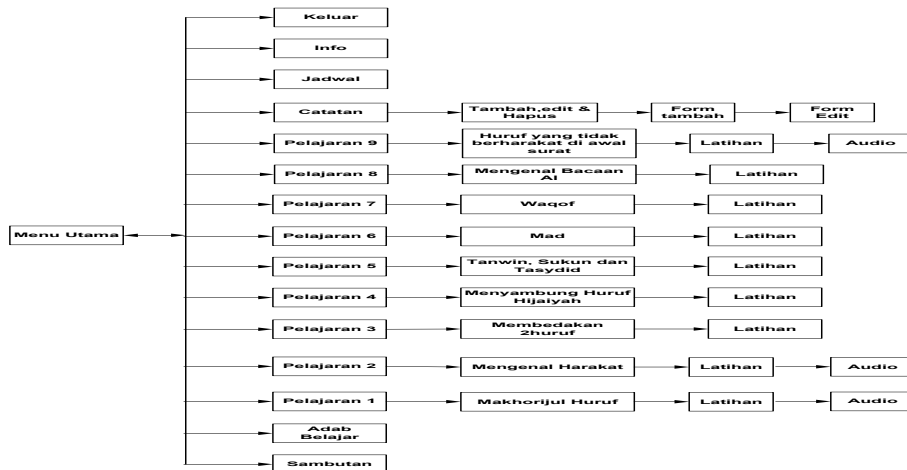
Accidental Sampling

Accidental Sampling yaitu responden yang diambil adalah konsumen yang ditemui langsung ditempat penelitian yang mempunyai peluang yang sama. Ukuran sampel (*sample size*) ditetapkan berdasarkan 5 x parameter [11].

Hasil dan Diskusi

Perancangan Aplikasi

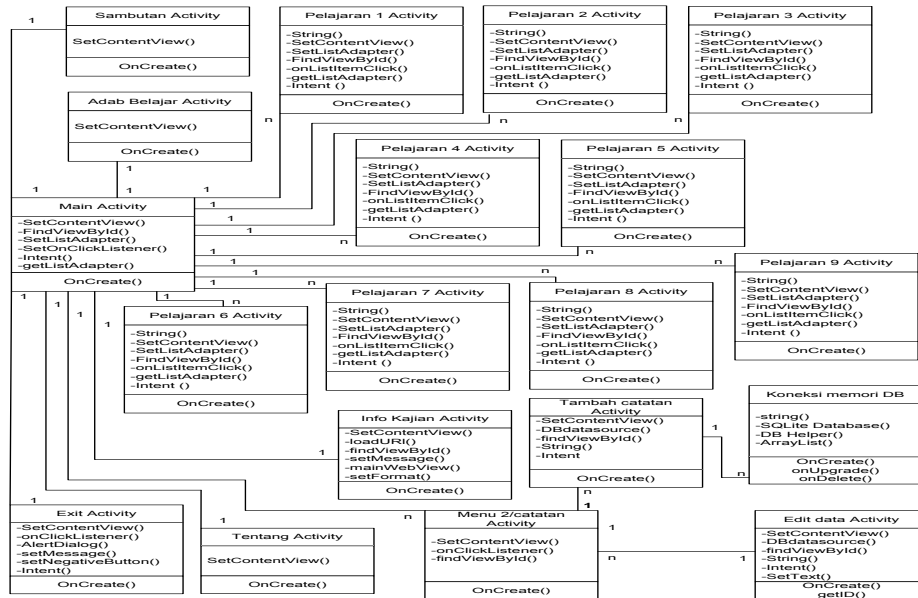
Pada tahap perencanaan aplikasi ini digambarkan secara garis besar tentang program aplikasi *tahsin tilawah* kelas iqra berbasis android yang akan dikembangkan pada bab selanjutnya. Aplikasi *tahsin tilawah* kelas iqra berbasis Android ini bertujuan untuk mempermudah dalam belajar *tahsin tilawah* dengan praktis dan dapat diulang-ulang pada waktu dan tempat yang tepat. Selain itu aplikasi ini berisi tentang huruf hijaiyah, tanda baca, 9 menu pembelajaran, latihan, info kajian dan catatan kecil.



Gambar 1 Struktur Navigasi Hirarki

Gambar 1 menunjukkan gambar struktur hirarki dari aplikasi tahsin tilawah dimulai dari menu utama, adab belajar, pelajaran 1 sampai 9, catatan, info kajian, dan menu keluar.

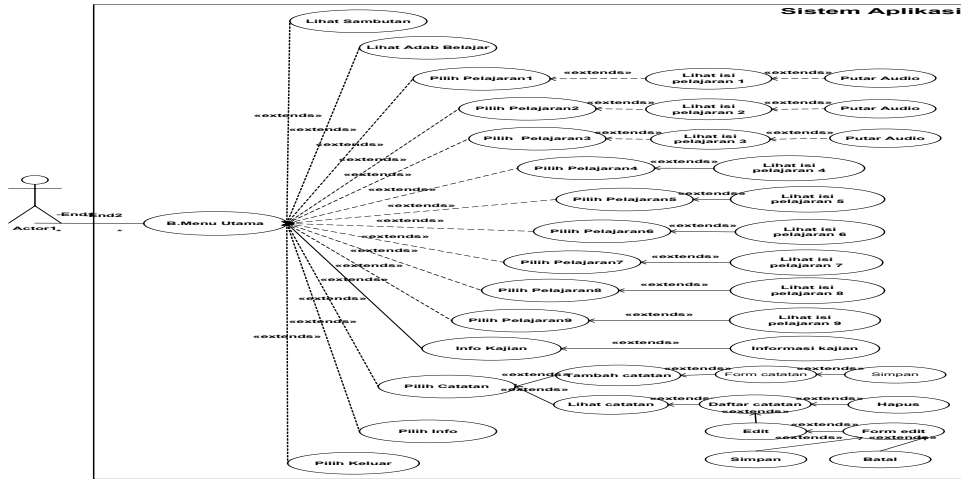
Class Diagram



Gambar 2 Class Diagram

Gambar 2 menunjukkan *class diagram* dari aplikasi tahsin tilawah. Komunikasi baik antar aktifitas maupun dengan *main activity*.

Use Case Diagram Aplikasi



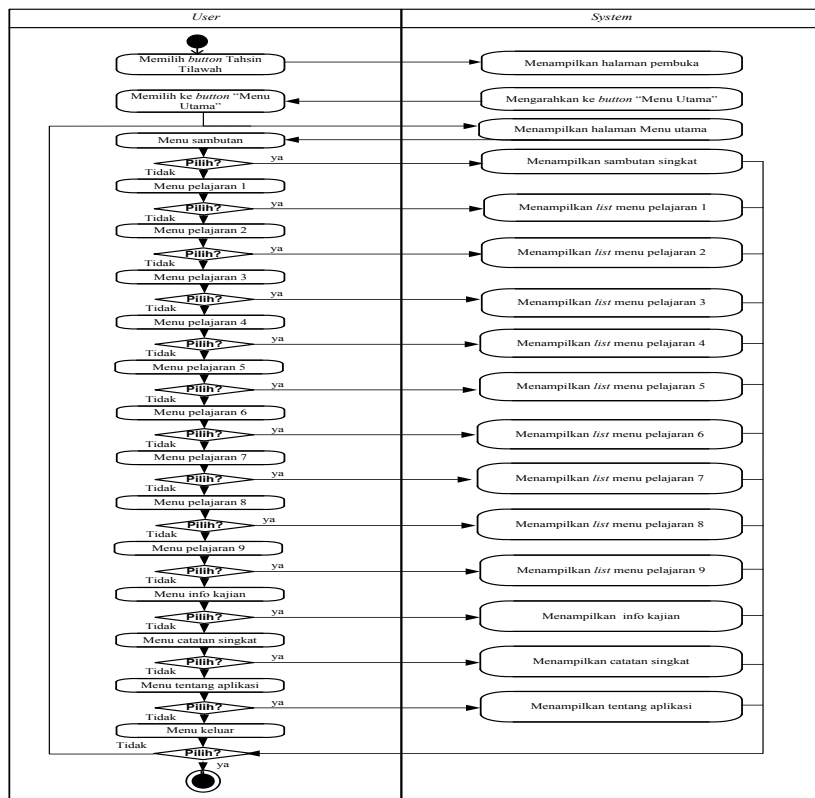
Gambar 3 Use Case Diagram Aplikasi

Gambar 3 adalah gambar *use case activity diagram* aplikasi tahsin tilawah, dimana *user* (pengguna) sebagai pemeran utama dalam pengoprasian menu-menu di dalamnya.

Activity Diagram

Activity diagram menggambarkan berbagai alir aktivitas dalam aplikasi yang sedang dirancang, bagaimana masing-masing alir berawal dan bagaimana mereka berakhir. Berikut adalah *Activity Diagram* yang terdapat pada Aplikasi Tahsin Tilawah :

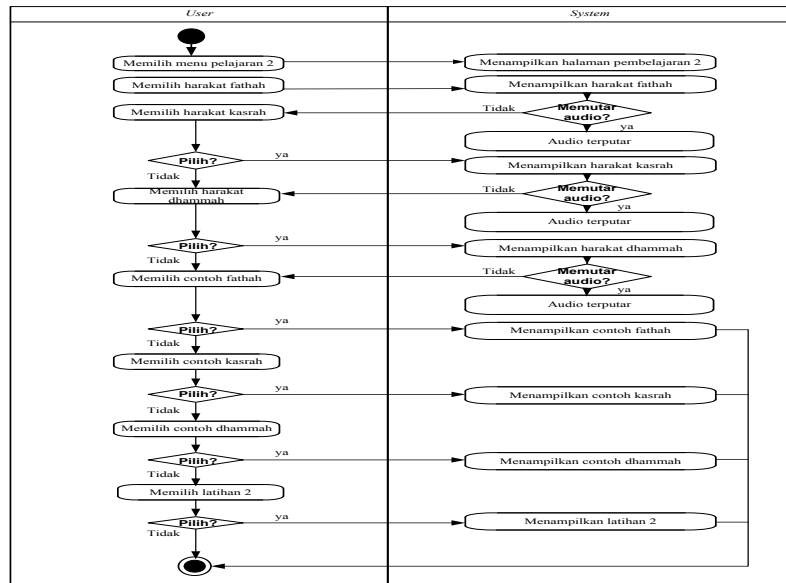
1. *Activity Diagram* Menu Utama



Gambar 4 Activity Diagram Menu Utama

Gambar 4 adalah gambar *Activity Diagram* menu utama, dimana menjelaskan alur yang terdapat dari *user* dan *system*. Baik alur penampilan sampai alur *logika if*.

Activity Diagram Pelajaran 2



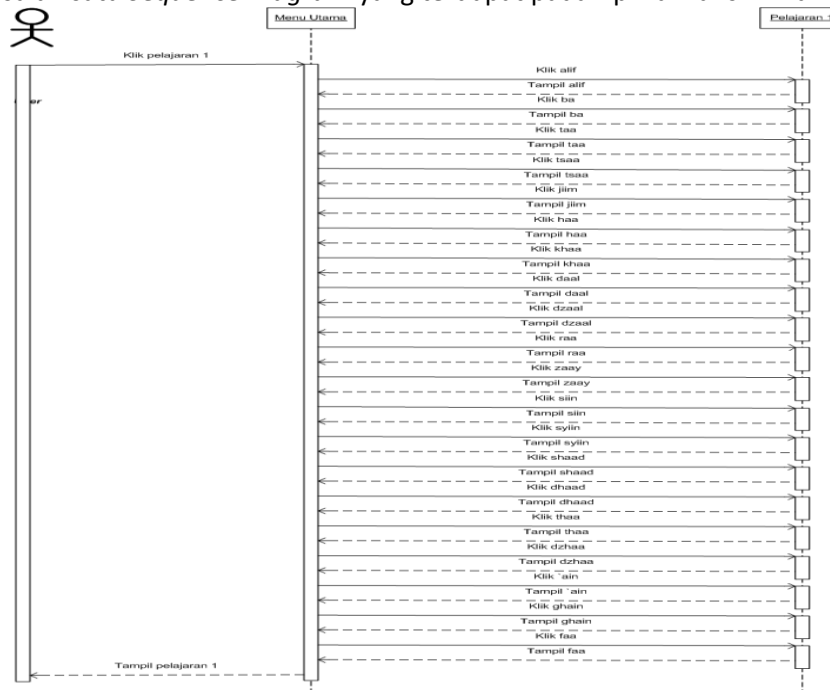
Gambar 5 Activity Diagram Pelajaran 2

Gambar 5 Merupakan Activity Diagram pelajaran 2, untuk pelajaran 1, 2 dan 9 mempunyai skema diagram yang sama. User memilih menu yang berisi deskripsi dan button audio.

Sequence Diagram

Sequence Diagram menggambarkan interaksi antar objek di dalam dan disekitar sistem (termasuk user, display, dan sebagainya).

Berikut adalah salah satu Sequence Diagram yang terdapat pada Aplikasi Tahsin Tilawah :

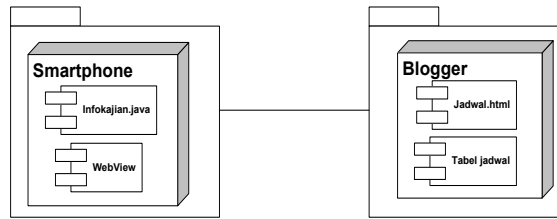


Gambar 6 Sequence Diagram Pelajaran 1

Gambar 6 adalah gambar Sequence Diagram pelajaran 1 sampai 9 mempunyai skema yang sama. Memilih menu utama, memilih pelajaran 1 sampai 9, maka tiap pelajaran akan menampilkan submenu dan menampilkan deskripsi tiap submenu.

Deployment Diagram

Berikut deployment diagram untuk aplikasi tahsin tilawah kelas iqra ini seperti di bawah ini:



7 Deployment Diagram

Gambar 7 di atas sebagai berikut, yang berperan sebagai client adalah smartphone yang didalamnya ada menu info kajian terhubung ke alamat *blogger* yang telah disetting didalamnya yang didalam *blogger* ini berisikan *column* dan data *text*.

Berikur merupakan tampilan utama aplikasi berisikan menu utama berupa *listview* sambutan, adab belajar, pelajaran 1 sampai 9, info kajian, catatan, tentang aplikasi dan exit[12].



Gambar 8 Tampilan Menu Utama dan Adab Belajar

Gambar 8 di atas menampilkan *interface* dari menu utama dan adab belajar dan membaca al-Qur'an. Pada tampilan menu pelajaran 1 berisikan *listview* submenu huruf hijaiyah dari huruf alif sampai huruf yaa dan 1 submenu latihan. Dalam huruf hijaiyah di dalamnya ada deskripsi dan audio.



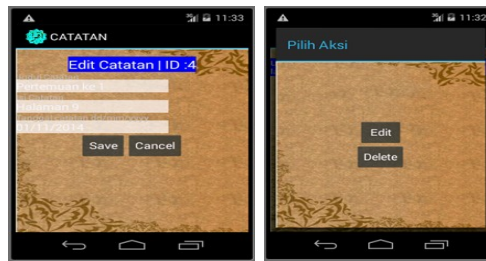
Gambar 9 Tampilan Pelajaran 1 dan Alif

Gambar 9 di atas menampilkan *interface* dari pelajaran 1 dan penjelasan *submenu* pelajaran 1 alif. Pada tampilan menu catatan berisikan *button* tambah catatan, lihat catatan dan kembali ke menu utama. Untuk tambah catatan berisikan kotak *text* dan *button submit*.



Gambar 10 Pilihan Menu Catatan dan Tambah Catatan

Gambar 10 di atas menampilkan *interface* dari menu catatan yang berisikan *button*. Dan tampilan *form* isian tambah catatan. Pada tampilan menu edit berisikan kotak *text* dan *button save* dan *cancel*. Untuk aksi catatan berisikan *button* edit dan *delete*.



Gambar 11 Pilihan Menu Edit Catatan dan Aksi catatan

Gambar 11 di atas menampilkan *interface* dari *form* menu *edit* dan tampilan aksi *edit* dan *delete* catatan. Pada tampilan menu info kajian berisikan informasi kajian mingguan tapi menggunakan akses internet untuk mengaksesnya..



Gambar 12 Tampilan Info Kajian

Gambar 12 di atas menampilkan *interface* dari tampilan *webview blogger* info kajian.

Pengujian

Setelah dilakukan pengujian *blackbox* dari tiap modul menu sambutan, adab belajar, pelajaran 1 sampai 9, info kajian, catatan, tentang aplikasi, dan menu exit semua berstatus berhasil dijalankan.

Pengujian White Box

Pengujian *white-box* sebagai berikut :

1. Pengujian Basis Path

```

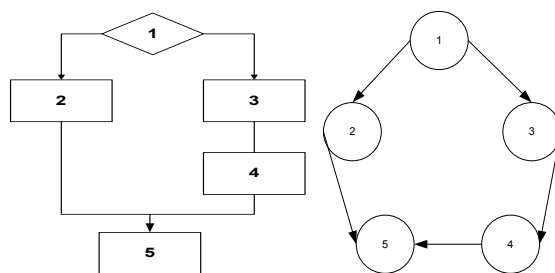
....
try {
// Intent digunakan untuk sebagai pengenalan suatu activity
Intent i = null;
    (1) if (pilihan.equals("Tanda Waqaf")) {
    (2) i = new Intent(this, tujuh_waqaf.class);
    (3) } else if (pilihan.equals("Cara Membaca Waqaf")) {
    (4) i = new Intent(this, tujuh_waqaf_ct.class); }
else {
    (5) Toast.makeText(this,
"anda Memilih: " + pilihan+ " , Actionnya belum dibuat",
Toast.LENGTH_LONG).show();
}
.....

```

Gambar 13 Source code pencarian istilah pada menu pelajaran

a. Flow graph

Berdasarkan potongan *source code* diatas maka dapat digambarkan *flow chart* sebagai berikut :



Gambar 14 *Flow chart* pada menu pelajaran dan *Flow Graph* menu pelajaran

b. *Cyclomatic Complexity*

Kompleksitas siklomatis adalah pengukuran perangkat lunak yang memberikan pengukuran kuantitatif dari kompleksitas logika program. Nilai kompleksitas dihitung dengan rumus :

$$V(G) = E - N + 2$$

$$V(G) = 5 - 5 + 2$$

$$V(G) = 2$$

Dimana :

E = jumlah busur pada *flow graph*

N = jumlah simpul pada *flow graph*

c. *Independent Path*

Jalur independen adalah jalur yang melalui program yang mengintroduksi sedikitnya satu rangkaian statemen proses baru atau suatu kondisi baru. *Jalur independent* dari *flow graph* gambar 4.8 diatas adalah :

Path 1 : 1 – 2 – 5

Path 2 : 1 – 3 – 4 – 5

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dihasilkan nilai *cyclomatic complexity* yang sama yaitu 2, maka dapat disimpulkan bahwa pada proses penampilan menu pelajaran pada aplikasi tahsin tilawah berjalan dengan baik, karena setiap pengujian menghasilkan nilai yang sama.

Rekapitulasi Persentase Pengujian Beta

Pengujian ini menggunakan teknik *Accidental Sampling*. Dalam penelitian ini jumlah parameter yang ada 6. Jadi responden yang dipergunakan dalam penelitian dengan ukuran sampel $5 \times \text{parameter} = \text{responden}$, maka $5 \times 6 = 30$ responden. Selanjutnya kuisioer dibagikan kepada 30 responden dari kalangan, murid, karyawan dan guru. Berikut adalah hasil kuisioer yang telah dibagikan dan persentase dihitung dengan rumus persentase :

$$\text{Nilai presentase} = \frac{\text{Jumlah responden}}{\text{Jumlah fom kuisioer}} \times 100\%$$

Berikut pertanyaan pada kuisioer pengujian beta:

1. Apakah aplikasi ini bermanfaat ?
2. Apakah aplikasi ini mudah digunakan ?
3. Apakah tampilan antarmuka aplikasi ini terlihat menarik ?
4. Apakah aplikasi ini dapat membantu anda dalam belajar iqra diwaktu senggang ?
5. Apakah pilihan menu yang tersedia mudah dimengerti ?
6. Bagaimana kecepatan eksekusi/proses aplikasi ini dihandphone android anda ?

Tabel 1 Rekap Hasil Pengujian Beta

Rekap Persentase	SB (%)	B (%)	CB (%)	BS (%)	K (%)
Pertanyaan 1	83	17	0	0	0
Pertanyaan 2	53	40	7	0	0
Pertanyaan 3	7	60	27	7	0
Pertanyaan 4	53	23	23	0	0
Pertanyaan 5	37	50	13	0	0
Pertanyaan 6	27	57	7	10	0
Jumlah	260	247	77	17	0

Kesimpulan Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian beta yang dilakukan menunjukkan respon pengguna terhadap aplikasi tahsin tilawah ini dengan predikat baik. Aplikasi tahsin tilawah ini sudah memenuhi kebutuhan pengguna, hal tersebut terlihat dari besarnya persentase yang menyatakan sangat baik dan baik dari hasil pengujian kuisisioner sehingga dapat membantu pengguna dalam mengulang pembelajaran tahsin pada waktu-waktu luang, karena beberapa menu didukung dengan audio. Aplikasi ini telah berjalan sebagaimana mestinya pada *smartphone* android dengan versi minimal 2.2 (froyo) dan minimal layar 3" (inch), terbukti dalam pengujian pada tabel dan hasil pengujian di bab sebelumnya.

Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah, dalam pembuatan jurnal penelitian ini mengucapkan terimakasih kepada Orang tua, Ustadz Abu Ya`la Kurnaedi, Civitas Institut Sains Dan Teknologi Al-Kamal Jakarta dan seluruh pihak yang telah membantu hingga selesainya jurnal ini.

Referensi

- [1] Dr.Hadi, "Pengiriman ponsel pintar menembus 300 juta unit pada kuartal kedua 2014, suatu rekor baru dalam sejarah perdagangan", <http://inovasi.com/2014/08/15/pengiriman-ponsel-pintar-menembus-300-juta-unit-pada-kuartal-kedua-2014-suatu-rekor-baru-dalam-sejarah-perdagangan/> [diakses Desember 2014].
- [2] Al-Qur`an dan terjemahnya.
- [3] Kurnaedi AY. 2011. *Metode Asy-Syafi`i Cara Praktis Baca Al-Qur`an dan Ilmu Tajwid Praktis*. Jakarta : Pustaka Imam Asy-Syafi`i.
- [4] Kominfo. 2013. " *Pengguna Internet di Indonesia 63 Juta Orang*". Diambil dari : http://kominfo.go.id/index.php/content/detail/3415/Kominfo+%3A+Pengguna+Internet+di+Indonesia+63+Juta+Orang/0/berita_satker#.VKF9FjAKA [diakses Desember 2014].
- [5] Alquin. 2014. " *53 % Umat Islam Indonesia Buta Huruf Al-Qur`an*". Diambil dari: <http://baitulmaqdis.com/our-action/53-umat-islam-indonesia-buta-huruf-al-quran-artis-ini-terketuk-hatinya> [diakses Desember 2014].
- [6] DDHK. 2013. " *Survei: 65 Persen Muslim Indonesia Tidak Bisa Baca Al-Quran*". Diambil dari : <http://www.ddhongkong.org/survei-65-persen-muslim-indonesia-tidak-bisa-baca-al-quran/> [diakses Desember 2014].
- [7] Annuri, Ahmad. 2010. *Panduan Tahsin Tilawah Al-Qur`an&Pembahasan Ilmu Tajwid*. Jakarta : Pustaka Al-Kautsar.
- [8] Qowwam, Abu. 2014. " *Bukan Tahsin Al-Quran Tapi Tahsin Tilawah*". Diambil dari : <http://www.dakwatuna.com/2014/01/29/45466/bukan-tahsin-al-quran-tapi-tahsin-tilawah/#axzz3NCyeTdDu> [diakses Desember 2014].
- [9] Shalahuddin, M., dan Rosa. 2013. *Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek*. Bandung : Informatika.
- [10] Pressman, R.S., 2010, *Software Engineering: a practitioner's approach*, 7th Edition, McGraw-Hill, New York.

- [11] Malhotra, Nares K.2002. Marketing research. Edisi Keempat. Uper Saddle River, New Jersey : Prentice-Hall Inc
Kadir, Abdul. 2013. *From Zero To a Pro Pemograman Aplikasi Android*. Yogyakarta : Penerbit Andi
- [12] Kurnaedi AY. 2014. *Metode Asy-Syafi`i Cara Praktis Baca Al-Qur`an*. Jakarta : Pustaka Imam Asy-Syafi`i.

DATA Vs SISTEM INFORMASI (Analisis Penerapan Sistem Informasi. Studi kasus : Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut)

Galih Abdul Fatah Maulani^{1,a)}

(Sekolah Tinggi Keguruan dan Ilmu Pendidikan Garut)

^{a)}Email: galihafm@live.com / galih@stkip-garut.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan sistem informasi pada instansi pemerintahan khususnya kabupaten Garut sudah mulai banyak diterapkan. Sistem informasi tersebut membantu dalam media promosi, sosialisasi dan layanan informasi yang lebih efektif dan efisien. Namun terdapat beberapa kendala dalam menerapkan sistem informasi tersebut. Penelitian ini bertujuan menganalisis permasalahan apa saja yang menjadi faktor utama terhadap keberlangsungan implementasi sistem informasi pada instansi pemerintahan. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan naturalistik, melalui studi dokumentasi, observasi, wawancara dan studi kepustakaan. Berdasarkan hasil penelitian, dihasilkan solusi efektif dan efisien untuk perencanaan, perancangan, dan implementasi Sistem informasi pada Instansi tersebut. Selain itu perlu adanya penguatan yang melibatkan komponen-komponen sistem informasi seperti data yang valid sehingga menghasilkan sistem informasi yang bermanfaat.

Kata kunci : data, sistem informasi, Implementasi Sistem Informasi

Pendahuluan

Data merupakan salah satu komponen dalam pembuatan dan penyusunan sebuah informasi. Di beberapa instansi pemerintahan, data merupakan sumber informasi bagi mereka dalam membuat dan menetapkan sebuah kebijakan. Oleh karena itu, saat ini banyak instansi pemerintahan menerapkan konsep *electronic Government (e-Government)* yang merupakan bentuk dari implementasi penggunaan teknologi informasi bagi pelayanan pemerintah kepada publik.

Paradigma saat ini mengenai pelayanan instansi pemerintah dinilai masyarakat memiliki biroksi yang lamban, prosedur yang berbelit, program yang tidak ada kepastian dan tidak tepat sasaran. Paradigma tersebut menjadi permasalahan yang harus segera diselesaikan. Sistem informasi merupakan salah satu paradigam e-government yang menjadi solusi permasalahan tersebut.

Penerapan sistem informasi pada beberapa instansi atau badan pemerintahan khususnya pada Kabupaten Garut merupakan langkah yang baik dalam pelayanan kepada publik. Publik dapat mengetahui informasi mengenai kebijakan-kebijakan apa saja yang dilaksanakan oleh instansi tersebut.

Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa (BPMPD) Kabupaten Garut merupakan badan mempunyai tugas pokok melaksanakan penyusunan dan pelaksanaan kebijakan

daerah di bidang Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa. BPMPD telah memiliki beberapa sistem informasi yang sudah berjalan saat ini. Sistem informasi tersebut antara lain : Profil Desa dan Kelurahan (PRODESKEL) dari Kemendagri, Sistem Informasi Profil Desa Kabupaten Garut, Sistem Informasi Posyandu Kabupaten Garut, Sistem Informasi Potensi produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan Tahun 2014 [1].

Namun penerapan sistem informasi perlu didukung dengan beberapa faktor agar sistem informasi tersebut efektif dan efisien pemanfaatannya. Sistem informasi yang telah dibangun di BPMPD Kab. Garut memiliki hambatan dalam pengembangannya. Menurut pendapat Drs. Asep Ajun W, M.Si Kabid Pemberdayaan Usaha Ekonomi Masyarakat Kabupaten Garut, menyebutkan bahwa *“penerapan dan pengelolaan sistem informasi pada BPMPD Kab. Garut belum dapat berjalan dengan baik terkait dengan data, infrastuktur IT, dan sumber daya manusia.”*

Penulis melakukan prasurvey mengenai keberlangsungan proses penerapan sistem informasi pada BPMPD bahwa salah satu temuannya adalah pada instansi tersebut belum ada bagian atau divisi pada struktur organisasi yang khusus menangani masalah sistem informasi atau pun teknologi informasi. hal tersebut dapat menyebabkan belum terkendalinya sasaran mutu yang terkait dengan penggunaan sistem informasi. belum adanya roadmap mengenai perencanaan, perancangan, pembuatan dan implementasi sistem informasi dapat membuat hilangnya efektifitas dan efisiensi dari penggunaan sistem informasi. hal tersebut dapat membuat sistem informasi menjadi sia-sia. Namun semangat perubahan dan perbaikan instansi tersebut untuk memberikan pelayanan informasi kepada masyarakat lebih baik lagi melalui sistem informasi merupakan keinginan dan sebuah pandangan yang patut dipertahankan.

Berdasarkan identifikasi berbagai permasalahan tersebut serta mengingat pentingnya sistem informasi di dalam pelayanan publik, maka penulis mengadakan analisis mengenai penerapan sistem informasi di Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut. Atas dasar tersebut penulis mengambil judul **“Analisis Penerapan Sistem Informasi, Studi Kasus Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut”**.

Teori

A. Sistem Informasi

“Secara umum, sistem dapat didefinisikan sebagai sekumpulan hal atau kejadian atau elemen atau subsistem yang saling bekerja sama atau berhubungan dengan cara-cara tertentu sehingga membentuk satu kesatuan untuk melaksanakan sesuatu fungsi, guna mencapai tujuan” [2]. Sedangkan menurut Mcleod” Sistem adalah sekelompok elemen yang berintegrasi dengan maksud yang sama untuk mencapai tujuan tertentu” [3].

Selanjutnya suatu sistem mempunyai karakteristik sebagai berikut: [4]

1. Mempunyai komponen

Komponen sistem adalah segala sesuatu yang menjadi bagian penyusun sistem. Komponen sistem dapat berupa benda nyata ataupun abstrak. Komponen sistem disebut sebagai subsistem, dapat berupa orang, benda, hal atau kejadian yang terlibat didalam sistem.

2. Mempunyai batas (*Boundary*)

Batas sistem diperlukan untuk membedakan satu sistem dengan sistem yang lain. Tanpa adanya batas sistem, sangat sulit untuk menjelaskan suatu sistem. Batas sistem akan memeberikan batasan *scope* tinjauan terhadap sistem.

3. Mempunyai Lingkungan (*environments*)

Lingkungan sistem adalah segala sesuatu yang berbeda diluar sistem. Lingkungan luar sistem dapat menguntungkan atau merugikan. Umumnya, lingkungan yang menguntungkan akan selalu dipertahankan untuk menjaga keberlangsungan sistem. Sedangkan lingkungan sistem yang merugikan agar diupayakan agar mempunyai pengaruh seminimal mungkin, bahkan jika mungkin ditiadakan.

4. Mempunyai penghubung/antarmuka (*interface*) antar komponen
Penghubung/antarmuka merupakan komponen sistem, yaitu segala sesuatu yang bertugas menjembatani hubungan antar komponen dalam sistem. Penghubung/antar muka merupakan sarana yang memungkinkan setiap komponen saling berinteraksi dan berkomunikasi dalam rangka menjalankan fungsi-fungsi masing-masing komponen.
5. Mempunyai masukan (*input*)
Masukan merupakan komponen sistem, yaitu segala sesuatu yang perlu dimasukkan kedalam sistem sebagai bahan yang akan diolah lebih lanjut untuk menghasilkan keluaran yang berguna.
6. Mempunyai pengolahan (*processing*)
Pengolahan merupakan komponen sistem yang mempunyai peran utama mengolah masukan agar menghasilkan keluaran yang berguna bagi para pemakainya. Dalam sistem informasi manajemen, pengolahan adalah berupa program aplikasi komputer yang dikembangkan untuk keperluan khusus.
7. Mempunyai keluaran (*output*)
Keluaran merupakan komponen sistem yang berupa berbagai macam bentuk keluaran yang dihasilkan oleh komponen pengolahan.
8. Mempunyai sasaran (*objectives*) dan tujuan (*goal*)
Sasaran sistem adalah apa yang ingin dicapai oleh sistem untuk jangka waktu yang relatif pendek. Sedangkan tujuan merupakan kondisi/hasil akhir yang ingin dicapai oleh sistem untuk jangka waktu yang panjang.
9. Mempunyai kendali (*control*)
Bagian kendali mempunyai peran utama menjaga agar proses dalam sistem dapat berlangsung secara normal sesuai batasan yang telah ditetapkan sebelumnya.
10. Mempunyai umpan balik
Umpan balik diperlukan oleh bagian kendali sistem untuk mengecek terjadinya penyimpangan proses dalam sistem dan mengendalikannya kedalam kondisi normal.

Informasi merupakan suatu hal yang penting dalam suatu sistem. Sistem yang kurang mendapatkan informasi akan menjadi kurang berguna dan mungkin berakhir. "Informasi adalah data yang diolah menjadi bentuk yang lebih berguna dan lebih berarti bagi yang menerimanya" [5]. Sedangkan menurut MC Leod, P.Schell [6] menerangkan bahwa "Informasi adalah data yang telah di proses dan memiliki makna biasanya menceritakan sesuatu hal kepada pengguna yang belum mereka tahu sebelumnya".

"Sistem informasi dapat didefinisikan sebagai suatu sistem dalam suatu organisasi yang merupakan kombinasi dari orang-orang, fasilitas, teknologi, media, prosedur-prosedur dan pengendalian yang ditujukan untuk mendapatkan jalur komunikasi penting, memproses tipe transaksi rutin tertentu, memberi sinyal kepada manajemen dan yang lainnya terhadap kejadian-kejadian internal dan eksternal sebagai suatu dasar informasi untuk pengambilan keputusan" [7].

Komponen-komponen dasar dari sistem informasi antara lain:



Gambar 1. Komponen Sistem Informasi [12]

B. Basis Data

Fathansyah mendefinisikan basis data dari beberapa sudut pandang, antara lain : [8]

1. Himpunan kelompok data (arsip) yang saling berhubungan yang diorganisasi sedemikian rupa agar kelak dapat dimanfaatkan kembali dengan cepat dan mudah.
2. Kumpulan data yang saling berhubungan yang disimpan secara sedemikian rupa dan tanpa pengulangan (redudansi) yang tidak perlu. Untuk memenuhi berbagai kebutuhan.
3. Kumpulan file/tabel/arsip yang saling berhubungan yang disimpan dalam media penyimpanan elektronik.

Sedangkan menurut Kadir mengatakan bahwa “Basis data adalah sistem komputerisasi yang tujuan utamanya adalah memelihara informasi dan membuat informasi tersedia saat dibutuhkan” [9].

C. E-Government

Bank Dunia (*World Bank*) mendefinisikan *e-Government* sebagai berikut :

“e-Government refers to the use by government agencies of information technologies (such as Wide Area Network, the Internet, and mobile computing) that have the ability to transform relations with citizens, businesses, and other arms of government” [10]

Dalam menjalankan *e-Government* ada beberapa elemen sukses pengembangan e-Gov, dimana elemen-elemen tersebut merupakan hal yang harus dimiliki dan diperhatikan oleh sektor publik untuk dapat menerapkan konsep digitalisasi. Masing-masing elemen sukses tersebut yaitu *support*, *capacity*, *value*, *willingness* dan *local culture*. [11]

1. *Support*
Elemen sukses pengembangan e-Gov yang pertama adalah *support*. *Support* diartikan sebagai hal-hal yang mendukung penerapan e-Government.
2. *Capacity*
Capacity ini diartikan sebagai kemampuan atau keberdayaan dari pemerintah setempat di dalam mewujudkan e-Government.
3. *Value*
Value ini lebih diartikan kepada manfaat apa yang diperoleh dengan adanya implementasi e-Government baik bagi Pemerintah maupun masyarakat.

4. *Willingness*

Pengembangan e-Gov dipengaruhi oleh willingness (kemauan). Kemauan di sini diartikan sebagai sejauh mana kemauan masyarakat di dalam menggunakan fasilitas pelayanan yang disediakan di dalam penerapan e-Gov.

5. *Local Culture*

Budaya lokal ini diartikan sebagai budaya apa yang hidup di masyarakat yang mempengaruhi persepsi masyarakat akan teknologi informasi sehingga berpengaruh terhadap kemampuan masyarakat di dalam penggunaan teknologi serta penggunaan fasilitas-fasilitas pelayanan yang terdapat di dalam penerapan e-Gov.

D. Metode Penelitian

Penulis menggunakan metode penelitian kualitatif yang bersifat naturalistik. Penggunaan tipe naturalistik dimaksudkan untuk menggambarkan masalah dan mencari solusi bersumber dari data dan keadaan yang sebenarnya terjadi atau *natural*. Penelitian ini mencoba untuk menjelaskan permasalahan terdapat penerapan sistem informasi. Kemudian pengembangan sistem informasi pada instansi BPMPD Kab. Garut melalui optimalisasi basis data sebagai bentuk perbaikan guna pelayanan kepada masyarakat pengguna informasi.

Batasan permasalahan atau ruang lingkup penelitian perlu penulis lakukan agar penelitian menjadi lebih fokus. Adapun hal tersebut mengenai penerapan sistem informasi di BPMPD Kab. Garut dan Faktor-faktor yang mendorong dan menghambat implementasi sistem informasi yang merupakan program dari *e-government*. Selain itu, ada beberapa sistem informasi yang diterapkan pada BPMPD Kabupaten Garut. Sistem informasi itu meliputi Profil Desa dan Kelurahan (PRODESKEL) dari Kemendagri, Sistem Informasi Profil Desa Kabupaten Garut, Sistem Informasi Posyandu Kabupaten Garut, Sistem Informasi Potensi produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan Tahun 2014. Pada penelitian ini, penulis membatasi analisis sistem informasi yaitu hanya pada Sistem Informasi Potensi produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan Tahun 2014.

Objek penelitian analisis penerapan sistem informasi ini, penulis bekerja sama dengan Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut yang berkantor pada alamat Jalan Otto Iskandardinata No. 176 Desa Cimanganten Kecamatan Tarogong Kaler Kabupaten Garut. Pemilihan objek penelitian didasarkan kepada alasan bahwa BPMPD Kab. Garut salah satu badan pemerintahan yang berkomitmen membuat dan menerapkan beberapa sistem informasi dalam pelayanan informasinya kepada publik. Hal tersebut menjadi daya tarik penulis untuk menganalisis penerapannya.

Untuk memperoleh data yang benar dan terpercaya, penulis menggunakan teknik pemilihan informan. *Key informan* atau orang-orang yang mengetahui dengan benar dan atau yang terpercaya meliputi orang-orang yang terlibat langsung terhadap penerapan sistem informasi di BPMPD Kabupaten Garut.

Instrumen utama pada penelitian kualitatif ini adalah peneliti itu sendiri. Peneliti sebagai alat utama pengumpul data agar lebih mudah di dalam mengadakan penyesuaian terhadap kenyataan-kenyataan yang ada di lapangan.

E. Teknik Pengumpulan Data

Teknik Pengumpulan Data yang penulis gunakan antara lain :

1. Wawancara
2. Observasi

3. Dokumentasi

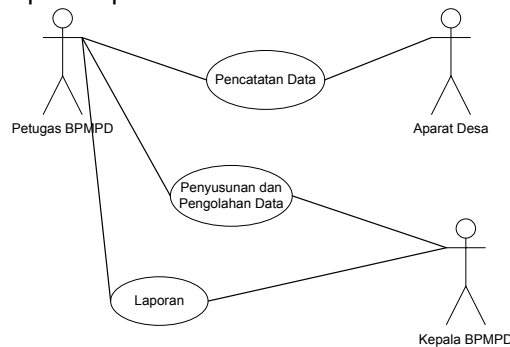
Hasil dan Pembahasan

Pada pembahasan ini, penulis menggambarkan data dan informasi sebenarnya yang di analisis melalui penyesuaian 5 elemen sukses dalam menerapkan e-government. Penyesuaian tersebut dilakukan pada sistem informasi di BPMPD Kabupaten Garut khususnya pada penerapan Sistem Informasi Potensi produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan.

A. Profil Sistem Informasi Potensi produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan.

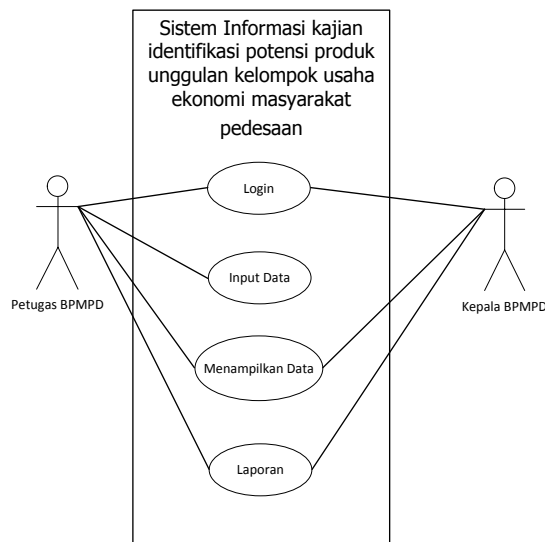
Sistem informasi ini dibangun dengan tujuan untuk menyediakan informasi potensi produk unggulan kelompok usaha ekonomi masyarakat pedesaan. Selain itu sistem informasi ini diharapkan dapat membantu dalam pengambilan keputusan atau kebijakan pejabat BPMD dalam melakukan program kerjanya.

Pemodelan sistem sebelum penerapan sistem informasi :



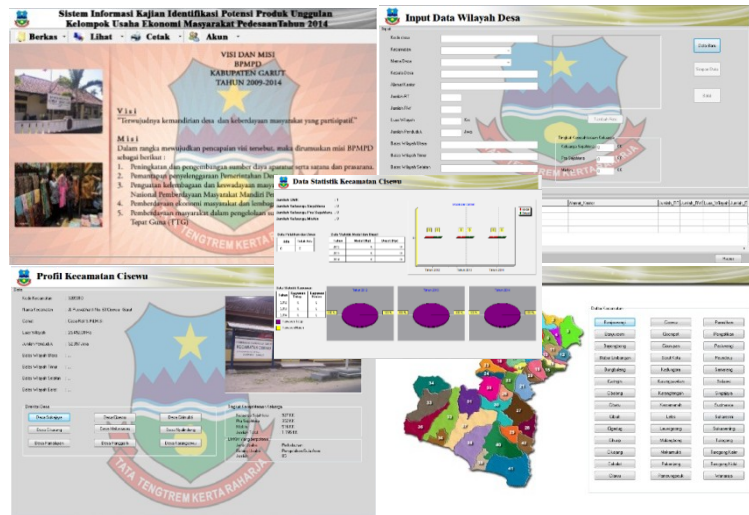
Gambar 2. Usecase sebelum penerapan sistem informasi

Pemodelan Sistem Informasi yang berlangsung :



Gambar 3. Usecase Sistem yang berjalan

Pemodelan di atas menggambarkan bahwa interaksi sistem dengan aktor pada BPMPD setelah menerapkan sistem informasi ini menjadi lebih baik dalam hal penyajian informasi dan proses bisnisnya. Adapun tampilan dari sistem informasi tersebut antara lain :



Gambar 4. Tampilan Sistem Informasi Kajian Identifikasi Potensi Produk Unggulan Kelompok Usaha Ekonomi Masyarakat Pedesaan

B. Elemen Sukses Penerapan Sistem Informasi pada BPMPD Kabupaten Garut

Berikut ini merupakan hasil analisis yang berdasarkan pada elemen sukses penerapan sistem informasi antara lain :

1. Support

Elemen pertama yang harus dimiliki di dalam penerapan sistem informasi adalah support yaitu dukungan untuk diterapkannya *e-Gov*, baik dukungan dari pemerintah, masyarakat setempat, maupun pihak stakeholder atau swasta.

a) Kesepakatan

Kesepakatan merupakan *political will* dari Pemerintah Kabupaten Garut yaitu memiliki tujuan untuk serius menerapkan layanan publik atau layanan pendukung keputusan berbasis sistem informasi. Tanpa adanya unsur *political will* ini, berbagai inisiatif perencanaan, pembangunan, penerapan sistem informasi pemerintahan tidak akan dapat berjalan dengan baik. Di dalam penyelenggaraannya di Kabupaten Garut peraturan perundangan atau regulasi yang digunakan sebagai dasar penerapan yang melandasi yaitu sebagai berikut :

- 1) Undang-undang No. 11 Tahun 2008 tentang Informasi dan Transaksi Elektronik.
- 2) Undang-undang No. 14 Tahun 2008 tentang Keterbukaan Informasi Publik.
- 3) Peraturan Pemerintah No. 38 Tahun 2007 tentang Pembagian Urusan Pemerintahan antara Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah Provinsi, dan Pemerintah Daerah Kabupaten/ Kota.
- 4) Peraturan Daerah Kabupaten Garut Nomor 24 Tahun 2008 Tentang Pembentukan Dan Susunan Organisasi Lembaga Teknis Daerah Dan Inspektorat Kabupaten Garut
- 5) Peraturan Bupati Garut Nomor 545 Tahun 2012 Tentang Tugas Pokok, Fungsi Dan Tata Kerja Badan Pemberdayaan Masyarakat Dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut

b) Sosialisasi

Penyebaran informasi mengenai penerapan sistem informasi kepada masyarakat merupakan salah satu harus dilakukan dalam suksesnya penerapan sistem informasi tersebut. Penyebaran sistem informasi dilakukan dengan berbagai cara dimulai dengan sosialisasi melalui media sosial, website, seminar, spanduk, radio, televisi dan lainnya. Penerapan sistem informasi pada BPMPD kurang sosialisasi menyebabkan banyak masyarakat yang tidak mengetahui tentang keberadaan website resmi BPMPD yaitu <http://www.bpmpd-garut.com>, sehingga masyarakat pengguna website belum mencapai titik optimal. Selain itu laman resmi BPMPD yang tidak berafiliasi dengan situs website kabupaten Garut www.garutkab.go.id membuat penilaian bahwa perencanaan teknologi informasi antar instansi yang bersifat mandiri dan terkesan masing-masing. Masyarakat yang telah mengunjungi atau mengakses website tersebut mengetahui dengan *browsing* sendiri atau dari teman bukan mengetahui dari sosialisasi pemerintah.

c) Kontinuitas

Elemen selanjutnya adalah keberlanjutan penerapan sistem informasi pada BPMPD, umumnya Kabupaten Garut. Keberlanjutan ini berkaitan dengan perencanaan pengembangan sistem informasi di masa yang akan datang. Saat ini BPMPD belum menyusun *blue print* atau buku rencana induk pengembangan sistem informasi. BPMPD belum dapat mengatur segala kebijakan pengembangan sistem informasi BPMPD ke depan. Terutama dalam hal manajemen basis data secara integrasi. Begitu juga dengan Pemerintahan Kabupaten Garut yang belum membuat *blue print* mengenai SI atau e-government guna memfokuskan sistem yang terintegrasi ke semua badan atau instansi pemerintah di Kabupaten Garut.

2. *Capacity*

Penerapan sistem informasi sangat dipengaruhi oleh seberapa besar kemampuan (*capacity*) atau keberdayaan dari pemerintah setempat di dalam mewujudkan sistem informasi yang terintegrasi penuh. Tanpa adanya dukungan kemampuan dari pemerintah terlaksananya penerapan sistem informasi akan menjadi suatu yang mustahil. Kemampuan yang sangat mempengaruhi terlaksananya penerapan e-Gov di Kabupaten Garut adalah Keuangan, ketersediaan infrastruktur teknologi informasi, dan sumber daya manusia.

Alokasi anggaran yang digunakan di dalam pembangunan Sistem Informasi sangat terbatas dan tidak ada peningkatan anggaran yang cukup signifikan setiap tahunnya. Oleh sebab itu, anggaran hanya dapat difokuskan kepada pembangunan serta pengelolaan website yang berdampak pada tidak adanya anggaran untuk memenuhi kebutuhan sarana prasarana lainnya.

Infrastruktur menjadi salah satu permasalahan di kabupaten Garut. Saat ini Kabupaten Garut terdiri dari 42 Kecamatan yang terletak di bagian selatan pulau Jawa memiliki letak geografis yang didominasi oleh hutan dan pengunungan. Salah satunya adalah infrastruktur telekomunikasi baru menjangkau beberapa kecamatan saja.

Tabel 1. Kapasitas Sentral Telepon Dan Jumlah Line In Services Menurut Jenis Pelanggan Di Kabupaten Garut Tahun 2012 (SST)

Kecamatan	Kav Sentral	Line In Service									Jumlah
		Subscriber Line			Public Phone				Wartel	TUT	
		Bisnis	Residen	Sosial	TUC	TUK	TUKS	TUP			
Pameungpeuk	1.252	55	1.126	4	1	-	-	-	24	-	1.210
Cisompét	248	7	199	1	-	-	-	-	4	-	211
Cikajang	2.104	189	1.754	6	5	-	-	3	43	-	2.000
Garut Kota	17.936	1.983	14.168	74	112	4	7	46	377	-	16.771
Wanaraja	4.350	73	3.854	9	4	1	-	7	111	-	4.059
Cibatu	2.104	50	1.952	10	1	-	-	10	43	-	2.066
Kadungora	3.618	98	3.350	4	3	-	-	50	95	-	3.600
Bl. Limbangan	1.610	74	1.335	37	5	1	-	11	70	-	1.533
Malangbong	1.748	88	1.199	11	-	-	-	17	68	-	1.383
Jumlah	34.970	2.615	28.937	156	131	6	7	144	835	0	32.831

Sumber : PT Telkom, Kandatel Garut

Ketersediaan sumber daya manusia atau pegawai yang memiliki kompetensi dan keahlian yang dibutuhkan di dalam penerapan sistem informasi sangat mempengaruhi kesuksesan penerapannya pada suatu daerah agar dapat sesuai dengan asas manfaat yang diharapkan. Ketersediaan SDM pada BPMPD masih belum memenuhi kriteria tersebut. Bahkan diberaperan badan atau instansi pun sama memiliki kondisi yang serupa.

3. Value

Menurut hasil observasi, manfaat dari diterapkannya sistem informasi di BPMPD Kab. Garut masih sebatas pada pemberian informasi seputar Kabupaten Garut secara cepat dan mudah. Namun masyarakat dapat melakukan komunikasi yang interaktif dalam website resmi pemerintah kabupaten Garut. Berdasarkan hasil observasi terdapat temuan bahwa karena tidak adanya perencanaan yang baik dalam pembangunan sebuah sistem informasi terdapat inkonsistensi data. Hal tersebut menjadi kendala yang fatal ketika data tersebut digunakan untuk memutuskan kebijakan. Hal tersebut terjadi karena tidak adanya keterhubungan antara satu badan dengan instansi lain terkait sistem informasi yang dibuat sehingga data yang didapat berbeda-beda.

4. Willingness

Elemen yang selanjutnya adalah partisipasi atau kemauan dari masyarakat di dalam menggunakan fasilitas pelayanan yang disediakan di dalam penerapan sistem informasi. berdasarkan hasil observasi Masyarakat Kabupaten Garut yang menggunakan fasilitas sistem informasi masih sangat terbatas. Hal tersebut dikarenakan kemauan masyarakat Kabupaten Garut di dalam menggunakan fasilitas SI yang masih kurang. Kurang adanya kesadaran dari masyarakat terbukti dari beberapa warga yang diwawancarai mengaku belum mengetahui maupun belum pernah mengunjungi www.garutkab.go.id bahkan tidak mengetahui adanya badan dengan nama Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa (BPMPD) karena jarang mengakses internet.

5. Local Culture

Persepsi para pegawai pemerintahan bahkan masyarakat mengenai sistem informasi dan teknologi informasi memang masih perlu pemahaman yang lebih baik. Penerapan sistem informasi haruslah diimbangi dengan kemampuan masyarakat Kabupaten Garut yang belum "melek" teknologi. Budaya ini berpengaruh terhadap kemampuan masyarakat Kabupaten Garut di dalam memanfaatkan fasilitas sistem informasi pemerintahan yang ada.

Selain itu persepsi instansi yang beranggapan bahwa segala sesuatu yang praktis itu harus dibuatkan terlebih dahulu sistem informasinya tanpa melihat komponen sistem

informasi yang lainnya. Salah satunya adalah data. Banyak terdapat temuan sistem informasi dibuat terlebih dahulu baru mengumpulkan data. Hal tersebut dapat menimbulkan masalah baru seperti data yang redundan, tidak relevan, tidak nyata dan inkonsisten.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan paparan pada bagian sebelumnya, penulis memiliki kesimpulan antara lain :

1. Dalam membangun sebuah sistem informasi, organisasi atau instansi pemerintahan perlu menyusun *blue print* atau *roadmap* dalam perencanaan, pembangunan sistem informasi yang terpadu. Selain itu agar membantu keberlangsungan sistem informasi maka setiap badan atau instansi di kabupaten perlu memiliki bagian atau divisi yang pengembangan, pemeliharaan SI/TI.
2. Dalam menjamin kualitas informasi yang akan dihasilkan, sistem informasi haruslah mempunyai basis data yang berisikan data yang konsisten. Sehingga setiap badan atau institusi di Kabupaten Garut terlebih dahulu membangun sebuah basis data yang valid dan terintegrasi kemudian baru membangun sistem informasi. Oleh karena itu, pembangunan sistem informasi didahului dengan membangun dan menghimpun data.
3. Pemerintah Kabupaten Garut perlu meningkatkan infrastruktur dan kesadaran masyarakat dalam mengoptimalisasikan penerapan sistem informasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan selalu memberikan doa sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan lancar. Terima kasih kepada:

1. Seluruh Pejabat dan Staf Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Daerah Kabupaten Garut
2. Dr. H. Nizar Alam Hamdani, M.M., M.T., M.Si selaku Ketua STKIP Garut
3. Seluruh Rekan Kerja dan Sahabat di STKIP Garut

Referensi

- [1] Tupoksi Badan Pemberdayaan Masyarakat dan Pemerintahan Desa Kabupaten Garut. <http://bpmpd-garut.com/index.php/profil-bpmpd/tupoksi-bpmpd> [diakses 15 April 2015].
- [2] Sutanta, E. 2003. *Sistem Informasi Manajemen*. Jakarta: Graha Ilmu. p. 3.
- [3] McLeod, R. & Schell, G. P. 2008. *Sistem Informasi Manajemen*. Jakarta: Salemba Empat.p. 13.
- [4] Sutanta, E. 2003. *Sistem Informasi Manajemen*. Jakarta: Graha Ilmu. p. 5
- [5] Jogiyanto. 2000. *Analisis dan Desain*. Yogyakarta: Andi Offset. p. 8
- [6] McLeod, R. & Schell, G. P. 2008. *Sistem Informasi Manajemen*. Jakarta: Salemba Empat.p. 35
- [7] Jogiyanto. 2000. *Analisis dan Desain*. Yogyakarta: Andi Offset. p. 11
- [8] Fathansyah, Ir. 2007. *Buku Teks Komputer : Basis Data*. Bandung : Informatika. p. 6.
- [9] Kadir, Abdul. 2003. *Pengenalan Sistem Informasi*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [10] Indarjit, Richardus Eko. 2004. *Electronic Government*. Yogyakarta : Andi. p. 2
- [11] Sri Purwandani, Maesaroh, Rihandoyo. *Analisis penerapan electronic government Di kabupaten pati*. <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=73037&val=4925>. [diakses 15 April 2015]
- [12] Lembaga Sertifikasi Profesi Telematika Indonesia. Pengantar Teknologi Informasi. ebook. p. 17

SISTEM INFORMASI UNTUK *PETSHOP*

Hendry Wong^{1, a)} dan Yosep Purnama^{2, b)}

¹Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Bandung

¹Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: wong02id@gmail.com

Abstrak

Dunia sistem informasi berbasis komputer telah berkembang dengan sangat pesat dan mempengaruhi dunia bisnis di Indonesia. Sistem informasi berbasis komputer (SIBK) ini telah memecahkan banyak permasalahan yang terjadi pada sistem informasi yang lalu yang belum memanfaatkan teknologi komputer. Misalkan bagaimana meyakinkan bahwa transaksi telah tercatat dengan baik dan perhitungan tidak ada yang salah, begitu juga bagaimana agar dapat membuat laporan dengan mudah cepat dan terhindar dari kesalahan.

Begitu juga hal ini terjadi pada bisnis *petshop*. *Petshop* memberikan jasa penitipan binatang termasuk dengan pemeriksaan kesehatan pada binatang yang sedang di titipkan di *petshop* tersebut termasuk jasa salon, juga menjual perlengkapan untuk binatang. Sehingga proses bisnis *petshop* tersebut menjadi rumit sehingga sering kali terjadi kesalahan dan kurang adanya laporan-laporan yang diperlukan.

Mengacu pada permasalahan tersebut, maka dilakukan perancangan dan pembuatan sistem informasi *petshop* untuk menangani masalah tersebut. Sistem informasi *petshop* ini dirancang menggunakan alat bantu *data flow diagram (DFD)* untuk merancang sistem, normalisasi data untuk merancang *database*, dan untuk membangun database menggunakan *SQL Server* dan aplikasi menggunakan *Visual Basic*.

Kata kunci: SIBK, *petshop*, teknologi komputer

Pendahuluan

Sistem informasi berbasis komputer yang berkembang saat ini, sangat berpengaruh dalam dunia bisnis atau perdagangan baik produk ataupun jasa. Proses bisnis model lama atau tradisional yang masih hanya mengandalkan kertas biasa baik itu nota atau laporan yang biasa dilakukan setiap minggu atau bulan, masih banyak ditemukan kesalahan perhitungan atau juga lambatnya dalam menangani transaksi. Hal ini pun terjadi pada bisnis *petshop* dalam memberikan pelayanan kepada para pelanggannya baik dalam segi pembelian perlengkapan binatang ataupun jasa penitipan dan salon. Untuk mengatasi hal tersebut maka dirancang dan dibangun sebuah database beserta aplikasi *petshop* ini dengan menggunakan *SQL Server* sebagai engine database dan *Visual Basic* sebagai aplikasi. Database yang dibuat terdiri dari beberapa table yang terintegrasi satu dengan yang lain yaitu diantaranya table login, aksesoris, beli detail aksesoris, beli head aksesoris, customer, service, detail service, head service, hewan, detail titip, head titip, supplier, jual detail aksesoris, jual head aksesoris, retur jual aksesoris, retur beli aksesoris. Kemudian selanjutnya pembuatan aplikasi yang

terdiri dari antar muka pengguna (*user interface*) yang biasa dikenal juga dengan form yaitu Login, customer, supplier, barang, jenis salon, penitipan hewan, input *user* (pengguna), pembelian, penjualan, jasa titipan hewan, pengambilan penitipan hewan, grooming pet, retur pembelian, retur penjualan, laporan penjualan, laporan pembelian, laporan jasa salon, laporan penitipan. Sistem informasi untuk petshop ini dirancang dengan menggunakan alat bantu perancangan sistem Data Flow Diagram (DFD).

Teori

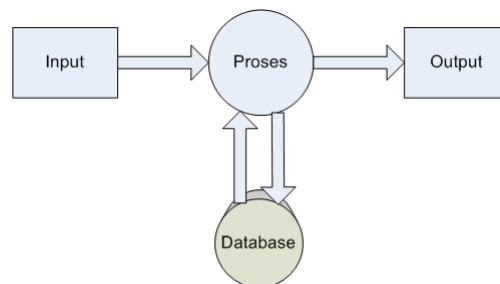
Sistem adalah merupakan kumpulan dari komponen-komponen yang terhubung satu sama lain dan secara bersama-sama bekerja saling mendukung dengan tujuan atau hasil yang sama serta memiliki komponen masukan-pengolahan-keluaran (*input-process-output*).

Data adalah kumpulan datum dan merupakan bentuk pernyataan dari dunia nyata yang diwakilkan oleh huruf, angka dan gambar atau banyak juga yang menyebutnya sebagai suatu fakta.

Informasi adalah data yang sudah diolah sedemikian rupa sehingga menghasilkan arti dan makna bagi yang menerima data tersebut.

Database (basis data) adalah suatu tempat penyimpanan data yang sudah di susun atau diatur sedemikian rupa dengan tujuan agar memudahkan dalam pencarian data tersebut kembali.

Merujuk dari teori sistem, data dan informasi serta basis data, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem informasi memiliki komponen-komponen masukan data, pengolahan data, sehingga menghasilkan sebuah informasi yang baru, tentu saja basis data adalah tempat data tersebut disimpan dan diolah.



Gambar 1. Sistem Informasi

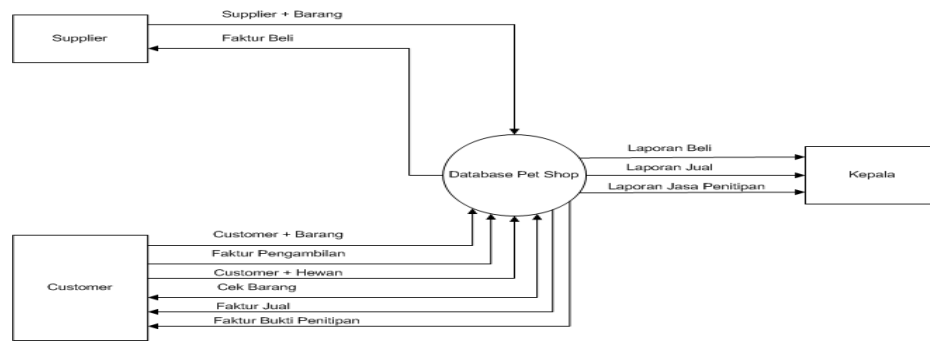
Data flow diagram (DFD) adalah merupakan alat bantu dalam merancang proses bisnis atau sistem bisnis tersebut.

Hasil dan Diskusi

Proses bisnis *petshop* ini dirancangan dengan menggunakan *dfd* seperti di bawah ini

1. Diagram konteks (*contex diagram*)

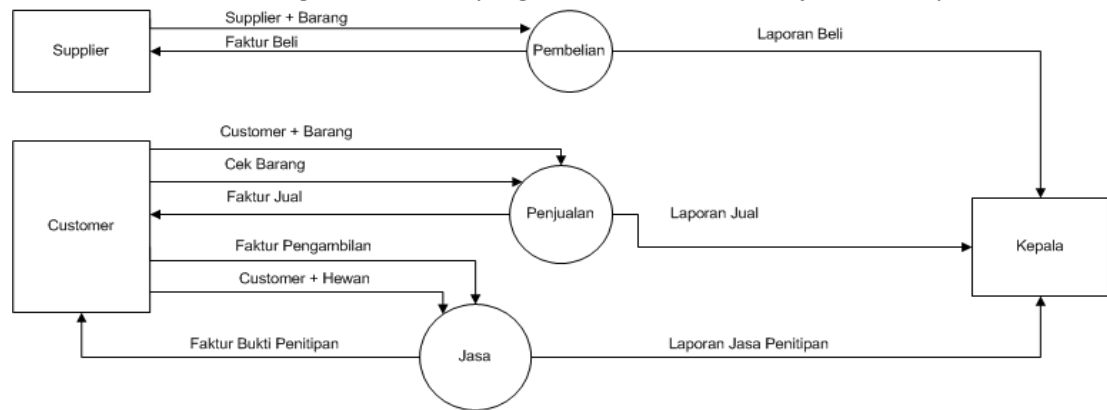
Proses bisnis atau sistem *petshop* tersebut secara garis besar di paparkan didalam konteks diagram yang merupakan sistem besar dari *petshop* ini.



Gambar 2. Konteks Diagram *Petshop*

2. Diagram level 0

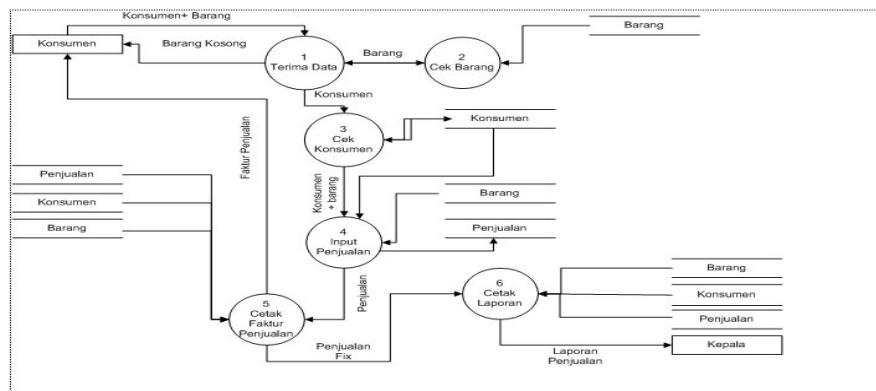
Menjabarkan turunan dari diagram konteks, yang memecah sistem menjadi beberapa sub sistem.



Gambar 3. Diagram Level 0

3. Diagram level 1 untuk sub sistem penjualan

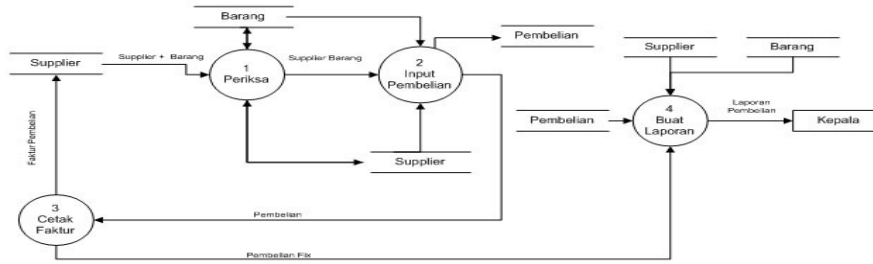
Menggambarkan turunan dari sub sistem penjualan menjadi lebih detail sehingga terlihat sub sistem berikutnya yang lebih menjelaskan aliran data dari sub sistem satu ke sub sistem yang lainnya.



Gambar 3. Diagram Level 1 Sub Sistem Penjualan

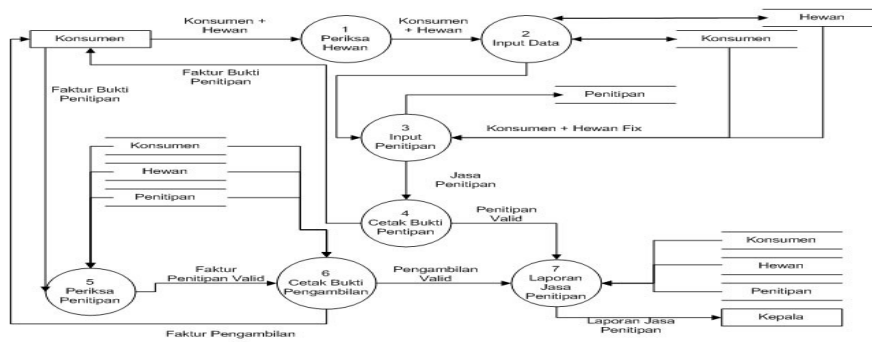
4. Diagram level 1 untuk sub sistem pembelian

Menggambarkan turunan dari sub sistem pembelian menjadi lebih detail sehingga terlihat sub sistem berikutnya yang lebih menjelaskan aliran data dari sub sistem satu ke sub sistem yang lainnya.



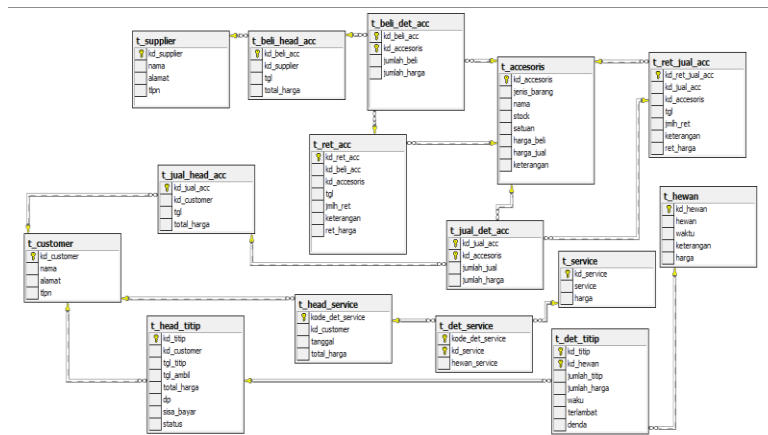
Gambar 4. Diagram Level 1 Sub Sistem Pembelian

- Diagram level 1 untuk sub sistem jasa
Menggambarkan turunan dari sub sistem jasa menjadi lebih detail sehingga terlihat sub sistem berikutnya yang lebih menjelaskan aliran data dari sub sistem satu ke sub sistem yang lainnya.



Gambar 5. Diagram Level 1 Sub Sistem Jasa

- Rancangan *relational database* adalah sebagai berikut
Setelah Database dirancang, kemudian dilakukanlah realasi antar tabel sehingga menghasilkan hubungan seperti dibawah ini yang menunjukkan bahwa masing-masing tabel tidak bisa berdiri sendiri tetapi selalu bergantung pada tabel yang lain.



Gambar 6. Relational Database

7. Antar muka *login*

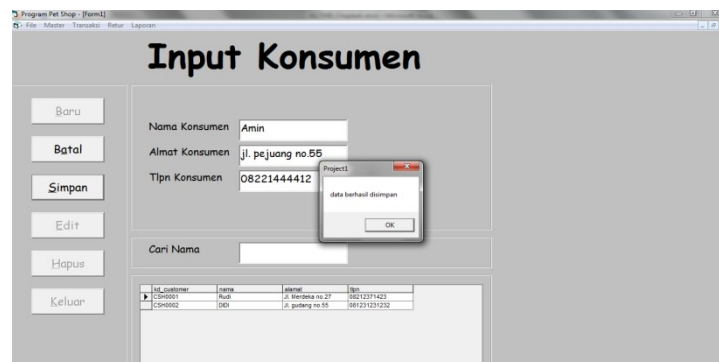
Form Login ini berfungsi untuk mengatur siapa saja yang diperbolehkan untuk masuk dan menggunakan sistem informasi *petshop* ini.



Gambar 7. Antar Muka *Login*

8. Antar muka konsumen

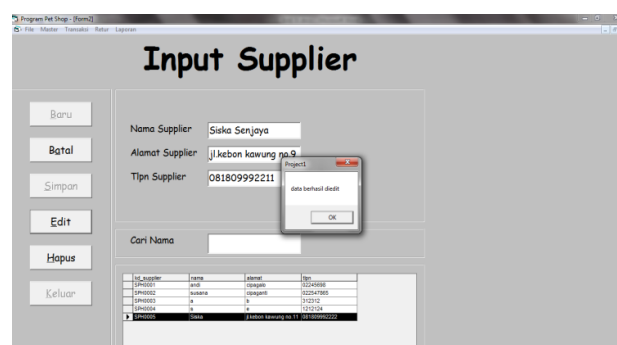
Antar muka konsumen ini berfungsi untuk memasukan data konsumen, sehingga *petshop* ini memiliki daftar konsumen yang biasa menggunakan jasa atau membeli perlengkapan atau aksesoris di *petshop* ini. Pada saat dibutuhkan data konsumen dapat langsung diakses.



Gambar 8. Antar Muka Input Konsumen

9. Antar muka supplier

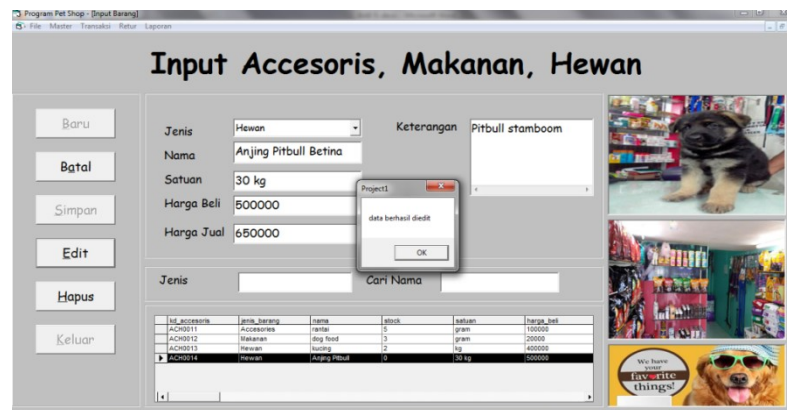
Antar muka konsumen ini berfungsi untuk memasukan data supplier, sehingga *petshop* ini memiliki daftar supplier yang biasa mendistribusikan produknya pada *petshop* ini. Pada saat dibutuhkan data supplier dapat langsung diakses.



Gambar 9. Antar Muka Input Supplier

10. Antar muka Accesoris

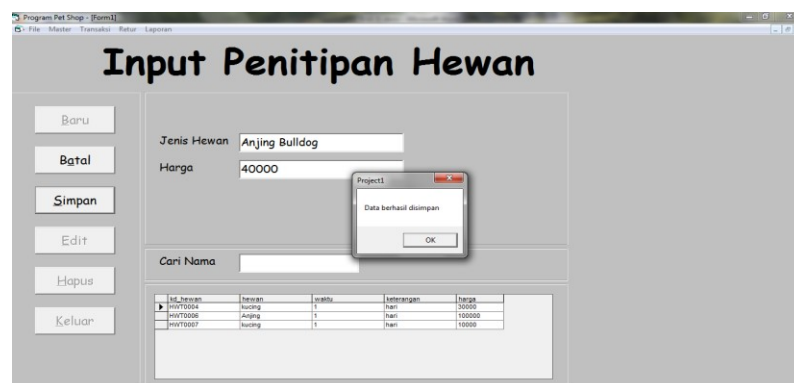
Antar muka Accesoris ini berfungsi untuk memasukan data Accesoris, sehingga *petshop* ini memiliki daftar accesoris. Sehingga pada saat dibutuhkan data accesoris dapat langsung diakses.



Gambar 10. Antar Muka Input Accesoris

11. Antar muka Input penitipan hewan

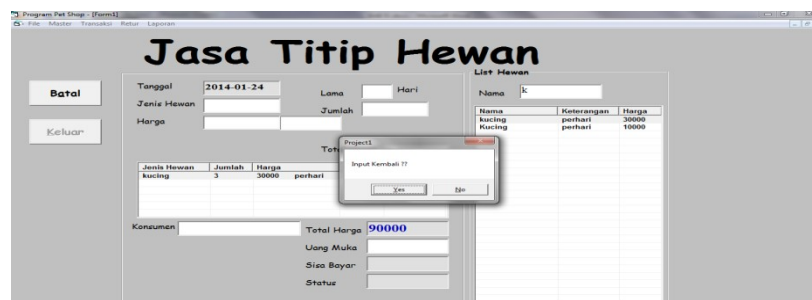
Antar muka input penitipan hewan ini berfungsi untuk memasukan data hewan, sehingga *petshop* ini memiliki daftar hewan. Sehingga pada saat dibutuhkan data hewan dapat langsung diakses.



Gambar 11. Antar Muka Input Penitipan Hewan

12. Antar muka Jasa Penitipan Hewan

Antar muka jasa penitipan hewan ini berfungsi untuk memasukan jasa yang diminta untuk hewan tersebut, dengan beberapa pelayanan yang ada yang telah disediakan.



Gambar 12. Antar Muka Jasa Penitipan Hewan

Kesimpulan

Dengan menggunakan alat bantu pemodelan sistem yaitu data flow diagram, gambaran dari proses bisnis atau sistem *petshop* ini dapat dijabarkan dengan jelas dan detail. Kemudian dengan membuat database serta aplikasi maka beberapa masalah yang terjadi dapat ditangani dengan baik. Sistem informasi berbasis komputer ini merupakan sistem informasi yang tepat yang untuk di realisasi didalam dunia bisnis.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ketua Jurusan, sekretaris jurusan, para dosen, dan mahasiswa fakultas teknik jurusan sistem komputer Unniversitas Kristen Maranatha Bandung yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan makalah ini.

Referensi

- [1] Bunafit Nugroho. 2005, *Instalasi dan konfigurasi jaringan window dan linux*, C.V Andi Offset.
- [2] Chaniago, Y.S Armian, 1994, Cetakan Ke 4 *Kamus Umum Bahasa Inonesia*, PT Gramedia Pustaka Utama.
- [3] Fathansyah. 2004, *Buku Teks Komputer Sistem Basis Data*, Informatika.
- [4] Jogiyanto, Prof. Dr. HM, MBA, Akt. 2005, *Analisis dan Design Sistem Informasi Pendekatan Terstruktur teori dan Praktik Aplikasi Bisnis*, C.V Andi Offset.
- [5] Ladjamudi Bin Al-Bahra. 2005, *Analisis dan Design Sistem Informasi*, Graha Ilmu.
- [6] *Microsoft, SQL Server 2000*, Tipe data,
<http://msdn.microsoft.com/enus/library/aa258271%28v=sql.80%29.aspx> Download tanggal 11 mei 2011.
- [7] Somantri, Hendi, Drs. 2005, Edisi Pertama *Memahami Akuntansi Armico*.
- [8] <http://dimas347.wordpress.com/2010/12/08/karakteristik-sistem/>

PEMANFAATAN *Enterprise Resource Planning* (ERP)

DI LINGKUNGAN PARA WIRAUSAHAWAN

Muhammad Prakarsa A.S

e-mail : ras_akuto@yahoo.com

Abstrak

Peranan sistem informasi yang terintegrasi sudah menjadi hal penting dan mendesak untuk diterapkan, guna mendukung dan menentukan strategis bisnis untuk dapat memiliki keunggulan perusahaan dalam mengantisipasi persaingan bisnis.. Kehadiran sistem informasi terlebih sistem informasi yang berbasis ERP (*Enterprise Resource Planning*) dapat berperan aktif dalam mengantisipasi persaingan bisnis dan menentukan strategis bisnis, agar tim manajemen dapat lebih fokus dalam menciptakan suatu terobosan dan inovasi bagi pengembangan perusahaan, yang akhirnya dapat memberikan keuntungan secara maksimal. Untuk itu, sinkronisasi untuk pengembangan sistem ERP dengan strategis bisnis sangatlah penting dibutuhkan untuk mendukung pengembangan bisnis perusahaan untuk jangka pendek dan jangka panjang. Dengan melihat kebutuhan pasar yang kompleks dengan kebiasaan masyarakat untuk menggunakan segala hal yang bisa bersifat gratis maka *Open Source* merupakan sebuah jawaban yang tepat. Maka ERP *Opensource* merupakan sebuah jawaban atas kebutuhan pemanfaatan sistem informasi dalam bidang bisnis. *Phreedom* merupakan salah satu jawaban atas permasalahan tersebut. Dengan fitur yang lengkap serta proses implementasi yang mudah menjadikan *Phreedom* layak menjadi sebuah pilihan sebagai ERP yang diterapkan di perusahaan

Kata Kunci: ERP, *Phreedom*

Pendahuluan

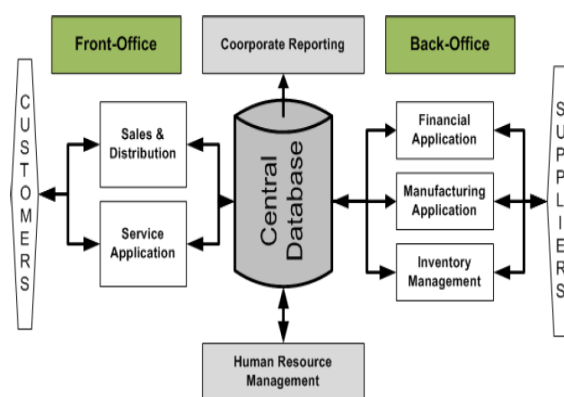
Kehadiran sistem informasi yang terintegrasi merupakan hal penting dan mendesak, demi terciptanya cara kerja yang lebih efektif dan efisien, dengan berpengaruh terhadap usaha untuk berdayaguna dalam orang dan penyempurnaan proses bisnis [1]. Dengan demikian, fungsi tingkatan manajerial dapat lebih cekatan dengan mengelola informasi yang tersedia dalam menganalisa dan menentukan strategis bisnis demi pengembangan bisnis perusahaan mendatang. Ironisnya, penerapan sistem informasi yang terintegrasi seperti ERP (*Enterprise Resource Planning*), memiliki resiko mengalami kegagalan. Sistem informasi merupakan suatu komponen yang terdiri dari manusia, teknologi informasi, dan prosedur kerja yang memproses, menyimpan, menganalisis, dan menyebarkan informasi untuk mencapai suatu tujuan [2]. Salah satu faktor kesuksesan dalam persaingan bisnis adalah dukungan penggunaan Teknologi Informasi dalam mengelola transaksi bisnis [3]. Untuk itu, Teknologi Informasi perlu dikelola dengan baik, seperti : bagaimana dapat memenuhi tingkat kepuasan pelanggan dan pemasok. Penggunaan Teknologi Informasi baru (*New Technology*) secara optimal dalam mengelola transaksi bisnis sehari-hari sampai dapat menghasilkan suatu informasi yang dapat diekstrak untuk dapat digunakan sebagai alat pengambilan keputusan strategis. Dengan sistem informasi yang terintegrasi, dapat dilakukan komputasi numerik yang bervolume besar dengan kecepatan tinggi, menyediakan komunikasi dengan relatif cepat, menyimpan informasi dalam jumlah besar dan mudah diakses, meningkatkan efektifitas dan efisiensi pekerjaan, menyajikan informasi dengan informatif, akurat, uptodate dan sesuai kebutuhan manajemen dan pengguna, mengotomatiskan proses bisnis yang semi otomatis dan tugas yang

dikerjakan secara manual [2]. Kehadiran ERP bukanlah menjadi suatu persepsi yang keliru dan yang menakutkan bagi orang-orang akan terjadinya kehilangan suatu pekerjaan yang digantikan oleh komputer, tetapi sebaliknya kehadiran ERP dapat meningkatkan cara kerja yang lebih efektif dan efisiensi, memberikan ide-ide dan inovatif untuk pengambilan keputusan strategis bisnis demi pengembangan perusahaan.

Konsep Dasar ERP

ERP singkatan dari 3 elemen kata yaitu *enterprise* yang artinya perusahaan atau organisasi, *resource* yang artinya sumber daya dan *planning* yang artinya perencanaan. Sehingga ERP mencerminkan sebuah konsep yang berujung kepada kata kerja "*planning*" yang berarti bahwa ERP menekankan pada aspek perencanaan[1]. Berdasarkan hal di atas tersebut ERP yaitu adanya aspek perencanaan yang terintegrasi di suatu organisasi atau perusahaan dengan tujuan agar dapat merencanakan dan mengelola sumber daya organisasi dan dapat merespon kebutuhan pelanggan dengan baik.

Sistem ERP dapat dikatakan sebuah terminologi yang diberikan kepada sistem informasi yang terintegrasi untuk mendukung transaksi atau proses operasi yang ada didalam perusahaan. Konsep dasar sistem ERP dapat digambarkan seperti berikut :



Gambar 1.1 Konsep Sistem ERP

Implementasi sistem informasi berbasis ERP adalah suatu arsitektur software yang memiliki tujuan untuk memfasilitasi aliran informasi diantara seluruh fungsi-fungsi bisnis di dalam batas organisasi atau perusahaan dengan pihak stakeholder di luar perusahaan [4]. ERP dibangun atas dasar sistem database yang terpusat dan biasanya menggunakan platform komputansi yang umum. Sistem informasi berbasis ERP dapat mengkonsolidasikan seluruh operasi bisnis menjadi seragam dan sistem lingkungan perusahaan yang lebih luas. Dalam prakteknya penerapan sistem ERP dirancang berdasarkan proses bisnis yang dianggap best practice yaitu proses bisnis umum yang paling layak ditiru. Misal bagaimana proses umum yang sebenarnya berlaku untuk pembelian (*purchasing*), penyusunan stok digudang dan sebagainya. Untuk mendapatkan manfaat yang sebesar-besarnya dari sistem ERP, maka industry yang akan mengimplementasikan ERP harus mengikuti *best practice process* yang berlaku. Akan tetapi. Permasalahan mulai timbul bagi industry di Indonesia, contoh permasalahan bagaimana merubah proses kerja yang dikehendaki oleh sistem ERP agar sesuai dengan proses kerja perusahaan hal ini terutama dilakukan untuk modul sumber daya manusia, karena banyak perusahaan di Indonesia memiliki peraturan dan kebijakan yang berbeda dibandingkan dengan proses bisnis pada modul SDM yang terdapat pada sistem ERP pada umumnya seperti SAP. Proses penyesuaian ini dikenal sebagai implementasi dan salah satu factor yang

mementukan keberhasilan implementasi sistem ERP di perusahaan adalah proses bisnis yang telah terintegrasi didalam paket ERP merupakan paket bisnis bestpractice yang telah teruji reabilitasnya.

ERP Phreedom

Komputerisasi akuntansi adalah suatu seni dengan menggunakan alat bantu komputer untuk melakukan pencatatan, penggolongan dan peringkasan transaksi dan kejadian yang bersifat keuangan. Salah satu fungsi organisasi yang erat kaitannya dengan keputusan manajemen adalah fungsi akuntansi yang bertanggung jawab mengontrol dan melaporkan kinerja keuangan perusahaan [3]. Dan agar laporan keuangan dan analisa laporan keuangan yang dihasilkan sesuai dengan karakteristiknya, perlu suatu sistem yang komparatif dan integral dari keseluruhan proses bisnis yang ada. Dengan menerapkan sistem komputerisasi akuntansi, maka akan mempercepat proses penyajian analisa dan laporan keuangan karena komputerisasi akuntansi diterapkan untuk memudahkan proses transaksi-transaksi akuntansi ke dalam sebuah laporan dan analisa laporan untuk mendukung hasil pengambilan keputusan yang berhubungan dengan keadaan keuangan perusahaan dalam suatu periode akuntansi.

Sistem akuntansi sudah sangat berkembang untuk saat ini setiap perusahaan sudah banyak mengembangkan sistem akuntansi berdasarkan kompleksitasnya. Dengan makin banyaknya software akuntansi maka pekerjaan yang manual dan memakan waktu yang banyak akan semakin berkurang, karena software komputer yang ada sekarang ini dapat memproses data lebih dan dalam waktu yang relatif cepat sehingga efisiensi pun akan didapatkan. Data yang diolah didalam komputer akan menjadi output berupa informasi finansial ataupun non finansial. Proses pengolahan data ini dapat dilakukan secara terdistribusi maupun terpusat. Dengan menggunakan komputer laporan yang terlambat ataupun informasi yang non struktural dapat diminimalisir dengan adanya pengendalian dan penerapan akuntansi untuk menghasilkan informasi yang layak dan berguna serta memenuhi prinsip akuntansi bagi perusahaan

PhreeSoft adalah sebuah perusahaan perangkat lunak yang didirikan pada tahun 2007 dengan tujuan menyediakan berbagai produk yang sangat disesuaikan, dirancang khusus untuk usaha kecil dan menengah, menggunakan multi-bahasa, platform independen, aplikasi berbasis web yang dikembangkan dari perangkat lunak bebas tersedia [4]. Singkatnya, PhreeSoft menyediakan mudah digunakan, perangkat lunak disesuaikan yang mengelola sebagian besar aspek fungsi bisnis, yang dapat dicapai dari mana saja dengan akses internet. Sistem ini jenis menyediakan fleksibilitas untuk mengembangkan sistem bisnis yang sukses yang dapat diakses ketika membuat penjualan bepergian ke persediaan di lokasi gudang. Misi PhreeSoft adalah untuk membuat memiliki sistem ERP kustom mudah dan lebih murah Phreedom ERP dikembangkan untuk memberikan usaha kecil kebebasan untuk mengelola operasi mereka dengan biaya rendah yang fleksibel set alat yang dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan mereka. Pada intinya adalah akuntansi PhreeBooks modul yang terdiri dari sistem akuntansi double entry dengan banyak fitur yang ditemukan dalam paket akuntansi yang tersedia secara komersial software.

Phreedom merupakan ERP yang berbasis Webbased sehingga dapat memudahkan kita dalam melakukan suatu internal audit dalam hal ini mempermudah suatu proses bisnis yang terjadi di perusahaan bahasa yang digunakan dalam ERP ini menggunakan PHP dengan konsep database yang digunakan adalah MYSQL [4], Phreedom merupakan ERP yang di titik beratkan untuk level perusahaan yang masih dalam tahap pengembangan tetapi tidak menutup kemungkinan untuk melakukan costumize fitur hingga dapat diterapkan di perusahaan besar, Hingga saat ini Phreedom telah banyak digunakan di negara – negara dengan tingkat ekonomi berkembang dan maju di daerah

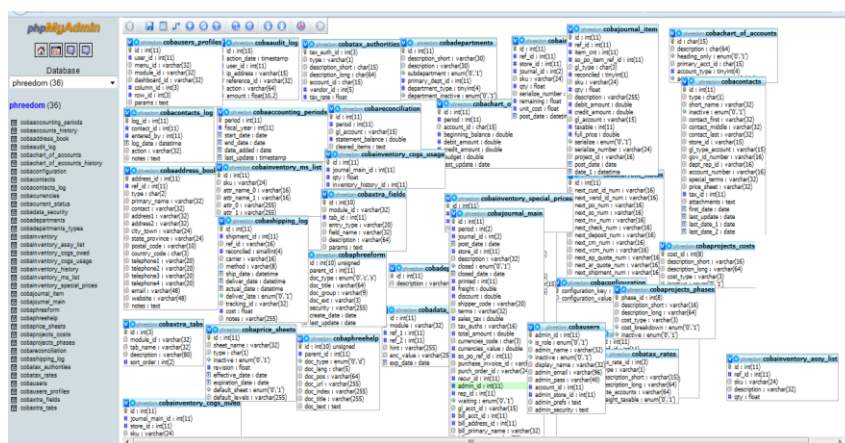
Eropa, salah satu alasan penggunaan ERP ini dibandingkan dengan ERP lainnya adalah tingkat kemudahan implementasi dan customisasi yang sangat simple dengan kebutuhan hardware dan software yang sangat minim sehingga tidak menjadi sebuah beban besar untuk perusahaan yang sedang berkembang.

Implementation ERP Phreedom

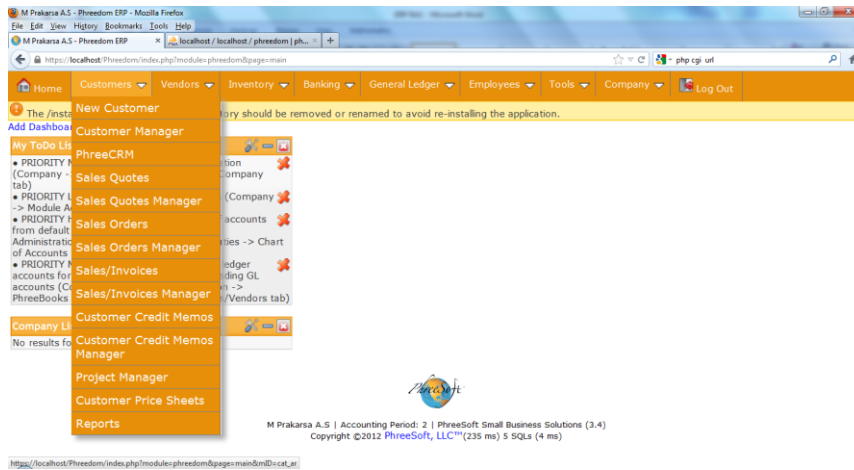
Phreedom adalah sebuah aplikasi berbasis web berbasis PHP, MySQL dan JavaScript. Sebuah server web diperlukan yang dapat terletak pada komputer Local, intranet server atau webserver host. Selama setup script, PhreeBooks akan memeriksa sistem yang terdapat dalam perangkat anda. Dalam Proses instalasi Phreedom akan meminta autentifikasi dari webserver yang tersedia dalam perangkat anda. Alasan lain mengapa perusahaan – perusahaan yang baru berkembang memilih ERP ini adalah karena kebutuhan minimum perangkat yang dibutuhkan adalah : Mysql Versi: 4.0 dan PHP Versi: 5.2. Untuk hal browser Phreedom telah diuji pada FireFox, Google Chrome, dan Internet Explorer dan memiliki tingkat kompatibilitas dan usability yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.

- Customer Features
- Vendor Features Inventory
- Features Banking
- Features Human Resources
- Features Import/Export
- Features External
- Interfaces Multi-Company
- Features Report/Form
- Features Payment
- Modules Shipping/Freight Features
- Security

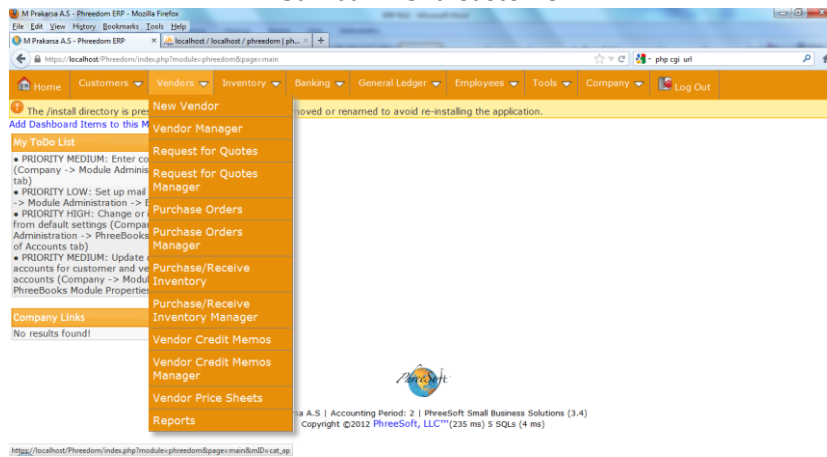
Berikut ini adalah gambaran skema Database dan User Interface yang terdapat dalam ERP Phreebook :



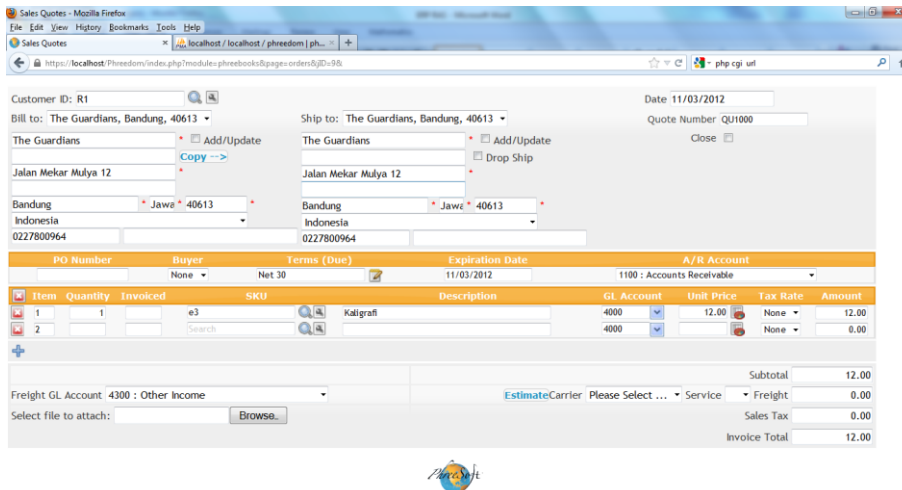
Gambar Skema Tabel



Gambar Menu Customer



Gambar Menu Vendor



Gambar Menu Input Order

M Prakarsa A.S.
 100 Main St.
 Anytown, CA 90001
 Email: webmaster@mycompany.com
 Web: www.mprakarsa.com

Quote Number: QU1000
 Date Issued: 11/03/2012
 Page #: 1 of 1

Sold To:
 The Guardians
 Jalan Mekar Mulya 12
 Bandung, Jawa Barat 40613
 IDN

Ship To:
 The Guardians
 Jalan Mekar Mulya 12
 Bandung, Jawa Barat 40613
 IDN

Phone: 0227800964 Fax:
 Customer ID: R1 Sales Rep: HQ Store ID: HQ Shipment Method: 0: Quote Expires: 11/03/2012

Qty	SKU	Description	Unit Price	Extension
1	e3	Kaligrafi	\$ 12.00	\$ 12.00

Subtotal	\$ 12.00
Sales Tax	\$ 0.00
Shipping	\$ 0.00
Quote Total	\$ 12.00

Gambar Report Order

Manfaat yang diperoleh bagi pengguna dan manajemen dengan adanya penerapan aplikasi ERP :

- Kecepatan dan tingkat akurasi informasi yang dibutuhkan manajerial lebih cepat dibanding sistem sebelumnya untuk memperoleh informasi order status, rekapitulasi order by unit bisnis.
- Meningkatkan kepuasan pelanggan. Dengan ketersediaan berbagai informasi antar unit bisnis yang dilakukan secara online dan uptodate, maka tiap unit bisnis dapat berkolaborasi informasi secara online,
- Meningkatkan *Inventory Control*. Dengan adanya penerapan aplikasi program ERP modul order processing, maka fungsi *inventory control* dapat dengan mudah dilakukan, dimana petugas departemen terkait dapat mengetahui informasi secara *real-time* dan *uptodate* mengenai posisi stok persediaan, status persediaan, *outstanding* pesanan pembelian.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan pembahasan diatas dan pengimplemantasian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

- ❖ Dalam dunia bisnis, peranan sistem ERP dan dunia bisnis tidak dapat dipisahkan. ERP dapat mendukung kegiatan operasional dalam mengelola transaksi bisnis, demi meningkatkan hasil pekerjaan menjadi lebih efisiensi dan efektif
- ❖ Dalam dunia bisnis, peranan sistem ERP dan dunia bisnis tidak dapat dipisahkan. ERP dapat mendukung kegiatan operasional dalam mengelola transaksi bisnis, demi meningkatkan hasil pekerjaan menjadi lebih efisiensi dan efektif

- ❖ Pemilihan ERP merupakan hal yang harus dipertimbangkan dengan penyesuaian proses bisnis yang terjadi di perusahaan
- ❖ Phreedom merupakan salah satu ERP yang bersifat opensource dengan fitur web-based yang memiliki *functional* yang terdiri dari *Customer Features, Vendor Features Inventory, Features Banking, Features Human Resources Features Import/Export, Features External, Interfaces Multi-Company, Features Report/Form, Features Payment, Modules Shipping/Freight Features, Security*
- ❖ Phreedom merupakan ERP yang pembangunannya menggunakan bahasa pemrograman PHP, Ajax, JQuery dan database Mysql. Dengan asumsi tersebut Phreedom merupakan contoh ERP yang dapat di *customize* oleh para pihak yang membutuhkan.

Referensi

- [1] Ward, John and Peppard, Joe., 2002, Strategic Planning for Information System, John Wiley & Sons, Inc. (5)
- [2] Monk, Ellen F., dan Bret J.Wagner, 2009. Concepts in Enterprise Resource Planning, 3rd
- [3] Mulyanto, 2009 Sistem Informasi, Konsep & Aplikasi, Pusaka Pelajar, Yogyakarta
- [4] Porter, Michael E, 1985, Competitive Advantage : Creating and Sustaining Superior Performance for Analyzing Industries and Competitor
- [5] Stan W. Merrill, PhD 2011, User Guide How to use Phreedom in Company

MODEL *ICT* DALAM IMPLEMENTASI *KNOWLEDGE MANAGEMENT* DI PERGURUAN TINGGI

Nizar Alam Hamdani ^{1,a)}

¹Universitas Garut

^{a)}Email: nizar_hamdani@yahoo.com,

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi sangat besar dalam pengembangan perguruan tinggi. Adanya teknologi informasi memungkinkan proses pengolahan informasi menjadi pengetahuan lebih cepat. Penerapan Manajemen Pengetahuan tidak terlepas dari peran *Information and communications technology* (ICT) sebagai *enabler* dalam pengembangan Manajemen Pengetahuan di perguruan tinggi. Peranan IT berkembang semakin pesat, dimana pada awalnya hanya berfungsi sebagai penyimpanan data yang bersifat statik, kini beralih menjadi *connector* aliran informasi antar manusia. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan naturalistik, melalui studi dokumentasi, observasi, wawancara dan studi kepustakaan. Yang menjadi subjek dalam penelitian ini adalah para dosen, mahasiswa dan pengelola perguruan tinggi, yang dipilih secara *purposive sampling*, dan peneliti sendiri sebagai instrumen penelitian. Berdasarkan hasil penelitian dikembangkan model *ICT* untuk implementasi *knowledge management*, dalam model tersebut selain faktor teknologi informasi, sistem informasi juga faktor manajemen informasi diperlukan untuk *sustainability* implementasi *Knowledge Management* di perguruan tinggi terutama dalam kesuksesan *knowledge sharing*.

Kata kunci : *knowledge management*, Teknologi informasi, *knowledge sharing*

Pendahuluan

Knowledge Management memiliki peranan penting dalam pengelolaan pengetahuan, sebuah organisasi akan menjadi efektif dan efisien dengan implementasi *knowledge management*. Perguruan tinggi sebagai *knowledge creator* memiliki peranan yang sangat besar dalam pengembangan pengetahuan. Omona dan Der Wiede [1] menjelaskan bahwa *knowledge management* memiliki peranan yang sangat penting dalam peningkatan kualitas penelitian di perguruan tinggi. Lembaga pendidikan tinggi (*Higher Education Institutions/HEIs*) menurut Avdjieva and Wilson [2] adalah organisasi pembelajaran yang dikelola untuk menjadi organisasi pembelajaran, dimana *stakeholders* internal juga memberikan interpretasi dan penilaian atas kualitas penyelenggaraan pendidikan tinggi tersebut. Untuk pengembangan *knowledge management* di perguruan tinggi diperlukan perangkat pendukung berupa ICT (*information and Communication Technology*) sebagai *enabler* untuk pengelolaan pengetahuan di perguruan tinggi. Apabila ICT diterapkan maka dapat mengelola terhadap akses pengetahuan di perguruan tinggi [3]. Teknologi informasi adalah salah satu kunci keberhasilan implementasi KM dan memiliki peranan yang tidak terbantahkan [4]. Peranan IT berkembang semakin pesat, dimana pada awalnya hanya berfungsi sebagai penyimpanan data yang bersifat statik, kini beralih menjadi *connector* aliran informasi antar manusia. IT memungkinkan proses pencarian, pengaksesan dan pemanggilan informasi dapat

dilakukan secara cepat, disamping itu IT dapat mendukung kolaborasi dan komunikasi antar anggota organisasi. Sehingga IT memainkan peran penting dalam mendukung proses KM ([5]; Lee dan Hong, 2002)

ICT telah menggejala di hampir seluruh perguruan tinggi di Barat, terutama setelah dicanangkannya sistem pendidikan berbasis kompetensi. Terdapat berbagai jenis konsep penggunaan ICT yang secara langsung dan tidak langsung memberikan pengaruh terhadap cara penyelenggaraan pendidikan yang mengarah pada peningkatan kualitas. Agar implementasi ICT berhasil diperlukan analisis terhadap kebermanfaatannya dari Project ICT tersebut bagi stakeholder untuk lingkungan, bagi organisasi implementasi sistem dan manfaat untuk pelanggan dan bagi ICT sendiri yaitu outcome dan kinerja.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merumuskan model ICT yang tepat untuk mendukung knowledge management di perguruan tinggi. Model ini dapat dimanfaatkan oleh perguruan tinggi yang sudah atau akan menerapkan knowledge management dengan sarana ICT sebagai pendukung proses knowledge sharing, knowledge creation maupun knowledge transfer.

Teori

KM adalah proses yang ada dalam organisasi yang menghasilkan nilai dari intelektual dan asset dasar pengetahuan. Banyak sekali nilai yang dihasilkan seperti asset yang berasal dari hasil sharing diantara karyawan, lembaga dan sejawat dalam mendorong dan memberikan saran praktis yang terbaik. Sementara Jennex (2005) memberikan definisi : *"KM is the practice of selectively applying knowledge from previous experiences of decision making to current and future decision-making activities with the express purpose of improving the organization's effectiveness"*. Knowledge Management merupakan praktik bagi pemilihan penerapan pengetahuan berasal dari pengalaman sebelumnya untuk membuat keputusan saat ini dan masa mendatang dengan maksud mempercepat pengembangan efektifitas organisasi. Sementara Sveiby [6] menegaskan bahwa manajemen pengetahuan adalah seni penciptaan nilai dari intangible assets (asset pengetahuan). Skyrme [7] mengemukakan definisi: *"KM is the explicit and systematic management of vital knowledge and its associated processes of creation, organisation, diffusion, use and exploitation"*. Knowledge management merupakan manajemen pengetahuan vital secara eksplisit dan sistematis dan proses yang berasosiasi pada pembentukan, pengorganisasian, difusi, penggunaan dan eksploitasi

Dukungan IT terhadap proses KM dapat dikembangkan secara luas, sehingga dapat diaplikasikan dan diintegrasikan ke dalam suatu platform teknologi organisasi [4]. Menurut Luan dan Serban [8] IT dapat dikelompokkan ke dalam satu atau lebih dari kategori berikut, yaitu: *business intelligence, knowledge base, collaboration, content and document management, portals, customer relationship management, data mining, workflow, search* dan *e-learning*. Faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam penerapannya pada pengembangan sistem KM, adalah kesederhanaan dari teknologi, mudah dipergunakan, sesuai dengan kebutuhan pengguna, kaitannya dengan *knowledge content* dan standardisasi dari *ontology* struktur *knowledge*

Karl Albrecht, pada bukunya *"The Power of Minds at Work"*, menyampaikan bahwa pendekatan database untuk Knowledge Management sangat dimungkinkan untuk gagal dengan beberapa alasan yang sangat fundamental. Hal ini disebabkan dangkalnya pandangan masyarakat luas terhadap pemikiran dan ideologi mengenai "Digital". Ditunjukkan dengan manusia diperlakukan sebagai elemen dari mesin informasi dalam organisasi pengetahuan dengan anggapan mereka dapat diprogram dan diberi perintah persis seperti elemen dari data.

Implementasi ICT dalam menumbuhkembangkan pengetahuan diharapkan dapat juga berperan sebagai pendukung, memberikan feedback, sekaligus penyeimbang kita sebagai insan manusia yang memiliki bakat emosional dan spiritual. Jangan sampai dengan adanya ICT sisi manusiawi kita akan hilang, dengan adanya teknologi maka budaya seni kita hilang, sopan santun dan tata cara bicara kita pun mengalami degradasi. Alavi dan Gallupe [6] menemukan beberapa tujuan pemanfaatan ICT, yaitu ; (1) memperbaiki *competitive positioning*; (2) meningkatkan *brand image*; (3) meningkatkan kualitas pembelajaran dan pengajaran; (4) meningkatkan kepuasan mahasiswa; (5) meningkatkan pendapatan; (6) memperluas basis mahasiswa; (7) meningkatkan kualitas pelayanan; (8) mengurangi biaya operasi; dan (9) mengembangkan produk dan layanan baru. Davenport dan Short (1990) mendefinisikan 10 peran yang dapat dimainkan oleh TI, yaitu *transactional, geographical, automatical, analytical, informational, sequential, knowledge management, tracking, dan disintermediation*. Semua peran TI ini dapat dikontekstualisasikan dengan kebutuhan PT. Dalam bahasa yang lain, Al-Mashari dan Zairi [9] menyatakan bahwa manfaat TI adalah pada kemampuannya yang ; (1) *enabling parallelism*; (2) *facilitating integration*; (3) *enhancing decision making*; dan (4) *minimizing points of contact*. Sveiby (Gamble and Blackwell, 2002) menggambarkan bahwa “*ICT system as the hygiene factors of knowledge management. He suggest that the technology can be likened to the bathroom of a house*”. Sistem Teknologi informasi merupakan faktor higien dari *knowledge management*. Peran ICT dalam pengelolaan pengetahuan merupakan hal penting dalam menjawab tantangan global yang terjadi dan berlangsung saat ini. ICT lebih tertuju pada komunitas masyarakat akademik dalam hal ini perguruan tinggi. Menurut Indrajit dan Djokopranoto [10], bahwa pada saat inilah peranan ICT yang pertama muncul, yaitu sebagai *enabler* atau alat yang memungkinkan perguruan tinggi untuk dapat menciptakan proses pendidikan yang *cheaper-better-faster*. Ada dua jenis fungsi ICT yang dikenal terkait dengan hal ini, yaitu fungsi *back office* dan *front office*. Yang dimaksud dengan *back office* adalah penggunaan ICT untuk mendukung proses administrasi penyelenggaraan pendidikan tinggi atau yang kerap dikatakan sebagai aktivitas operasional.

Enabler condition dimaksudkan untuk membantu pimpinan dan organisasi dalam membantu memfasilitasi serta merangsang anggota organisasi, sehingga proses penciptaan pengetahuan (*knowledge creation*) dapat berlangsung dengan selektif [11]. *Enabler condition* dalam hal ini merupakan suatu ruang yang dapat menumbuhkembangkan munculnya hubungan antar anggota organisasi (Takeuchi dan Nonaka 2004), atau semacam konteks organisasi yang dapat berbentuk ruang, maya, mental atau mungkin gabungan ketiganya.

Lin et al. [12] merancang model untuk menggambarkan aliran *knowledge* dalam kerangka kerjasama rantai pasok. Arsitektur ini membagi infrastruktur KM ke dalam empat klasifikasi sebagai berikut; *technological, organizational, cultural* dan *human resource*.

Tabel 1 Infrastruktur KM

<i>Technological infrastructure</i>	<i>Organizational infrastructure</i>	<i>Culture infrastructure</i>	<i>Human resources infrastructure</i>
<ul style="list-style-type: none"> ●<i>Hardware</i> ●<i>Networking</i> ●<i>Intranet</i> ●<i>Protocols</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ●<i>Struktur organisasi</i> ●<i>Knowledge communities</i> ●<i>Informal group</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ●<i>Openness</i> ●<i>Willing to share</i> ●<i>trust</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ●<i>Training</i> ●<i>Recrutment</i> ●<i>Reward</i>

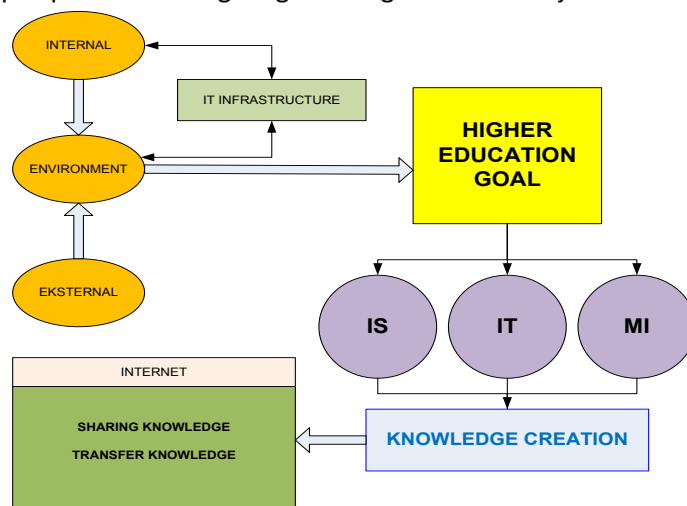
(Sumber: [12])

Hasil dan Diskusi

Kemajuan teknologi informasi yang demikian pesat serta potensi pemanfaatannya secara luas, membuka peluang bagi pengaksesan, pengelolaan, dan pendayagunaan informasi dalam volume yang besar secara cepat dan akurat. Peningkatan penggunaan internet secara global, yang mengintegrasikan TIK dengan reformasi administrasi di bidang pendidikan, telah menempatkan e-education sebagai hal penting dalam agenda modernisasi pendidikan di perguruan tinggi Wilayah Priangan. *E-Education* mewujudkan pergeseran paradigma bagaimana layanan diberikan kepada publik. Pergeseran ini melibatkan transisi dari satu model pelayanan ke model lain dengan perubahan radikal dalam posisi pemerintah terhadap masyarakat dan inisiatif-inisiatif bisnisnya. Hal ini senada dengan Asgarkhani [13] menjelaskan bahwa layanan elektronis sebagai solusi pelayanan tidak hanya sekedar dipengaruhi oleh infrastuktur teknologi yang digunakan. Faktor non-teknis seperti pandangan manajerial terhadap teknologi informasi juga berpengaruh terhadap kesuksesan layanan. Penggunaan *E-Education* sebagai sistem pembelajaran yang baru, mendorong penyelenggaraan pendidikan/pembelajaran semakin efektif. Dengan *E-Education* dimungkinkan dengan banyaknya informasi data pembelajaran yang diperoleh sehingga memberikan pelayanan kepada siswa/mahasiswa lebih memuaskan. Idealnya tenaga pengajar dan siswa/mahasiswa senantiasa mengakses berbagai informasi aliran data dengan cepat, bertanggung jawab dan sesuai harapan.

Internet mempunyai peran besar dalam mengakselerasi pengetahuan di Universitas. Internet merupakan media yang menghubungkan informasi dan pengetahuan yang tersedia dengan kebutuhan dosen atau siswa di Universitas. Purniawan (2009) menyebutkan beberapa manfaat internet sebagai berikut 1) arus informasi tetap mengalir setiap waktu tanpa ada batasan waktu dan tempat; 2) kemudahan mendapatkan *resources* yang lengkap, 3) aktifitas pembelajaran pelajar meningkat, 4) daya tampung meningkat, 5) adanya standardisasi pembelajaran, 6) meningkatkan *learning outcomes* baik kuantitas/kualitas.

Dalam proses pembelajaran, kehadiran internet merupakan suatu hal yang mutlak dan sudah merupakan kebutuhan. Sebagai suatu kebutuhan, maka kehadiran internet pada dasarnya sangat membantu dunia pendidikan untuk mengembangkan situasi belajar mengajar yang lebih kondusif dan interaktif. Dimana para peserta didik tidak lagi diperhadapkan dengan situasi yang lebih konvensional, namun mereka akan sangat terbantu dengan adanya metode pembelajaran yang lebih menekankan pada aspek pemakaian lingkungan sebagai sarana belajar.



Gambar 1

Model Knowledge Management Di Perguruan Tinggi

Perguruan Tinggi perlu melakukan kajian terhadap lingkungan internal dan eksternal. Kajian terhadap lingkungan internal ditujukan untuk mengidentifikasi infrastruktur teknologi informasi yang dimiliki. Sedangkan scanning eksternal ditujukan untuk menyesuaikan terhadap aturan yang berlaku baik yang berkaitan dengan perguruan tinggi maupun berkaitan dengan teknologi informasi. Tentunya semua platform yang ada ditujukan untuk tercapainya tujuan masing-masing perguruan tinggi. Untuk mencapai tujuan dalam pengelolaan pengetahuan diperlukan kebijakan Information system, Management Information dan Information technology guna mendukung terhadap penciptaan pengetahuan di perguruan tinggi. Adanya Knowledge Creation ini didukung oleh adanya internet sebagai fasilitas komunikasi untuk knowledge sharing dan knowledge transfer di perguruan tinggi baik antar dosen, maupun dosen dan mahasiswa.

Pada dasarnya peran ICT dalam pertumbuhan *knowledge management* juga akan mendorong pertumbuhan ekonomi dan membantu masyarakat dalam menghasilkan dan menciptakan pengetahuan yang up to date. Utamanya, ICT memiliki porsi penting dalam membawa perbaikan dalam improving diseminasi pengetahuan, akselerasi penelitian, stimulasi inovasi dan memfasilitasi kolaborasi.

Kesimpulan

Berdasarkan hal di atas dapat diambil kesimpulan bahwa peranan ICT yang pertama muncul, yaitu sebagai *enabler* atau alat yang memungkinkan Universitas untuk dapat menciptakan proses pendidikan yang *cheaper-better-faster*. Implementasi ICT di ketiga Universitas memberikan dampak pada peningkatan kualitas pelayanan, karena informasi dapat dengan mudah diakses, proses yang cepat, dan efisiensi biaya. Adanya model ICT yang fit terhadap kebutuhan pengguna dapat memberikan kemudahan dalam proses pembelajaran, ICT memegang peranan penting dalam mengubah proses pembelajaran, proses penyebaran pengetahuan, penciptaan pengetahuan serta dokumentasi pengetahuan menjadi lebih fleksibel dan mudah digunakan.

Referensi

- [1] Omona and Weider "Using ICT to enhance Knowledge Management in higher education: A conceptual framework and research agenda", International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology (*IJEDICT*), 2010, Vol. 6, Issue 4, pp.83-101.
- [2] Avdjieva M , Wilson M, "*Exploring the development of quality in higher education*", Managing Service Quality, 2010, Vol. 12 Iss: 6, pp.372 – 383.
- [3] Hawkins, B. Libraries, "knowledge management and higher education in an electronic environment", In: *Proceedings of the American Library and Information Association Conference*, Chicago, Illinois, 2000.
- [4] Wong, K.Y, Aspinwall, E. "*Knowledge management implementation frameworks*": a review, Knowledge and Process Management, 2004, 11(2), 93-104.
- [5] Allavi, Gallupe, R. B. "*Using Information Technology in Learning: Case Studies in Business and Management Education Programs*". Academy of Management Learning and Education, 2003, 2(2), 139–153.
- [6] Sveiby K-E "*A Knowledge Based Theory of the Firm to Guide Strategy Formulation*", 2001, Journal of Intellectual Capital 2.
- [7] Skyrme D, Amidon D, "*The Knowledge Agenda*", 1999, pp. 108 - 125 in The Knowledge Management Yearbook, ed. James D. Cortada and John A. Woods, Butterworth-Heinemann
- [8] Serban, A.M. & Luan, J. (Ed.). *Knowledge Management: Building a Competitive Advantage in Higher Education*. 2002, San Francisco: Jossey-Bass.
- [9] Al-Mashari, M. and Zairi, M. :"*Information and business process equality: the case of SAPR/3*

- implementation*”, Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries, 2000 Vol 2.
- [10] Indrajit dan Djokopranoto (“*Manajemen Perguruan Tinggi Modern*”. Yogyakarta, 2007, Andi
- [11] Sangkala, “*Knowledge Management (sebuah pengantar bagaimana organisasi mengelola pengetahuan sehingga menjadi organisasi yang unggul*”. Jakarta. 2007, RajaGrafindo Persada.
- [12] Lin et al., “*Case study on knowledge management gaps*”. Journal of Knowledge, Management, 2005, v9 i3. 36-50.
- [13] Asgarkhani, Mehdi, (2005), *The Effectiveness of e- Service in Local Government : A Case Study*”, e-Journal of e-Government, Vol 3 Issue 4 (157-166) [on-line] Tersedia : <http://www.ejeg.com> [20 Januari 2010).

Analisis Keamanan Data Aplikasi Enkripsi dan Dekripsi dengan Menggunakan Metode Algoritma DES (Data Encryption Standard)

Entik Insanudin^{1, a)} dan Cecep Nurul Alam^{1, b)}

¹*UIN Sunan Gunung Djati Bandung*

^{a)}*insan@if.uinsgd.ac.id*

^{b)}*cecep@uinsgd.ac.id*

Abstrak

Teknologi berkembang sangat cepat mengakibatkan sangat terbukanya peluang untuk berkomunikasi dan mendapatkan informasi sangat begitu cepat. Berkaitan dengan perkembangan teknologi yang ada Keamanan data saat ini sangat mutlak diperlukan karena keamanan data merupakan suatu hal yang penting untuk mencegah dari serangan dan perusakan serta pergantian data. DES (*Data Encryption Standar*) merupakan produk cipher blok dimana terdapat 16 iterasi, atau putaran, substitusi dan transposisi (permutasi) proses yang mengalir. Ukuran blok adalah 64 bit. Kunci, yang mengontrol transformasi, juga terdiri dari 64 bit; Namun, hanya 56 dari ini dapat dipilih oleh pengguna dan sebenarnya bit kunci. Enkripsi adalah proses menyandikan *Plaintext* menjadi *Chipertext* (pesan yang sudah tersandikan) dimana *Plaintext* pesan asli (pesan sebenarnya yang akan di kirimkan). Dekripsi adalah proses mengubah pesan *Chipertext* menjadi *Plaintext*. DES merupakan salah satu dari sekian banyak metode yang digunakan untuk mengamankan suatu data yang bersifat rahasia, dan metode DES ini adalah salah satu pilihan penulis untuk menganalisis suatu data yang terdapat pada aplikasi. Hasil yang diperoleh dalam menganalisa keamanan pada aplikasi ini di peroleh dengan menggunakan metode DES ini adalah data tersebut berhasil disandikan atau diamankan dengan menggunakan aplikasi metode DES.

Kata kunci: Enkripsi, Dekripsi, DES, Plaintext, Chipertext.

I. Pendahuluan

Komputer pada saat ini sudah hampir secara keseluruhan terhubung dengan sarana jaringan internet (*International Network*), yang mengakibatkan seluruh komunikasi dapat melintas secara terbuka dan bebas. Akibat adanya lintasan atau jaringan yang sangat bebas dan terbuka tersebut masalah keamanan merupakan suatu solusi untuk mengamankan suatu data atau komputer. Keamanan komputer merupakan perlindungan yang diberikan kepada sistem informasi dan secara otomatis bertujuan untuk mencapai tujuan yang berlaku yaitu menjaga integritas, ketersediaan, dan kerahasiaan sumber daya sistem informasi (termasuk hardware, software, firmware, informasi / data, dan telekomunikasi) [1].

Pada tahun 1973 US National Bureau of Standards (NBS, sekarang Institut Nasional Standar dan Teknologi) mengeluarkan permintaan publik untuk proposal untuk algoritma kriptografi untuk dipertimbangkan untuk standar kriptografi yang baru. Tidak ada kiriman yang layak diterima.

Permintaan kedua dikeluarkan pada tahun 1974, dan International Business Machines (IBM) menyerahkan algoritma Lucifer yang dipatenkan yang telah dirancang oleh salah satu peneliti perusahaan, Horst Feistel, beberapa tahun sebelumnya. The Lucifer Algoritma dievaluasi dalam konsultasi rahasia antara Badan Keamanan Nasional (NSA) NBS dan. Setelah beberapa modifikasi pada fungsi internal dan memperpendek ukuran kunci dari 112 bit ke 56 bit, rincian lengkap dari algoritma yang menjadi Data Encryption Standard (DES) yang diterbitkan dalam Federal Register pada tahun 1975. Setelah hampir dua tahun evaluasi publik dan komentar, standar itu sendiri diadopsi pada akhir tahun 1976 dan diterbitkan pada awal 1977. Sebagai konsekuensi dari sertifikasi standar oleh NBS dan komitmennya untuk mengevaluasi dan mengesahkan implementasi, itu mengamanatkan bahwa DES digunakan dalam aplikasi pemerintah AS unclassified untuk perlindungan data biner-kode selama transmisi dan penyimpanan dalam sistem komputer dan jaringan, dan pada kasus-per kasus untuk melindungi informasi rahasia. Penggunaan algoritma DES dibuat mandatory untuk semua transaksi keuangan pemerintah AS yang melibatkan transfer dana elektronik, termasuk con-menyalurkan oleh bank anggota Federal Reserve System. Kemudian diadopsi dari DES dengan standar organisasi-tions seluruh dunia menyebabkan DES menjadi standar internasional de facto untuk bisnis dan keamanan data komersial juga [2].

Bagian ini terdiri dari beberapa paragraf berisi tentang latar belakang penelitian atau percobaan, konteks penelitian, hasil studi literatur dan tujuan penelitian. Studi literatur terkait dengan penelitian yang dilakukan boleh merujuk pada jurnal [1], prosiding [2], buku [3], bab dari buku dengan banyak penulis [4], majalah [5], tugas akhir [6], website [7], dan lain-lain. Urutkan nomor referensi yang dirujuk sesuai kemunculannya. Panjang tulisan paper yaitu 5-8 halaman.

II. Teori

2.1 Keamanan Komputer

Keamanan NIST Komputer Handbook [NIST 95] mendefinisikan istilah keamanan komputer sebagai berikut:

“Keamanan komputer merupakan perlindungan yang diberikan kepada sistem informasi dan secara otomatis bertujuan untuk mencapai tujuan yang berlaku yaitu menjaga integritas, ketersediaan, dan kerahasiaan sumber daya sistem informasi (termasuk hardware, software, firmware, informasi / data, dan telekomunikasi)” [1].

Terdapat tiga tujuan utama yang berada di jantung dari keamanan komputer adalah:

- Kerahasiaan (*Confidentiality*): Istilah ini mencakup dua konsep terkait
 - Data *confidentiality* : Memastikan bahwa informasi pribadi atau rahasia yang tidak tersedia atau diungkapkan kepada orang yang tidak sah.
 - *Privacy*: Menjamin bahwa individu mengendalikan atau mempengaruhi informasi apa yang berhubungan dengan mereka dapat dikumpulkan dan disimpan dan oleh siapa serta kepada siapa informasi tersebut dapat diungkapkan.
- Integritas (*Integrity*): Istilah ini mencakup dua konsep terkait
 - Data *Integrity*: Menjamin bahwa informasi dan program yang berubah hanya dengan cara tertentu dan berwenang.
 - Sistem *Integrity*: Memastikan bahwa sistem melakukan fungsi yang dimaksudkan secara utuh, bebas dari manipulasi yang tidak sah disengaja atau tidak disengaja dari sistem.
- Ketersediaan (*Avilability*): Memastikan bahwa sistem bekerja segera dan layanan tidak ditolak untuk pengguna yang berwenang.

Ketiga konsep membentuk apa yang sering disebut sebagai triad CIA. Ketiga konsep mewujudkan tujuan keamanan mendasar baik untuk data dan informasi dan komputasi jasa. Sebagai contoh, standar NIST FIPS 199 (Standar Keamanan Kategorisasi Informasi Federal dan Sistem Informasi) daftar kerahasiaan, integritas, dan ketersediaan sebagai tujuan tiga keamanan untuk informasi dan sistem informasi. FIPS 199 memberikan karakterisasi yang berguna dari tiga tujuan tersebut dalam hal persyaratan dan definisi hilangnya keamanan di masing-masing kategori:

- Kerahasiaan: Melestarikan pembatasan resmi pada akses informasi dan keterbukaan, termasuk sarana untuk melindungi privasi pribadi dan informasi. Hilangnya kerahasiaan adalah pengungkapan yang tidak sah informasi.
- Integritas: Menjaga melawan modifikasi informasi yang tidak benar atau destruksi, termasuk memastikan informasi non repudiation dan keaslian. Hilangnya integritas adalah modifikasi yang tidak sah atau perusakan informasi.
- Ketersediaan: Memastikan akses yang tepat dan dapat diandalkan dan penggunaan informasi. Hilangnya ketersediaan adalah gangguan akses atau penggunaan informasi atau informasi sistem.

Kami sekarang memberikan beberapa contoh aplikasi yang menggambarkan persyaratan hanya disebutkan 2 Untuk contoh ini, kita menggunakan tiga tingkat dampak pada organisasi atau individu harus ada pelanggaran keamanan (yaitu, hilangnya kerahasiaan, berintegritas-ritas, atau ketersediaan). Tingkat ini didefinisikan dalam FIPS PUB 199:

- Low: Kerugian bisa diharapkan untuk memberikan dampak yang negatif yang terbatas pada operasi organisasi, aset organisasi, atau individu. Sebuah efek samping yang terbatas berarti bahwa, misalnya, hilangnya kerahasiaan, integritas, atau memanfaatkan kemampuan-mungkin (i) menyebabkan degradasi kemampuan misi ke tingkat dan durasi bahwa organisasi dapat melakukan fungsi utamanya, namun efektivitasnya fungsi yang terasa berkurang; (ii) menghasilkan minor bendungan usia ke aset organisasi; (iii) mengakibatkan kerugian keuangan kecil; atau (iv) mengakibatkan kerugian kecil untuk individu.
- Sedang: Kerugian bisa diharapkan memiliki efek samping yang serius pada operasi organisasi, aset organisasi, atau individu. Efek samping yang serius berarti bahwa, misalnya, kerugian mungkin (i) menyebabkan degradasi signifikan kemampuan misi ke tingkat dan durasi bahwa organisasi dapat melakukan fungsi utamanya, tetapi efektivitas fungsi berkurang secara signifikan ; (ii) menyebabkan kerusakan yang signifikan pada aset organisasi; (iii) mengakibatkan kerugian keuangan yang signifikan; atau (iv) menghasilkan kerusakan yang signifikan pada individu yang tidak melibatkan hilangnya nyawa atau serius, cedera yang mengancam jiwa.
- Tinggi: Kerugian bisa diharapkan memiliki efek samping yang parah atau bencana pada operasi organisasi, aset organisasi, atau individu. Sebuah efek samping yang parah atau bencana berarti bahwa, misalnya, kerugian mungkin (i) menyebabkan degradasi parah di atau hilangnya kemampuan misi ke tingkat dan durasi bahwa organisasi ini tidak mampu melakukan satu atau lebih fungsi primary-nya; (ii) menyebabkan kerusakan besar pada aset organisasi; (iii) mengakibatkan kerugian finansial yang besar; atau (iv) mengakibatkan kerusakan parah atau bencana kepada individu yang melibatkan hilangnya nyawa atau serius, cedera yang mengancam jiwa.

2.2 Kriptografi

Algoritma kriptografi atau sering disebut dengan *chiper* adalah suatu fungsi matematis yang digunakan untuk melakukan enkripsi dan dekripsi (Schneier, 1996). Ada dua macam algoritma kriptografi, yaitu algoritma simetris (*symmetric algorithms*) dan algoritma asimetris (*asymmetric algorithms*).

Algoritma kriptografi terdiri dari tiga fungsi dasar, yaitu :

1. Enkripsi : proses menyandikan plainteks menjadi *ciphertext*. Dimana plainteks disebut dengan pesan asli (pesan yang ingin dikirim), sedangkan *ciphertext* adalah pesan ter-enkripsi (tersandi) yang merupakan hasil enkripsi.



Gambar 2.1 Proses Enkripsi (Andri Kristanto; 2003)

2. Dekripsi : adalah kebalikan dari enkripsi yakni mengubah *ciphertext* menjadi *plaintext*.



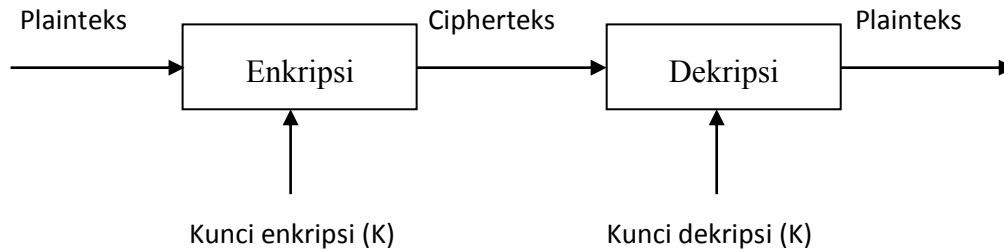
Gambar 2.2 Proses Dekripsi (Andri Kristanto; 2003)

3. Kunci : yang dimaksud disini adalah kunci yang dipakai untuk melakukan enkripsi dan dekripsi. Kunci terbagi menjadi dua bagian, kunci rahasia (*private key*) dan kunci umum (*public key*)

A. Algoritma Simetris

Algoritma simetris adalah algoritma kriptografi yang menggunakan kunci enkripsi yang sama dengan kunci dekripsinya. Algoritma ini mengharuskan pengirim dan penerima menyetujui suatu kunci tertentu sebelum mereka saling berkomunikasi. Keamanan algoritma simetris tergantung pada kunci, membocorkan kunci berarti bahwa orang lain dapat mengenkripsi dan mendekripsi pesan. Agar komunikasi tetap aman, kunci harus tetap dirahasiakan. Algoritma simetris sering juga disebut dengan algoritma kunci rahasia, algoritma kunci tunggal, atau algoritma satu kunci.

Sifat kunci yang seperti ini membuat pengirim harus selalu memastikan bahwa jalur yang digunakan dalam pendistribusian kunci adalah jalur yang aman atau memastikan bahwa seseorang yang ditunjuk membawa kunci untuk dipertukarkan adalah orang yang dapat dipercaya. Masalahnya akan menjadi rumit apabila komunikasi dilakukan secara bersama-sama oleh sebanyak n pengguna dan setiap dua pihak yang melakukan pertukaran kunci, maka akan terdapat sebanyak $C_2^n = \frac{n!}{n-2 \cdot 2!} = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ kunci rahasia yang harus dipertukarkan secara aman.



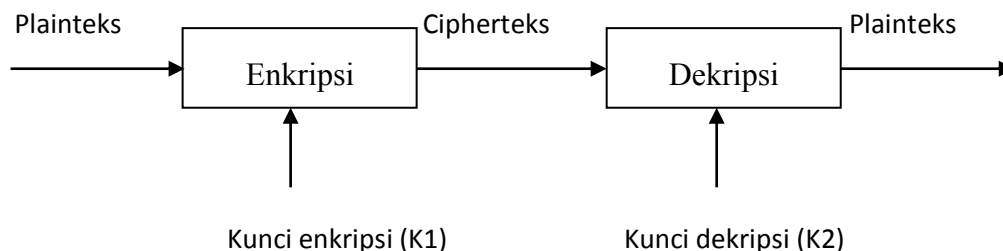
Gambar 2.3 Skema algoritma simetris (Rinaldi Munir; 2006)

Contoh dari algoritma kriptografi simetris adalah *Chiper Permutasi*, *Chiper Substitusi*, *Chiper Hill*, *OTP*, *RC6*, *Twofish*, *Magenta*, *FEAL*, *SAFER*, *LOKI*, *CAST*, *Rijndael (AES)*, *Blowfish*, *GOST*, *A5*, *Kasumi*, *DES* dan *IDEA*.

B. Algoritma Asimetris

Algoritma asimetris, sering juga disebut dengan algoritma kunci publik, menggunakan dua jenis kunci, yaitu kunci publik (*public key*) dan kunci rahasia (*secret key*). Kunci publik merupakan kunci yang digunakan untuk mengenkripsi pesan, sedangkan kunci rahasia digunakan untuk mendekripsi pesan.

Kunci publik bersifat umum, artinya kunci ini tidak dirahasiakan sehingga dapat dilihat oleh siapa saja. Sedangkan kunci rahasia adalah kunci yang dirahasiakan dan hanya orang-orang tertentu saja yang boleh mengetahuinya. Keuntungan utama dari algoritma ini adalah memberikan jaminan keamanan kepada siapa saja yang melakukan pertukaran informasi meskipun diantara mereka tidak ada kesepakatan mengenai keamanan pesan terlebih dahulu maupun saling tidak mengenal satu sama lainnya.



Gambar 2.4 Skema algoritma asimetris (Rinaldi Munir; 2006)

Algoritma asimetris pertama kali dipublikasikan oleh *Diffie* dan *Hellman* pada tahun 1976 dalam papernya yang berjudul "*New Directions in Cryptography*". Menurut *Diffie* dan *Hellman*, ada beberapa syarat yang perlu diperhatikan pada algoritma asimetris, yaitu:

1. Penerima B membuat pasangan kunci, yaitu kunci publik k_{pB} dan kunci rahasia k_{rB}
2. Pengirim A dengan kunci publik B dan pesan x , pesan dienkripsi dan diperoleh *ciphertext* $c = E_{k_{pB}}(x)$
3. Penerima B untuk mendekripsi *ciphertext* menggunakan kunci privat B untuk mendapatkan kembali pesan aslinya $d = k_{rB}[d = k_{rB}(x)]$ $d = k_{rB}(c) = x$
4. Dengan mengetahui kunci publik k_{pB} , bagi penyerang akan kesulitan dalam melakukan untuk mendapatkan kunci rahasia.

5. Dengan mengetahui kunci publik k_{pb} dan *ciphertext* c , bagi penyerang akan mengalami kesulitan untuk mengetahui pesan x .

Contoh dari algoritma asimetris adalah RSA, ElGamal, McEliece, LUC dan DSA (*Digital Signature Algorithm*). Dalam melakukan proses enkripsi, sering digunakan plainteks berupa data ataupun pesan yang besar, sehingga membutuhkan waktu yang lama apabila dilakukan proses sekaligus pada plainteks tersebut. Oleh karena itu, plainteks dapat dipotong-potong menjadi beberapa blok-blok yang sama panjang. Kemudian dari blok-blok yang diperoleh tersebut dilakukan proses enkripsi, dan hasil *ciphertext*-nya dapat didekripsi dan digabungkan kembali menjadi plainteks. Algoritma kriptografi yang menggunakan mekanisme seperti ini disebut dengan *cipher* (*block cipher*).

2.3 Algoritma DES

DES, akronim dari *Data Encryption Standard*, adalah nama dari Federal Information Processing Standard (FIPS) 46-3, yang menggambarkan *Data Encryption Algorithm* (DEA). DEA juga didefinisikan dalam ANSI standard X3.92. DEA merupakan perbaikan dari algoritma Lucifer yang dikembangkan oleh IBM pada awal tahun 1970-an.

Meskipun algoritmanya pada intinya dirancang oleh IBM, NSA dan NBS (sekarang NIST (National Institute of Standards and Technology)) memainkan peranan penting pada tahap akhir pengembangan. DEA, sering disebut DES, telah dipelajari secara ekstensif sejak publikasinya dan merupakan algoritma simetris yang paling dikenal dan paling banyak digunakan. DEA memiliki ukuran blok 64-bit dan menggunakan kunci 56-bit kunci selama eksekusi (8 bit paritas dihilangkan dari kunci 64 bit).

DEA adalah *symmetric cryptosystem*, khususnya *chipper* Feistel 16-round dan pada mulanya dirancang untuk implementasi *hardware*. Saat digunakan untuk komunikasi, baik pengirim maupun penerima harus mengetahui kunci rahasia yang sama, yang dapat digunakan untuk mengenkrip dan mendekrip pesan, atau untuk menggenerate dan memverifikasi *message authentication code* (MAC). DEA juga dapat digunakan untuk enkripsi single user, seperti untuk menyimpan file pada harddisk dalam bentuk terenkripsi. Dalam lingkungan multiuser, distribusi kunci rahasia akan sulit. *Public-key cryptography* menyediakan solusi yang ideal untuk masalah ini.

NIST telah mensertifikasi kembali DES (FIPS 46-1, 46-2, 46-3) setiap 5 tahun. FIPS 46-3 mensahkan kembali penggunaan DES sampai Oktober 1999, namun single DES hanya diijinkan untuk *legacy systems*. FIPS 46-3 mencakup definisi dari triple-DES (TDEA, menurut X9.52); TDEA adalah "pilihan algoritma simetris yang disetujui oleh FIPS." Dalam beberapa tahun, DES dan triple-DES akan digantikan dengan AES (*Advanced Encryption Standard*).

2.4 Cara kerja Algoritma DES

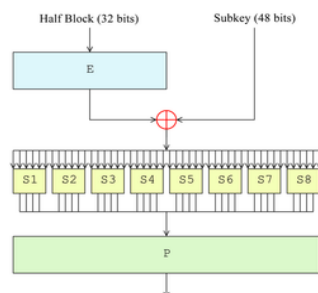
DES merupakan *block-chiper*, artinya dalam sekali proses, data dienkrip (atau didekrip) sekaligus dalam beberapa *byte*, bukan hanya satu *byte* seperti pada algoritma klasik. Lihat Gambar 2.6. Ukuran blok DES ialah 64 bit. Ke-64 bit ini ditransformasi dengan cara tertentu sehingga cara yang sama hanya dapat dilakukan untuk mendekrip hasil enkripsi. DES menggunakan kunci 56 bit. Sebenarnya kunci yang dimasukkan juga 64 bit, namun 8 bit digunakan untuk keperluan pengecekan paritas (*parity checking*). Bit-bit ini berada pada posisi 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, serta 64 dan pada proses enkripsi-dekripsi akan dihilangkan sehingga tersisa hanya 56 bit.

Ada 16 tingkat proses yang disebut ronde (*round*). Ke-16 *round* ini diapit permutasi awal IP dan permutasi akhir FP yang masing-masing merupakan kebalikan. Artinya, permutasi FP akan membalik permutasi yang dilakukan IP, dan sebaliknya. Sebenarnya penggunaan IP dan FP di sini tidak signifikan terhadap keseluruhan proses. Namun kelihatannya kedua permutasi ini sengaja dihadirkan untuk memfasilitasi perangkat keras tahun 1970-an yang sulit memproses masukan dan keluaran dengan ukuran blok yang panjang.

Sebelum diproses oleh seluruh round di atas, blok data input dipecah menjadi 2 bagian, masing-masing 32 bit, dan diproses bergantian (secara menyilang), proses ini dikenal dengan istilah Skema Feistel. Skema ini memastikan agar enkripsi dan dekripsi merupakan 2 proses yang amat mirip. Perbedaannya ialah bahwa pada proses dekripsi, *subkey* (di sini kunci juga dipecah) digunakan dengan urutan yang terbalik. Selebihnya sama. Dengan demikian, implementasi DES amat sederhana, terutama bila ditanamkan ke dalam perangkat keras. Artinya, tidak dibutuhkan proses enkripsi dan dekripsi yang terpisah.

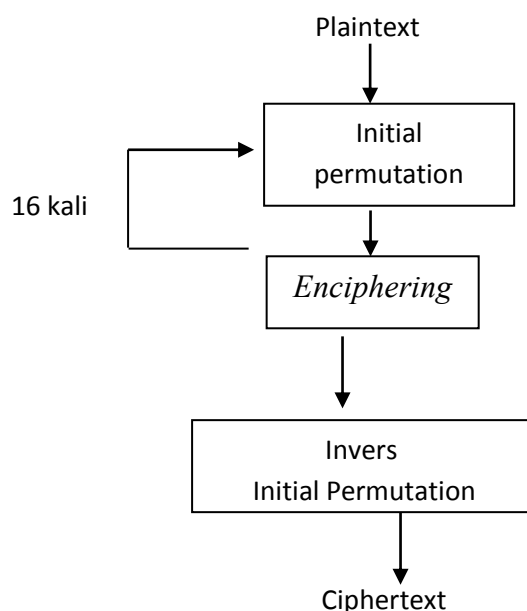
Fungsi F pada Gambar 2.5 ialah Fungsi Feitsel. Fungsi ini memroses 32 bit data dan terdiri dari 4 tahap. Lihat Gambar 2.7 Keempat tahap ini ialah:

1. Expansion.
2. Key mixing.
3. Substitution.
4. Permutation.



Gambar 2.5 Fungsi Feitsel dalam DES.

DES beroperasi pada ukuran blok 64 bit. DES mengenkripsikan 64 bit plainteks menjadi 64 bit chiperteks dengan menggunakan 56 bit kunci internal (*internal key*). kunci internal dibangkitkan dari kunci eksternal (*external key*) yang panjangnya 64 bit. Algoritma dasarnya adalah pertama-tama dengan mempermutasikan dengan matriks permutasi awal (*initial permutation*), kemudian menchiperkannya dengan sebuah fungsi F sebanyak 16 putaran, dan terakhir adalah dengan mempermutasikannya lagi dengan invers dari matriks yang dipakai sebelumnya (*invers initial permutation*).



Gambar 2.6 Skema DES (Rinaldi Munir; 2006)

Proses enkripsi dan dekripsi pada DES dilakukan 16 tahap, pada awal enkripsi terlebih dahulu dilakukan *Initial Permutation* (IP) terhadap *plaintext* dan pada akhir enkripsi dilakukan IP kembali. Pada saat dekripsi prosesnya sama dengan enkripsi, tetapi kunci yang digunakan untuk awal dekripsi dimulai dari $K_{16} \dots K_1$. Matriks P, E, S-Boxes, IP, PC-1 dan PC-2 yang digunakan juga sama dengan pada saat enkripsi.

Proses enkripsi dimulai dengan mengubah pesan (m) menjadi biner dengan ukuran blok 64 bit. Kemudian terhadap pesan dalam biner diacak dengan menggunakan IP, kemudian pesan dibagi 2 @ 32 bit Left dan Right. Untuk setiap putaran (*round*); terhadap L_i dan R_i dilakukan pertukaran dari kanan ke kiri. Sementara untuk mendapatkan R_i digunakan f dan dilakukan operasi XOR dengan L_i ; kecuali putaran terakhir (*round* 16) dilakukan sebaliknya. Jadi $L_i = R_{i-1}$ dan $R_i = L_{i-1} \oplus f(R_{i-1}, K_i)$ $i = 1, 2, \dots, 15$. Sementara untuk $i=16$ dilakukan dengan cara sebaliknya yaitu $L_{16} = L_{15} \oplus f(R_{15}, K_{16})$ dan $R_{16} = L_{15}$. f adalah sebuah fungsi yang memetakan (map) string 32-bit ke string 32-bit yang dihitung dari kunci dan R_{i-1} .

Pertama, bagian kanan R_{i-1} di-expand menjadi 48 bit dengan menggunakan bit-selection table (*matrix*) E. Kemudian, lakukan operasi XOR string 48-bit yang baru dengan K_i . Lalu string hasil 48-bit dikompres menjadi 32 bit dengan menggunakan S-Boxes. Kedelapan S-Boxes dirancang untuk memetakan string 6-bit menjadi string 4-bit. Misalkan satu string 6-bit adalah matriks 4×16 [0..3, 0..15]. Bit pertama dan ke 6 diinterpretasikan sebagai string 2-bit untuk menghasilkan baris [0..3]; bit ke-2 sampai ke-5 diinterpretasikan sebagai string 4-bit untuk menghasilkan kolom [0..15]. Contoh, sebuah string 6-bit 101011 akan diinterpretasikan sebagai posisi array [3,5]. Elemen pada posisi tersebut adalah string 4-bit dalam bentuk biner. Jadi string 48-bit dianggap sebagai 8 blok masing-masing 6-bit; dengan transformasi menggunakan salah satu dari 8 S-Boxes akan menghasilkan 8 blok dengan panjang 4; sehingga diperoleh string 32-bit. Dengan menggunakan string 6-bit 101011 di atas sebagai input terhadap S2-Box yaitu baris ke-3 kolom ke-5 menghasilkan output = 15 (1111). Akhirnya, blok 32-bit ini dipermutasikan dengan P dan di-XOR-kan dengan L_{i-1} untuk menghasilkan R_i . Secara singkat fungsi f dapat dituliskan sebagai:

$F(R_{i-1}, K_i) = P(S(E(R_{i-1}) \oplus K_i))$; yang diuraikan menjadi :

1. Expansikan R_{i-1}

2. XOR-kan R_{i-1} yang telah di-expand dengan K_i
3. Gunakan S-Box terhadap hasil langkah 2 untuk mengubah string 48 bit jadi 32-bit
4. Gunakan permutasi P dan XOR-kan dengan L_{i-1} untuk menghasilkan R_i

Yang menjadi pertanyaan, adalah bagaimana kunci 48 bit pada setiap round dari 16 diperoleh? Untuk itu kita perlu memperhatikan/menggunakan PC-1, PC-2 dan *The Key Schedule of Left Shift* LS berikut:

Tabel 2.1 *The Key Schedule of Left Shift* LS

Iterasi Ke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
#LeftShift	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1

Pada setiap tahap, kunci 56-bit mula-mula digunakan untuk menghasilkan kunci 48-bit K_i ($i=1,2..16$). Pada round pertama, keseluruhan kunci (56-bit) di-injeksikan ke string 64-bit, dengan bit ke 8, 16, 24 dan seterusnya dianggap parity check; kemudian hasil tersebut diberikan kepada permutasi 64-bit PC-1, yang juga membuang parity bit. Kemudian pada setiap tahap, kunci 56-bit dipecah menjadi 2 bagian kiri dan kanan masing-masing 28-bit (C_{i-1} dan D_{i-1}). Potongan 28 bit ini akan dilakukan shift left 1 kali atau 2 kali sehubungan dengan iterasi dan key schedule di atas. Penggabungan C_{i-1} dan D_{i-1} kemudian mempunyai 48 bit yang dipilih dari PC-2.

III Hasil dan Diskusi

Pada hasil dan diskusi dapat di peroleh sebagai berikut yang merupakan langkah-langkah mengenkripsi data menggunakan DES (*Data Encryption Standard*) :

- Plaintext(x) = Agustian
- Key(k) = Muhammad

Ubah plaintext kedalam bentuk biner

A : 01000001
 g : 01100111
 u : 01110101
 s : 01110011
 t : 01110100
 i : 01101001
 a : 01100001
 n : 01101110

Ubah key kedalam bentuk biner

M : 00010011
 u : 00110100
 h : 01010111
 a : 01111001
 m : 10011011
 m : 10111100
 a : 11011111
 d : 11110001

Sehingga Input :

$R_{16}L_{16} = \mathbf{10010001\ 00010100\ 1010\ 0011\ 10100111\ 10000010\ 11100011\ 1010\ 0111\ 01010111}$

Menghasilkan Output:

Cipher(dalam biner) = **01101111 10101111 00011011 00000000 01010010 00101101 00100010 11101101** atau Cipher(dalam hexa) = **6F AF 1B 00 52 2D 22 ED**

IV Kesimpulan

Untuk kesimpulan dari hasil penelitian ini penggunaan metode algoritma des dalam mengenkripsi data dapat dikatakan berhasil. Seperti dapat di lihat pada hasil dan pembahasan.

Referensi

- [1] William Stallings, "Cryptography and Network Security Principles and Practice 6th c2014". Penerbit Pearson Education, Inc, New Jersey, 2014, 2011, 2006, P. 9.
- [2] Rob Curley, "Intelligence and counterintelligence: cryptography: cracking codes edited by Rob Curley.—First edition.". Penerbit Britannica Educational Publishing, New York, 2013, P. 68.
- [3] J. Katz, Y. Lindell. "Introduction to Modern Cryptography". Penerbit Chapman and Hall, London, New York, 2008. P. 10.
- [5] Yusuf Kurniawan, Adang Suwandi Ahmad, M. Sukrisno Mardiyanto, Iping Supriana & Sarwono Sutikno, 2006. "Analisis Sandi Diferensial terhadap AES, DES dan AE1" dalam Jurnal PROC.ITB Sains dan Tek. Vol. 38 A, No.1, 2006, 73-88.
- [6] Nugraha, Tresna, M., 1999, "Implementasi Enkripsi Data Berbasis Algoritma Data Encryption Standard (DES) Dengan Bahasa C", dalam Papers Institut Teknologi Bandung.
- [7] Wenbo Mao, "Modern Cryptography Theory and Practice". Penerbit Prentice Hall PTR, New Jersey, 2004, P.266.

Simulasi Dan Analisis Alat Ukur Untuk Penentuan Kualitas Air Kolam Renang Berbasis Logika Fuzzy

Unang Sunarya^{1,a)}

¹Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Telkom University Bandung

^{a)}Penulis yang berkorespondensi: unangsunarya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kualitas air merupakan salah satu parameter penting yang dapat dijadikan sebagai salah satu barometer kesehatan. Kualitas air yang buruk dapat menimbulkan berbagai penyakit maupun iritasi, baik air yang digunakan untuk konsumsi ataupun untuk keperluan kebersihan lainnya, harus dapat memenuhi standar kesehatan, tidak terkecuali pada air kolam renang yang sering dijadikan tempat ataupun media pemandian, rekreasi, ataupun relaksasi. Adapun masalah yang dihadapi adalah kapan waktu yang tepat untuk mengganti air dalam kolam renang sehingga dapat lebih hemat dalam penggunaan air. Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat suatu sistem simulasi yang dapat digunakan untuk mengukur dan menentukan kualitas air kolam dan menganalisis ketepatan penggunaan metoda Logika Fuzzy model Sugeno dalam memproses dan mengklasifikasikan jenis kualitas air kolam berdasarkan parameter kimia kesadahan (CaCO_3) dan pH air, sehingga pada akhirnya dapat memutuskan waktu yang tepat untuk mengganti air kolam renang. Dari hasil pengujian simulasi didapatkan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk proses klasifikasi adalah 2,938 detik dengan ketepatan klasifikasi 100 %.

Kata kunci: logika fuzzy, kesadahan, pH, klasifikasi

Pendahuluan

Menurunnya kualitas air kolam renang sebagai sarana rekreasi ataupun olah raga dapat mengakibatkan berbagai macam penyakit kulit ataupun iritasi pada kulit. Biasanya, dalam pengoperasinya untuk menjaga kualitas air kolam dilakukan penggantian air kolam renang dalam jangka waktu tertentu, dimana pergantiannya didasarkan pada perkiraan belaka. Alangkah kurang effisiennya jika pergantian air kolam hanya berdasarkan perkiraan saja, misal terlalu cepat pergantian air kolam dilakukan dapat mengakibatkan borosnya penggunaan air padahal sebenarnya kualitas air kolam masih layak digunakan, ataupun sebaliknya air kolam sudah turun kualitasnya tetapi masih belum dilakukan pergantian, yang pada akhirnya dapat menyebabkan penyakit kulit ataupun iritasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No.416 Tahun 1990 Tentang : Syarat-syarat dan Pengawasan Kualitas Air. Lampiran III Tanggal 3 September 1990 mengenai daftar persyaratan kualitas air kolam renang. Pada permen tersebut disebutkan beberapa unsur yang merupakan parameter dalam penentuan kualitas air kolam renang diantaranya unsur fisika, kimia, dan mikrobiologi [1].

Pada penelitian ini digunakan metoda klasifikasi berbasis logika fuzzy model Sugeno dengan dua parameter input yang dianalisis, yaitu merupakan unsur kimia yang terkandung di dalam air. Adapun kedua parameter kimia tersebut adalah Kesadahan air (CaCO_3) dan PH air. Dalam simulasi penelitian ini, data-data acuan yang digunakan merupakan data acuan yang diambil dari peraturan menteri kesehatan No. 416 Tahun 1990, Dikatakan bahwa pada unsur kimia nilai kelayakan kualitas

air kolam renang untuk kesadahan (CaCO_3) adalah pada batasan 50 – 500 mg/L sedangkan untuk nilai kelayakan PH adalah 6,5 s.d. 8.5[1]. Adapun penelitian sebelumnya terkait dengan pengukuran kualitas air adalah dilakukan pada air tambak udang[2].

Dasar Teori

A. Parameter Kimia Air

Kesadahan merupakan kandungan mineral-mineral tertentu di dalam air, umumnya ion kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dalam bentuk garam karbonat. Air sadah atau air keras adalah air yang memiliki kadar mineral yang tinggi, sedangkan air lunak adalah air dengan kadar mineral yang rendah. Selain ion kalsium dan magnesium, penyebab kesadahan juga bisa merupakan ion logam lain maupun garam-garam bikarbonat dan sulfat. Metode paling sederhana untuk menentukan kesadahan air adalah dengan sabun. Dalam air lunak, sabun akan menghasilkan busa yang banyak. Pada air sadah, sabun tidak akan menghasilkan busa atau menghasilkan sedikit sekali busa. Kesadahan air total dinyatakan dalam satuan ppm berat per volume (w/v) dari CaCO_3 [3]. Sedangkan pH merupakan derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. PH didefinisikan sebagai kologaritma aktivitas ion hidrogen (H^+) yang terlarut. Koefisien aktivitas ion hidrogen tidak dapat diukur secara eksperimental, sehingga nilainya didasarkan pada perhitungan teoritis. Skala pH bukanlah skala absolut. Ia bersifat relatif terhadap sekumpulan larutan standar yang pH-nya ditentukan berdasarkan persetujuan internasional[4].

B. Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* yang pertama kali diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh, memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0(nol) hingga 1(satu), berbeda dengan logika digital yang hanya memiliki dua nilai yaitu 1(satu) atau 0(nol). Logika fuzzy digunakan untuk menerjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat dan sangat cepat. Secara umum dalam sistem logika fuzzy terdapat empat buah elemen dasar, yaitu [5]:

1. Basis kaidah (*rule base*), yang berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar;
2. Suatu mekanisme pengambilan keputusan (*inference engine*), yang memperagakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*);
3. Proses fuzzifikasi (*fuzzyfication*), yang mengubah besaran tegas (*crisp*) ke besaran fuzzy;
4. Proses defuzzifikasi (*defuzzyfication*), yang mengubah besaran fuzzy hasil dari *inference engine*, menjadi besaran tegas (*crisp*).

Fuzzyfication

Masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) dikonversi ke bentuk *fuzzy input*, yang berupa nilai linguistik yang semantiknya ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan[5].

Inference

Suatu aturan fuzzy dituliskan sebagai: *IF antecedent THEN consequent*. Dalam suatu sistem berbasis aturan fuzzy, proses *inference* memperhitungkan semua aturan yang ada dalam basis pengetahuan. Hasil dari proses *inference* direpresentasikan oleh suatu *fuzzy set* untuk setiap untuk setiap *variable* bebas (pada *consequent*). Derajat keanggotaan untuk setiap nilai *variable* tidak bebas

menyatakan ukuran kompatibilitas terhadap *variable* bebas (pada *antecedent*). Terdapat dua model aturan fuzzy yang digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, yaitu [5]:

✓ *Model Mamdani*

Pada model ini, aturan fuzzy didefinisikan sebagai:

$$IF x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND...AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y \text{ is } B, \quad (1)$$

Dimana A_1, \dots, A_n , dan B adalah nilai-nilai *linguistic* (atau *fuzzy set*) dan x_1 menyatakan bahwa nilai *variable* x_1 adalah anggota *fuzzy set* A_1 .

✓ *Model Sugeno*

Model ini dikenal juga sebagai Takagi-Sugeno-Kang (TSK) model, yaitu suatu varian dari model Mamdani. Model ini menggunakan aturan yang berbentuk:

$$IF x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND...AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } y=f(x_1, \dots, x_n), \quad (2)$$

Dimana f bisa berupa sembarang fungsi dari variabel-variabel *input* yang nilainya berada dalam interval *variabel output*. Biasanya, fungsi ini dibatasi dengan menyatakan f sebagai kombinasi linier dari variabel-variabel input:

$$f(x_1, \dots, x_n) = w_0 + w_1 x_1 + \dots + w_n x_n, \quad (3)$$

dimana w_0, w_1, \dots, w_n adalah konstanta yang berupa bilangan real yang merupakan bagian dari spesifikasi aturan fuzzy.

Defuzzification

Terdapat berbagai metode *defuzzification* yang telah berhasil diaplikasikan untuk berbagai macam masalah, yaitu : *Centroid method, Height method, First (or last) of Maxima, Mean-Max method, dan Weighted Average*[5].

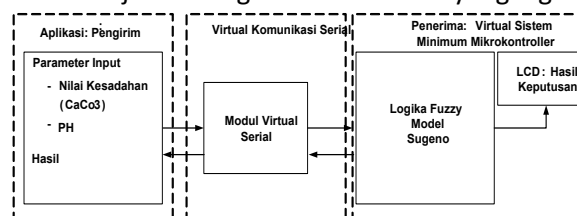
Membership function

Di dalam *fuzzy system*, fungsi keanggotaan memainkan peranan yang sangat penting untuk merepresentasikan masalah dan menghasilkan keputusan yang akurat. Terdapat banyak sekali fungsi keanggotaan yang bisa digunakan yaitu : fungsi Sigmoid, fungsi Phi, fungsi Segitiga, fungsi *Generalized Bell*, fungsi Gaussian, dan fungsi Trapesium [5] [6].

Perancangan

A. Diagram Blok Sistem

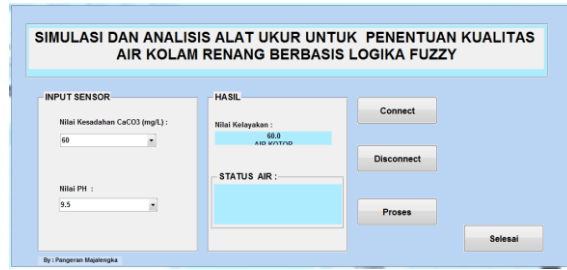
Berikut pada gambar 1 diunjukkan diagram blok sistem yang digunakan dalam penelitian ini .



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Simulasi

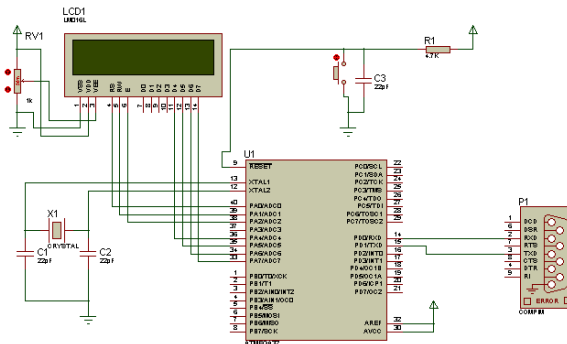
Pada gambar 1 diatas, pertama-tama nilai masukan kesadahan ($CaCO_3$) dan PH dikirimkan secara serial menggunakan komunikasi serial asinkron. Kedua nilai tersebut dikirim melalui media komunikasi serial virtual selanjutnya diterima di penerima sistem minimum ATmega 32. Data yang diterima sistem minimum ATmega 32, selanjutnya akan diolah dan selanjutnya dicari keputusannya

dengan metoda fuzzy Sugeno. Hasil dari fuzzy berupa nilai kelayakan apakah parameter yang dikirim menentukan kualitas air bersih atau kotor. Nilai dan keputusan tersebut selanjutnya ditampilkan di LCD dan juga dikirim balik ke antar muka aplikasi pengirim.



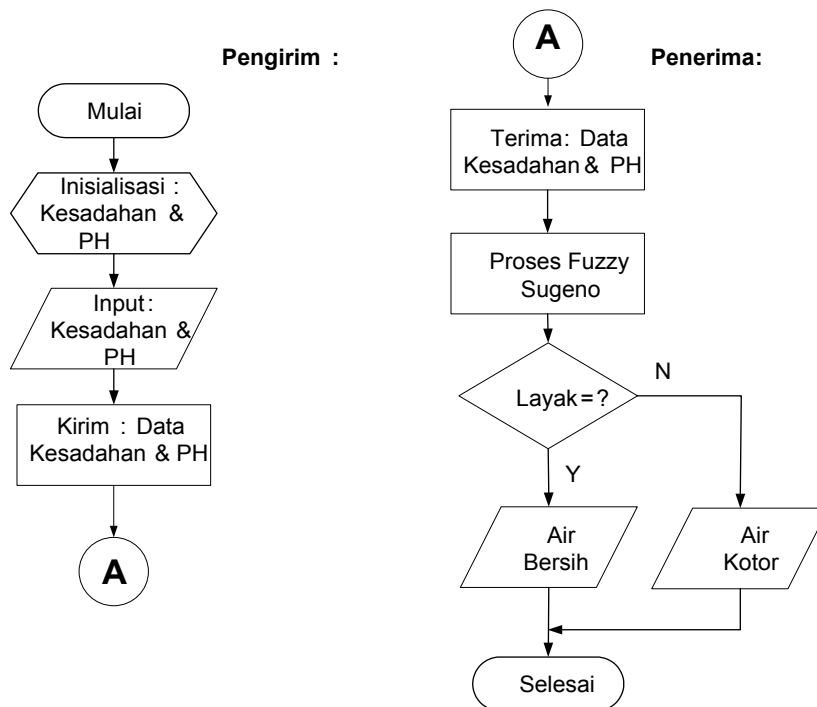
Gambar 2. Perancangan aplikasi masukan

Pada gambar 2 diatas merupakan aplikasi antarmuka, dimana nilai kesadahan (CaCO_3) dan PH dikirim sebagai parameter masukan air yang selanjutnya diproses sistem minimum ATmega 32 seperti pada gambar 3 [7].



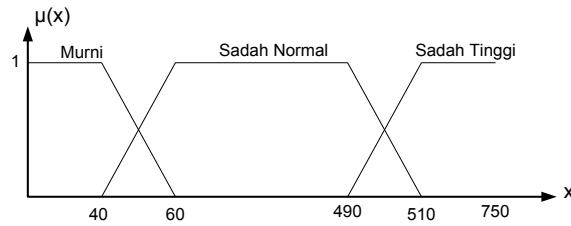
Gambar 3. Sistem Minimum Atmega32

B. Diagram Alir Simulasi Sistem



Gambar 4. Diagram Alir Sistem

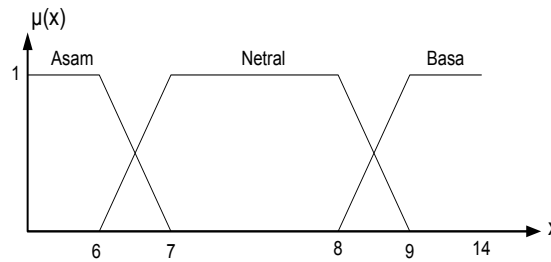
C. Derajat Keanggotaan Nilai Kesadahan



Gambar 5. Nilai Keanggotaan fungsi masukan kesadahaan

Pada gambar 5 di atas menunjukkan fungsi keanggotaan masukan untuk nilai kesadahan (CaCO_3) dimana sumbu horisontal (x) menunjukkan nilai kesadahan air dari nilai kesadahan 0-750 mg/L. Sedangkan sumbu vertikal $u(x)$ menunjukkan derajat nilai keanggotaan untuk setiap nilai kesadahan air dengan nilai derajat dari 0 – 1, terdiri dari murni, sadah normal, dan sadah tinggi.

D. Derajat Keanggotaan Nilai PH



Gambar 6. Nilai Keanggotaan fungsi masukan PH

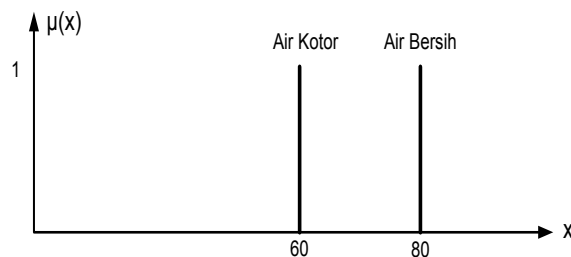
Pada gambar 6 di atas menunjukkan fungsi keanggotaan masukan untuk nilai PH dimana sumbu horisontal (x) menunjukkan nilai PH air dari nilai PH 0 - 14 . Sedangkan sumbu vertikal $u(x)$ menunjukkan derajat nilai keanggotaan untuk setiap nilai PH air dengan nilai mulai dari 0 – 1, terdiri dari asam, netral, dan basa.

E. Rule Inference Sistem

Tabel 1. Rule inference sistem fuzzy

PH :	Asam	Netral	Basa
Kesadahan :			
Murni	<i>Air kotor</i>	<i>Air bersih</i>	<i>Air kotor</i>
Sadah Normal	<i>Air kotor</i>	<i>Air bersih</i>	<i>Air kotor</i>
Sadah Tinggi	<i>Air kotor</i>	<i>Air kotor</i>	<i>Air kotor</i>

F. Fungsi Keanggotaan Keluaran Fuzzy



Gambar 7. Nilai Keanggotaan fungsi keluaran singleton

Adapun fungsi keanggotaan keluaran dari sistem fuzzy dalam penelitian ini menggunakan *Height Method singleton* untuk defuzzyfikasinya seperti tampak pada gambar 7 di atas, dengan nilai 60 untuk keluaran air kotor dan 80 untuk keluaran air bersih.

Hasil dan Diskusi

Untuk pengujian sistem dilakukan secara berurut pada setiap kondisi pH dan CaCO_3 yang saling bergantian dan dilakukan masing-masing sebanyak 10 kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya, baik untuk ukuran nilai kelayakan ataupun waktu komputasinya.

Tabel 2. Rata-rata nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 30$

A				
$\text{CaCO}_3 = 30$				
No	pH	Nilai Kelayakan Rata-rata	Waktu Komputasi Rata-rata (ms)	Kondisi Air
1	3	60	2971.217	Kotor
2	6	60	2936.98	Kotor
3	6.5	70	2937.039	Bersih
4	7	80	2937.52	Bersih
5	7.5	80	2938.864	Bersih
6	8	80	2935.596	Bersih
7	8.5	70	2936.401	Bersih
8	9	60	2937.165	Kotor
9	13	60	2937.243	Kotor
10	14	60	2944.299	kotor

Pada tabel 2 di atas ditunjukkan nilai rata-rata dari nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 30$ (kesadahan murni) untuk setiap nilai pH= 3, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 13, dan 14. Pada pengukuran nilai kelayakan air kotor adalah 60 sedangkan nilai kelayakan 70 dan 80 untuk air bersih.

Tabel 3. Rata-rata nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 250$

B				
$\text{CaCO}_3 = 250$				
No	pH	Nilai Kelayakan Rata-rata	Waktu Komputasi Rata-rata (ms)	Kondisi Air
1	3	60	2937.781	Kotor
2	6	60	2936.25	Kotor
3	6.5	70	2935.255	Bersih
4	7	80	2939.731	Bersih
5	7.5	80	2934.838	Bersih
6	8	80	2938.876	Bersih
7	8.5	70	2946.236	Bersih
8	9	60	2931.161	Kotor
9	13	60	2935.853	Kotor
10	14	60	2941.389	kotor

Pada tabel 3 di atas ditunjukkan nilai rata-rata dari nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 250$ (kesadahan normal) untuk setiap nilai pH= 3, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 13, dan 14. Pada pengukuran nilai kelayakan air kotor adalah 60 sedangkan nilai kelayakan 70 dan 80 untuk air bersih.

Tabel 4. Rata-rata nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 750$

C		$\text{CaCO}_3 = 750$		
No	pH	Nilai Kelayakan Rata-rata	Waktu Komputasi Rata-rata (ms)	Kondisi Air
1	3	60	2935.276	Kotor
2	6	60	2942.878	Kotor
3	6.5	60	2942.202	Kotor
4	7	60	2939.923	Kotor
5	7.5	60	2934.034	Kotor
6	8	60	2939.366	Kotor
7	8.5	60	2942.497	Kotor
8	9	60	2937.357	Kotor
9	13	60	2940.783	Kotor
10	14	60	2850.144	Kotor

Pada tabel 4 di atas ditunjukkan nilai rata-rata dari nilai kelayakan dan waktu komputasi pada nilai $\text{CaCO}_3 = 750$ (kesadahan tinggi) untuk setiap nilai pH= 3, 6, 6.5, 7, 7.5, 8, 8.5, 9, 13, dan 14. Pada pengukuran dengan kondisi kesadahan tinggi pada pH air berapapun kondisi air selalu kotor.

Dengan membandingkan *rule inference* dengan tabel pengukuran, selalu didapatkan kondisi air bersih pada kesadahan murni atau kesadahan normal dan pH normal. Sehingga nilai akurasi pengukuran terhadap *rule inference* yang dibuat adalah 100 %.

Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian sistem pada kondisi kesadahan dan pH berbeda untuk setiap 10 kali pengujian masing-masing kesadahan (CaCO_3) dan pH didapatkan waktu komputasi sistem adalah 2,938 detik.
2. Dari hasil perbandingan pengujian sistem dan rule inference yang dibuat didapatkan akurasi pengujian sistem sebesar 100 %, hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja dengan baik.

Ucapan Terimakasih

Akhirul kata, penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada tim (panitia) penyusun format Sensaintek 2015 yang telah meluangkan waktunya untuk pembuatan template prosiding ini, sehingga penulis merasa sangat terbantu sekali dalam penyusunan atau penulisan paper Sensaintek 2015 ini. Semoga Allah swt membalas atas setiap maksud baiknya. Amin.

Referensi

- [1] Peraturan Menteri Kesehatan No. 416 Tahun 1990 Tentang : Syarat-syarat Dan Pengawasan Kualitas Air.
- [2] Indriawati, Katherin. Pembuatan Modul Kontrol Kualitas Air Tambak Udang Sebagai Sarana Pembelajaran Perbaikan Teknik Budidaya udang: Jurusan Teknik Fisika FTI – ITS
- [3] http://id.wikipedia.org/wiki/Kesadahan_air[online] (diakses 29 maret 2015)
- [4] <http://id.wikipedia.org/wiki/PH>[online] (diakses 7 April 2015)
- [5] Suyanto. 2007. Artificial Inteligent. Bandung: Informatika Bandung
- [6] Rusiana, Endang. (2011), Fuzzy Logic, <http://wangready.files.wordpress.com>[online] (diakses 7 april 2015)
- [7] Rangkuti, Syahban.2011.Mikrokontroller ATMEL AVR Sasi dan Praktek menggunakan ISIS Proteus dan CodeVisionAVR. Bandung : Informatika Bandung

IMPLEMENTASI ALGORITMA *BRUTE FORCE STRING MATCHING* UNTUK KLASIFIKASI FLORA DAN FAUNA LANGKA BERBASIS ANDROID

Wisnu Uriawan^{1,a)}

¹*Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati
Jl. A.H Nasution No. 105 Bandung 40164*

^{a)}juragan.wisnu@gmail.com

Abstrak

Keanekaragaman hayati (flora dan fauna) di muka bumi tersebar hampir diseluruh dunia, masing-masing wilayah memiliki flora dan fauna yang menjadi ciri khas atau identitas dari daerah itu sendiri. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki banyak kekayaan alam dan keanekaragaman hayati yang dapat dijadikan daya tarik keunikan suatu negara atau wilayah. Keanekaragaman flora dan fauna di Indonesia seiring waktu akan terancam punah dan mungkin sangat sulit ditemukan. Pemanfaatan teknologi informasi dapat membantu mengelola sumberdaya yang begitu besar dan langka, sehingga dapat mempermudah pengguna atau masyarakat dalam mendapatkan informasi mengenai flora dan fauna langka yang ada di wilayah Indonesia. Algoritma *Brute Force String Matching* merupakan algoritma yang sederhana dan mudah untuk dimengerti serta dirancang khusus untuk menghasilkan algoritma yang tepat untuk menyelesaikan beberapa permasalahan seperti: pencarian, pengurutan, pencocokan *string*, dan perkalian matriks. Implementasi *textfield* pencarian pada teknologi Android yang dirancang dengan bahasa pemrograman *java* dan *MySQL* sebagai *Databases Management System*, diharapkan dapat membantu pengguna dalam melakukan pencarian data flora dan fauna langka yang sudah dilakukan klasifikasi terlebih dahulu. Pengembangan model proses menggunakan *Rational Unified Process* (RUP).

Kata kunci: Algoritma, Klasifikasi, Flora dan Fauna, *Brute Force String Matching*.

Pendahuluan

Keanekaragaman hayati (flora dan fauna) di muka bumi tersebar hampir di seluruh dunia, masing-masing wilayah memiliki flora dan fauna yang menjadi ciri khas atau identitas dari daerah itu sendiri. Pada masing-masing provinsi di Indonesia terdapat flora dan fauna yang menjadi ciri khas atau identitas dari daerah itu sendiri [1]. Balai Konservasi Sumber Daya Alam Kota Bandung mencatat terdapat lebih kurang 200 flora dan fauna langka yang ada di Indonesia yang belum terinformasikan secara menyeluruh. Indonesia membuat suatu undang-undang yang mengatur hewan dan tumbuhan langka yang dilindungi di Indonesia. Hal itu ditandai dengan diterbitkannya Undang-Undang RI No. 5 TAHUN 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya [2].

Minimnya informasi dan penyuluhan mengenai pentingnya menjaga dan melestarikan lingkungan khususnya flora dan fauna, sehingga masih banyak masyarakat yang belum mengetahui bagaimana melestarikan flora dan fauna yang langka beserta daerah asalnya yang berada di

Indonesia. Dengan adanya perkembangan teknologi informasi yang sangat pesat, maka bisa dimanfaatkan untuk mengelola sumberdaya keanekaragaman hayati (flora dan fauna) yang langka saat ini, sehingga kelestariannya bisa tetap terjaga.

Ponsel berbasis Android saat ini begitu berkembang, hal ini didorong dengan perkembangan perangkat lunak pendukung, sebuah perangkat lunak yang berkualitas harus mampu memenuhi kebutuhan penggunanya [3]. Dalam sebuah perangkat lunak terdapat algoritma yang diterapkan sehingga perangkat lunak bisa bekerja lebih optimal [4]. Pemilihan algoritma yang tepat sangat menentukan kinerja dari perangkat lunak, khususnya di modul-modul tertentu, seperti: klasifikasi, pencarian dan pengurutan [5].

Teori

a. Rancang Bangun

Rancang merupakan serangkaian prosedur untuk menerjemahkan hasil analisa dari sebuah sistem ke dalam bahasa pemrograman untuk mendeskripsikan dengan detail bagaimana komponen-komponen sistem diimplementasikan. Rancangan sistem adalah penentuan proses dan data yang diperlukan oleh sistem baru. Perancangan adalah kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendesain sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi perusahaan yang diperoleh dari pemilihan alternatif sistem yang terbaik.

Sedangkan pengertian bangun atau pembangunan sistem adalah kegiatan menciptakan sistem baru maupun mengganti atau memperbaiki sistem yang telah ada baik secara keseluruhan maupun sebagian. Bangun sistem adalah membangun sistem informasi dan komponen yang didasarkan pada spesifikasi desain.

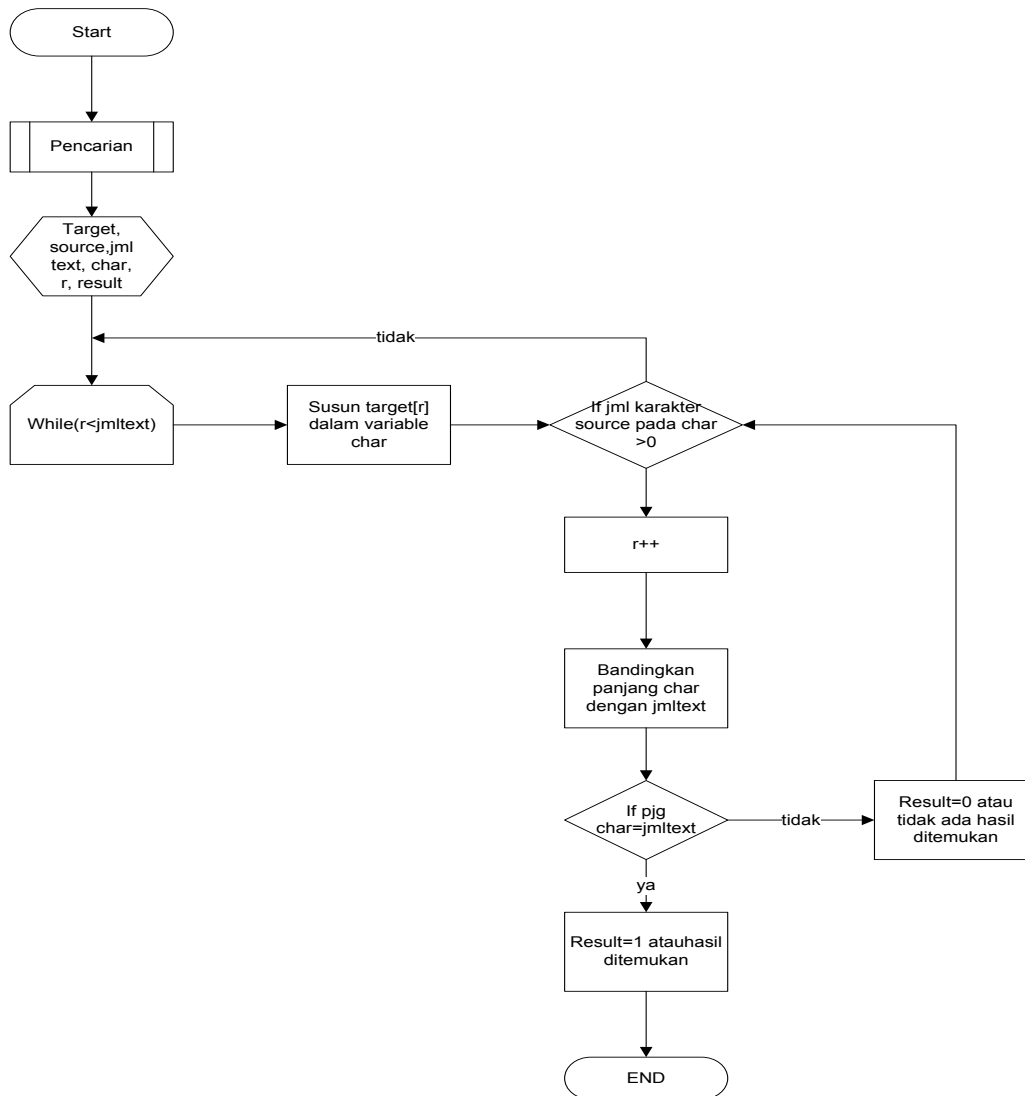
Dengan demikian pengertian rancang bangun merupakan kegiatan menerjemahkan hasil analisa ke dalam bentuk paket perangkat lunak kemudian menciptakan sistem tersebut ataupun memperbaiki sistem yang sudah ada [6].

b. Klasifikasi

Penyusunan bersistem dalam kelompok atau golongan menurut kaidah atau standar yang ditetapkan. Sedangkan **Mengklasifikasikan** adalah menggolong-golongkan menurut jenis, menyusun ke dalam golongan [7].

c. Algoritma Brute Force String Matching

Algoritma *Brute Force* merupakan algoritma yang sederhana dan mudah untuk dimengerti serta memang dirancang sehingga menghasilkan algoritma yang layak untuk beberapa masalah penting seperti pencarian, pengurutan, pencocokan *string*, dan perkalian matriks. Dengan diimplementasikannya *textfield* pencarian yang dirancang dengan bahasa pemrograman yang sesuai dengan kebutuhan, diharapkan dapat membantu pengunjung dalam melakukan pencarian data yang diinginkan pada aplikasi flora dan fauna langka [8]. *Flowchart* dari algoritma seperti gambar 1, di bawah ini:

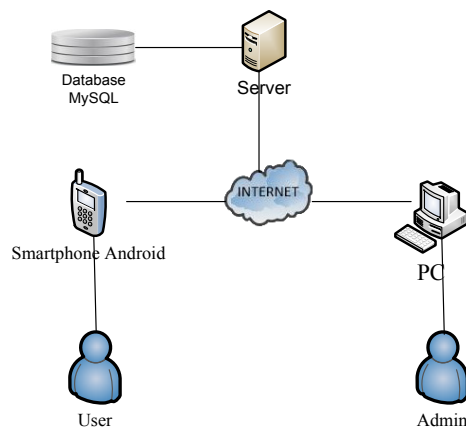


Gambar 1. Flowchart Brute Force String Matching[8]

Hasil dan Diskusi

Hasil dari penelitian ini diimplementasikan ke dalam sebuah program aplikasi, dimana program aplikasi ini disusun dalam beberapa tahap yaitu analisis, perancangan, implementasi, dan pengujian. Perancangan sistem ini merupakan tahap yang penting, perancangan bertujuan agar dalam pembuatannya dapat berjalan secara sistematis, terstruktur, dan rapi sehingga diperoleh hasil yang optimal dan berjalan sesuai yang dikehendaki.

a. Arsitektur Sistem

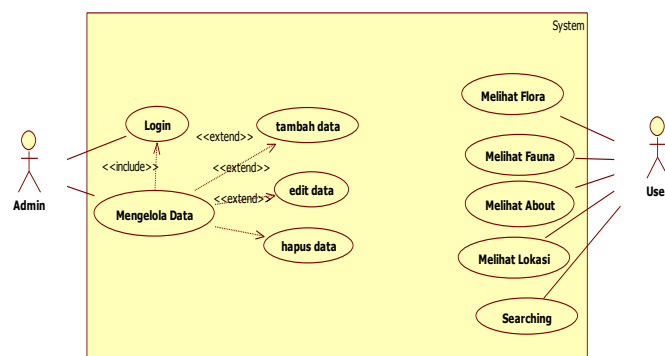


Gambar 2. Arsitektur Sistem

Keterangan gambar:

- User** : User mengakses aplikasi untuk mengklasifikasikan flora dan fauna langka yang berada pada *smartphone* android
- Admin/Administrator** : Orang yang mengelola Aplikasi dengan memiliki otoritas yang tinggi
- Personal Computer (PC)** : Device yang digunakan admin untuk menginput data.
- Smartphone Android** : Aplikasi untuk mengklasifikasikan flora dan fauna langka dapat di akses melalui *smartphone* android yang terkoneksi dengan internet atau memiliki paket data.
- Database Mysql** : Penyimpanan data berupa detail informasi flora (tumbuhan) dan fauna (hewan) langka yang akan ditampilkan pada website.
- Internet** : Aplikasi untuk mengklasifikasikan flora dan fauna langka ini memerlukan koneksi *internet* untuk menampilkan data
- Server** : Tempat menyimpan Aplikasi web

b. Analisis dan Perancangan Sistem



Gambar 3. Use Case Diagram

c. Implementasi dan Pengujian

Implementasi dan pengujian merupakan tahap akhir dari proses pembuatan program aplikasi, seluruh modul akan diuji validitasnya. Tujuan dari pengujian yaitu menemukan kesalahan (*error*) dari aplikasi yang dibuat. Pada gambar 4., terdapat tampilan awal dan menu utama program aplikasi. Menu utama ini merupakan *interface* pertama yang muncul secara langsung setelah *splash screen* ditampilkan. menu utama ini terdapat beberapa sub menu antara lain, menu flora, menu fauna, dan *about*. *User* bisa mengakses menu-menu yang telah disediakan aplikasi ini sesuai kebutuhan.



Gambar 4. Antarmuka *Splashscreen* dan Menu Utama

Menu flora ini merupakan menu data flora yang disusun berdasarkan list nama flora, *user* bisa memilih daftar sub menu yang telah disediakan, seperti pada gambar 5. Menu detail *list* flora ini dijelaskan secara detail seluruh data flora Berikut antarmuka sub menu flora dan detail *list* flora.



Gambar 5. Antarmuka Sub Menu Flora dan *Detail List* Flora

Menu fauna ini merupakan menu data fauna yang disusun berdasarkan list nama fauna. *User* bisa memilih list yang telah disediakan. Berikut antarmuka menu fauna dan detail *list* fauna ini dijelaskan secara detail seluruh data fauna antarmuka menu detail fauna dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Antarmuka Sub Menu Fauna dan Detail *list* Fauna

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini, sebagai berikut :

- Implementasi Algoritma *Brute Force String Matching* pada program aplikasi untuk mengklasifikasikan flora dan fauna langka berbasis android ini dapat membantu melakukan pencarian data flora dan fauna langka dengan cepat.
- Program aplikasi yang dibangun mampu menyajikan informasi mengenai tumbuhan (flora) dan hewan (fauna) langka di Indonesia lebih mudah dipahami.
- Program aplikasi memberikan solusi dan kemudahan kepada pengguna untuk mendapatkan informasi mengenai tumbuhan (flora) dan hewan (fauna) langka yang di Indonesia dalam bentuk aplikasi *mobile* berbasis android dengan menu yang mudah digunakan.

Referensi

- [1] Zuhendri, Ferli. 2010. "Hewan-Hewan Langka di Indonesia", Jakarta, KA.
- [2] Balai Konservasi Sumber Daya Alam Kota Bandung Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 1999 Tanggal 27 Januari 1999 Direktorat Lembaga Konservasi dan Perburuan.
- [3] Safaat, Nazrudin H (2012). "Pemrograman Aplikasi Mobile Smartphone dan Tablet PC Berbasis Android", Informatika, Bandung
- [4] Reto Meier (2009). "Profesional Android Application Development. Wiley Publishing", Canada.
- [5] Ananda, Pandu Wicaksana, 2013. "Algoritma Brute Force dalam Pattern Matching pada Aplikasi Pendeteksian Potongan Citra" URL:<http://MakalahIF3051-2011-073.pdf> [diakses pada 11 April 2014]
- [6] Devina, Apriyani Ria, 2013. "Analisis dan Rancang Bangun", Jakarta
- [7] "Kamus Besar Bahasa Indonesia Online". URL: <http://kbbi.web.id/klasifikasi> [diakses pada 08 Agustus 2014]
- [8] Nisa, Hidayani, 2013. "Perancangan dan Implementasi Metode Brute Force untuk Pencarian String pada Website PCR". [diakses pada 08 Agustus 2014]
- [9] Quatrani, Terry (1999). "Visual Modeling Rational Rose 2000 and UML", Addison Wesley, Boston.
- [10] Kruchten, Philippe (1999). "The Rational Unified Process : An Introduction, Third edition", Addison Wesley, United States of America.

AUDIT SISTEM INFORMASI AKADEMIK MENGGUNAKAN FRAMEWORK (COBIT) VERSI 5

(Studi Kasus: Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung)

Nur Lukman^{1,a)}, Djajasukma Tjahjadi²⁾ dan Budi Maryanto³⁾

¹⁾Jurusan Tek. Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²⁾Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer LIKMI

³⁾Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer LIKMI

^{a)}n.lukman@uinsgd.ac.id

Abstrak

Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung merupakan Universitas yang memiliki jumlah prodi banyak, dengan jumlah 45 prodi oleh karena itu digunakanlah sebuah sistem untuk mengelola data akademik, agar pelayanan pegawai terhadap mahasiswanya dapat berjalan dengan efektif dan efisien.

Untuk mengetahui seberapa efektif dan efisien sistem yang sedang dipakai maka harus dilakukan pengukuran seberapa jauh keselarasan antara proses bisnis yang ada dengan sistem informasi akademik dan strategi bisnis organisasi dengan cara melakukan audit terhadap sistem informasi akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung menggunakan framework COBIT 5 dengan domain DSS (Deliver, Service and Support) dan MEA (Monitor, Service, Support) dengan teknik assessment menggunakan daftar ceklis.

Untuk membantu alur audit maka digunakan langkah-langkah audit yang dimulai dari perencanaan audit, identifikasi sistem & manajemen, identifikasi domain COBIT 5, pengumpulan data melalui wawancara, observasi lapangan, dan kuesioner, analisis kapabilitas proses domain MEA dan DSS dimulai dari level 1 (Performed Process), Level 2 (Manage Process), Level 3 (Established Process), Level 4 (Predictable Process), Level 5 (Optimising Process).

Dari hasil pengukuran kapabilitas proses sistem informasi akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung menggunakan COBIT 5 diperoleh level kapabilitas proses sebesar 1,89 dengan gap 1.11, dengan nilai tersebut maka dapat disimpulkan bahwa Sistem yang diukur ini berada pada level performed.

Kata kunci : COBIT 5, Kapabilitas Proses, Sistem Informasi, MEA, DSS

PENDAHULUAN

Perusahaan pada saat ini tidak hanya berfikir efektif terhadap proses bisnis yang berjalan pada perusahaannya, tetapi juga sudah harus berfikir untuk mengefisienkan proses bisnisnya guna mendapatkan kualitas kerja yang efektif dan efisien, maka menjamurlah pemanfaatan TI di sektor apapun yang nantinya digunakan sebagai alat bantu untuk merencanakan, mengukur serta memonitoring investasi TI [1].

UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang berdiri pada tahun 1968 ini merupakan kampus yang cukup besar dengan jumlah prodi sebanyak 45 prodi untuk jenjang S1, 4 Konsentrasi untuk jenjang S2, dan 3 konsentrasi untuk jenjang S3, sehingga UIN Sunan Gunung Djati ini merupakan sebuah organisasi dibidang akademik yang memiliki lingkup bisnis yang sangat kompleks dan ketergantungan terhadap TI/SI sangat tinggi. Sehingga Hal ini memberikan tuntutan akan adanya mekanisme tata kelola TI/SI yang sesuai dengan standar dengan mangacu kepada visi dan misi UIN Sunan Gunung Djati Bandung itu sendiri. Untuk menghasilkan mekanisme tata kelola TI/SI yang baik maka

dipandang perlu adanya sebuah kontrol atau audit sistem informasi atau audit Teknologi informasi.

Audit sistem informasi merupakan pengumpulan, pengorganisasian dan pelaporan evaluasi bukti-bukti untuk menentukan apakah sistem yang digunakan telah dapat melindungi aset organisasi mampu menjaga integritas data, dapat membantu pencapaian tujuan organisasi secara efektif, serta menggunakan sumber daya yang dimiliki secara efisien. Audit TI/SI dalam kerangka kerja COBIT (Control Objectives for Information and Related Technology) yang sering disebut dengan IT Assurance bukan hanya mengaudit atau memberikan evaluasi terhadap tata kelola TI, tetapi juga memberikan masukan yang dapat digunakan untuk perbaikan dalam pengelolaan selanjutnya.

Dari paparan diatas menghasilkan nilai penting akan kebutuhan audit sistem informasi pada sistem informasi akademik yang berada di Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung yang sesuai standar, sehingga dalam penelitian ini akan dikaji mengenai "Audit Sistem Informasi Akademik Menggunakan Framework COBIT (Control Objectives for Information Technology) Studi Kasus: Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung"

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Pengolahan Data

Setelah proses wawancara dan pengisian kuesioner selesai, maka diperoleh hasil identifikasi bukti-bukti serta kriteria pendukung dari domain *Deliver, Service and Support*, dan *Monitor, Evaluate, and Assess*, maka selanjutnya akan dilakukan pengukuran tingkat ketercapaian kapabilitas sistem informasi akademik Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.

Berikut merupakan tingkat ketercapaian kapabilitas Sistem Informasi Akademik Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung:

1) Proses MEA01 - Monitor, evaluate and assess performance and conformance

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 100% atau disebut *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 dilakukan pengecekan SOP dan dokumentasi, dan hanya mencapai *Partially Achieved* yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 3 berikut:

Tabel 1 Capability Level MEA01

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
MEA01	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	100%	100%	100%	20%	20%				
Capability Level Achieved	F	F	F	P	P	a			

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

2) Proses MEA02 - Monitor, evaluate and assess the system of internal control

Pengukuran level 1 hasil pengukuran yang dicapai sebesar 58.33% yang berada pada klasifikasi L (*Largely Achieved*), yang dikarenakan tidak kumplitnya bukti-bukti mengenai proses MEA02 yang berkenaan dengan Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati ini, maka pengukuran kapabilitas tidak bisa dilanjutkan pada level 2 (Managed). yang dicantumkan dalam table 2 berikut:

Tabel 2 Capability Level MEA02

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
MEA02	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	58.33%								
Capability Level Achieved	L	a							

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

3) Proses MEA03 - Monitor, evaluate and assess compliance with external requirements

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 87% yang berada pada klasifikasi *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 dilakukan pengecekan SOP dan dokumentasi, dan hanya mencapai *Partially Achieved* dengan persentase 20% yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 3 berikut:

Tabel 3 Capability Level MEA03

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
MEA03	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	87%	100%	100%	20%	20%				
Capability Level Achieved	F	F	F	P	P	a			

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

4) Proses DSS01 - Manage operations

Pengukuran level 1 hasil pengukuran yang dicapai sebesar 79% yang berada pada klasifikasi L (*Largely Achieved*), yang dikarenakan tidak kumplitnya bukti-bukti mengenai proses MEA02 yang berkenaan dengan Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati ini, maka pengukuran kapabilitas tidak bisa dilanjutkan pada level 2 (*Managed*) yang dicantumkan dalam table 4 berikut:

Tabel 4 Capability Level DSS01

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
DSS01	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	79%								
Capability Level Achieved	L	a							

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

5) Proses DSS02 - Manage service requests and incidents

Pengukuran level 1 hasil pengukuran yang dicapai sebesar 81% yang berada pada klasifikasi L (*Largely Achieved*), yang dikarenakan tidak kumplitnya bukti-bukti mengenai proses MEA02 yang berkenaan dengan Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati ini, maka pengukuran kapabilitas tidak bisa dilanjutkan pada level 2 (*Managed*) yang dicantumkan dalam table 5 berikut:

Tabel 5 Capability Level DSS02

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
DSS02	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	81%								
Capability Level Achieved	L	a							

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

6) *Proses DSS03* - Manage problems

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 90% yang berada pada klasifikasi *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 tidak ditemukan adanya SOP dan dokumentasi, sehingga hanya mencapai *Not Achieved* yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 6 berikut:

Tabel 6 Capability Level DSS03

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
DSS03	PA1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	90%	100%	100%	0%	0%				
Capability Level Achieved	F	F	F	N	N	a			

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

7) *Proses DSS04* - Manage continuity

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 96% yang berada pada klasifikasi *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 tidak ditemukan adanya SOP dan dokumentasi, sehingga hanya mencapai *Not Achieved* yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 7 berikut:

Tabel 7 Capability Level DSS04

Nama Proses	Level 1	Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
DSS04	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2
Presentase	96%	100%	100%	0%	0%				
Capability Level Achieved	F	F	F	N	N	a			

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

8) *Proses DSS05* - Manage security services

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 95% yang berada pada klasifikasi *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 tidak ditemukan adanya SOP dan dokumentasi, sehingga hanya mencapai *Not Achieved* yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 8 berikut:

Tabel 8 Capability Level DSS05

Nama Proses	Level 1		Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2	
DSS05	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2	
Presentase	95%	100%	100%	0%	0%					
Capability Level Achieved	F	F	F	N	N	a				

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

9) Proses DSS06 – Manage business process controls

Pada level 1 skor yang didapat sebesar 90% yang berada pada klasifikasi *Fully Achieved*, Untuk semua proses yang masuk ke *Fully Achieved* pada level 1 maka dipastikan lulus untuk level 2 dan penilaian dilanjutkan pada penilaian level 3, Dalam pengukuran kapabilitas level 3 tidak ditemukan adanya SOP dan dokumentasi, sehingga hanya mencapai *Not Achieved* yang berarti pengukuran tidak dilanjutkan ke level selanjutnya. yang dicantumkan dalam table 9 berikut:

Tabel 9 Capability Level DSS06

Nama Proses	Level 1		Level 2		Level 3		Level 4		Level 5	
	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2	
DSS06	PA 1.1	PA 2.1	PA 2.2	PA 3.1	PA 3.2	PA 4.1	PA 4.2	PA 5.1	PA 5.2	
Presentase	90%	100%	100%	0%	0%					
Capability Level Achieved	F	F	F	N	N	a				

N → 0% - 15%	P → 15% - 50%	L → 50% - 85%	F → 85% - 100%
--------------	---------------	---------------	----------------

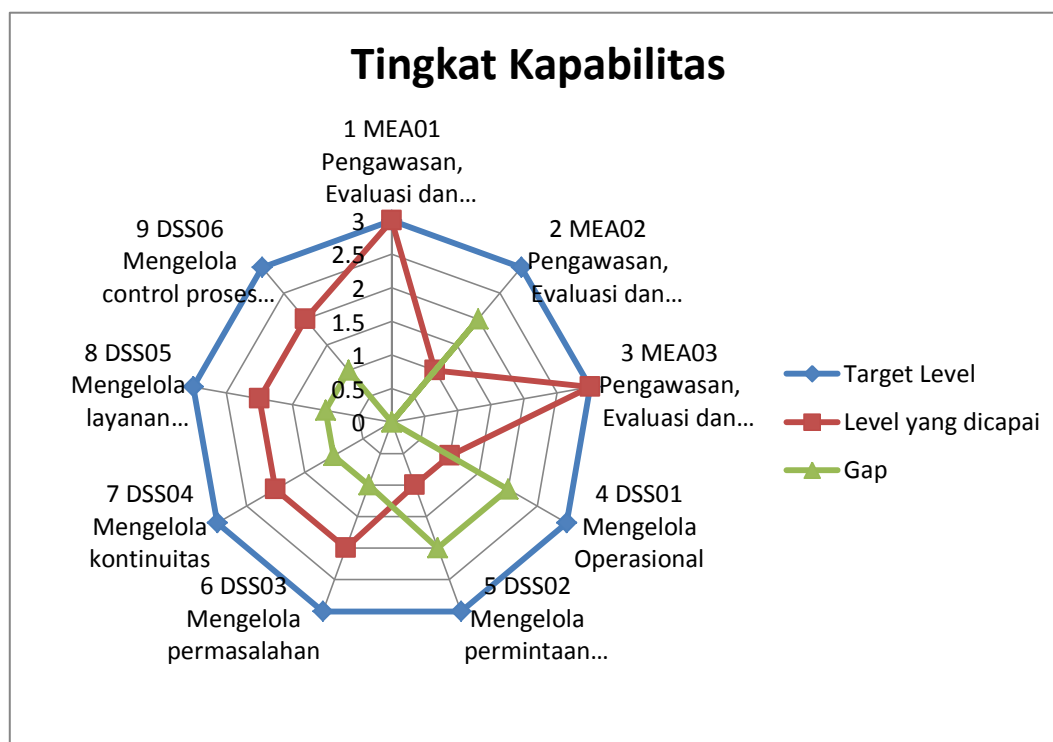
B. Analisis Hasil Pengukuran

Untuk mengetahui gap antara target yang ingin dicapai dengan kapabilitas yang dihasilkan dari hasil pengukuran, maka dapat dilihat melalui table 10 berikut ini.

Tabel 10 Gap antara target dan ketercapaian kapabilitas

No	Nama Proses	Target Level	Level yang dicapai	Gap
1	MEA01 Pengawasan, Evaluasi dan penilaian kinerja dan kesesuaian	3	3	0
2	MEA02 Pengawasan, Evaluasi dan menilai sistem pengendalian internal	3	1	2
3	MEA03 Pengawasan, Evaluasi dan menilai pemenuhan persyaratan eksternal	3	3	0
4	DSS01 Mengelola Operasional	3	1	2
5	DSS02 Mengelola permintaan layanan dan kejadian / insiden	3	1	2
6	DSS03 Mengelola permasalahan	3	2	1
7	DSS04 Mengelola kontinuitas	3	2	1
8	DSS05 Mengelola layanan keamanan	3	2	1
9	DSS06 Mengelola control proses bisnis	3	2	1

Berikut merupakan grafik tingkat kapabilitas proses Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung.



Gambar 5 Grafik pencapaian tingkat kapabilitas SIMAK UIN Bandung

Berdasarkan data dari hasil penilaian level kapabilitas masing-masing proses, maka untuk mengetahui besarnya rata-rata level kapabilitas dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus rata-rata sebagai berikut

$$\text{Capability level} = \frac{0*y_0 + 1*y_1 + 2*y_2 + 3*y_3 + 4*y_4 + (5*y_5)}{z}$$

keterangan :

y(y0...y5)= jumlah proses

z = jumlah proses yang dievaluasi

$$\text{Capability level} = \frac{0*0 + 1*3 + 2*4 + 3*2 + 4*0 + (5*0)}{9}$$

$$\text{Capability level} = \frac{0+3+8+6+0+0}{9}$$

$$\text{Capability level} = \frac{17}{9} = 1.89$$

Dari hasil perhitungan di atas, maka dapat disimpulkan bahwa capability level pada Sistem Informasi Akademik UIN Sunan Gunung Djati Bandung saat ini berada pada level 1,89 dengan gap 1,11 untuk mencapai target UIN Bandung pada level 3,00.

Kesimpulan

1. Sistem informasi yang bagus bukan merupakan sistem informasi yang hanya dipandang dari jalannya sebuah sistem, tetapi sistem informasi yang bagus merupakan sistem informasi yang tata kelolanya bagus dan yang telah mengalami proses audit, karena sistem informasi yang telah diaudit bisa dipastikan jauh dari yang namanya error sistem atau bahkan *error management*.

2. Dari hasil penilaian kapabilitas proses yang diukur dari level 1 sampai level 5, pengukuran paling tinggi hanya sampai level 3 itupun hanya 2 proses saja, proses MEA01 Pengawasan, Evaluasi dan penilaian kinerja dan kesesuaian dan MEA03 Pengawasan, Evaluasi dan menilai pemenuhan persyaratan eksternal, dikarenakan masih minimnya SOP yang tersedia. Kedua proses ini keduanya masuk kedalam klasifikasi P - *Partially Achieved*
3. Pengukuran yang mencapai level 2 terdiri dari 4 proses, proses DSS03 Mengelola permasalahan, DSS04 Mengelola kontinuitas, DSS04 Mengelola kontinuitas, DSS05 Mengelola layanan keamanan dan DSS06 Mengelola control proses bisnis, dan semuanya masuk kedalam klasifikasi F - *Fully Achieved*.
4. Pengukuran yang mencapai level 1 terdiri dari 3 proses, Proses MEA02 Pengawasan, Evaluasi dan menilai sistem pengendalian internal, DSS01 Mengelola Operasional, DSS02 Mengelola permintaan layanan dan kejadian / insiden, dan semuanya masuk kedalam klasifikasi L - *Largely Achieved*.

Referensi

- [1] Tampubolon. Pengukuran Efektifitas Teknologi Informasi di Organisasi. E-Indonesia Initiative. 2008.
- [2] Amsyah, Zulkifli. Manajemen Sistem Informasi. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 2009
- [3] Board of Studies The Institute of Chartered Accountants of India. Information Systems Control and Audit. New Delhi, 2010
- [4] Budiono, Gatut. Audit Kinerja Sistem Informasi Manajemen Pemeliharaan Unit Pembangkit Listrik Berbasis CobIT Domain. Jurnal EECCIS Vol. IV, No. 1. 2010
- [5] Champlain, Jack J. Auditing Information Systems. John Willey & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey. 2003
- [6] Ernala, Ita. Tata Kelola Teknologi Informasi (IT Governance). CommIT, Volume 3, Nomer 1. 2009
- [7] Arbie, E., Pengantar Sistem Informasi Manajemen, Edisi Ke-7, Jilid 1, Bina Alumni Indonesia, Jakarta. 2000.
- [8] Fitriyah, Devi. Audit Sistem Informasi/Teknologi Informasi dengan Kerangka Kerja Cobit untuk Evaluasi Manajemen Teknologi Informasi di Universitas XYZ. Jurnal Sistem Informasi MTI-UI, Volume 4, Nomer 1, ISBN 1412-8896. 2008.
- [9] ISACA. COBIT 5 A Business Framework for the Governance and Management of Enterprise IT. Rolling Meadows, IL 60008 USA: ISACA. 2012
- [10] Jogiyanto. Analisis dan Desain Sistem Informasi. Penerbit Andi, Yogyakarta. 2005
- [11] Karya, Gede. Pengembangan Model Audit Sistem Informasi Berbasis Kendali. Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. 2010
- [12] Maria, Evi. Perbandingan Sistem Informasi Akademik Universitas Satya Wacana Menggunakan Cobit Framework. 140 Fokus Ekonomi (FE) Vol. 10, No.2, ISSN: 1412-3851. 2011
- [13] Maria, Evi dan Haryani, Endang. Audit Model Development of Academic Information System: Case Study on Academic Information System of Satya Wacana. Researchers World – Journal of Arts Science & Commerce, Vol.– II, Issue –2. 2011
- [14] Nugroho, Heru dan Surendro, Kridanto. Proposed Model of Vocational University Governance and Measurement Model by Utilizing The ISO 38500 Framework And COBIT 5 Enabler. IEEE 2013 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS), Jakarta. 2013
- [15] Pederiva, A. The COBIT Maturity Model in a Vendor Evaluation Case. Information Systems Control Journal, Volume 3. 2003
- [16] Putra, R. B., dan Sensuse, D. I. Rancangan Tata Kelola TI untuk Institusi Pemerintah Studi Kasus Bappenas. Jurnal Sistem Informasi MTI-UI, Volume 4, Nomor 1, ISBN 1412-8896. 2008
- [17] Ron Weber. Information System Control and Audit. The University of Queensland, Prentice Hall. 1999

- [18] Svata, Vlasta. IS Audit Considerations in Respect of Current Economic Environment. Journal Of Sistem Integration. 2011
- [19] UIN SGD Bandung. Profil UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Bandung. 2010
- [20] Zulkifli, A. Manajemen Sistem Informasi. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 2009

Aplikasi *e-Masjid* : Peran Perguruan Tinggi Islam dalam Menciptakan Aplikasi Diseminasi Informasi dan Manajemen Pengetahuan Masjid

Ima Dwitawati^{1, a)}

¹Jurusan Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Ar-Raniry Banda Aceh

a)penulis yang berkorespondensi: imagayo@gmail.com

Abstrak

Keberadaan teknologi dan arus perkembangan informasi yang begitu besar memberi dampak dalam setiap sisi kehidupan manusia. Di satu sisi ada begitu banyak kemanfaatan yang dihasilkan oleh teknologi informasi dan komunikasi (*Information Communication and Technology: ICT*), di sisi lain tidak kurang banyak dampak negatif yang ditimbulkan oleh *ICT*. Keadaan ini menuntut perguruan tinggi islam memperluas perannya yang tidak hanya fokus pada temuan, kajian, hasil penelitian terbatas pada konsep dan pemahaman yang bersumber dari Al-Qur'an, akan tetapi perguruan tinggi Islam dituntut untuk bisa menjadi produsen dari kecanggihan *ICT* yang bisa dimanfaatkan oleh masyarakat Muslim dalam menjalankan perannya sebagai hamba yang memelihara hubungan dengan Allah SWT (*Hablumminallah*), juga terus menerus meningkatkan kualitas ukhuwah dengan hamba lainnya (*Hablumminannas*). Penelitian ini bertujuan untuk membangun Aplikasi e-Masjid untuk mengoptimalkan fungsi masjid dalam diseminasi informasi dan manajemen pengetahuan Masjid. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah aplikasi e-Masjid Jamii' Darussalam Banda Aceh.

Kata kunci: e-Masjid, manajemen pengetahuan, diseminasi informasi, ICT dan Islam

Pendahuluan

Peran Perguruan Tinggi Islam di Indonesia selain sebagai juru bicara umat tentang islam Indonesia dengan berbagai kekhasan yang menyertainya dalam karakter masyarakat yang plural kepada masyarakat global [1], sebagai tempat untuk pengenalan pandangan dunia keislaman yang bercorak klasik, modern, dan posmodern [2], sebagai pencipta dan penghasil alat dan teknologi yang mampu menjawab dan memudahkan hamba dalam menjalankan tugas-tugas kehidupannya. Peran ini akan dapat dilakukan dengan baik apabila perguruan tinggi islam secara terus-menerus memanfaatkan kedudukan dan potensinya untuk beradaptasi dan menjaga eksistensi diri di era kemajuan teknologi informasi dan era pengetahuan yang sedang menjadi warna dari peradaban saat sekarang ini.

Disadari atau tidak keberadaan teknologi dan arus perkembangan informasi yang begitu besar memberi dampak dalam setiap sisi kehidupan manusia. Di satu sisi ada begitu banyak kemanfaatan yang dihasilkan oleh teknologi informasi dan komunikasi (*Information Communication and Technology: ICT*) [3][4][5], di sisi lain tidak kurang banyak dampak negatif yang ditimbulkan oleh *ICT* [6]. Keadaan ini menuntut perguruan tinggi islam memperluas perannya yang tidak hanya fokus pada temuan, kajian, hasil penelitian dan penyelenggaraan program pengabdian masyarakat terbatas pada konsep dan pemahaman yang bersumber dari Al-Qur'an, akan tetapi perguruan tinggi Islam dituntut

untuk bisa menjadi produsen dari kecanggihan *ICT* yang bisa dimanfaatkan oleh masyarakat Muslim dalam menjalankan perannya sebagai hamba yang memelihara hubungan dengan Allah SWT (*Hablumminallah*), juga terus menerus meningkatkan kualitas ukhuwah dengan hamba lainnya (*Hablumminannas*).

ICT adalah *Enabler* (pemungkin) yang keberadaannya bergantung kepada siapa yang memanfaatkannya. Dalam hal kapasitasnya sebagai alat pemungkin, perguruan tinggi islam sudah seharusnya menjadikan *ICT* bisa dimanfaatkan untuk memperdalam pemahaman dan penguasaan tentang (1) Al-Qur'an dan Ilmu Al-Qur'an, (2) Hadits dan Sunnah (3) *ICT* untuk mempelajari Hukum Islam dan Ilmu yang berkaitannya dengannya, (4) *ICT* untuk sejarah peradaban Islam, (5) *ICT* untuk Ilmu Pengetahuan Islam dan Ilmuan Muslim (*Moslem Scholars*) beserta dokumentasinya, (6) Etika TI dalam Islam, (7) *Database* Islam (8) Aplikasi *ICT* untuk Bahasa Arab, (9) *ICT* untuk pemrosesan bahasa alami (*Natural Language Processing: NLP*) untuk bahasa arab, (10) *ICT* untuk menjaga eksistensi muslim dan peradabannya, dan lain sebagainya.

Dalam hal pemanfaatan *ICT* untuk menjaga eksistensi muslim dan peradabannya, salah satu terjemahannya adalah pemanfaatan *ICT* untuk mengoptimalkan fungsi Masjid. Masjid merupakan wadah yang paling strategis dalam membina dan menggerakkan potensi umat Islam untuk mewujudkan Sumber Daya Manusia (SDM) yang tangguh dan berkualitas [7]. Sebagai pusat pembinaan umat, Masjid dituntut untuk lebih mudah dijangkau dan diketahui segala bentuk kegiatannya sehingga (1) Muslim memiliki peluang lebih besar untuk mendapatkan informasi, ilmu, dan segala bentuk kegiatan yang diselenggarakan di Masjid. (2) komunitas diluar muslim juga dapat mengenal Masjid dan Islam tanpa harus mendatangi Masjid.

Kemudahan ini akan dapat diwujudkan apabila Masjid mau dan mampu menjaga eksistensinya dalam (1) menyebarkan informasi, (2) memelihara dan mengelola pengetahuan yang disebarkan secara *real-time* maupun *unreal-time*, secara *synchronous* maupun *a-synchronous*. Dengan kata lain urgensi ketepatan, kecepatan dan kemudahan dalam memperoleh informasi dan pengetahuan dari Masjid sudah harus menjadi perhatian utama. Sehingga Muslim dalam lingkup lokal maupun global dapat memperoleh informasi dan pengetahuan dari Masjid kapan saja, dimana saja, dan dalam keadaan apa saja.

Dalam hal ketersediaan aplikasi yang diperuntukkan bagi muslim, tersedia 4.072 aplikasi di pasar online *Apple Store*, dan tersedia ratusan aplikasi lainnya secara gratis dan berbayar di *google play*. Namun demikian, aplikasi yang benar-benar fokus kepada diseminasi informasi dan manajemen pengetahuan Masjid di aceh belum ada. Oleh karenanya penelitian ini dibuat untuk aplikasi *e-Masjid* di Aceh, khususnya Masjid Jami' Darussalam. Pemilihan Masjid Jami' dikarenakan posisinya berada di pusat pelajar dan mahasiswa Darussalam sebagaimana diketahui bahwa, kalangan pelajar dan mahasiswa merupakan generasi yang tidak terpisahkan dengan *ICT*.

Manfaat penelitian ini selain bermanfaat bagi komunitas Muslim di Aceh untuk dapat mengakses informasi Masjid kapan saja, dimana saja dan dalam keadaan apa saja, juga sebagai penyedia informasi dan pengetahuan tentang Islam dan aktifitas masjid yang bisa diperoleh oleh masyarakat global baik yang Muslim maupun non Muslim.

Teori

Information Communication Technology (ICT)

ICT adalah payung besar terminologi yang mencakup seluruh perangkat komunikasi dan aplikasinya (*Communication Device and Application*) [8]. *ICT* adalah konvergensi antara teknologi komputer dan teknologi komunikasi yang menyebabkan sistem informasi dapat dibangun dan

berjalan sebagaimana mestinya. ICT tidak lagi dipandang sebagai biaya, akan tetapi merupakan investasi mutlak demi kelangsungan hidup organisasi maupun institusi. Dengan pemanfaatan teknologi Informasi, akan terdapat berbagai keuntungan bagi institusi maupun organisasi dalam menjalankan perannya, diantaranya: keterjangkauan, efisiensi, ketepatan dan kecepatan, kontribusi dan kolaborasi dalam penyebaran informasi maupun pengetahuan [9].

Mobile Application

Mobile application adalah proses pengembangan aplikasi untuk perangkat genggam seperti PDA, asisten digital perusahaan atau telepon genggam. Pembangunan Aplikasi Mobile Masjid (e-Masjid) akan memberi keuntungan pada (1) Peningkatan serapan informasi dan pengetahuan Islam yang bersumber dari Masjid bagi pengguna; (2) solusi *Mobile Application* memberikan fleksibilitas dari lokasi dan waktu yang berbeda; (3) Meningkatkan keamanan baik bagi provider informasi maupun pengguna informasi; (4) Meningkatkan efisiensi dan Produktifitas; (5) Mengeliminasi redundansi informasi dan data yang sudah ada; (6) Akurasi dan ketepatan data dan informasi; (7) Kontrol dan Inventori; (8) Kepuasan pengguna [10]. *Mobile Application* mampu menyediakan berbagai informasi dan pengetahuan yang dibutuhkan pengguna dimana saja, kapan saja, dan dalam keadaan apa saja.

Manajemen Pengetahuan

Manajemen Pengetahuan (*Knowledge Management*) merupakan sistem yang dibuat untuk menciptakan, mendokumentasikan, menggolongkan, dan menyebarkan pengetahuan dalam organisasi [11]. Manajemen Pengetahuan merupakan proses sistematis untuk menemukan, memilih, mengelola, menyaring dan menyajikan informasi yang bertujuan untuk meningkatkan pengetahuan individu maupun kelompok [12]. Pengetahuan adalah: kemampuan, atribusi, kapabiliti, kompetensi, keyakinan, estimasi, kejadian, pengalaman, penjelasan, penemuan, firasat, ide, intelijensi, interpretasi, intuisi, penemuan, observasi, opini, persuasi, kemahiran, pembuktian, keahlian, tradisi, pengertian, dan kebijaksanaan [13].

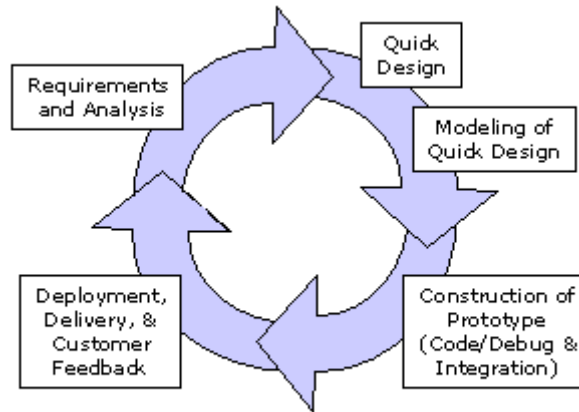
Masjid

Asal kata Masjid adalah *sajada* yang merupakan bahasa Arab yang artinya sujud atau tunduk [14]. Secara konsepsional masjid juga disebut sebagai Rumah Allah (Baitullah) atau bahkan rumah masyarakat (*bait al jami`*), dimana keberadaannya bukan hanya sebagai tempat Shalat atau tempat berkumpulnya kelompok masyarakat (*kabilah*) tertentu, tetapi masjid sebagai majlis untuk memotifisir atau mengendalikan seluruh masyarakat (Pusat Pengendalian Masyarakat) [15].

Hasil dan Diskusi

a. Rancang Bangun Aplikasi E-Masjid

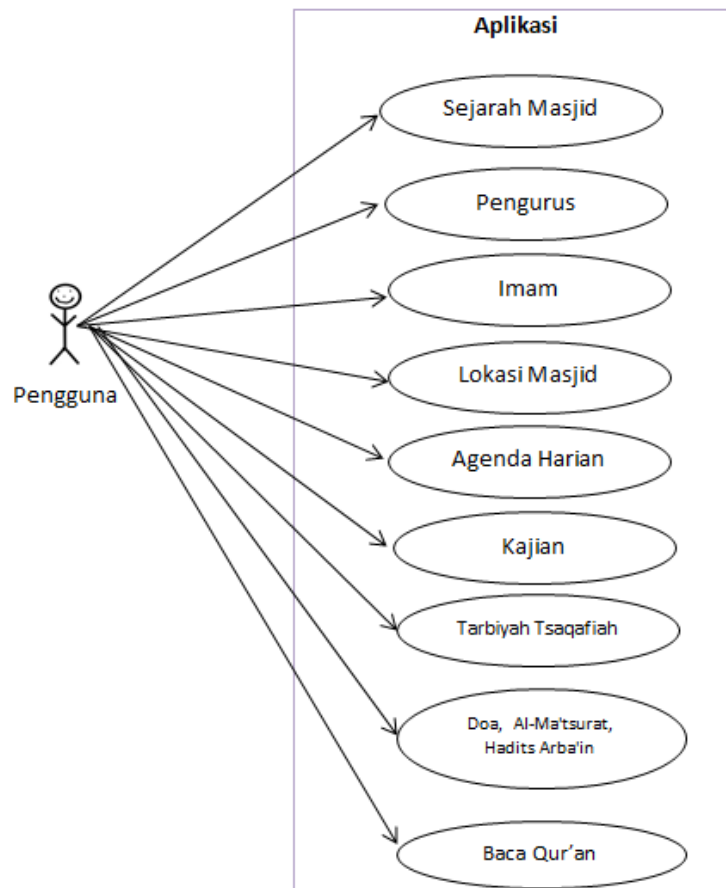
Rancang bangun Aplikasi e-Masjid menggunakan pendekatan Prototyping Paradigm Method dimulai dari analisis kebutuhan, perancangan, dan evaluasi *Prototype*. Pada tahap analisis kebutuhan, pengembang bertemu dengan pengurus masjid dan pihak terkait untuk menentukan tujuan pembuatan Aplikasi e-Masjid ini. Setelahnya dilakukan perancangan yang dilakukan secara cepat dimana rancangan ini adalah sebagai dasar pembuatan prototype. Pada tahap akhir, dilakukan evaluasi prototype oleh pemakai untuk kemudian kebutuhan software akan diketahui secara pasti.



Gambar 1 Prototyping Paradigm Method [16]

b. Use Case Diagram (Diagram Aktifitas)

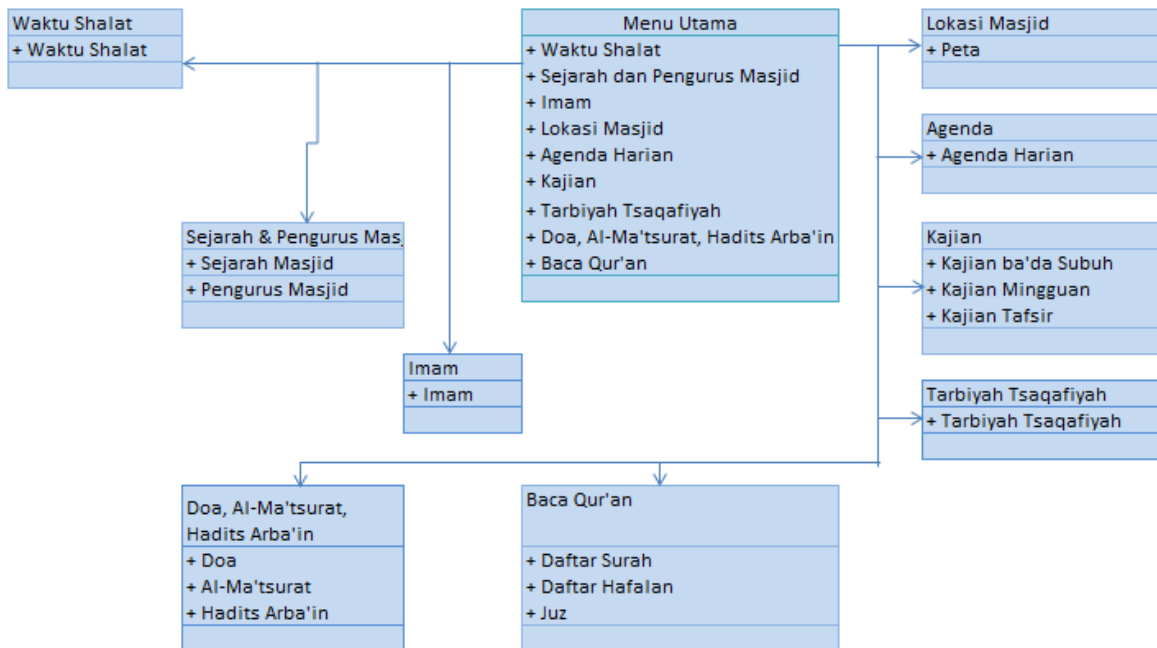
Fungsi-fungsi atau layanan yang disediakan dalam aplikasi e-Masjid ini terdiri dari Sejarah Masjid, Pengurus, Imam, Lokasi Masjid, Agenda Harian, Kajian Rutin, Tarbiyah Tsaqafiyah , baca Qur'an, Al-Ma'tsurat, dan Hadits Arba'in. **Gambar 2** menunjukkan Use Case Diagram dari Aplikasi e-Masjid.



Gambar 2 Use Case Diagram

c. Class-Diagram (Diagram Kelas)

Kelas diagram dari Aplikasi e-Masjid seperti yang tertera pada Gambar 3. Pada gambar tersebut ditunjukkan paket dan sub-paket yang dihasilkan dalam aplikasi tersebut.

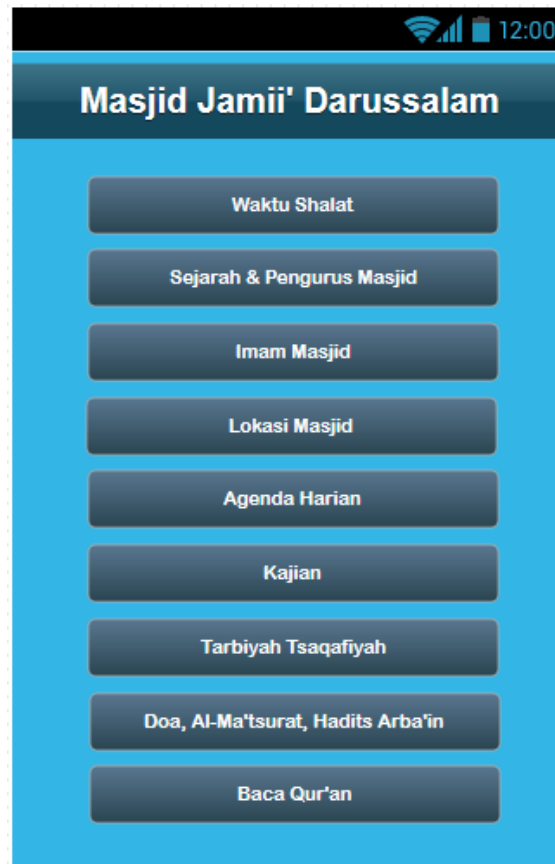


Gambar 3 Kelas Diagram Aplikasi e-Masjid

Ketika menggunakan aplikasi e-Masjid, pengguna akan langsung berhadapan dengan menu utama tanpa memerlukan autentifikasi dan verifikasi tertentu. Dari menu utama, pengguna dapat melakukan navigasi ke beberapa sub menu. Dari sub menu pengguna bisa langsung kembali lagi ke menu utama.

d. Implementasi dan Antarmuka Aplikasi e-Masjid

Antarmuka Aplikasi e-Masjid terdiri dari 9 sub menu yang terdiri dari: 1) Waktu Shalat, 2) Sejarah dan Pengurus Masjid, 3) Imam Masjid, 4) Lokasi Masjid, 5) Agenda Harian, 6) Kajian, 7) Tarbiyah Tsaqafiyah, 8) Doa, Alma'tsurat, dan Hadits Arba'in, 9) Baca Qur'an. Menu 1 sampai dengan menu 5 merupakan bagian dari Diseminasi Informasi Masjid kepada masyarakat yang membutuhkannya, menu 6 dan 7 merupakan Implementasi dari Manajemen Pengetahuan Masjid, dimana konklusi dari hasil kajian yang diberikan oleh setiap pemateri akan didokumentasikan dan dipublikasikan pada halaman menu tersebut. Menu 8 dan 9 merupakan aktifitas ibadah setiap muslim yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu, dimana pemilihan waktunya sangat bergantung kepada masing-masing individu. Gambar 4 merupakan Antarmuka (halaman utama) aplikasi e-Masjid Jamii' Darussalam, Banda Aceh.



Gambar 4 Antarmuka E-Masjid Jamii' Darussalam Banda Aceh

Kesimpulan

Rancang Bangun Aplikasi e-Masjid merupakan aplikasi yang semestinya dibangun dalam waktu yang relatif lama, agar informasi yang dibutuhkan lengkap dan komprehensif, demikian juga akurasi data yang diinputkan benar-benar terjamin dan mampu menjawab kebutuhan pengguna masjid. Aplikasi ini masih jauh dari kesempurnaan, karenanya sinergi antara pengurus masjid dan perguruan tinggi islam sebagai pembangun aplikasi sangatlah dibutuhkan. Pada akhirnya, aplikasi ini diharapkan mampu menjawab kebutuhan jama'ah masjid pada khususnya, dan pengguna di lingkup global pada umumnya untuk tahu aktifitas-aktifitas yang dijalankan oleh masjid, yaitu masjid Jamii' Darussalam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Badan Kemakmuran Masjid Jamii' Darussalam Banda Aceh yang telah memberikan informasi yang dibutuhkan dalam Rancang Bangun Aplikasi E-Masjid ini.

Referensi

- [1] R.F. Harahap, “ Peran Perguruan Tinggi Islam dalam Pluralisme Indonesia”, <http://news.okezone.com/read/2015/03/09/65/1115955/peran-perguruan-tinggi-islam-dalam-pluralisme-indonesia> [diakses 17 April 2015]
- [2] J. Lelono, “Saatnya Generasi Muda Melawan Radikalisme”, <http://m.kompasiana.com/post/read/508937/2/saatnya-generasi-muda-melawan-radikalisme.html> [diakses 17 April 2015]
- [3] P. Achimugu, O. Aluwagbemi, A. Oluwaranti, B. Afolabi, “Adoption of Information & Communication Technologies in Developing Countries: An Impact Analysis”, *Journal of Information Technology Impact*, Vol. 9, No.1, 2009, p. 37-46
- [4] R.D. Banker, H. Chang, Y.C. Kao, “Impact of Information Technology on Public Accounting Firm Productivity”, *Journal of Information System*, Vol. 16, No.2, 2002, p. 209 - 222
- [5] M.F. Noordin, “ICT and Islam”, Penerbit IIUM Press, 2015
- [6] F. Shirazi, R. Gholami, D.A. Higon, “The Impact of ICT education and regulation on economic freedom in Islamic Middle Eastern Countries”, *Information Management Journal*, Vol. 46, Issue 8, 2009, p. 426-433
- [7] M.Z. Luthfi, “Revitalisasi Fungsi Masjid sebagai Pusat Dakwah bagi Umat Islam’, <http://www.scribd.com/doc/41886627/Revitalisasi-Fungsi-Masjid-Sebagai-Pusat-Dakwah-Bagi-Umat-Islam#scribd> [diakses 17 April 2015]
- [8] M. Rouse, “What is ICT”, <http://www.scribd.com/doc/41886627/Revitalisasi-Fungsi-Masjid-Sebagai-Pusat-Dakwah-Bagi-Umat-Islam#scribd> [diakses 18 April 2015]
- [9] K.C. Laudon, J.P. Laudon, “ Management Information Systems – Managing the Digital firm, Penerbit Pearson, Edisi Sebelas, 2010.
- [10] C. Indonesia, “Apa itu Mobile Application”, <http://cloudindonesia.com/apa-itu-mobile-application/> [diakses 18 April 2015]
- [11] Thomas H. Davenport, David W. De Long, Michael C. Beers, “Building Successful Knowledge Management Projects”, *Managing the Knowledge of the Organization*, Ernst & Young LLP. All Rights Reserved, 1997.
- [12] D.D. Long, “Building the Knowledge-Based Organization: How Culture Drives Knowledge Behaviors”, Working Paper, Center for Business and Innovation, 1997
- [13] R. Maier, “Knowledge Management Systems : Information Communication Technologies for Knowledge Management, Penerbit Springer, Edisi kedua, 2004
- [14] N. Rukmana DW, “Masjid dan Dakwah, Penerbit Al-Mawardi Prima, Jakarta, 2002
- [15] A. B. Rifa’i dan M. Fakhruroji, “ Manajemen Masjid Mengoptimalkan Fungsi Sosial Ekonomi Masjid, Penerbit Benang Merah Press, Bandung, 2005
- [16] LMU LA, “ Software Life Cycle – Basic Step and Various Models”, <http://myweb.lmu.edu/bjohnson/cmsi641web/week02-2.html> [diakses 18 April 2005]

Studi Potensi Ekstrak Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) Dan Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) Sebagai Indikator Titrasi Alkalimetri

Neng Nur Sri Syaripah^{1,a)} dan Dede Suhendar^{1,b)}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru - Bandung

email : ^{a)}n.nursri.s@gmail.com dan ^{b)}dede.suhendar@uinsgd.ac.id

Abstrak

Titration asam basa merupakan salah satu teknik analisis kimia kuantitatif yang digunakan untuk menentukan konsentrasi asam maupun basa. Pada umumnya indikator asam basa yang biasa digunakan adalah indikator sintesis. Kurkumin, zat warna yang terkandung dalam rimpang kunyit dan temulawak mampu berubah warna dari kuning menjadi kuning-merah bergantung pada suasana lingkungannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari potensi ekstrak rimpang kunyit dan temulawak untuk aplikasi titrasi alkalimetri. Kurkumin dari rimpang diperoleh dengan cara ekstraksi maserasi dengan pelarut metanol (1:4 b/v). Ekstrak kasar yang didapat dianalisis secara kualitatif menggunakan spektrofotometer *UV-Visible* dan didapatkan panjang gelombang maksimum untuk ekstrak rimpang kunyit pada 421 nm dan ekstrak rimpang temulawak pada 423 nm. Penentuan trayek pH dilakukan dengan cara meneteskan ekstrak pada berbagai variasi pH larutan pada rentang 5 - 12 dan didapatkan trayek pH indikator ekstrak rimpang adalah pH 9 – 10. Ekstrak dianalisis menggunakan instrumen FTIR dan diketahui terdapat gugus O–H, C=C-H alifatis, C=O, dan C=C aromatis. Uji potensi ekstrak dilakukan dengan cara aplikasi titrasi asam basa dan membandingkannya dengan titrasi menggunakan indikator fenolftalein. Dari semua percobaan titrasi diperoleh bahwa penggunaan ekstrak rimpang kunyit dan temulawak memiliki keakuratan yang tinggi dan keberulangan yang baik yang dilakukan sampai 4 minggu penyimpanan dengan selisih volume titran pada titik akhir titrasi $\leq 0,8\%$ terhadap volume titran yang menggunakan indikator fenolftalein pada titrasi NaOH: HCl dan NaOH : CH₃COOH.

Kata kunci: rimpang kunyit, rimpang temulawak, kurkumin, ekstraksi, indikator, titrasi asam basa

Pendahuluan

Titration asam-basa merupakan salah satu teknik analisis kimia kuantitatif yang digunakan untuk menentukan konsentrasi asam maupun basa. Metoda titrasi sampai saat ini masih digunakan walaupun telah berkembang metoda-metoda lain dengan menggunakan instrumen tertentu. Hal ini disebabkan karena metoda titrasi merupakan metoda yang cukup sederhana, mudah, murah, dan aman.

Titration didasarkan pada titik ekuivalen. Titik ekuivalen biasanya ditentukan dengan titik akhir titrasi yaitu pada saat konsentrasi asam ekuivalen dengan konsentrasi basa. Titik akhir titrasi ditandai dengan perubahan warna yang terjadi akibat penambahan suatu zat tertentu pada analit. Zat ini

disebut dengan indikator. Pada titrasi asam-basa, indikator yang diperlukan untuk keperluan titrasi biasanya memiliki harga kisaran pK_a atau pK_b yang berada pada kisaran pH titik ekuivalen. Dengan demikian, keberhasilan dalam suatu titrasi sangat ditentukan oleh adanya indikator yang tepat.

Pada umumnya indikator yang digunakan dalam titrasi adalah indikator sintetis. Bagi lembaga-lembaga pendidikan setingkat SLTA yang berada di daerah, pengadaan indikator sintetis untuk keperluan praktikum kimia dirasakan cukup mahal, baik dari segi harga maupun biaya transportasinya ke kota. Salah satu alternatif jalan keluarnya adalah dengan memanfaatkan indikator alami, mudah disiapkan, dan sangat murah, namun tetap memiliki hasil titrasi dengan tingkat akurasi yang baik.

Rimpang kunyit dan temulawak mengandung senyawa bioaktif yaitu kurkuminoid yang tersusun dari senyawa kurkumin, demetoksikurkumin, dan bisdemetoksikurkumin. Kurkumin merupakan pigmen warna kuning yang terdapat dalam rimpang kunyit dan temulawak [1] [2]. Kurkumin sebagai salah satu senyawa dalam fraksi kurkuminoid banyak dimanfaatkan dalam dunia farmasi [1] [3] [4]. Namun, terdapat suatu penelitian yang menjelaskan bahwasannya stabilitas kurkumin bergantung dari pH lingkungan [5]. Kurkumin memberikan perubahan warna yang jelas dan cepat yaitu kurang lebih 5 detik sehingga dimungkinkan digunakan sebagai indikator [6]. Dengan demikian, ekstrak kunyit dan temulawak memiliki potensi besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai indikator alami dalam titrasi alkalimetri karena dapat berubah warna pada lingkungan pH tertentu.

Pigmen warna kuning dalam kunyit dan temulawak dapat dipisahkan dengan cara ekstraksi [7] [8]. Ekstraksi digunakan untuk mendapatkan senyawa tertentu dalam suatu sampel dengan menggunakan pelarut yang sesuai. Metoda ekstraksi ada berbagai macam, namun yang paling sederhana adalah maserasi yang dilakukan dengan cara perendaman dengan pelarut yang sesuai.

Eksperimen

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini ada dua jenis yaitu rimpang kunyit dan rimpang temulawak. Secara umum penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu persiapan bahan, ekstraksi, analisis instrumentasi, analisis trayek pH, uji potensi indikator ekstrak rimpang pada titrasi alkalimetri, dan uji waktu simpan.

Rimpang kunyit dan temulawak dibersihkan dari kotoran dan dicuci sampai bersih, dikupas bagian luarnya, selanjutnya diparut sampai halus menggunakan parutan kelapa pada masing-masing sampel secara terpisah.

Rimpang kunyit yang telah halus ditimbang 50 gram dan dimaserasi dengan cara dilarutkan menggunakan pelarut metanol 200 mL selama 24 jam. Campuran disaring dengan menggunakan kertas saring untuk mendapatkan ekstrak dari sampel. Selanjutnya ekstrak inilah yang akan digunakan untuk pengujian lebih lanjut. Ekstraksi dilakukan dengan perlakuan yang sama pada rimpang temulawak.

Ekstrak rimpang diencerkan dengan menggunakan metanol selanjutnya dipindai menggunakan spektrofotometer *UV-Visible* pada rentang panjang gelombang 380 - 800 nm. Blangko yang digunakan adalah metanol sesuai dengan pelarut yang digunakan.

Ekstrak rimpang diambil sebanyak 2 ml kemudian dituangkan di atas kaca arloji (diameter 8 cm), dikeringkan dengan suhu 50 °C selama 3 hari. Sampel yang telah kering diambil dengan menggunakan spatula dan diletakkan di atas mortar dan dicampurkan dengan 150 mg KBr p.a yang telah di oven selama 24 jam. Campuran digerus sampai homogen dan dituangkan ke dalam cetakan pellet. Dilakukan tekanan 10 x 1.000 kg atau setara 10 ton untuk membuat pellet. Pellet dianalisis menggunakan FTIR sehingga didapatkan hasil berupa spektrum inframerah.

Ekstrak rimpang diteteskan pada berbagai larutan pH mulai dari pH 5 – 12, selanjutnya dilihat perubahan warna yang terjadi. Ekstrak diteteskan pada kuvet yang telah berisi larutan pH (pH 5 - 12) secara berurutan dan dipindai panjang gelombang maksimumnya dengan menggunakan spektrofotometri *UV - Visible*. Larutan untuk masing - masing pH dibuat dengan mencampurkan larutan HCl dengan NaOH sampai mencapai pH yang diinginkan.

Pengujian sebagai indikator dilakukan dengan cara indikator ekstrak diteteskan pada 10 mL larutan HCl 0,1 N selanjutnya diamati warna pada larutan. Dilakukan titrasi dengan NaOH 0,1 N sampai terjadi perubahan warna. Warna yang terbentuk diamati dan dicatat volume titrannya. Dilakukan hal yang sama dengan jumlah penetesan bervariasi mulai dari 1 - 3 tetes dan dilakukan juga dengan mengganti titrat dengan CH₃COOH 0,1 N.

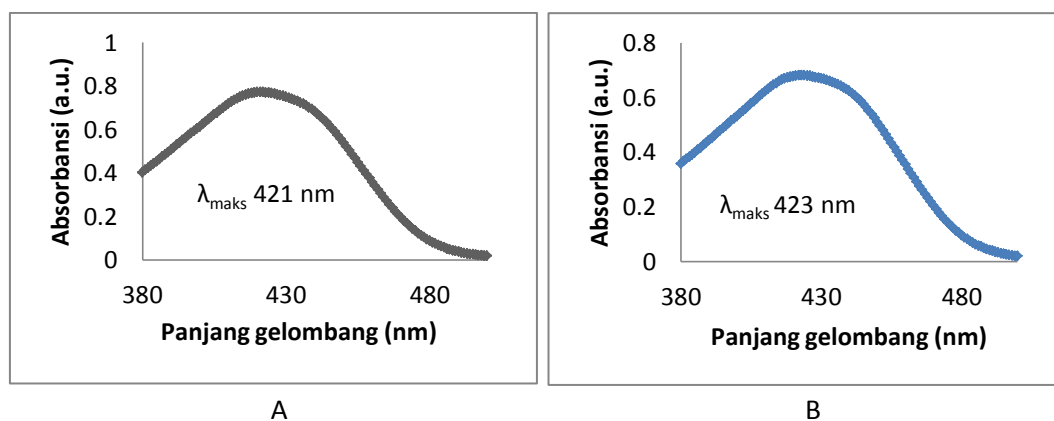
Uji titrasi alkalimetri dilakukan dengan memipet 10 mL larutan HCl 0,1 N dan dimasukkan ke erlenmeyer. Ditambahkan 3 tetes ekstrak rimpang kunyit / temulawak, selanjutnya dititrasi dengan larutan NaOH 0,1 N yang telah distandarisasi sampai mencapai titik akhir titrasi yang di tandai dengan perubahan warna. Titrasi dilakukan kembali dengan tahapan yang sama antara larutan basa kuat dengan asam lemah (NaOH–CH₃COOH). Titrasi dilakukan sebanyak 7 kali pengulangan. Titrasi dilakukan juga dengan indikator fenolftalein sebanyak 7 kali pengulangan sebagai pembanding.

Uji indikator selanjutnya dilakukan pada titrasi NaOH terhadap HCl dan CH₃COOH dibuat variasi konsentrasi (0,1; 0,2; 0,4; 0,8; 1,0 N) selanjutnya 10 mL dipipet dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer ditambahkan indikator ekstrak kunyit dan dititrasi dengan NaOH 1,0 N sampai terjadi perubahan warna. Tahapan yang sama dilakukan dengan menggunakan indikator ekstrak temulawak dan fenolftalein.

Tahap akhir pengujian indikator dilakukan untuk mengetahui berapa lama indikator dapat disimpan dengan hasil titrasi yang masih baik. 20 mL ekstrak rimpang dimasukkan ke dalam botol coklat sebanyak 4 botol untuk masing-masing sampel rimpang. Diberikan label minggu ke-1 sampai minggu ke-4 disimpan di tempat yang terhindar dari sinar matahari langsung. Setiap minggu secara bertahap dilakukan uji kelayakan pada indikator ekstrak rimpang tersebut dengan cara titrasi alkalimetri.

Hasil dan Diskusi

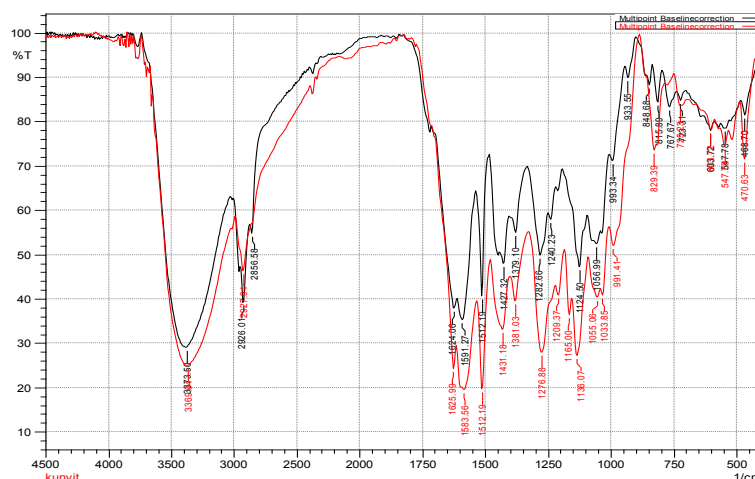
Hasil pengukuran λ_{maks} ekstrak rimpang kunyit dengan spektrofotometer *UV-Visible* adalah 421 nm sedangkan λ_{maks} ekstrak rimpang temulawak adalah 423 nm.



Gambar 1. A. Kurva λ_{maks} ekstrak rimpang kunyit dalam metanol. B. Kurva λ_{maks} ekstrak rimpang temulawak dalam metanol.

Dari **Gambar 1** terlihat bahwa λ_{maks} ekstrak rimpang kunyit dan temulawak masuk dalam rentang λ_{maks} kurkumin yaitu 420 – 430 nm dalam pelarut organik,^[1] sehingga dapat dijadikan acuan dalam pengukuran kualitatif yang bertanggungjawab memberikan warna yang dominan pada ekstrak tersebut adalah kurkumin.

Analisis spektrofotometer FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsional kurkumin yang terkandung dalam ekstrak rimpang kunyit dan temulawak. Pola serapan inframerah dari ekstrak rimpang kunyit dan temulawak ditunjukkan pada **Gambar 2**.



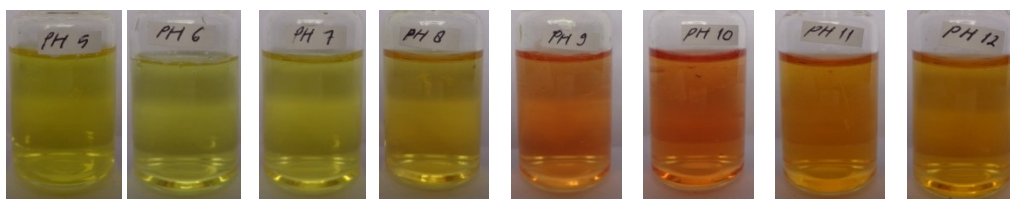
Gambar 2. Overlay spektrum IR ekstrak rimpang kunyit dan temulawak

Hasil analisis spektrofotometer FTIR menunjukkan bahwa terdapat serapan-serapan yang khas untuk gugus fungsi kurkumin seperti gugus O–H, benzena, metoksi, dan ikatan rangkap C=C. Selengkapnya interpretasi dari hasil analisis FTIR pada ekstrak rimpang kunyit dan temulawak disajikan dalam **Tabel 1**.

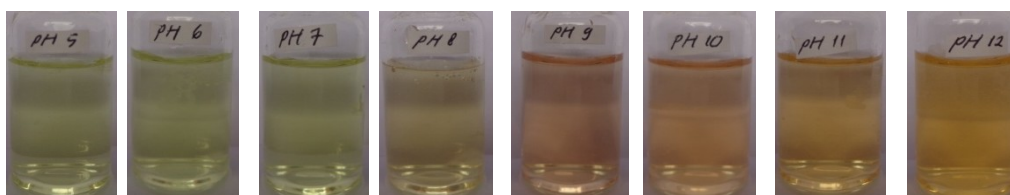
Tabel 1. Interpretasi spectrum IR pada ekstrak rimpang kunyit dan temulawak.

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Gugus Fungsi
E. Kunyit	E. Temulawak	
3369,64	3373,50	Vibrasi rentang ikatan O-H, baik substituen sistem aromatis ataupun adanya bentuk enol.
2927,94	2926,01 2856,58	Vibrasi rentang ikatan =C-H alifatis
991,41	993,34	Vibrasi lekuk =C-H
1625,99	1624,06	Vibrasi rentang C=O
1381,03	1379,10	Vibrasi lekuk C–H (CH ₃)
1431,18	1427,32	Vibrasi gugus metilen –CH–
1583,56	1591,27	
1512,19	1512,19	Vibrasi rentang simetris C=C cincin aromatis
829,39	815,89	
470,63	468,70	
1033,85	1056,99	Vibrasi rentang simetris cincin -O-C
1055,06		
1136,07	1124,50	Vibrasi rentang simetris cincin -O=C
1165,00		

Ekstrak rimpang mengalami perubahan warna yang mencolok pada pH 9. Warna ekstrak pada suasana asam adalah kuning, selanjutnya berubah menjadi kuning-merah pada pH 9.

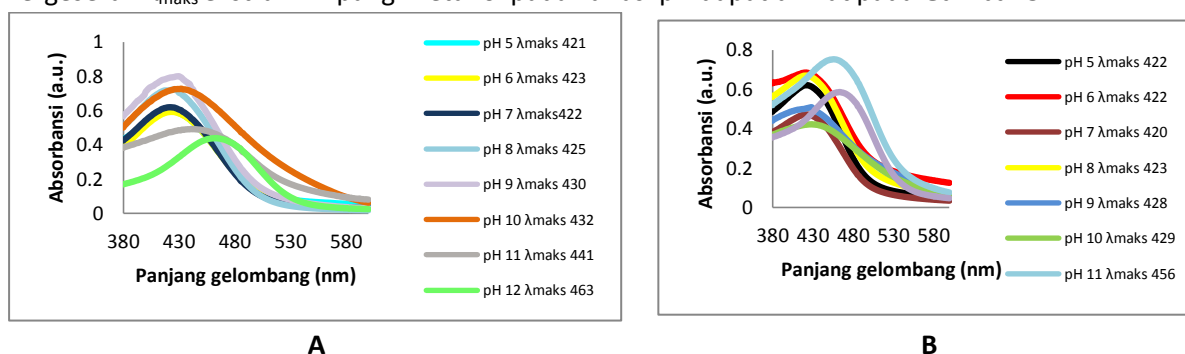


Gambar 3. Perubahan warna ekstrak rimpang kunyit-metanol pada variasi pH.



Gambar 4. Perubahan warna ekstrak rimpang temulawak-metanol pada variasi pH.

Perubahan warna yang terjadi dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**. Pada gambar tersebut dapat terlihat adanya perubahan yang sangat mencolok pada pH 9. Analisis secara visual tersebut dapat dijadikan rujukan sebagai tolak ukur dalam penentuan titik akhir titrasi. Ekstrak rimpang dianalisis menggunakan spektrofotometer *UV-Visible* pada variasi pH dan terjadi pergeseran λ_{maks} yang cukup besar dari pH 8 ke pH 9 dan dari pH 10 ke pH 11. Dari hasil analisis maka dapat ditentukan bahwa trayek pH dari ekstrak rimpang kunyit dan temulawak adalah dari pH 9 – 10. Pergeseran λ_{maks} ekstrak rimpang-metanol pada variasi pH dapat dilihat pada **Gambar 5**.

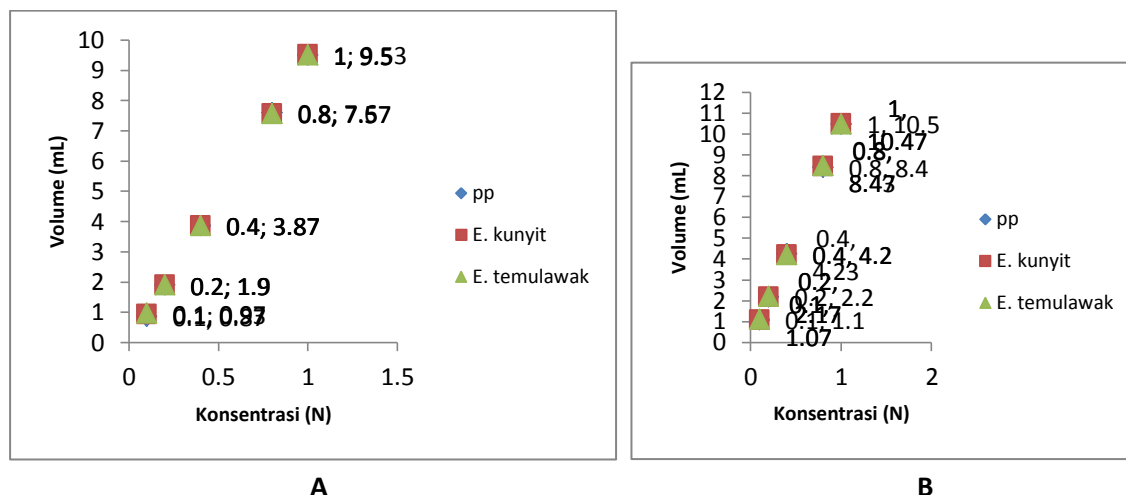


Gambar 5. A. Kurva λ_{maks} ekstrak rimpang kunyit-metanol pada variasi pH. B. Kurva λ_{maks} ekstrak rimpang temulawak-metanol pada variasi pH.

Jumlah penggunaan indikator ekstrak rimpang kunyit dan temulawak adalah 3 tetes karena menghasilkan perubahan warna yang mencolok. Aplikasi indikator ekstrak rimpang dilakukan dengan tujuh kali pengulangan untuk mengetahui tingkat keakuratan dan keberulangannya pada pembandingan yang digunakan. Volume titran yang didapatkan dengan penggunaan indikator ekstrak rimpang dan dibandingkan pada indikator fenolftalein secara umum tidak berbeda jauh dan selisihnya $\leq 0,8\%$.

Titration dengan variasi konsentrasi titrat (0,1 N; 0,2 N; 0,4 N; 0,8 N; dan 1 N), volume titran yang didapatkan secara umum, baik dengan indikator fenolftalein maupun indikator ekstrak rimpang

salang berdekatan dan dalam beberapa konsentrasi memiliki volume titran yang sama. Selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. A. Kurva volume rata-rata titrasi NaOH dengan variasi konsentrasi HCl. B. Kurva volume rata-rata titrasi NaOH dengan variasi konsentrasi CH₃COOH

Tabel 2. Volume rata-rata NaOH dan % selisih

Minggu ke-	Titrasi HCl dengan NaOH			Titrasi Asam asetat dengan NaOH		
	V _{rata-rata} NaOH (mL)		% selisih (Q)	V _{rata-rata} NaOH (mL)		% selisih (Q)
	pp	E. kunyit		pp	E. kunyit	
1	9,77	9,72	0,5	11,60	11,57	0,3
2	9,47	9,44	0,3	11,77	11,75	0,2
3	9,41	9,39	0,2	10,57	10,54	0,3
4	9,13	9,15	0,2	10,65	10,61	0,4

Minggu ke-	Titrasi HCl dengan NaOH			Titrasi Asam asetat dengan NaOH		
	V _{rata-rata} NaOH (mL)		% selisih (Q)	V _{rata-rata} NaOH (mL)		% selisih (Q)
	pp	E. temulawak		pp	E. temulawak	
1	9,77	9,70	0,7	11,60	11,51	0,8
2	9,47	9,43	0,4	11,77	11,74	0,3
3	9,41	9,39	0,2	10,57	10,54	0,3
4	9,13	9,12	0,1	10,65	10,61	0,4

Hasil evaluasi waktu simpan dengan pengujian titrasi selama satu bulan tidak menimbulkan selisih yang besar masih dalam rentang nilai $\leq 0,8\%$. Volume rata-rata NaOH dapat dilihat pada **Tabel 2**. Sehingga dapat dikatakan bahwa indikator ekstrak rimpang masih layak digunakan walaupun sudah satu bulan dari waktu pembuatan.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Ekstrak rimpang kunyit dan temulawak yang didapatkan dengan cara ekstraksi sederhana memiliki potensi untuk digunakan sebagai indikator pada titrasi alkalimetri.
2. Trayek pH pada indikator ekstrak rimpang kunyit dan temulawak dengan metoda ekstraksi yang sederhana adalah sekitar pH 9 – 10.

3. Penyimpanan indikator ekstrak rimpang kunyit dan temulawak selama satu bulan masih efektif untuk digunakan dalam titrasi.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Ketua Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah memberikan ijin dalam pemakaian alat-alat penelitian di laboratorium penelitian kimia. Peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada laboran kimia analitik ITB yang telah membantu dalam proses analisis data.

Referensi

- [1] G.K. Jayaprakasha, L. Jagan Mohan Rao, and K.K. Sakariah, "Chemistry and biological activities of *C. longa*", Trends in Food Science & Technology, 16: 533–548, 2005
- [2] Dewi K.A.K.Hastuti dan Yohanes Martono, "Isolasi dan Kristalisasi Kurkumin dari Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), Temugiring (*Curcuma heyneana*) dan Kunyit (*Curcuma longa*)", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains VIII Fakultas Sains dan Matematika (UKSW 2013), 15 Juni, Salatiga, Indonesia, ISSN: 2087-0922
- [3] M. Akram, Shahab Uddin, Afzal Ahmed, Khan Usmanghani, Abdul Hannan, E. Mohiuddin, and M. Asif, "Curcuma Longa And Curcumin: A Review Article", Rom. J. Biol. – Plant Biol, 55(2): 65–70, 2010
- [4] Yogesh Panditrao Palve and P.L. Nayak, "Curcumin: A wonder anticancer drug", Int J. Pharm Biomed Sci, 3(2): 60-69, ISSN: 0976-5263, 2012
- [5] Tonnesen dan Karlsen dalam Timur Hadiprabowok, "Optimasi Sintesis Analog Kurkumin 1,3-Bis-(4-Hidroksi-3-Metoksi Benzilidin) Urea Pada Rentang pH 3-4", Skripsi, Fakultas Farmasi, Universitas Muhammadiyah, Surakarta, 1985, P. 1
- [6] Mohamad R. dalam Ratna Sri Harjanti, "Pemungutan Kurkumin dari Kunyit (*Curcuma domestica* Val.) dan Pemakaiannya Sebagai Indikator Analisis Volumetri", J. Rekayasa Proses, 2(2): 49-54, 2008
- [7] Wahyuni, A. Hardjono, dan Paskalina Hariyantiwasi Yamrewav, "Ekstraksi Kurkumin dari Kunyit", Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, ISSN: 1411-4216, 2004
- [8] Imam Paryanto dan Bambang Srijanto, "Ekstraksi Kurkuminoid dari Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* Roxb.) secara Perkolasi dengan Pelarut Etanol", J. Ilmu Kefarmasian Indonesia, 4(2): 74-77, 2006

Sintesis Silika Gel dari Abu Ampas Tebu Sebagai Adsorben ion Mg^{2+}

Eko Prabowo Hadisantoso^{1, a)} dan Iskandar Berlian¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati,
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru, Bandung 40614, Indonesia
email : ^{a)}ekopra05@gmail.com

Abstrak

Tingginya konsentrasi ion Mg^{2+} dalam perairan menyebabkan kesadahan yang merugikan karena menimbulkan kerak pada pipa atau dasar ketel. Penanganan ion Mg^{2+} yang cukup efektif dilakukan adalah dengan metode adsorpsi. Telah dilakukan penelitian sintesis silika gel dari abu ampas tebu menggunakan metode *sol-gel*. Silika gel yang diperoleh digunakan sebagai adsorben dalam penanganan ion Mg^{2+} . Penelitian diawali dengan pencucian menggunakan larutan HCl yang dilanjutkan dengan pengabuan. Selanjutnya dilakukan ekstraksi menggunakan larutan NaOH. Filtrat natrium silikat yang terbentuk ditambahkan tetes demi tetes larutan asam klorida hingga campuran mencapai pH 10. Gel yang terbentuk didiamkan selama 24 jam, disaring dan dicuci dengan aqua DM, serta dikeringkan dalam oven dengan suhu 80 °C selama 12 jam. Karakterisasi silika gel dilakukan dengan identifikasi gugus fungsi menggunakan spektroskopi infra merah (FTIR) dan kristalinitas menggunakan difraksi sinar-X (XRD). Dilakukan juga uji adsorpsi terhadap ion logam Mg^{2+} berdasarkan konsentrasi dan variasi waktu kontak. Hasil karakterisasi gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan bahwa silika gel hasil sintesis mempunyai gugus fungsi silanol, siloksan dan siloksi dan uji kristalinitas menggunakan XRD menunjukkan struktur amorf. Pada variasi konsentrasi, diperoleh % teradsorpsi cenderung konstan seiring bertambahnya konsentrasi adsorbat, sedangkan pada waktu kontak diperoleh kecenderungan konstan pada % teradsorpsi seiring bertambahnya waktu kontak.

Kata kunci: abu ampas tebu, sol-gel, silika gel, adsorpsi ion Mg^{2+}

Pendahuluan

Salah satu pemanfaatan abu ampas tebu yang belum banyak dilakukan adalah sebagai bahan baku sintesis silika gel. Silika gel dapat digunakan sebagai adsorben dan padatan pendukung pada pembuatan keramik [1]. Hal ini tidak terlepas dari sifat silika gel yang memiliki sisi aktif pada permukaan, seperti adanya gugus silanol, siloksan, dan struktur mikropori yang memberikan luas permukaan yang besar. Silika gel yang memiliki gugus silanol bebas dan gugus siloksan diketahui mampu mengadsorpsi ion logam, seperti Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan Fe^{3+} [2] yang biasanya menimbulkan pencemaran lingkungan diantaranya kesadahan.

Kesadahan adalah salah satu dampak yang dihasilkan dari tingginya kandungan seperti Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan Fe^{3+} di badan air. Kesadahan juga merupakan salah satu sifat kimia yang dimiliki oleh air. Penyebab air menjadi sadah adalah karena adanya ion-ion Mg^{2+} , Ca^{2+} , atau dapat juga disebabkan karena adanya ion-ion lain dari logam polivalen (logam bervalensi banyak) seperti Al, Fe, Mn, Sr dan

Zn dalam garam sulfat, klorida dan bikarbonat dalam jumlah kecil [3]. Salah satu akibat dari kesadahan adalah terjadinya pengendapan mineral, yang menyumbat saluran pipa dan keran. Oleh karena itu harus ada penanganan lebih lanjut yang lebih efisien dan mudah seperti menggunakan adsorben.

Telah dilakukan sintesis silika gel dari abu ampas tebu dengan tidak memodifikasi permukaannya sebagai adsorben ion logam magnesium (Mg^{2+}). Silika gel yang di sintesis dari abu ampas tebu akan di karakterisasi jenis gugus fungsinya dengan menggunakan FTIR, serta kristalinitasnya dengan menggunakan XRD dan pemeriksaan seberapa besar silika gel ini bisa melakukan adsorpsi ion logam Mg^{2+} akan menggunakan AAS.

Metoda Penelitian

Bahan. Bahan kimia yang digunakan memiliki grade p.a., yaitu NaOH (Merck®), HCl 36% (Merck®), $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (Merck®). Sampel arang ampas tebu diperoleh dari PT. Pabrik Gula Rajawali II Subang.

Instrumen. Silika gel yang dihasilkan diuji gugus fungsinya menggunakan FTIR, dan kristalinitasnya menggunakan XRD. Untuk pengujian konsentrasi ion Mg^{2+} digunakan instrumen AAS.

Sintesis Silika. Sampel arang ampas tebu dibersihkan dari pengotor-pengotor. Sebanyak 100 gram dikalsinasi pada suhu 700 °C selama 4 jam. Sebanyak 10 gram abu ampas tebu kering yang telah dicuci dilakukan pencucian kembali dengan menggunakan HCl 1 M selama 2 jam sambil dilakukan pengadukan, kemudian disaring. Selanjutnya residu yang diperoleh diekstraksi menggunakan 60 mL larutan NaOH 1 M sambil diaduk di suhu 80 °C selama 1 jam untuk mendapatkan natrium silikat. Larutan natrium silikat yang terbentuk disaring dalam keadaan panas dan dibilas. Larutan natrium silikat hasil penyaringan ditempatkan dalam wadah plastik dan ditambahkan HCl 0,8 M tetes demi tetes sambil diaduk dengan pengaduk magnet dan diteruskan hingga pH 10 kemudian dilakukan penumbuhan selama 24 jam sampai terbentuk aquagel. Aquagel yang terbentuk disaring dan dicuci dengan aqua DM hingga netral. Serbuk silika gel kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 80°C selama 12 jam, disusul dengan kalsinasi pada suhu 700°C selama 4 jam. Silika gel yang diperoleh dianalisis gugus fungsinya menggunakan FTIR dan XRD.

Adsorbsi

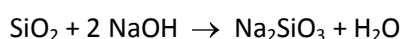
Variasi waktu kontak. Proses adsorpsi untuk variasi waktu ion logam Mg^{2+} menggunakan metode *Batch*. Sebanyak 25 mL larutan Mg^{2+} 30 ppm dimasukkan pada 5 gelas kimia. Waktu kontak antara adsorben dengan ion logam Mg^{2+} yang diberikan divariasikan pada rentang waktu kontak 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit. Dimana 0,1 gram silika gel sebagai adsorben yang telah dimasukkan ke dalam setiap gelas kimia 100 mL. Filtratnya diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimumnya.

Variasi konsentrasi. Proses adsorpsi untuk variasi konsentrasi ion logam Mg^{2+} dilakukan dengan beberapa konsentrasi yang divariasikan pada konsentrasi 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm sebanyak 25 mL pada tiap konsentrasinya. Dimana 0,1 gram silika gel dimasukkan ke dalam 5 gelas kimia 100 mL dengan konsentrasi yang berbeda pada tiap gelas kimia yang telah disediakan. Absorbansi larutan terhadap blanko diukur pada panjang gelombang maksimum.

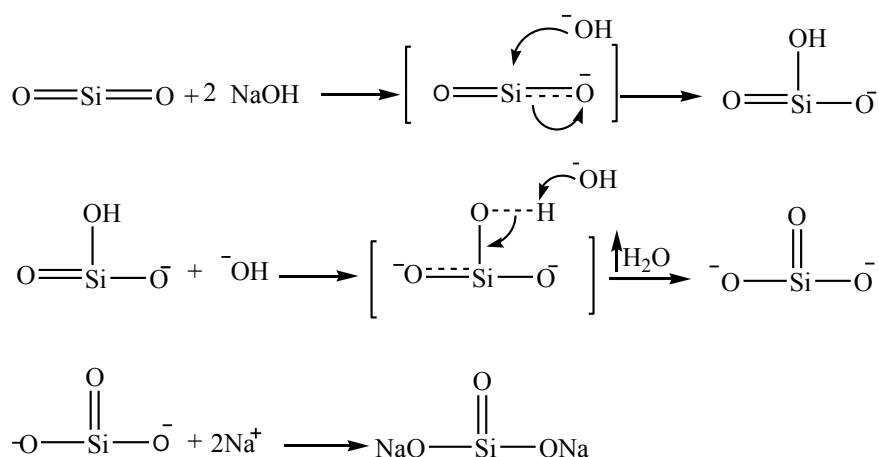
Hasil dan Diskusi

Silika yang terdapat dalam arang ampas tebu dapat dibuat menjadi larutan natrium silikat melalui proses ekstraksi menggunakan larutan natrium hidroksida. Abu ampas tebu ini merupakan hasil dari proses kalsinasi arang ampas tebu. Proses kalsinasi ditandai dengan berubahnya warna dan berat sampel sebelum dan sesudah kalsinasi. Pencucian asam bertujuan untuk memisahkan oksida-oksida logam yang masih terdapat dalam sampel. Pengotor yang terdapat dalam arang ampas tebu ini adalah K_2O , CaO , TiO_2 , MnO , Fe_2O_3 , CuO dan ZnO .

garam-garam hasil reaksi ini merupakan garam-garam yang memiliki kelarutan cukup tinggi dalam air. Selanjutnya dilakukan proses filtrasi menggunakan kertas saring, yang bertujuan untuk memisahkan filtrat dan residu. Proses selanjutnya ekstraksi larutan natrium silikat dari abu ampas tebu dengan menggunakan $NaOH$ 1 M. Dalam ekstraksi ini terjadi beberapa reaksi kimia yang bertujuan untuk menghasilkan larutan natrium silikat sesuai dengan reaksi:



Untuk memperjelas persamaan reaksi di atas bisa dilihat dalam mekanisme pada Gambar 1



Gambar 1. Mekanisme Pembentukan Natrium Silikat

Mula-mula SiO_2 direaksikan dengan $NaOH$, larutan $NaOH$ akan mengalami disosiasi sempurna apabila direaksikan dengan air menjadi ion Na^+ dan ion OH^- sehingga akan terjadi tiga tahapan reaksi dalam pembuatan Na_2SiO_3 . Yang pertama pembuatan $Si-O^-$. Ion OH^- merupakan spesi nukleofil kuat karena berupa basa lewis yang akan menyerang ke gugus fungsi yang memiliki spesi positif (elektrofilik) yaitu gugus Si pada SiO_2 . Dari penyerangan nukleofilik ke elektrofilik mengakibatkan terjadinya kelebihan elektron pada Si dan akhirnya terjadi perpindahan elektron dari Si ke salah satu atom O yang memiliki ikatan phi (rangkap) dari SiO_2 , sehingga terjadi reaksi adisi pada atom $Si=O$ menjadi $Si-O^-$. Dari reaksi adisi tersebut terbentuklah reaksi SiO_2OH .

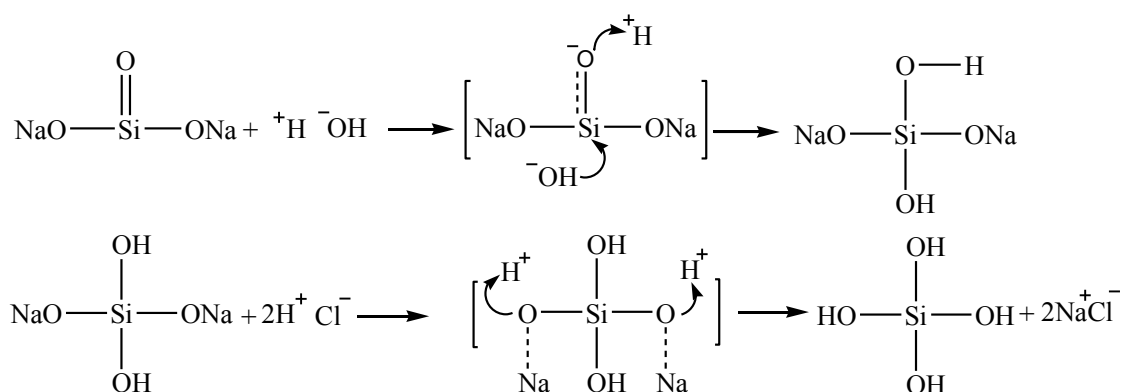
Selanjutnya tahap ke dua dengan penambahan OH^- yang kedua. OH^- yang merupakan spesi nukleofilik akan menyerang H pada gugus OH dalam SiO_2OH . Hal ini dikarenakan H pada gugus OH mengalami protonisasi, sehingga H^+ akan diserang oleh OH^- yang merupakan nukleofilik dan menghasilkan H_2O , dampak dari penyerangan OH^- pada H^+ adalah terjadinya reaksi eliminasi pada gugus $Si-OH$ menjadi gugus $Si=O$ reaksi ini juga sering disebut reaksi dehidrohalogenasi. Dari proses reaksi dehidrohalogenasi ini atom Si menjadi kelebihan elektron sehingga akan ada perpindahan

spasi dari Si ke O dan terjadinya reaksi adisi dari atom Si=O menjadi Si-O⁻, sehingga akan membentuk SiO₃²⁻.

Tahap terakhir adalah proses pembuatan Na₂SiO₃. Pertama-tama SiO₃²⁻ akan bereaksi dengan 2 Na⁺ dari 2 NaOH yang ditambahkan diawal, dari reaksi ini akan menghasilkan Na₂SiO₃.

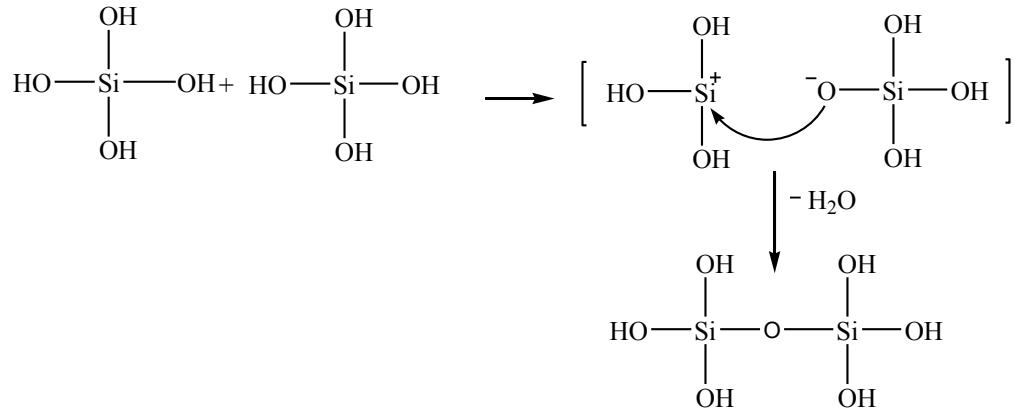
Sintesis Silika Gel

Penambahan HCl ke dalam larutan natrium silikat bertujuan untuk menumbuhkan monomer-monomer asam silikat yang nantinya akan membentuk gel. Sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Agus Prastiyanto, dkk asam silikat dalam air membentuk dispersi asam silikat yang disebut dengan hidrosol. Selanjutnya, monomer-monomer asam silikat akan mengalami polimerisasi kondensasi membentuk dimer, trimer, dan seterusnya sampai akhirnya membentuk polimer asam silikat. Proses lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Pembentukan Asam Silikat

Pada pembentukan asam silikat ini H₂O sangat berperan dalam pemutusan ikatan phi menjadi ikatan tunggal peristiwa ini biasa disebut dengan reaksi adisi, karena dengan adanya OH⁻ yang menyerang Si menyebabkan ikatan phi yang dimiliki oleh Si dengan OH bisa terputus, sehingga atom O menjadi bermuatan negatif (nukleofilik). Adanya gugus O⁻ yang bersifat nukleofilik maka akan diserang oleh atom yang bersifat elektrofilik yaitu H⁺ yang menghasilkan gugus OH pada salah satu tangan yang dimiliki oleh Si. Penambahan HCl bertujuan untuk membuat gugus -Si-ONa terprotonasi dan kestabilan elektron terganggu sehingga akan terjadi reaksi sibtitusi antara atom Na⁺ dengan H⁺. Selanjutnya atom Na⁺ yang terlepas akan bereaksi dengan Cl⁻ dari HCl dan akan membentuk garam NaCl. Sehingga dalam reaksi ini menghasilkan gugus HO-Si. Selanjutnya asam silikat ini akan saling bereaksi dengan asam silikat lainnya sehingga akan memicu terjadinya pembentukan gugus siloksan (Si-O-Si), sehingga dihasilkan gel silika yang kaku. Proses lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3. Pembuatan Gugus Siloksan

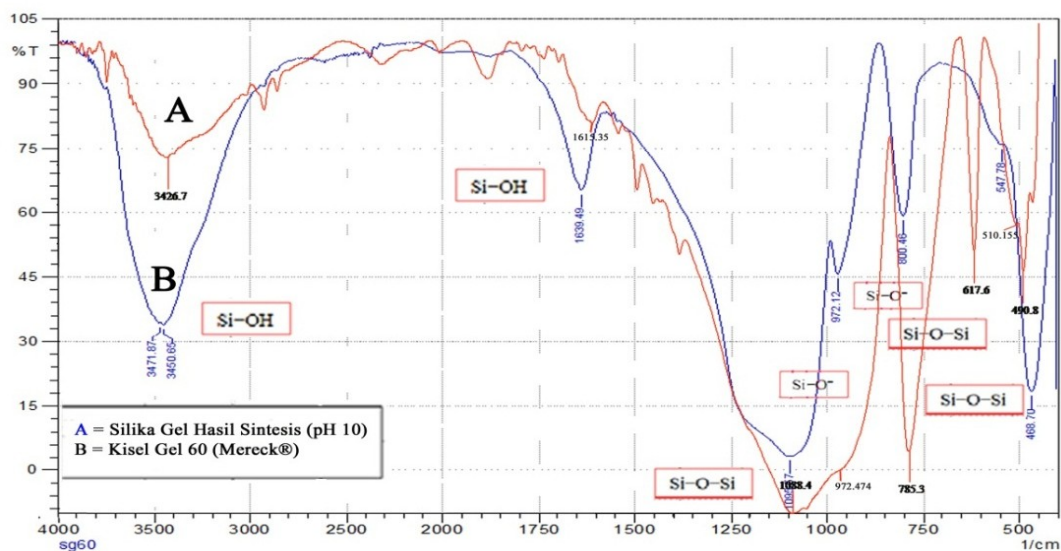
Pembentukan gugus siloksan terjadi karena pada saat larutan natrium silikat ditambah HCl, gugus –OH dari silanol (Si–OH) yang terbentuk mengalami hidrasi dan membentuk ⁺OH₂ yang merupakan gugus pergi yang baik. Hal ini akan memudahkan gugus –OH dari Si–OH yang lain untuk melepaskan ⁺OH₂ yang pergi sehingga membentuk gugus atau ikatan siloksan (Si–O–Si). Ikatan siloksan yang terbentuk akan menghasilkan struktur siklis yang selanjutnya dapat membentuk bola-bola polimer. Struktur siklis yang terbentuk menyebabkan gel bersifat kaku (aquagel).

Aquagel ini didiamkan selama 24 jam (*aging*) yang bertujuan agar aquagel mengalami kondensasi bola-bola polimer dan mengalami penyusutan volume yang disertai dengan pelepasan garam-garam yang masih tersisa sehingga dihasilkan hidrogel. Untuk menghilangkan garam-garam yang masih melekat dilakukan pencucian terhadap hidrogel dengan aqua DM. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu 80° C selama 18 jam sebagai proses pengeringan dengan menggunakan oven sehingga dihasilkan xerogel. Pengeringan dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dalam sampel dengan menguapkan air dari permukaan bahan.

Setelah proses pengeringan dilakukan pencucian sebanyak dua kali dengan menggunakan aqua DM yang bertujuan untuk meyakinkan xerogel telah bersih dari garam-garam pengotor, tahap terakhir dilakukan pengeringan xerogel dengan kalsinasi ulang pada suhu 700° C selama 4 jam sehingga didapatkan silika gel murni yang berbentuk serbuk.

Karakterisasi Silika Gel

Analisis Gugus Fungsi (FTIR). Proses karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam sampel silika gel. Dari Gambar 5 bisa diketahui hasil karakterisasi dengan FTIR disana dijelaskan terdapat gugus fungsi dari serapan antara gugus silanol (Si-OH), dan siloksan (Si-O-Si) pada sampel silika gel hasil sintesis dari abu ampas tebu dan kemudian dibandingkan dengan KG 60G. Hasil pengukuran FTIR bisa dilihat pada Gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4. A; Sektrum FTIR pada silika gel hasil sintesis dan B ;kiesel gel 60G Merck®.

Dari hasil karakterisasi dengan FTIR pada KG 60G diperoleh serapan karakteristik pada pita dengan bilangan gelombang $3471,87 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi regangan gugus -OH dari Si-OH . Pita serapan pada bilangan gelombang $1639,49 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk -OH dari molekul air. Pita serapan pada bilangan gelombang $1095,57 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si . Pita serapan pada bilangan gelombang $972,12 \text{ cm}^{-1}$ dan $800,46 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi regangan gugus Si-O dari Si-O^- . Pita serapan pada $670,91 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi asimetri Si-O-Si dan yang terakhir pita serapan pada $468,70 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si .

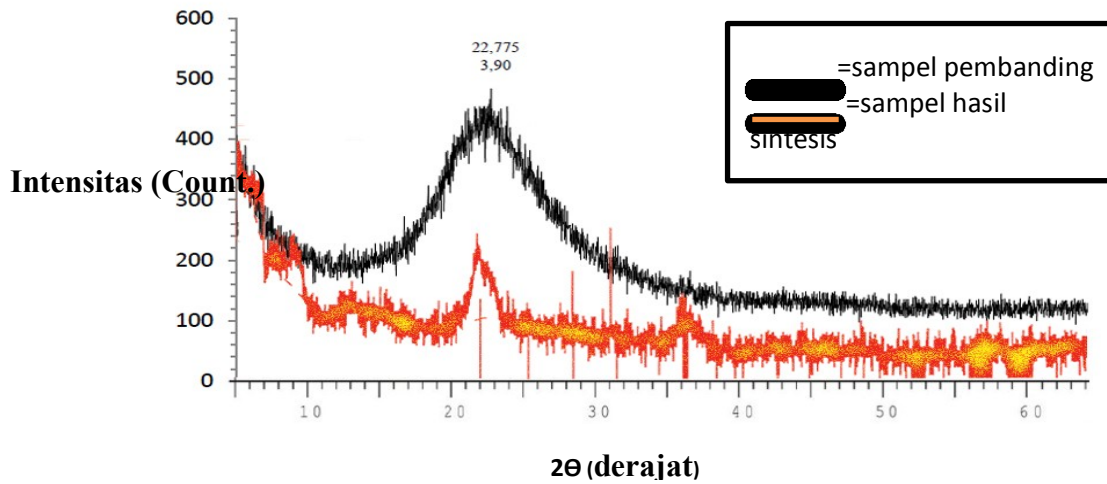
Sedangkan hasil spektra pada silika gel hasil sintesis dari abu ampas tebu, spektra yang dihasilkan hampir mirip dengan KG 60G sebagai pembanding. Namun pada silika gel hasil sintesis (menunjukkan serapan yang melebar pada pita bilangan gelombang $3469,7 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi rentangan gugus -OH dari Si-OH yang melebar, kemudian gugus -OH dipertegas dengan adanya puncak pada spektra pada pita bilangan gelombang $1615,35 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya bengkokan pada gugus -OH dari Si-OH sehingga tidak bisa melihat titik puncak yang besar. Selanjutnya muncul pita bilangan gelombang $1088,4 \text{ cm}^{-1}$, $617,6 \text{ cm}^{-1}$, dan $490,8 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus Si-O-Si baik yang berbentuk vibrasi tekuk atau vibrasi asimetri. Yang terakhir adanya pada pita bilangan gelombang $972,474 \text{ cm}^{-1}$ dan $785,3 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur asimetri Si-O dari Si-O^- .

Hasil sintesis silika gel dari abu ampas tebu memberikan pola pita serapan yang muncul pada spektrum inframerah yang menunjukkan bahwa gugus-gugus fungsional yang terdapat pada silika gel hasil sintesis dari abu ampas tebu adalah gugus silanol (Si-OH), gugus siloksan (Si-O-Si) dan gugus siloksi (Si-O^-). Hal tersebut menunjukkan bahwa silika gel hasil sintesis hampir menyerupai KG 60G sebagai pembanding.

Analisis Difraksi Sinar-X (XRD). Analisis Difraksi Sinar-X merupakan suatu uji karakterisasi yang bertujuan untuk mengetahui fasa yang terbentuk dari satu sampel khususnya yang berbentuk padatan. Suatu pembentukan kristal akan barbanding lurus dengan peningkatan suhu pemanasan, sampai terbentuknya kristal secara sempurna^[23]. Dengan demikian, kenaikan intensitas puncak SiO_2

menandakan adanya pertumbuhan kristal. Derajat kekristalan bentuk SiO_2 pada suhu kalsinasi 700°C dikatakan rendah, karena hanya bisa menghasilkan intensitas sekitar 200-300, artinya pada daerah ini berfasa SiO_2 -amorf yang masih mendominasi pada bentuk SiO_2 yang dihasilkan.

Puncak SiO_2 yang memiliki kekristalan tinggi ditunjukkan dengan bentuk puncak yang menajam pada $2\theta = 20-25^\circ$, puncak ini akan semakin tinggi ketika suhu kalsinasi dinaikkan. Namun pada penelitian kali ini pemanasan dilakukan pada suhu 700°C selama 4 jam sehingga silika gel yang dihasilkan berbentuk SiO_2 -amorf.



Gambar 5. Difraksi sinar-X pada silika gel (A: hasil sintesis) dan kiesel gel 60G dari Merck® (B: silika gel pembeding)

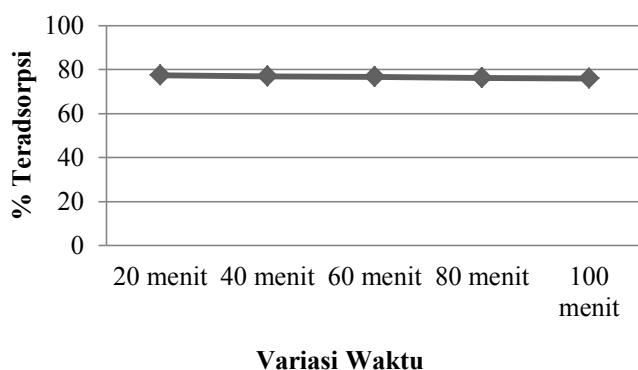
Dari Gambar 5 tersebut, terlihat bahwa silika amorf yang dikalsinasi dengan suhu 700°C selama 4 jam (hasil sintesis) memiliki sedikit perbedaan dengan silika amorf pembeding (KG 60G). Silika amorf yang dikalsinasi pada suhu 700°C memiliki fasa amorf dengan struktur yang lebih lancip dan puncak intensitas yang tajam serta puncak yang sempit dibandingkan silika gel komersil (KG 60G) yang tidak dikalsinasi. Tingkat intensitas merupakan suatu indikator yang bias menunjukkan tingkat kekristalannya, sehingga semakin tinggi intensitas maka tingkat kekristalannya semakin tinggi, dan apabila kita membandingkan antara silika gel sintesis dengan silika gel komersil masih baik silika gel komersil walau puncak intensitasnya kurang lancip dan tajam, namun silika gel komersil ini memiliki ketinggian melebihi ketinggian intensitas yang dimiliki oleh silika gel hasil sintesis. Oleh karena itu untuk mendapatkan fasa kristalin maka harus dilakukan pemanasan pada suhu dan tekanan tinggi yaitu pada suhu antara 870°C – 1470°C agar kristalinitas SiO_2 meningkat dan dapat terbentuk fase kristobalit dan tridimit.

Adsorpsi Silika Gel

Adsorpsi merupakan proses penarikan komponen dari campuran gas atau cairan dimana komponen yang akan dipisahkan ditarik oleh permukaan adsorben. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya waktu kontak dan konsentrasi larutan yang digunakan. Silika gel yang digunakan sebagai adsorben adalah silika gel hasil sintesis dari abu ampas tebu. Metode yang digunakan dalam metode *batch* dimana silika gel hasil sintesis dijadikan adsorben dan ion logam Mg^{2+} sebagai sampel yang akan di adsorpsi.

Adsorpsi Silika Gel Variasi Waktu Kontak. Waktu kontak digunakan untuk mengetahui waktu maksimal adsorpsi, dimana waktu interaksi ion logam dan adsorben merupakan parameter penting yang diperlukan dalam proses adsorpsi. Oleh karena itu, optimasi waktu kontak dilakukan agar silika gel dapat mengadsorpsi ion logam Mg^{2+} secara maksimal.

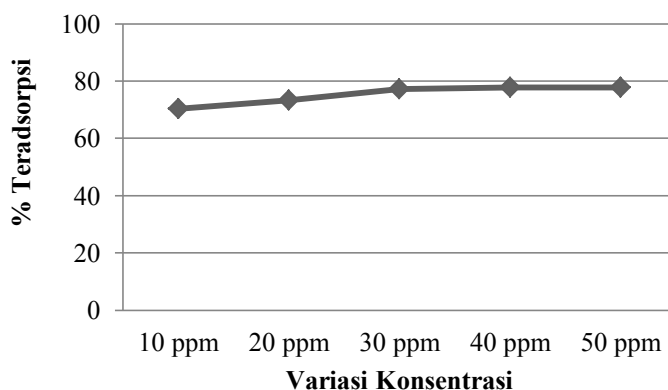
Pada adsorpsi ion logam Mg^{2+} kali ini dengan menggunakan variasi waktu sebagai acuan, dalam hal ini peneliti bertujuan untuk mengetahui waktu optimal adsorpsi ion logam Mg^{2+} berdasarkan waktu yang diberikan yaitu kisaran 20 menit, 40 menit, 60 menit, 80 menit dan 100 menit. Silika gel yang disediakan sebagai adsorben sebanyak 0.1 gram dalam 30 ppm konsentrasi larutan standar ion logam Mg^{2+} . Kurva waktu adsorpsi bisa dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Kurva Konsentrasi Teradsorpsi Variasi Waktu

Dari Gambar 6 menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam Mg^{2+} cenderung konstan, terlihat dari menit ke 20 sampai menit ke 100 adsorpsi yang terjadi. Bisa dikatakan jumlah adsorben mengalami batas maksimal adsorpsi atau permukaan adsorben sudah mengalami kejenuhan. Sehingga adsorpsi ion logam Mg^{2+} cenderung konstan di 76.61 % atau penyerapan 19.87 ppm dari jumlah sampel awal seberat 25.93 ppm

Adsorpsi Silika Gel Variasi Konsentrasi. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya konsentrasi yang dimiliki sampel yang akan di adsorpsi. Adsorpsi silika gel pH 10 terhadap ion logam Mg^{2+} dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan ion logam Mg^{2+} 6,82 ppm; 10,12 ppm; 25,93 ppm; 36,4 ppm; dan 43,72 ppm. Proses adsorpsi dilakukan pada waktu konstan yakni 60 menit dengan metode *batch*. Campuran kemudian disaring dan filtrat yang dihasilkan diuji konsentrasi ion logam Mg^{2+} yang tersisa dengan AAS. Hasil pengukuran AAS ini diplotkan pada kurva sesuai Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Adsorpsi Dengan Variasi Konsentrasi

Pada gambar Gambar 7 terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi ion logam Mg^{2+} dalam larutan sampel, maka adsorpsi semakin tinggi juga. Hal ini menyatakan bahwa adsorpsi adsorben terhadap sampel ion logam Mg^{2+} tidak terpengaruh oleh jumlah adsorben yang tetap, namun adsorpsi tergantung pada jumlah matrik yang ada dalam sampel yang diberikan. Adsorbansi adsorpsi tertinggi dicapai pada konsentrasi 50 ppm dengan berat adsorben 0.1 gram. Pada konsentrasi tersebut adsorbansi adsorpsi sebesar 77.80 % atau sekitar 34.01 gram dari berat asal 43.72 gram. Hal ini bisa dikarenakan jumlah adsorbat yang terserap pada adsorben meningkat secara linier dengan bertambahnya konsentrasi adsorbat dan jumlah zat yang teradsorpsi akan sebanding dengan tekanan atau konsentrasi yang ditambahkan. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini bersesuaian dengan penelitian Syarief, 2010 yang menyatakan bahwa semakin bertambahnya konsentrasi maka semakin banyak molekul adsorbat dan adsorben yang saling berinteraksi dalam proses adsorpsi. Hal tersebut menyebabkan adsorpsi cenderung semakin meningkat

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian Sintesis Silika Gel dari Abu Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Mg^{2+} adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan data FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy) silika hasil sintesis (SG 10) memiliki gugus fungsi silanol, siloksan dan siloksi. Berdasarkan difaktogram sinar-X, silika hasil sintesis memiliki difaktogram berstruktur amorf, dan menunjukkan pola yang mirip dengan kiesel gel 60G.
2. Pada variasi konsentrasi, diperoleh % teradsorpsi cenderung konstan seiring bertambahnya konsentrasi adsorbat, sedangkan pada waktu kontak diperoleh kecenderungan konstan pada % teradsorpsi seiring bertambahnya waktu kontak.

Referensi

- [1] Yudo Hartono, Jatmiko Sukanto 2008. Analisa Teknis Kekuatan Mekanis Material Komposit Berpenguat Serat Ampas Tebu (Baggase) Ditinjau Dari Kekuatan Tarik Dan Impak, Jurnal KAPAL, Vol. 5, No.2, Juni 2008.
- [2] Azmiyawati Choiril, 2006. Kajian Kinetika Adsorpsi $Mg(II)$ Pada Silika Gel Termodifikasi Gugus Sulfonat, Jurnal JKSA, Vol.VII, No.1, Agustus 2006.
- [3] Hafni Effendi, 2003. Telaah Kualitas Air, Kansinus, Yogyakarta. Kanisius.
- [4] Affand Samsudin, dkk, 2009, :A facile method for production of high-purity silica xerogels from bagasse ash, *Advanced Powder Technology* 20 (2009) 468–472
- [5] Sriyanti, Dkk. 2005. Pengaruh Keasaman Medium Dan Imobilisasi Gugus Organik Pada Karakter Silika Gel Dari Abu Sekam Padi, JSKA. Vol. VIII.
- [6] Treacy M. M. J, and J.B. Higgins, 2007. Collection of Simulated XRD Powder Patterns for Zeolites. Amsterdam, The Netherlands Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK
- [7] Van Vlack, Lawrence. 1985, : Elements of Material Science and Engineering 5th edition. USA : Addison-Wesley Publishing Company. Alih bahasa Djaprie, Sriati. 1991. Ilmu dan Teknologi Bahan Edisi Kelima. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [8] Amrin, Dita Ardilla, 2013: Analisis Besi (Fe) dan Aluminium (Al) Dalam Tanah Lempung Secara Spektrofotometri Serapan Atom, Prosiding Semirata 2013 FMIPA Unila.
- [9] Weintraub, steven. 2002. Demystifying silica gel. Object specialty group postprints, (vol. 9), New York.
- [10] Prastiyanto, Agus., Choiril Azmiyawati., Choiril., Adi Darmawan, Adi. Pengaruh penambahan merkaptobenzotiazol (MBT) terhadap kemampuan adsorpsi gel silika dari kaca pada ion logam cadmium. Kimia Anorganik Jurusan Kimia Universitas Diponegoro Semarang

- [11] Hanafi, A., Nandang, A. 2010. Studi Pengaruh Bentuk Silika dari Abu Ampas Tebu terhadap Kekuatan Produk Keramik. Pusat Penelitian Kimia - LIPI Vol (5), 1. 35-38.
- [12] Latif, Chaironi., Triwikantoro., Fisika, Munasir. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Pada Struktur Silika. JURNAL SAINS DAN SENI POMITS Vol. 3 (1)
- [13] Iler, K. Ralp. 1978. The Chemistry Of Silica Solubility, Polimerization, Coloid and Surface Properties Biochemistry. New York: A Wiley-Interscience

Pengaruh Asam Pada Penentuan Antimoni (Sb(III) dan Sb(V)) Menggunakan Teknik Pembangkit Hidrida - Spektrofotometri Serapan Atom (HG-AAS)

Herlinawati^{1,a)}, M. Bachri Amran,^{2,b)} dan Buchari^{3,c)}

¹ Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Medan (UNIMED)

^{2,3} Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Bandung (ITB)

email : ^{a)}herlinazalfa77@gmail.com, ^{b)}amran@chem.itb.ac.id, ^{c)}buchari@chem.itb.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan penentuan serapan antimoni (Sb(III) dan Sb(V)) menggunakan teknik HG - AAS. Penentuan ion logam antimoni dan dalam bentuk senyawa-senyawa antimoni secara langsung dengan AAS kurang sensitif, sehingga perlu dicari suatu metode yang dapat meningkatkan kesensitifan pengukuran yaitu dengan menggunakan teknik pembangkit hidrida, HG (*Hydride Generation*) sehingga dapat meningkatkan kinerja analitiknya. Untuk memperoleh serapan antimoni yaitu Sb(III) dan Sb(V) yang optimum maka dalam penelitian ini telah diteliti beberapa kondisi optimum teknik HG-AAS yaitu dengan melihat parameter yang berpengaruh pada proses pembentukan hidridanya yaitu jenis dan konsentrasi asamnya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa serapan Sb(III) dan Sb(V) diperoleh yang tinggi dengan menggunakan HCl 5 M, H₂SO₄ 1 M dan HNO₃ 2 M. Namun bila dibandingkan dari ketiga jenis asam tersebut serapan Sb(III) dan Sb(V) yang optimum pada proses pembentukan hidridanya adalah yang menggunakan HCl 5 M. Hal ini didukung dengan diperolehnya kurva kalibrasi Sb(III) dan Sb(V) untuk masing-masing jenis asam dan konsentrasi yang optimum yaitu diperolehnya nilai r^2 dari persamaan regresi linear. Hasilnya menunjukkan bahwa serapan Sb(III) dan Sb(V) menggunakan HCl 5 M berturut-turut memperoleh nilai $r^2 = 0,9153$ dan $r^2 = 0,9911$ yang menunjukkan kelinearan dari pengukuran.

Kata kunci: Antimoni, pembangkit hidrida, spektrofotometri serapan atom, dan kelinearan.

Pendahuluan

Antimoni diperoleh di dalam tanah, air dan udara dengan jumlah yang sangat kecil, tetapi sebagian besar mencemari tanah [1]. Antimoni dan senyawanya ada di permukaan bumi dan dilepaskan ke lingkungan seperti debu, erupsi vulkanik, percikan air laut, kebakaran hutan, dan sumber biogenik [2]. Antimoni digunakan sebagai katalis dalam produksi klorofluorokarbon (CFC) dan untuk aplikasi industri seperti cat, baterai, karet, obat, peluru, pipa, dan korek api. Antimoni yang sangat murni digunakan untuk membuat peralatan semikonduktor seperti dioda dan detektor infrared, sedangkan senyawa antimoni dalam bentuk stibnite digunakan dalam industri kosmetik. Adapun toksisitas antimoni dan senyawanya berbeda-beda sesuai dengan bentuk kimianya. Pada konsentrasi 50 mg/m⁻³ atau lebih antimoni bersifat toksik dan berbahaya untuk kesehatan, sedangkan senyawa garam-garam antimoni banyak bersifat karsinogenik [3]. Antimoni terdapat

dalam bentuk Sb^{3+} dan Sb^{5+} dalam lingkungan biologi dan geokimia. Bentuk tersebut ada dalam berbagai matriks lingkungan yang berbeda [4].

Kandungannya tidak lebih dari 1 $\mu\text{g/L}$ dalam air bersih dan 500 mg/kg dalam batu-batuan. Selain itu antimoni juga merupakan polusi antropogenik. Spesiasi antimoni penting dalam analisis lingkungan dan klinik yaitu sebagai unsur toksik yang memiliki bioavailabilitas dan reaktivitas yang tidak hanya tergantung pada keadaan oksidasi tetapi juga pada karakter senyawa khususnya. Umumnya, senyawa antimoni anorganik lebih toksik daripada senyawa organiknya. Senyawa $Sb(III)$ 10 kali lebih toksik daripada senyawa $Sb(V)$ [5].

Analisis spesiasi antimoni dan senyawanya meliputi penentuan $Sb(III)$ dan $Sb(V)$. Spesiasinya telah dilakukan dengan kromatografi gas, kromatografi cair, dan metode elektroforesis kapiler [6]. Penentuan kadar antimoni dengan metode AAS tidak mampu memberikan kesensitifan dan limit deteksi yang baik, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pemisahan dan penentuan spesi senyawa antimoni. Dalam hal ini, dibatasi untuk spesi $Sb(III)$ dan $Sb(V)$ karena spesi ini banyak ditemukan di lingkungan dengan matriks dan toksisitas yang berbeda.

Penentuan konsentrasi ion logam antimoni dan dalam bentuk senyawa-senyawa antimoni secara langsung dengan AAS kurang sensitif, sehingga perlu dicari suatu metode yang dapat meningkatkan kesensitifan pengukuran yaitu dengan menggunakan teknik pembangkit hidrida, HG (*Hydride Generation*) sehingga dapat meningkatkan kinerja analitiknya. Analisis pendahuluan telah dilakukan dengan menggunakan teknik deteksi HG-AAS untuk mencari kondisi optimum serapan $Sb(III)$ dan $Sb(V)$. Optimasi dilakukan dengan menggunakan parameter yang berpengaruh terhadap pembentukan hidrida (HG) yaitu jenis dan konsentrasi asamnya.

Teori

Antimoni dapat ditentukan dengan HG-AAS, meskipun sinyal atomisasi tergantung pada keadaan oksidasi dan sistem hidrida yang digunakan. Pada sistem *batch* $Sb(III)$ menghasilkan suatu sinyal yang hampir dua kali tingginya dengan $Sb(V)$ pada massa yang sama. Adapun pada sistem alir perbedaan ini dapat lebih dari satu, yaitu tergantung pada daerah reaksi dan tergantung pada pH. Sebagai contoh penentuan $Sb(III)$ secara selektif pada pH 8 dengan adanya $Sb(V)$ berlebih [7].

Meskipun AAS adalah metode deteksi yang paling banyak diterapkan dalam analisis antimoni dengan pembangkit hidrida, $Sb(III)$ dan $Sb(V)$ juga telah selektif ditentukan oleh pembangkit hidrida pada pH yang dikontrol menggunakan ICP-AES sebagai sistem atomisasi dan deteksi. Umumnya spesiasi $Sb(III)$ dan $Sb(V)$ dengan kontrol pH tidak memiliki manfaat untuk penentuan hanya satu spesi $Sb(III)$, karena pada pH netral selektivitas dan reproduibilitasnya tidak baik [8].

Deteksi senyawa metil antimoni dari matriks dan sampel lingkungan dengan metode QF-AAS (*Quartz Furnace Atomic Absorption spectrometry*) menggunakan natrium borohidrid (NaBH_4) sebagai agen derivatisasi dan trimetil antimoni diklorida, $(\text{CH}_3)_3\text{SbCl}_2$ sebagai senyawa standar. Metode ini tidak hanya menghasilkan trimetil antimoni, $(\text{CH}_3)_3\text{Sb}$ tetapi campuran $(\text{CH}_3)_2\text{SbH}$, CH_3SbH_2 , dan SbH_3 bila larutan $(\text{CH}_3)_3\text{SbCl}_2$ diderivatisasi. Hasilnya menunjukkan bahwa senyawa dimetil antimoni terdeteksi dalam spesimen, monometil antimoni diperoleh dalam tiga atau empat sampel yang dianalisis tetapi konsentrasinya sangat rendah (< 60 ng dalam aliquot) dan trimetil antimoni tidak terdeteksi dalam material tumbuhan yang dianalisis [9].

Hasil dan Diskusi

Penentuan antimoni dilakukan untuk memperoleh kondisi pengukuran HG-AAS yang optimum dengan memvariasikan berbagai parameter yang berpengaruh terhadap hasil pengukuran seperti

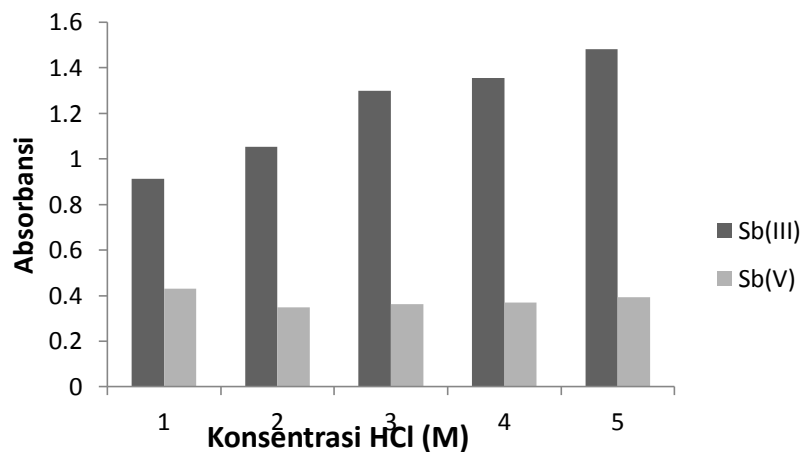
konsentrasi dan jenis asam yaitu HCl, HNO₃, H₂SO₄. Variasi jenis asam dilakukan untuk mengoptimasi jenis asam yang digunakan pada reaksi pembentukan hibrida. Jenis asam yang divariasikan adalah HCl, HNO₃, dan H₂SO₄. Dari percobaan yang telah dilakukan, akan diperoleh jenis asam yang memberikan respon yang optimal. Asam ini digunakan pada penelitian selanjutnya dengan memvariasikan konsentrasinya. Adapun konsentrasi asam divariasikan pada konsentrasi 1, 2, 3, 4, dan 5 M.

Pengukuran untuk mencari daerah rentang linear pengukuran dilakukan dengan memvariasikan konsentrasi larutan seri standar Sb(III) dan Sb(V) (µg/L). Dari percobaan ini akan diperoleh persamaan garis regresi untuk pengukuran Sb(III) dan Sb(V) (dengan absorbansi terukur) dengan konsentrasi larutan seri standar.

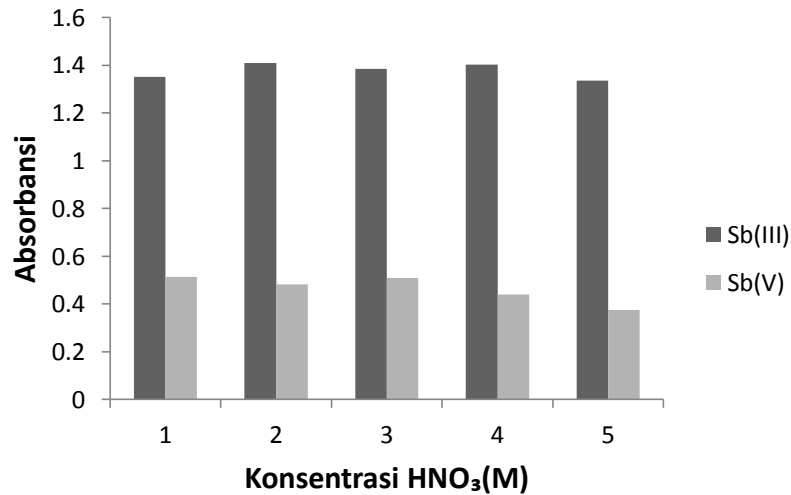
Teknik HG-AAS digunakan untuk penentuan antimonium dalam bentuk ion Sb(III) dan Sb(V), karena dalam bentuk senyawa-senyawa antimonium pengukuran secara langsung dengan AAS kurang sensitif sehingga digunakan metode yang dapat meningkatkan kesensitifan pengukuran yaitu dengan menggunakan teknik pembangkit hibrida (HG).

Deteksi pada teknik ini dilakukan dengan detektor AAS yang memiliki lampu katoda berongga khusus sesuai dengan unsur yang ingin dianalisis yaitu spesifik untuk unsur logam Sb. Untuk memperoleh serapan Sb yang tinggi pada AAS perlu dilakukan upaya untuk mencari kondisi optimum serapan dengan menggunakan beberapa parameter yaitu jenis asam dan konsentrasinya. Pada penelitian ini dicoba menggunakan tiga jenis asam yaitu HCl, H₂SO₄, dan HNO₃ dengan beberapa konsentrasi untuk memperoleh kondisi pembentukan hibrida yang optimum. Hal ini disebabkan jenis asam dan konsentrasi merupakan salah satu kondisi pembentukan hibrida yang harus dipilih sesuai dengan unsur yang ingin ditentukan. Kondisi asam tersebut baik konsentrasi dan jenisnya akan berpengaruh terhadap besarnya serapan Sb(III) dan Sb(V) pada AAS.

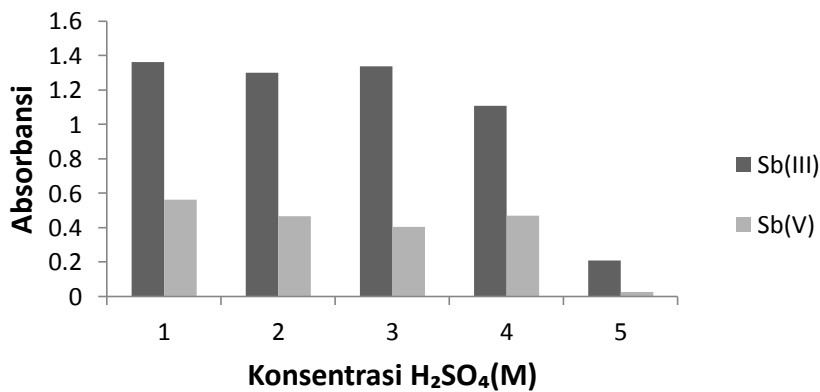
Hasil yang diperoleh pada proses pembentukan hibrida yang menggunakan HCl menghasilkan serapan yang tinggi pada konsentrasi 5 M (pada Gambar 1), yang menggunakan HNO₃ menghasilkan serapan yang tinggi pada konsentrasi 2 M (pada Gambar 2), dan yang menggunakan H₂SO₄ menghasilkan serapan yang tinggi pada konsentrasi 1 M (pada Gambar 3). Bila dibandingkan dari ketiga jenis asam yang optimum tersebut serapan Sb(III) dan Sb(V) yang paling tinggi adalah pada HCl 5 M dapat terlihat pada Gambar berikut.



Gambar 1. Pengaruh HCl dan konsentrasi (M) terhadap tinggi sinyal Sb(III) dan Sb(V) menggunakan teknik HG-AAS

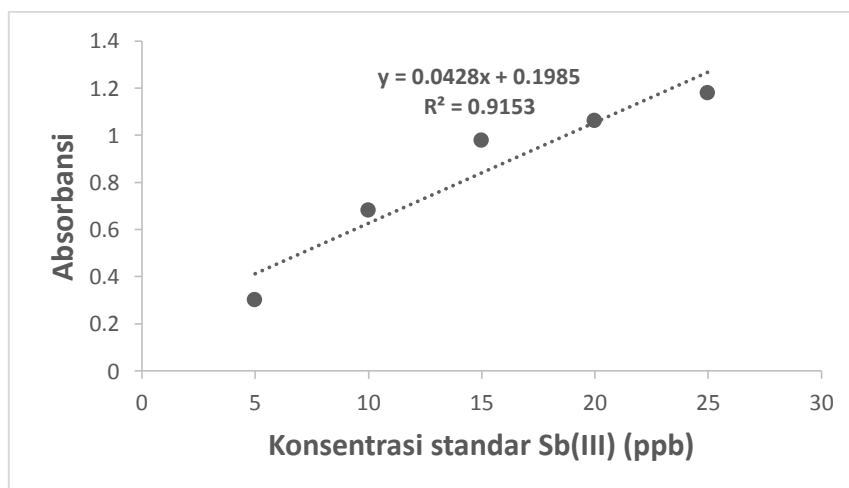


Gambar 2. Pengaruh HNO₃ dan konsentrasi (M) terhadap tinggi sinyal Sb(III) dan Sb(V) menggunakan teknik HG-AAS

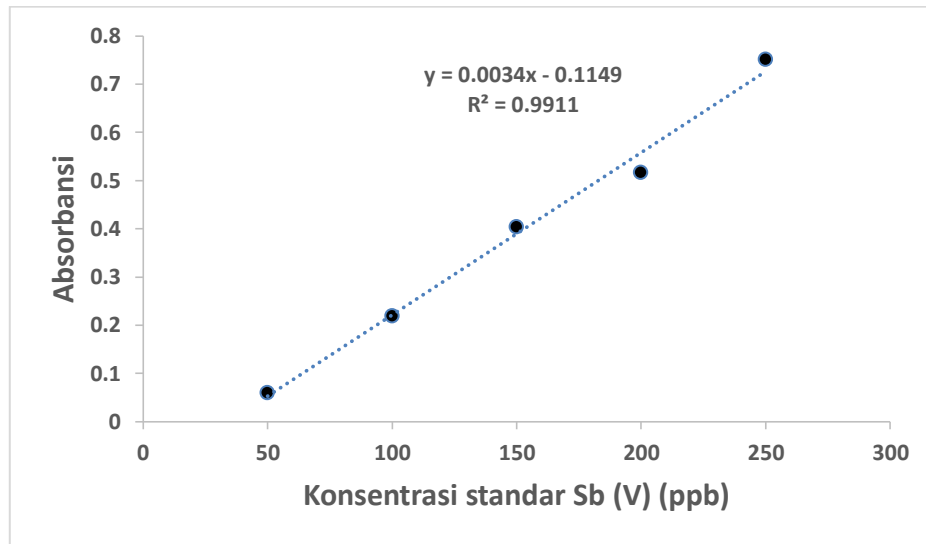


Gambar 3. Pengaruh H₂SO₄ dan konsentrasi (M) terhadap tinggi sinyal Sb(III) dan Sb(V) menggunakan teknik HG-AAS

Demikian juga bila dilihat dari kurva kalibrasi Sb(III) dan Sb(V) yang diperoleh seperti Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 4. Kurva kalibrasi Sb(III) menggunakan HCl 5 M sebagai asam yang digunakan untuk reaksi pembentukan hidrida.



Gambar 5. Kurva kalibrasi Sb(V) menggunakan HCl 5 M sebagai asam yang digunakan untuk reaksi pembentukan hidrida.

Dari gambar kurva kalibrasi tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi Sb(III) dan Sb(V) cenderung semakin besar pula serapannya. Hal ini didukung dari persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $r^2 = 0,9153$ untuk Sb(III) dan $r^2 = 0,9911$ untuk Sb(V) yang menunjukkan kelinearan dari pengukuran.

Kesimpulan

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa serapan Sb(III) dan Sb(V) yang tinggi diperoleh dengan menggunakan HCl 5 M, H₂SO₄ 1 M dan HNO₃ 2 M. Namun bila dibandingkan dari ketiga jenis asam tersebut serapan Sb(III) dan Sb(V) yang optimum pada proses pembentukan hidridanya adalah yang menggunakan HCl 5 M. Dari persamaan regresi linear yang diperoleh untuk Sb(III) dan Sb(V) berturut-turut adalah $r^2 = 0,9153$ dan $r^2 = 0,9911$.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI yang telah memberikan bantuan beasiswa BPPDN untuk Program Doktor di SPS-ITB dan Laboratorium Kimia Analitik ITB atas fasilitas yang diberikan untuk melaksanakan penelitian ini.

Referensi

- [1] Thomas Thomson, The History of Chemistry (ebook digitized by Google), Volume 1, 1830, p. 74
- [2] Atlanta, GA, USA, Toxicological Profile for Antimony, US agency for Toxic Substances and Diseases Registry, Available online : <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp23.html>, 2010
- [3] Robert E. Krebs, , The History and Use of Our Earth's Chemical Elements : a Reference Guide, Greenwood Publishing Group, 2006, , p 219
- [4] P. Smichowski, Antimony in The Environment as a Global Pollutant : e Review on analytical methodologies for its determination in atmospheric aerosols, Talanta, Vol.75, no. 1, 2008, pp.2-14

- [5] G. F. Nordberg, B. A. Flower, M. Nordberg, and L. Friberg, Handbook of The Toxicology of Metals, Academic Press, London, UK, 3rd Edition, 2007
- [6] B. Michalke and P.Schramel, Antimony Speciation in Environmental Samples by Interfacing capillary Electrophoresis on-line to an Inductively Coupled Plasma Mass spectrometer, Journal of Chromatography A, Vol.834, no.1-2, 1999, pp.341-348
- [7] Welz, B., Sperling, M., Atomic Absorption Spectrometry, Wiley-VCH, Weinheim, 1999
- [8] Quevauviller, Ph, E.A. Maier and B. Griepink, Quality Assurance for Environmental Analysis, European Commission, Measurement and Testing Programme, Elsevier science, Amsterdam, The Netherlands, 1995
- [9] Craig, P.J, S.N. Forster, R.O Jenkins and D. Miller, An Analytical Method for The Detection of Methylantimony Species in Environmental Matrices : Methylantimony Levels in Some UK Plant Material, Journal of The Analyst, 124, 1999, p.1243-1248

Prakonsentrasi dan Analisis Renik Cd(II) Berbasis *Flow Injection Analysis* Menggunakan *Ion Imprinted Polymers (IIPs)*

Martina Asti Rahayu^{1, a)} Rusnadi^{2, b)} M. Bachri Amran^{2, c)}

¹Program Studi Magister Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

²KK Kimia Analitik, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

^{a)}martinaasti@students.itb.ac.id, ^{b)}rusnadi@chem.itb.ac.id, ^{c)}amran@chem.itb.ac.id

Abstrak

Pengembangan metoda prakonsentrasi untuk analisis ion kadmium dengan spektrometri serapan atom pada tingkat konsentrasi renik telah dilakukan. Material Cd-IPs disintesis melalui polimerisasi asam salisilat dan formaldehida dengan adanya kompleks biner Cd(II)-4-(2-pyridylazo) resorcinol. Metode ini didasarkan pada retensi ion Cd (II) pada polimer Cd-IPs, Cd(II) yang teretensi selanjutnya dielusi secara kuantitatif dengan EDTA 0,05 M menuju ke sistem *nebulizer* spektrometer serapan atom. Karakterisasi sifat retensi Cd-IPs hasil sintesis dengan metode batch menunjukkan kapasitas retensi sebesar 22,65 mg/g Cd-IPs pada pH 5 dengan waktu kontak 10 menit. Metoda analisis yang dikembangkan ini telah digunakan untuk penentuan kadmium dalam sampel air dari Sungai Cidurian, Jawa Barat, Indonesia. Kinerja FIA memberikan nilai *Enrichment Factor (EF)*; *Concentration Efficiency (CE)*; *Consumptive Index (CI)* berturut-turut: 15; 5,32 menit⁻¹; 0,43 mL. Metode analisis ini mampu memberikan waktu analisis yang cepat, kesensitifan yang baik, rangkaian peralatan yang sederhana serta limbah dari proses analisis dalam jumlah minim yang dihasilkan merupakan kelebihan tersendiri sebagai metoda analisis yang handal dan ramah lingkungan.

Kata kunci: prakonsentrasi, analisis renik, kadmium, FIA

Pendahuluan

Peningkatan konsentrasi Kadmium di perairan, tanah dan makanan disebabkan oleh berbagai macam kegunaannya pada beberapa cabang aplikasi industri. Paparan Kadmium telah terbukti memiliki efek buruk pada jantung, paru-paru, tulang dan terutama ginjal. Setelah terakumulasi dalam hati dan ginjal, kemudian diekskresikan sangat lambat dan prosesnya dapat berlangsung bahkan untuk 20-30 tahun [1]. Selain itu, Kadmium diklasifikasikan sebagai bahan karsinogen (Kelompok IA) oleh Badan Internasional untuk Penelitian Kanker [2]. Oleh karena efek toksisitas yang tinggi, perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi konsentrasi Kadmium di lingkungan. Nilai ambang batas kadar kadmium untuk air minum adalah 3 µgL⁻¹ [3].

Kandungan Kadmium yang ditemukan di lingkungan umumnya berada di bawah limit kuantifikasi dari instrumen. Oleh karena itu perlu dilakukan langkah prakonsentrasi (pemekatan) melalui ekstraksi terlebih dahulu agar konsentrasi logam yang terkandung dalam sampel dapat masuk dalam *range* pembacaan alat. Ekstraksi fasa padat merupakan metode prakonsentrasi yang telah banyak dikembangkan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu pemisahan fasa yang cepat, melibatkan konsumsi pelarut yang sedikit, adsorben yang dapat digunakan berulang, waktu analisis

yang cepat dan sistem analisis yang mudah digabungkan dengan teknik deteksi *on-line* maupun *off-line* lainnya. Metoda analisis dan prakonsentrasi untuk penentuan Kadmium dalam sampel air sungai sebelumnya telah dilakukan dengan menggunakan resin pengkelat Polystyrene Divinylbenzene-PAN [4].

Selain diperlukan peningkatan konsentrasi juga diperlukan peningkatan selektivitas untuk tujuan penyederanaan matriks sampel. *Ion imprinted polymers* adalah polimer berpori nano yang bisa mengikat dan melepaskan suatu ion tertentu secara selektif. Pengikatan ion logam pada proses *imprinting* didasarkan pada kesesuaian ligan dengan ion logam target, gugus ligan yang sesuai akan berinteraksi dengan ion logam untuk membentuk kompleks pada proses pembentukan polimer [5]. Untuk keperluan prakonsentrasi Cd(II), maka dilakukan sintesis Cd-IPs yang diharapkan memiliki kemampuan retensi yang memadai dan selektivitas yang tinggi terhadap ion Cd(II).

Metode FIA merupakan metode analisis yang sederhana untuk otomatisasi analisis kimia karena konsumsi pereaksi yang rendah, volume sampel yang kecil dan mudah diotomasi. Selain itu, *Flow Injection Analysis* memiliki presisi yang lebih baik dibandingkan sistem off line, hemat waktu, mengurangi kontaminasi dan bersifat lebih praktis. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis renik Cd(II) berdasarkan metode Cd-IPs-FIA dengan menggunakan material fungsional Cd-IPs sebagai sistem prakonsentrasi.

Teori dan Eksperimen

Sintesis Cd-Imprinted Polymers

Sintesis *Cd-Imprinted Polymers* meliputi 3 tahap yaitu pembentukan kompleks logam Cd, polimerisasi, dan pelepasan Cd(II) dari polimer. Senyawa kompleks Cd(II)-4-(2-pyridylazo) resocinol (PAR) dengan perbandingan stoikiometri 1:1 dibuat dengan mencampurkan 1 mmol Cd(II) dari garam Cd(CH₃COOH)₂ dan 1 mmol PAR dalam 10 mL air. Kompleks yang terbentuk dicampur dengan asam salisilat dan formaldehid serta 20 mL HCl 2M sebagai katalis. Campuran ini kemudian direfluks selama 10 jam pada temperatur 140±10°C. Polimer yang dihasilkan dikeringkan di dalam oven pada temperatur 50±1°C kemudian digerus sampai ukuran 60-100 mesh. Pelepasan ion Cd(II) untuk memperoleh templat ion dilakukan dengan 100 mL larutan EDTA 0,05 M. Dengan cara yang sama (tanpa kompleks Cd(II)-PAR) dibuat pula materi non-imprinted polymer (NIPs).

Karakterisasi Sifat Retensi Cd-IPs

Karakterisasi sifat retensi yang dilakukan meliputi penentuan waktu kontak optimum dan kapasitas retensi Untuk penentuan waktu kontak optimum, sebanyak 0,05 gram Cd-IPs dikontakkan dengan 20 mL larutan Cd (II) 5 ppm pada pH 5 dengan variasi waktu kontak 0,5 sampai 30 menit. Konsentrasi ion Cd(II) pada larutan awal kontak dan filtrat sisa kontak diukur dengan AAS.

Untuk penentuan kapasitas retensi, sebanyak 0,05 gram Cd-IPs dan NIPs sebagai pembanding dikontakkan dengan 20 mL larutan Cd (II) dengan variasi konsentrasi 5-150 ppm pada pH 5. Konsentrasi ion Cd(II) pada larutan awal kontak dan filtrat sisa kontak diukur dengan AAS.

Sistem prakonsentrasi on-line

Uji linearitas dilakukan pada rentang konsentrasi 25 sampai 500 µg L⁻¹. Larutan standar Cd²⁺ dengan volume injeksi sebanyak 1 mL dengan variasi konsentrasi dari 25 sampai 500 µg L⁻¹ diukur dengan *FIA-FAAS* menggunakan eluen EDTA kemudian ditentukan tinggi puncak. Dari plot antara konsentrasi Cd(II) dan absorbansi yang diperoleh kemudian dibuat kurva kalibrasi. Dari kurva kalibrasi, selanjutnya dilakukan analisis sampel air sungai.

Persen perolehan kembali (*Recovery*) didapatkan dengan melakukan metode *spike* terhadap sampel. Larutan standar Cd(II) 1 mgL⁻¹ sebanyak 0,25 mL diencerkan dalam labu takar 50mL hingga tanda batas dengan menggunakan sampel yang telah dianalisis sebelumnya.

Penentuan kinerja metode FIA

Evaluasi kinerja analisis injeksi alir terdiri dari faktor pengayaan (*enrichment factor, EF*), efisiensi konsentrasi (*concentration efficiency, CE*), dan indeks konsumtif (*consumptive index, CI*). Faktor pengayaan merupakan perbandingan antara konsentrasi analit yang terpekatkan terhadap konsentrasi sampel sebelum dipekatkan yang dinyatakan sebagai:

$$EF = \frac{C_e}{C_s}$$

Faktor efisiensi didefinisikan sebagai hasil kali EF dan frekuensi sampling dalam satu menit, dapat dinyatakan sebagai:

$$CE = \exists F \cdot \frac{f}{60}$$

CI mewakili aspek efisiensi sistem prakonsentrasi dalam bentuk volume sampel yang dikonsumsi untuk mencapai tiap unit EF, dinyatakan sebagai:

$$CI = \frac{V_s}{EF} \text{ [6].}$$

Hasil dan Diskusi

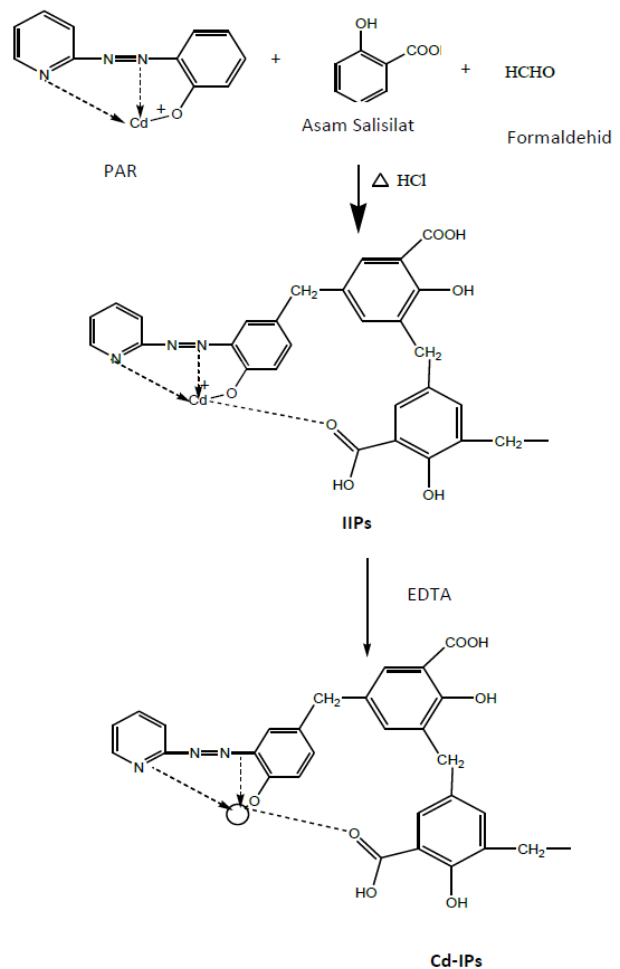
Sintesis Cd- Imprinted Polymers (IIPs)

Reaksi polimerisasi dilakukan dengan metode ruah. Monomer (asam salisilat), *crosslinker* (formaldehid), dan kompleks logam Cd(II) dengan katalis HCl 2M dicampurkan dalam sistem refluks. Reaksi ini merupakan reaksi polimerisasi kondensasi. Mekanisme reaksi dapat dilihat pada gambar dibawah,

Larutan EDTA digunakan untuk melepaskan ion Cd(II) dari polimer. Hal ini disebabkan karena tetapan pembentukan Cd-EDTA lebih besar daripada tetapan pembentukan Cd-PAR. Proses *leaching* dilakukan berulang-ulang hingga filtrat EDTA hasil *leaching* tidak menunjukkan adanya absorban untuk logam Cd yang diukur dengan menggunakan AAS. Lepasnya ion Cd(II) dari matriks polimer diharapkan akan menghasilkan cetakan selektif untuk ion Cd(II).

Sintesis Non imprinted Polymers (NIPs)

Dari sintesis NIPs dihasilkan polimer berbentuk padatan berwarna putih. Asam salisilat dan formaldehid merupakan resin yang juga memiliki kemampuan meretensi logam namun



dibandingkan dengan Cd-IPs, NIPs tidak memiliki cetakan untuk logam Cd(II). Oleh karena nya dalam NIPs dalam hal ini dijadikan sebagai pembanding dari kinerja Cd-IPs .

Karakterisasi Cd-IPs dan NIPs

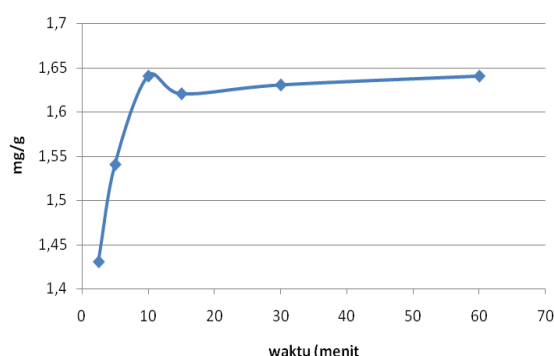
Karakterisasi gugus fungsi dilakukan dengan cara membandingkan spektra FTIR *Cd(II)-Imprinted Polymers* atau Cd(II)-IPs, *Ion Imprinted Polymers* (IIPs), dan *Non-Imprinted Polymer* (NIPs). Analisis dengan menggunakan spektrum FTIR dilakukan untuk melihat perubahan pita serapan masing masing sampel setelah dilakukan reaksi polimerisasi. Dengan menggunakan spektrum FTIR hal yang dapat diamati adalah ikatan ikatan baru yang terbentuk pada kopolimer. Dari setiap spektrum tersebut diperoleh puncak serapan yang dapat menunjukkan keberadaan gugus fungsi yang terdapat dalam sampel yang dianalisis.

Gugus fungsi yang membuktikan bahwa NIPs dan Cd-IPs telah terbentuk ditunjukkan oleh keberadaan puncak pada daerah bilangan gelombang sekitar 2922 cm^{-1} untuk Cd-IPs dan 2920 cm^{-1} untuk NIPs. Pita serapan di sekitar bilangan gelombang ini menunjukkan vibrasi *stretching* dari gugus metilen [7], ini mengindikasikan keberadaan jembatan $-\text{CH}_2-$ yang menghubungkan antara monomer asam salisilat dengan kompleks Cd-PAR. Spektrum IIPs, Cd-IPs, dan Cd-IPs setelah kontak menunjukkan spektrum FT-IR yang hampir sama, namun memiliki perbedaan pada beberapa bilangan gelombang pada daerah 1200, 1450, 1660 serta 3400 cm^{-1} yang masing-masing menunjukkan daerah serapan untuk gugus fungsi $-\text{C}-\text{N}-$, $-\text{N}=\text{N}-$, $-\text{C}=\text{O}-$, serta $-\text{OH}-$ [8]. Hal ini mengkonfirmasi bahwa atom O dan gugus karbonil dari asam salisilat serta atom N dari cincin piridin dan gugus azo pada PAR berkontribusi dalam pengikatan Cd(II) sesuai dengan mekanisme reaksi pada gambar 1.

Karakterisasi Sifat Retensi

1. Waktu kontak optimum

Waktu optimum untuk Cd-IPs adalah 10 menit. Gambar dibawah ini menunjukkan hubungan antara pengaruh waktu kontak terhadap retensi Cd(II)



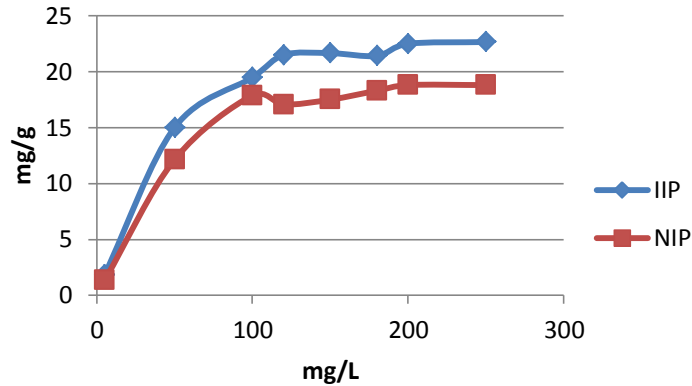
Gambar 2. Kurva penentuan waktu kontak optimum

Dari kurva terlihat bahwa setelah lebih dari 10 menit kemampuan meretensi tidak meningkat secara signifikan. Hal ini disebabkan karena telah tercapainya kesetimbangan antara Cd (II) di fasa larutan dengan Cd(II) pada sisi aktif polimer. Waktu retensi yang relatif cepat ini sangat menguntungkan dari segi efisiensi waktu analisis, sehingga dapat diaplikasikan pada sistem prakonsentrasi *online* berbasis FIA.

2. Kapasitas Retensi

Jumlah ion Cd(II) yang diadsorpsi per satuan massa Cd-IPs dan NIPs meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Cd(II). Peningkatan kapasitas retensi seiring dengan naiknya konsentrasi

terus berlangsung hingga konsentrasi mencapai sekitar 120 ppm. Di atas konsentrasi ini, kapasitas retensi cenderung tidak meningkat secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa sisi aktif untuk pengikatan Cd(II) telah jenuh. Dari data diatas ditentukan bahwa kapasitas retensi maksimum untuk Cd-IPs adalah 22,65 mg/g, sementara untuk NIPs adalah 18,81 mg/g. Ini membuktikan bahwa adanya cetakan (*template*) yang terdapat pada Cd-IPs membuat kapasitas retensi lebih besar. Kurva adsorpsi Cd(II) oleh Cd-IPs dan NIPs dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kurva penentuan kapasitas retensi

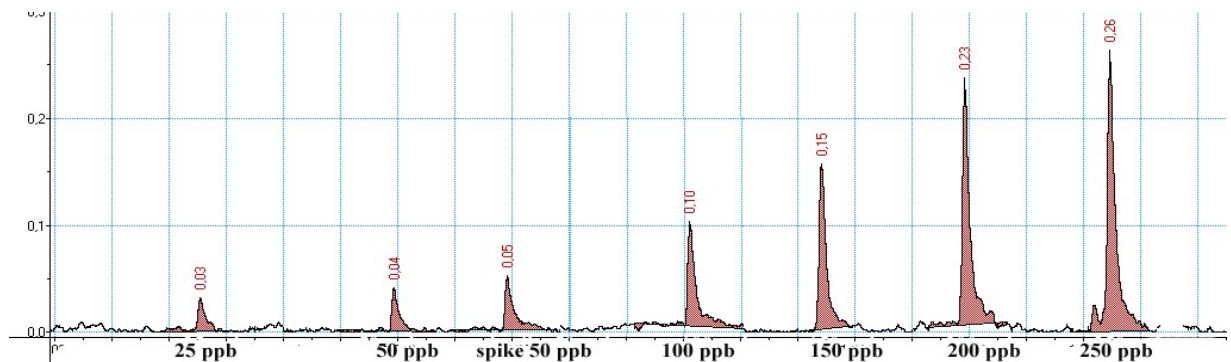
Sistem prakonsentrasi on-line

1. *Sensitivitas dan limit deteksi*

Untuk volume sampel 2 mL sensitivitas dan limit deteksi yang diperoleh adalah sebesar 13,7 µg/L; 16,41 9 µg/L. Nilai sensitivitas dan limit deteksi dapat diturunkan dengan cara menaikkan volume sampel. Sensitivitas pada AAS disebut juga konsentrasi karakteristik yang merupakan konsentrasi dari unsur untuk memberikan sinyal sebesar 1% dari absorpsi atau setara dengan 0,0044 unit absorban [9]. Sedangkan Limit deteksi merupakan konsentrasi terkeci analit yang masih dapat dapat memberi sinyal analitik yang kuantitatif dengan rasio sinyal terhadap noise adalah 3(S/N=3).

2. *Uji linearitas dan analisis sampel*

Uji linearitas pada rentang konsentrasi 50-250 ppb memberikan persamaan garis $y = 1,091x - 0,005$ dengan koefisien korelasi sebesar 0,987. Analisis terhadap sampel memberikan tinggi puncak dibawah jangkauan standar, oleh karena nya dilakukan metode *spike*. Dari hasil pengukuran diketahui konsentrasi Cd(II) dalam sampl air sungai sebesar 9 µg/L, dengan nilai kebolehlungan sebesar 98,05 %.



Gambar 4. Profil sinyal pada kalibrasi standar Cd(II)

Kinerja FIA

Evaluasi kinerja *FIA* meliputi faktor pengayaan (*enrichment factor/EF*), faktor efisiensi konsentrasi (*concentration efficiency/CE*), dan faktor indeks konsumsi (*consumptive indeks/CI*). Untuk menentukan faktor pengayaan dilakukan dengan menghitung perbandingan kalibrasi antara metode *FIA-FAAS* dan *FAAS* secara langsung. Metode analisis berbasis analisis injeksi alir diharapkan memiliki nilai *EF* sebesar mungkin. Nilai *EF* menunjukkan perbandingan isyarat kuantitatif yang dapat diperoleh. Nilai *EF* yang besar dapat diartikan bahwa perbandingan sinyal hasil *FIA* terhadap konsentrasi analit memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan pengukuran langsung. Dengan kata lain, konsentrasi yang tetap akan menghasilkan sinyal yang lebih besar jika *EF*-nya besar. Pengujian menghasilkan perbandingan 17,3 lebih besar dari pengukuran langsung ($EF = 17,3$). Meskipun *EF* sangat diperlukan untuk evaluasi prakonsentrasi *FIA*, ketika digunakan tidak memberikan informasi yang cukup memadai terhadap efisiensinya. *EF* yang tinggi tidak selalu berarti efisiensi yang tinggi karena mungkin saja memerlukan waktu analisis yang relatif lama. Efisiensi konsentrasi merupakan parameter yang digunakan untuk menghubungkan hal ini. Nilai efisiensi konsentrasi yang diperoleh adalah sebesar 5,32 menit⁻¹, kinerja *FIA* ini berasal dari frekuensi siklus analisis yang memerlukan waktu 195 detik tiap sampel, dengan kata lain dapat dilakukan sekitar 18 kali analisis dalam satu jam. Sementara itu nilai *CI* yang diperoleh sebesar 6,5 mL diartikan sebagai jumlah pereaksi yang diperlukan untuk satu siklus analisis. Dengan melihat kinerja dari *FIA-FAAS* ini, dapat bahwa disimpulkan pengukuran dengan metode ini memerlukan waktu analisis yang relatif cepat dan konsumsi pereaksi yang rendah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa Cd-IPs merupakan material yang efektif untuk keperluan prakonsentrasi ion Cd(II). Sistem prakonsentrasi *online FIA-FAAS* dengan menggunakan mini kolom Cd-IPs menunjukkan sensitivitas, akurasi dan presisi yang baik untuk penentuan kadmium. Faktor pengayaan dan limit deteksi dari metode dapat ditingkatkan dengan cara menaikkan waktu prakonsentrasi. Metode analisis ini mampu memberikan waktu analisis yang cepat, kesensitifan yang baik, rangkaian peralatan yang sederhana serta limbah dari proses analisis dalam jumlah minim yang dihasilkan merupakan kelebihan tersendiri sebagai metoda analisis yang handal dan ramah lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Jurusan Kimia Analitik Institut Teknologi Bandung dan Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memfasilitasi penulis selama penelitian.

Referensi

- [1] P. Patnaik, "A Comprehensive Guide to the Hazardous Properties of Chemical substances, 3rd ed", John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 652–653
- [2] World Health Organization, "Cadmium in Drinking Water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality", *WHO*, **3(4)**, 1-9, 2011
- [3] ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), "Toxicological Profile for Cadmium" (Update) dalam Xiu Han-Jing, Qi Shang, Yu Du, Review: Effect Of Environmental Cadmium Pollution On Human Health, *health*, **1(3)**, 159-166, 1997
- [4] Amran, M.B., Panggabean, A.S., Sulaeman, A., Rusnadi. (2011), Preparation of a Chelating Resin and its Application as a Preconcentration System for Determination of Cadmium in River Water by Flow Injection Analysis, *International Journal of Environmental Research.*, **5(2)**, 531-536.

- [5] Yan, H., Row, K.H., "Characteristic and Synthetic Approach of Molecularly Imprinted Polymer", *Int. J. Mol. Sci.* 2006, 7, 155-178
- [6] Fang, "Flow Injection Separation and Preconcentration", VCH, Weinheim, 1993.
- [7] Bhavna A. Shah, Ajay V. Shah, "Studies of Chelation Ion-exchange Properties of Copolymer Resin Derivated from Salicylic Acid and its Analytical Applications". *Irian Polymer Journal*, 16(3), 2007, 173-184.
- [8] Karipcin F., Kabalcilar E., "Spectroscopic and Thermal on solid complexes of 4-(2-pyridylazo) resorcinol with some transition metals", *Acta. Chem. Slov.*, 54 : 242, 2007
- [9] Welz B., Sperling M., "Atomic Absorption Spectrometry, 3rd Completely Revised Edition", John Wiley & Sons, Inc., 1998

Studi Termodinamika Adsorpsi *Congo Red* Oleh Kitosan

Oom Komalasari^{a)}, Tety Sudiarti^{2, b)} dan Nila Tanyela Berghuis³

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati,
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru, Bandung 40614, Indonesia
email : ^{a)}omkomala@yahoo.com, ^{b)}s_tety70@yahoo.com, ^{c)}berhuistania@gmail.com

Abstrak

Congo Red merupakan zat warna azo yang memiliki struktur aromatik kompleks yang sulit untuk terdegradasi. Adsorpsi merupakan metode yang sesuai untuk menangani limbah *Congo Red*. Adsorben yang digunakan adalah kitosan yang diperoleh dari limbah cangkang udang putih (*Penaeus merguensis*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan rendemen dan derajat deasetilasi dari kitosan, mengetahui kondisi optimum adsorpsi *Congo Red* oleh kitosan, mengetahui model isotherm adsorpsi dan mengetahui termodinamika adsorpsi (penentuan entalpi, entropi dan energi bebas Gibbs). Pembuatan kitosan dari cangkang udang putih (*Penaeus merguensis*) dilakukan dengan tiga tahap yaitu deproteinasi, demineralisasi dan deasetilasi. Kitosan yang diperoleh memiliki rendemen 64,67% dan derajat deasetilasi 76,9%. Dari hasil pengukuran aplikasi menggunakan spektrofotometer UV-Vis, didapatkan kondisi optimum adsorpsi *Congo Red* yaitu pada waktu kontak 30 menit, pH=4, suhu 50°C, dan konsentrasi larutan sebesar 28 ppm. Adsorpsi *Congo Red* mengikuti model Isotherm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum Q_m sebesar 0,309 mg/g dengan Entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) adalah $-2094,3 \text{ kJ}^{-1}\text{mol}^{-1}$; entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) adalah $-39,931 \text{ kJmol}^{-1}$ dan Energi Bebas Gibbs (ΔG_{ads}) adalah $10,8034 \text{ kJmol}^{-1}$. Dari hasil penelitian yang diperoleh adsorpsi *Congo Red* oleh kitosan merupakan adsorpsi fisika (fisorpsi).

Kata kunci: Cangkang udang putih (*Penaeus merguensis*), kitin, kitosan, adsorpsi, *Congo Red*

Pendahuluan

Kemajuan industri yang pesat memberikan banyak keuntungan bagi kehidupan manusia namun memberikan dampak negatif bagi lingkungan sekitarnya. Limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri kertas dan tekstil adalah salah satu penyebab utama pencemaran air. Adanya zat warna dalam suatu perairan akan mengganggu kehidupan di perairan tersebut karena menghalangi radiasi cahaya ke dalam air. Hal ini menyebabkan terhambatnya proses fotosintesis.

Kebanyakan industri seperti industri tekstil saat ini menggunakan pewarna sintetik dengan alasan murah, tahan lama, mudah diperoleh dan mudah dalam penggunaannya, akan tetapi limbah yang dihasilkan masih berwarna dan sulit terdegradasi [1]. Zat warna azo merupakan golongan zat warna yang paling banyak diproduksi. Zat warna azo tidak dapat terdegradasi dalam kondisi aerob, sedangkan pada kondisi anaerob ikatan azo dapat direduksi untuk membentuk amina aromatik yang tidak berwarna tetapi bersifat toksik dan karsinogenik ([2]; Cripps, et al., 1990). *Congo Red* merupakan pewarna diazo turunan dari benzidin dan asam naphthoik yang sangat larut dalam air dan bersifat karsinogenik [3].

Limbah zat warna industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengurangi kandungan polutan didalam air limbah. Berbagai

metode dapat digunakan untuk mengurangi kadar zat warna industri seperti filtrasi membran, adsorpsi, koagulasi, flokulasi, elektrolisis, oksidasi kimiawi, dan pertukaran ion. Adsorpsi merupakan alternatif terbaik untuk mengatasi pencemaran zat warna. Langkah awal untuk mendapatkan proses adsorpsi yang efektif adalah dengan memilih adsorben yang memiliki selektivitas dan kapasitas tinggi serta digunakan berulang-ulang.

Adsorben yang paling umum digunakan adalah arang aktif, akan tetapi biayanya relatif mahal. Selain itu, limbah dari pertanian juga telah digunakan sebagai adsorben seperti kulit kacang tanah, kulit buah kakao dan ampas tebu [4]. Alternatif lain yang telah dikembangkan aplikasinya pada saat ini adalah kitosan. Kitosan merupakan biopolimer yang secara komersil berpotensi dalam bidang industri, salah satu sumbernya adalah cangkang udang.

Selama ini limbah industri udang hanya dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan makanan, misalnya pembuatan terasi dan kerupuk udang. Pada penelitian ini limbah cangkang udang dimanfaatkan untuk membuat kitosan.

Kitin merupakan polimer alami tidak larut air kedua terbanyak setelah selulosa. Struktur kitin sama dengan selulosa, perbedaannya dengan selulosa adalah gugus hidroksil yang terikat pada nomor 2 pada kitin digantikan oleh gugus asetamida (NHCOCH_3).

Kitosan merupakan polimer alam turunan kitin. Kitosan merupakan suatu senyawa poli (*N*-amino-2-deoksi β -D-glukopiranos) atau glukosamin hasil deasetilasi kitin atau poli (*N*-asetil-2 amino-2-deoksi β -D-glukopiranos). Pada prinsipnya, proses transformasi kitin menjadi kitosan dapat melalui hidrolisis dengan asam dan basa. Kualitas kitosan dapat dilihat dari sifat intrinsiknya, yaitu kemurniannya, massa molekul, dan derajat deasetilasi. Umumnya kitosan mempunyai derajat deasetilasi 75-100% [5].

Pada penelitian ini, adsorpsi zat warna *Congo Red* dilakukan dengan menggunakan adsorben kitosan karena mengandung gugus hidroksil dan gugus amino yang menyebabkan kitosan mempunyai reaktifitas tinggi untuk berikatan dengan zat warna.

Teori

Pada penelitian ini dilakukan 3 tahap, yaitu isolasi kitosan dari cangkang udang, penentuan kondisi optimum, penentuan isoterm adsorpsi dan termodinamika adsorpsi. Pada tahap pertama pembuatan kitosan dilakukan dengan proses deproteinasi, demineralisasi, dan deasetilasi kemudian dikarakterisasi dengan FTIR. Pada tahap kedua pengukuran kondisi optimum meliputi pengujian waktu kontak, pengaruh variasi pH, suhu dan variasi konsentrasi adsorpsi zat warna *Congo Red* serta tahap ketiga penentuan isoterm adsorpsi dan termodinamika adsorpsi.

a. Proses Deproteinasi

Serbuk cangkang udang putih ditimbang sebanyak 80 gram ditambahkan larutan NaOH 3,5% (w/v) dengan perbandingan 1:10 (w/v), kemudian dipanaskan pada suhu 65°C sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam. Setelah dingin, disaring dan dicuci dengan akuades sampai pH netral lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 48 jam.

b. Proses Demineralisasi

Serbuk cangkang udang putih hasil deproteinasi ditambahkan larutan HCl 1 M dengan perbandingan 1:15 (w/v), kemudian dipanaskan pada suhu kamar sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Setelah itu disaring, dicuci sampai pH netral dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 60°C selama 24 jam.

c. Proses Deasetilasi

Serbuk cangkang udang hasil proses deproteinasi yaitu kitin. Kitin kemudian ditambahkan larutan NaOH 50% dengan perbandingan 1:10 (w/v) lalu dipanaskan pada suhu 65°C sambil diaduk selama 2 jam. Setelah didinginkan, disaring lalu dicuci dengan akuades sampai pH nya netral. Kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan spektrofotometer FTIR.

d. Analisis FTIR

Memimbang 7,5 mg kitosan, kemudian menimbang 165 mg serbuk KBr p.a, lalu ditempatkan diatas mortar. Kitosan dan KBr digerus sampai homogen kemudian di *press* untuk dibuat pellet dengan tekanan 10 x 1000 kg. Kemudian di *scanning* dengan FTIR.

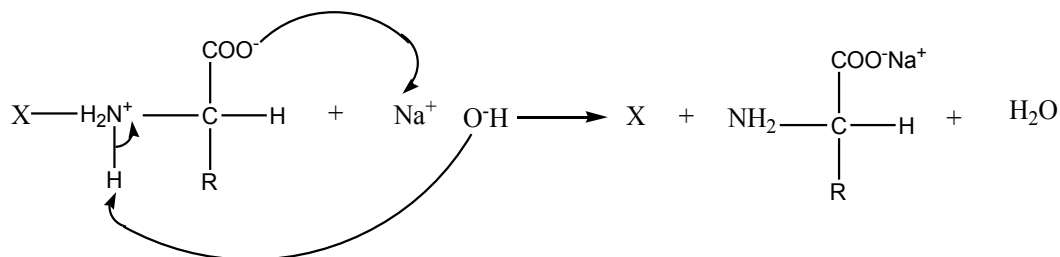
e. Pengukuran Kondisi Optimum

Kurva standar *Congo Red* dibuat dengan konsentrasi 6, 8, 10, 12 dan 14 ppm. Sebanyak 10 mL larutan Congo Red 28 ppm ditambahkan ke dalam 0,2 gram adsorben kitosan kemudian ditentukan variasi waktu kontak, pH, suhu, dan konsentrasi optimum. Variasi Waktu Kontak yang digunakan yaitu 10, 20, 30, 45 dan 60 menit. Variasi pH yang digunakan yaitu 3, 4, 5 dan 6 dengan penambahan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Variasi suhu yang digunakan yaitu 30, 35, 40, 45 dan 50°C. Variasi konsentrasi yang digunakan yaitu 8, 18, 28 dan 38 ppm. Kitosan dipisahkan dari larutan dengan cara *centrifuge* pada 4000 rpm selama 30 menit. Filtrat hasil adsorpsi diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum menggunakan spektrofotometer UV-VIS, lalu dihitung konsentrasi sisa dari *Congo Red*. Selanjutnya dibuat kurva isotherm adsorpsi untuk mengetahui kapasitas adsorpsi kitosan dalam mengadsorpsi *Congo Red*.

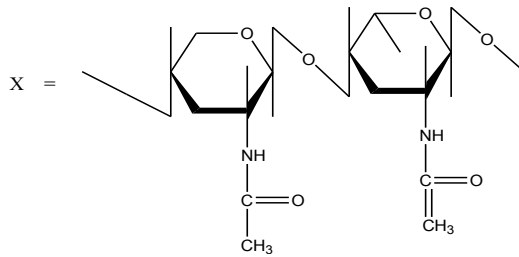
Hasil dan Diskusi

Proses isolasi kitin dilakukan melalui 2 tahap yaitu deproteinasi dan demineralisasi. Tujuan dari proses deproteinasi adalah untuk menghilangkan protein yang terkandung dalam cangkang udang. Tahap demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan mineral-mineral yang ada pada cangkang udang.

Pada prinsipnya proses deproteinasi adalah memisahkan atau melepaskan ikatan-ikatan antara protein dari kitin. Proses ini melepaskan protein dengan membentuk Na-proteinat yang dapat larut. Pada tahap deproteinasi, ion OH⁻ pada larutan NaOH 3,5% akan mengikat ion-ion H⁺ yang terdapat pada gugus -NH₃⁺ selanjutnya ion Na⁺ berkaitan dengan ujung rantai amino yang bermuatan negatif yaitu gugus -COO⁻ menjadi COONa sehingga menghasilkan Na-proteinat Rendemen rata-rata yang dihasilkan pada proses deproteinasi adalah sebesar 53,71%. Mekanisme reaksi deproteinasi ditunjukkan pada Gambar 1.

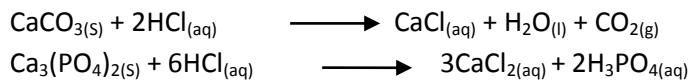


Dimana



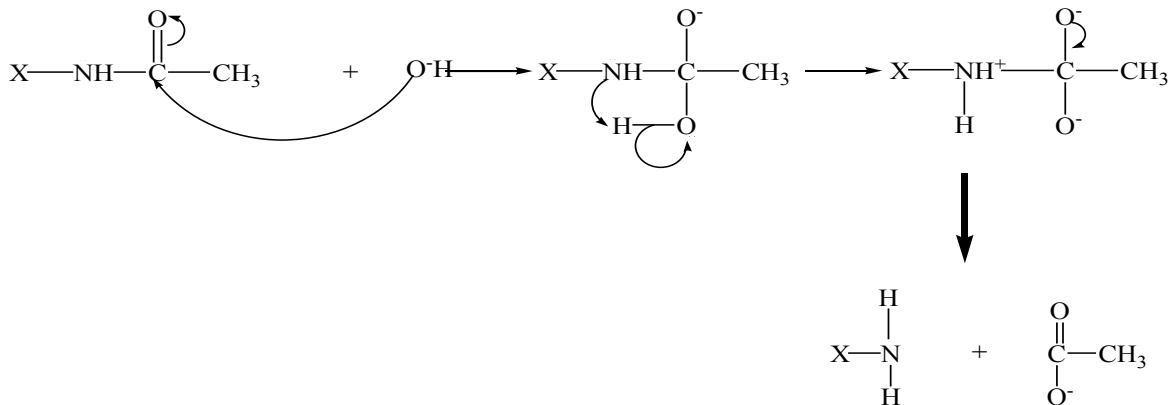
Gambar 1. Mekanisme Reaksi Deproteinasi

Proses demineralisasi dilakukan untuk menghilangkan mineral yang terdapat dalam cangkang udang, HCl dalam proses demineralisasi akan melarutkan garam-garam kalsium. Rendemen rata-rata yang dihasilkan pada proses demineralisasi adalah 28,46%. Reaksi demineralisasi adalah sebagai berikut:

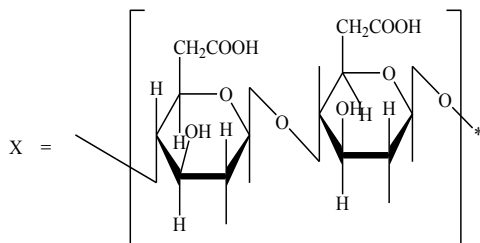


Gelembung-gelembung CO_2 yang dihasilkan pada proses demineralisasi merupakan indikator adanya reaksi antara HCl dengan garam mineral. Hasil dari proses deproteinasi dan demineralisasi yaitu kitin dengan serbuk berwarna kecoklatan.

Transformasi kitin menjadi kitosan dilakukan melalui proses deasetilasi kitin. Proses deasetilasi dilakukan dengan mereaksikan kitin dan NaOH 50% yang bertujuan untuk mentransformasi gugus amida sehingga menghasilkan gugus amina (NH_2). Mekanisme reaksi deasetilasi ditunjukkan pada Gambar 2.



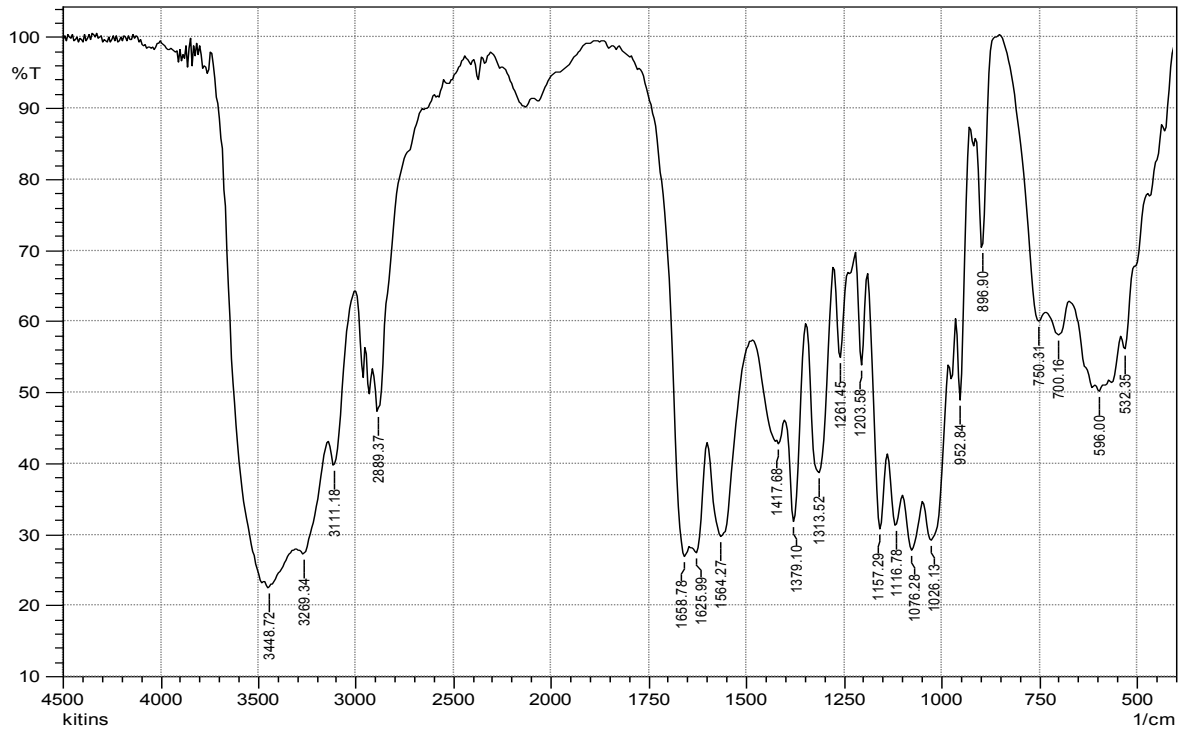
Dimana



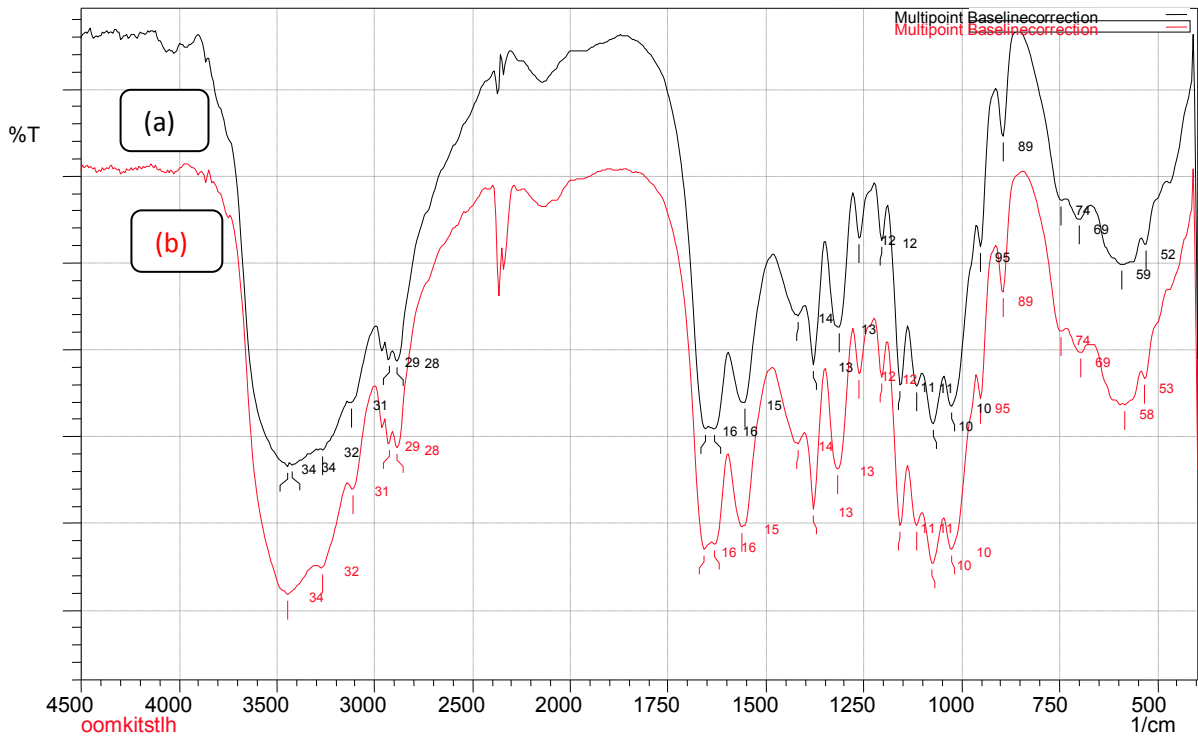
Gambar 2. Mekanisme Reaksi Deasetilasi

Reaksi transformasi kitin menjadi kitosan merupakan reaksi hidrolisis amida oleh basa NaOH. Larutan basa dengan konsentrasi tinggi digunakan karena kitin tahan terhadap proses deasetilasi. Hasil rendemen dari proses deasetilasi diperoleh rendemen kitosan sebesar 76,9 % dengan kitosan serbuk berwarna putih kecoklatan.

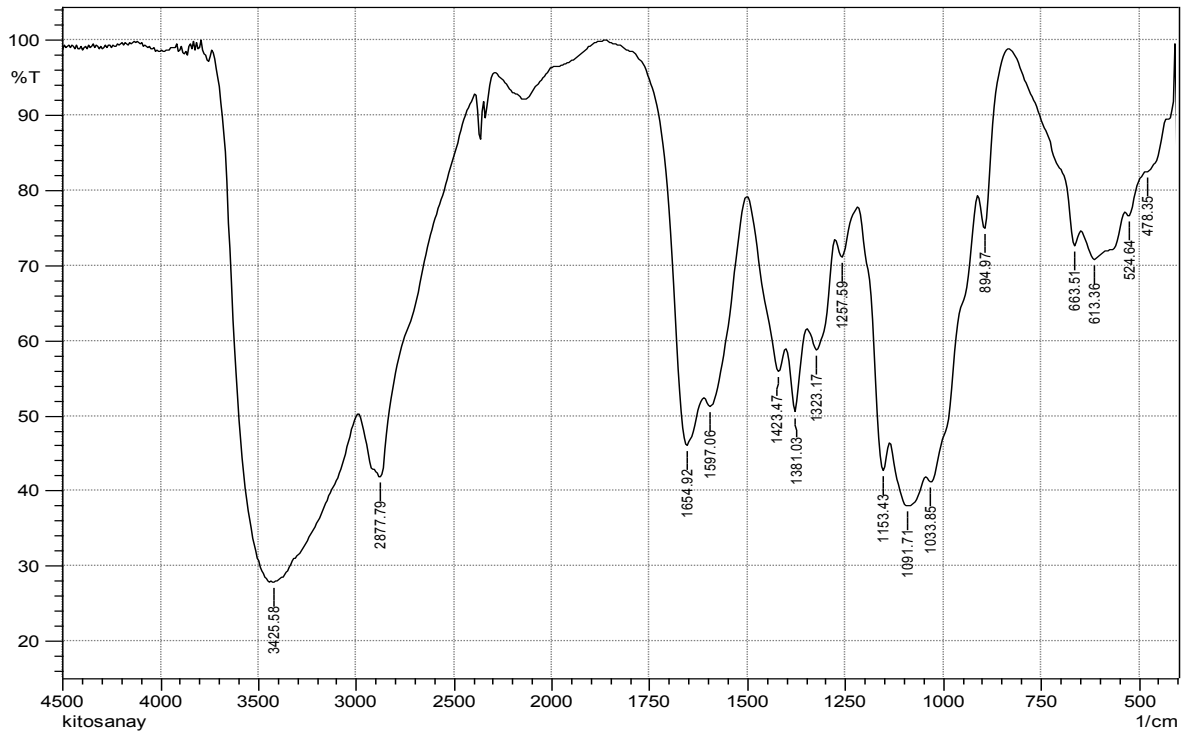
Untuk mendukung hasil isolasi, kitin dan kitosan dianalisis dengan menggunakan spektrofotometri FTIR. Analisis FTIR dapat digunakan untuk mengetahui gugus fungsi pada suatu senyawa pada sidik jari 400-4000 cm^{-1} . Analisis FTIR pada penelitian ini digunakan untuk membedakan gugus fungsi kitin dan kitosan dengan kitosan standar (SIGMA). Perbedaan ini dapat dilihat dari serapan-serapan yang muncul. Hasil analisis FTIR kitin ditunjukkan pada Gambar 3. Spektrum kitosan sebelum dan sesudah adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4. dan kitosan standar (SIGMA) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Spektrum FTIR Kitin



Gambar 4. Spektrum FTIR Kitosan Sebelum Adsorpsi (a) Kitosan Sesudah Adsorpsi (b)



Gambar 5. Spektrum FTIR kitosan Standar (SIGMA)

Spektrum FTIR kitin pada Gambar 3. memperlihatkan beberapa pola serapan, yaitu serapan yang muncul pada $3448,72\text{ cm}^{-1}$ (lebar) adalah serapan dari gugus OH, 1658 cm^{-1} (tajam) adalah vibrasi ulur C=O, dan $1564,27\text{ cm}^{-1}$ adalah vibrasi tekuk N—H yang merupakan ciri khas kitin yaitu gugus N—H dalam —NH—CO— (gugus amida yang terasetilasi). Serapan ikatan C-H dari kitin pada $1379,10\text{ cm}^{-1}$ saling berimpit dengan serapan ikatan C-N amida pada serapan 1417 cm^{-1} . Serapan

gugus amin (3260-3770 cm^{-1}) pada spektrum kitin hasil penelitian menunjukkan posisi saling berimpit dengan serapan OH karena dalam amina ikatan hidrogen lebih lemah dan kurang polar maka serapan N-H menjadi kurang *intensif* jika dibandingkan dengan OH. Adanya pita serapan pada 1026,13 – 1157,29 cm^{-1} menunjukkan vibrasi C-O dalam cincin kitin dan memiliki banyak puncak karena hidroksida dari kitin yang mengandung ikatan tunggal C-O.

Spektrum FTIR kitosan pada Gambar 4. terdapat pita serapan pada 3448,72 cm^{-1} yang melebar 3263,56 cm^{-1} sebagai hasil vibrasi ulur gugus OH atau hidroksi dari alkohol sekunder yang disebabkan oleh tumpang tindih dengan vibrasi ulur gugus N-H dari amina primer. Pita serapan pada bilangan gelombang 2927,94 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur dari ikatan C-CH. Pita-pita serapan kitosan sama dengan yang dimiliki kitin. Perbedaan yang terjadi setelah tahap deasetilasi adalah perubahan spektrum serapan pada 1654 cm^{-1} yang menandai regangan C=O. Pergeseran pita serapan C=O pada kitin 1658 cm^{-1} ke 1654 cm^{-1} yang menurun pada kitosan dan muncul sebagai pita serapan baru yang lemah pada 1595 cm^{-1} . Adanya perubahan spektra FTIR kitin dan kitosan dapat dipastikan bahwa kitin yang dideasetilasi telah berubah menjadi kitosan. Akan tetapi masih adanya pita serapan gugus karbonil pada 1654 cm^{-1} menunjukkan bahwa kitosan tidak sempurna terdeasetilasi.

Pada Gambar 4. kitosan sebelum adsorpsi (a) dan setelah adsorpsi (b) juga menunjukkan adanya perbedaan %Transmitan pada gugus -OH dari hidroksil alkohol sekunder, N-H dari amida primer dan C=O dari karbonil. Dimana gugus C=O karbonil mengalami pergeseran *peak*, dan nilai %Transmitan gugus -OH, N-H dan C=O lebih kecil dari kitosan sebelum adsorpsi. Tidak adanya gugus fungsi yang baru meingindikasikan bahwa kitosan tersebut proses adsorpsinya berjalan secara fisisorpsi.

Sedangkan pada Gambar 5. spektrum kitosan standar (SIGMA) tidak terdapat gugus C=O dari karbonil, tetapi muncul pita serapan gugus NH_2 pada bilangan gelombang 1597,06 cm^{-1} . Pada spektrum kitosan standar, tidak terdapat serapan gugus CH tetapi masih terdapat gugus CH_3 pada bilangan gelombang 1381,03 cm^{-1} . Hilangnya gugus C=O dan gugus CH dapat disimpulkan bahwa serbuk yang diperoleh adalah kitosan.

Selain identifikasi gugus fungsi pada kitosan, dilakukan juga penentuan derajat deasetilasi kitosan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar gugus asetil yang telah dihilangkan. Berdasarkan hasil spektrum FTIR, dapat ditentukan derajat deasetilasi berdasarkan metode *baseline* (Khan *et al*, 2002) menurut persamaan 1.

$$DD = 1 - \frac{A_{1655}}{A_{3450}} \times \frac{1}{1,33} \times 100 \% \dots \dots \dots (1)$$

Untuk A 1655 cm^{-1} serapan karbonil pada amida (C=O) dapat ditentukan pada persamaan 2.

$$A = \frac{\text{Log } P_o}{P} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana : P_o adalah % transmitan pada garis dasar (puncak maksimum didaerah 1655 cm^{-1}). P adalah % transmitan pada puncak minimum 1655 cm^{-1} . Untuk A 3450 cm^{-1} serapan gugus amina (N-H) dapat ditentukan pada persamaan 3.

$$A = \frac{\text{Log } P_o}{P} \dots \dots \dots (3)$$

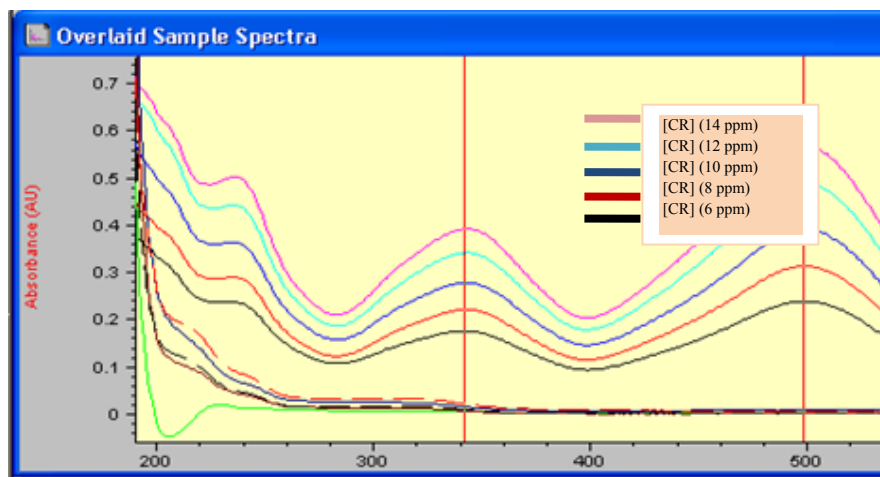
Dimana : P_o adalah % transmitan pada garis dasar (puncak maksimum didaerah 3450 cm^{-1}). P adalah % transmitan pada puncak minimum 3450 cm^{-1}

Derajat deasetilasi kitosan yang diperoleh pada penelitian ini adalah 76,9 %, dilihat dari spektrum FTIR, kitosan yang diisolasi dari deasetilasi kitin menunjukkan bahwa proses deasetilasi yang dilakukan belum optimum, kemurniannya masih rendah, kemungkinan masih mengandung bahan pengotor dan adanya kandungan air yang terserap sehingga mempengaruhi ikatan antar

molekul yang menyebabkan perbedaan daerah serapan, sedangkan pada kitosan standar sudah berada dalam bentuk murni karena dari informasi yang diperoleh, proses isolasi dilakukan secara enzimatis.

Penentuan Panjang Gelombang Maksimum *Congo Red*

Penentuan panjang gelombang maksimum *Congo Red* diperoleh dengan mengukur absorbansi pada konsentrasi larutan zat warna *Congo Red* 28 ppm menggunakan UV-VIS pada panjang gelombang antara 190 nm – 1100 nm. Sehingga didapatkan spektrum absorbansi larutan zat warna *Congo Red* yang ditunjukkan pada Gambar 6.

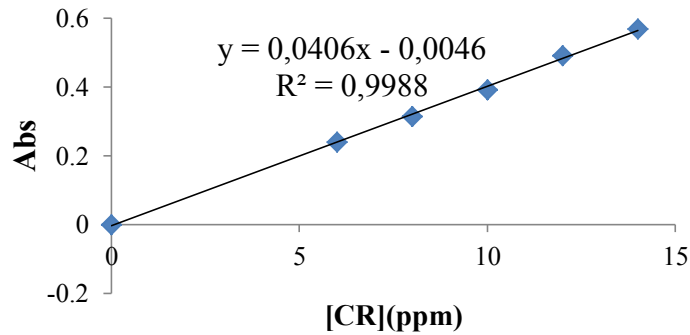


Gambar 6. Hasil Spektrum Larutan Zat Warna *Congo Red*

Pada Gambar 6. spektrum UV-VIS *Congo Red* diatas, muncul dua puncak serapan utama pada panjang gelombang 342 nm dan 498 nm. Serapan pada 342 nm menunjukkan adanya transisi $n-\sigma^*$ dari gugus NH_2 pada *Congo Red*, sedangkan serapan pada 498 nm menunjukkan transisi $\pi - \pi^*$ dari ikatan rangkap gugus kromofor azo. Gambar 4.6 menunjukkan panjang gelombang maksimum zat warna *Congo Red* adalah 498 nm. Nilai panjang gelombang ini selanjutnya digunakan dalam pengukuran selanjutnya.

Penentuan Kurva Standar *Congo Red*

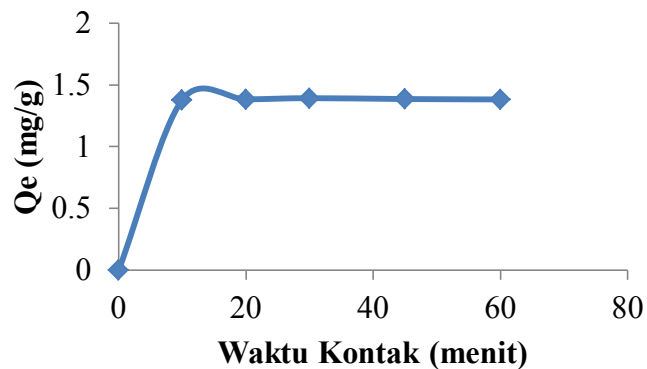
Penentuan kurva standar *Congo Red* dilakukan dengan pengukuran variasi konsentrasi pada panjang gelombang maksimum. Konsentrasi *Congo Red* yang digunakan adalah 6, 8, 10, 12, 14 dan 16 ppm dan dibuat dalam labu ukur 50 mL. Untuk melakukan aplikasi adsorpsi terhadap *Congo Red*, terlebih dahulu ditentukan nilai absorptivitas molar (ϵ) untuk mengetahui konsentrasi *Congo Red* yang tersisa dalam larutan setelah dilakukan adsorpsi. Absorptivitas molar adalah ukuran kemampuan suatu senyawa untuk mengadsorpsi sinar pada panjang gelombang tertentu. Kurva *Congo Red* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Standar *Congo Red*

Variasi Waktu Kontak *Congo Red*

Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan oleh kitosan untuk mengadsorpsi *Congo Red*. Semakin lama waktu kontak yang terjadi antara kitosan dengan *Congo Red*, maka akan semakin banyak jumlah *Congo Red* yang terserap pada adsorben. Hal ini menyebabkan warna filtrat menjadi semakin bening karena semakin sedikit jumlah *Congo Red* yang terdapat pada filtrat. Kurva Hasil Absorbansi Adsorpsi *Congo Red* dengan Variasi Waktu Kontak pada λ_{maks} ditunjukkan pada Gambar 8.



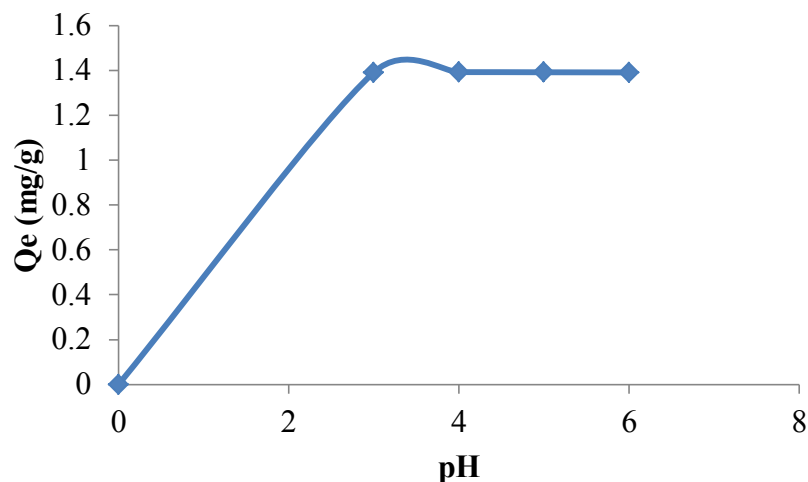
Gambar 8. Kurva Hasil Absorbansi Adsorpsi *Congo Red* dengan Variasi Waktu Kontak pada λ_{maks}

Gambar 8. menunjukkan jumlah *Congo Red* yang teradsorpsi (Q_e) semakin bertambah dengan signifikan hingga menit ke-30, kemudian mengalami penurunan. Ketika waktu kontak mencapai 30 menit, terjadi kesetimbangan antara *Congo Red* yang telah teradsorpsi dengan *Congo Red* yang tersisa dalam larutan dan sisi aktif permukaan kitosan berada dalam kondisi tepat jenuh oleh *Congo Red*. Sedangkan pada waktu lebih dari 30 menit terjadi proses desorpsi dimana molekul yang telah menempel dipermukaan kitosan terpantul kembali dan nilai Q_e semakin menurun. Hal ini juga ditunjukkan pada Gambar 4.8 waktu kontak optimum proses adsorpsi *Congo Red* pada kitosan adalah 30 menit.

Variasi pH *Congo Red*

Nilai pH merupakan salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi. Nilai pH yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan membuat kitosan tidak mampu bekerja secara optimum. Variasi pH pada penelitian ini dilakukan dengan cara menambahkan HCl atau NaOH sehingga

diperoleh *Congo Red* dengan pH 3, 4, 5, dan 6. Adsorpsi *Congo Red* dengan variasi pH dapat ditunjukkan pada Gambar 9.

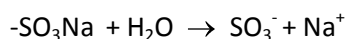


Gambar 9. Kurva Hasil Absorbansi Adsorpsi Congo Red dengan Variasi pH pada λ_{maks}

Gambar 9. menunjukkan bahwa pH maksimum tercapai pada pH 4, ditandai dengan nilai penyerapan paling besar. Gugus amina pada kitosan dalam kondisi asam akan terprotonasi menjadi -NH_3^+ dapat ditunjukkan menurut reaksi:



Gugus sulfonat pada *Congo Red* terdisosiasi dan berubah menjadi ion-ionnya, dapat ditunjukkan menurut reaksi:



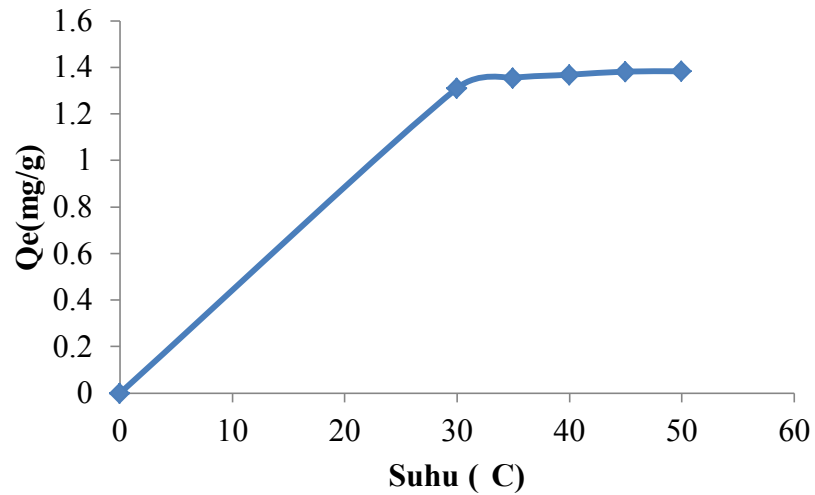
Proses adsorpsi kemudian dihasilkan dari interaksi elektrostatik antara dua ion tersebut seperti ditunjukkan pada reaksi berikut:



Pada pH 5 dan 6 menghasilkan penyerapan yang lebih kecil dari pH 4. Hal ini disebabkan karena belum banyak gugus amina dari kitosan yang terprotonasi oleh hidrogen (H^+) dari *Congo Red* sehingga menyebabkan kecilnya kemampuan kitosan untuk berikatan dengan zat warna. Sedangkan pada pH 3 yang cenderung lebih asam, konsentrasi H^+ proton lebih tinggi dibandingkan dengan elektron pada SO_3^- sehingga menyebabkan penurunan daya serap kitosan terhadap *Congo Red*. Pada penelitian ini tidak dilakukan pH basa, hal ini disebabkan keberadaan OH^- akan menghambat penyerapan *Congo Red* karena akan terjadi kompetisi ion akibat muatan yang sama antara daerah di sekitar permukaan adsorben yaitu OH^- dari lingkungan basa dengan gugus karbonil (C=O) dari *Congo Red* sehingga kapasitas adsorpsinya rendah.

Variasi suhu *Congo Red*

Variasi suhu dilakukan untuk mengetahui suhu optimum *Congo Red* yang dapat teradsorpsi pada kitosan. Selain itu variasi suhu dapat menentukan termodinamika adsorpsi yaitu dengan menentukan entalpi adsorpsi, entropi adsorpsi dan energi bebas Gibbs.

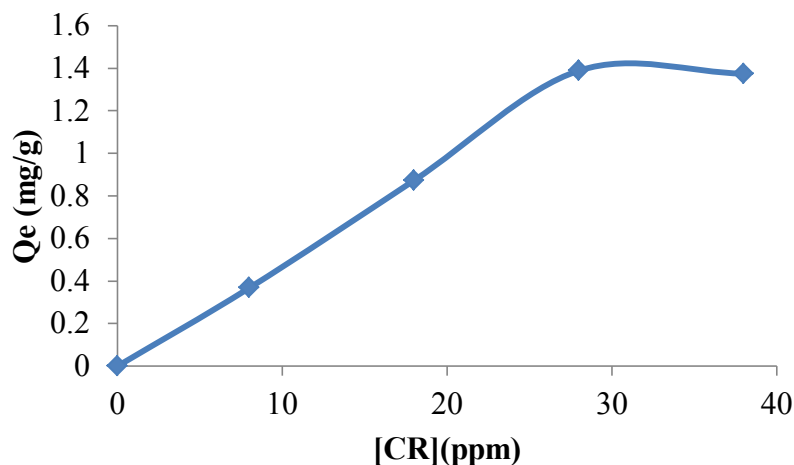


Gambar 10. Kurva Hasil Absorbansi Adsorpsi Congo Red dengan Variasi Suhu pada λ_{maks}

Pada Gambar 10. suhu optimum adalah 50°C ditandai dengan nilai penyerapan paling besar. Suhu yang tinggi mempengaruhi luas permukaan sisi aktif. Semakin besar permukaan sisi aktif maka semakin besar pula jumlah *Congo Red* yang dapat diserap dan dapat pula terjadi desorpsi akibat pergerakan molekul *Congo Red* pada suhu tinggi.

Variasi Konsentrasi *Congo Red*

Variasi konsentrasi dilakukan unntuk mengetahui konsentrasi optimum *Congo Red* yang dapat teradsorpsi pada kitosan. Variasi konsentrasi dilakukan pada 8, 18, 28 dan 38 ppm. Hasil adsorpsi variasi konsentrasi *Congo Red* pada kitosan ditunjukkan pada Gambar 11.



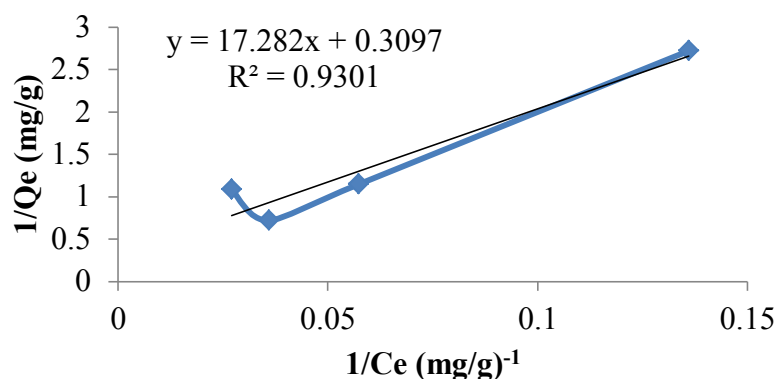
Gambar 11. Kurva Hasil Absorbansi Adsorpsi Congo Red dengan Variasi Konsentrasi pada λ_{maks}

Gambar 11. menunjukkan jumlah *Congo Red* yang teradsorpsi (Q_e) meningkat secara signifikan hingga konsentrasi mencapai 28 ppm dan menurun pada 38 ppm. Penurunan nilai (Q_e) disebabkan karena terbatasnya kemampuan kitosan dalam jumlah kecil untuk mengadsorpsi zat warna dalam konsentrasi besar. Pada proses adsorpsi *Congo Red* menggunakan kitosan, terjadi interaksi elektrostatis antara muatan positif dari gugus H^+ dengan elektron dari *Congo Red* (SO_3^-). Ketika konsentrasi melebihi 28 ppm, terjadi penurunan nilai Q_e yang disebabkan jenuhnya situs aktif

adsorpsi dari kitosan yang telah digunakan untuk berikatan dengan *Congo Red*, sehingga konsentrasi *Congo Red* yang tersisa semakin besar. Hal ini ditunjukkan juga pada Gambar 11. konsentrasi optimum kitosan dalam menyerap *Congo Red* adalah 28 ppm.

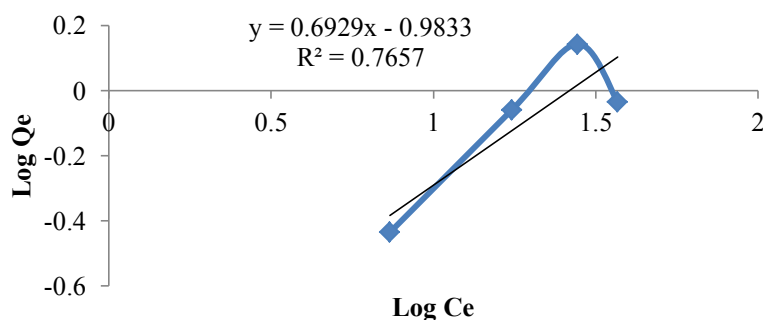
Penentuan Isoterm Adsorpsi

Perhitungan isoterm Langmuir dilakukan dengan membuat kurva hubungan antara $1/Q_e$ dan $1/C_e$. Kurva Isoterm Langmuir ditunjukkan pada Gambar 4.12 Dari kurva isoterm Langmuir *Congo Red* pada kitosan, didapatkan persamaan garis $y = 17,28x + 0,309$ dengan linearitas $R^2 = 0,930$. Kurva isoterm langmuir dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Kurva Isoterm Langmuir *Congo Red*

Perhitungan isoterm Freundlich dilakukan dengan membuat kurva hubungan antara $\text{Log } Q_e$ dan $\text{Log } C_e$. Dari kurva isoterm Freundlich *Congo Red* pada kitosan, didapatkan persamaan garis $y = 0,692x - 0,983$ dengan linearitas $R^2=0,765$. Kurva isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 13.

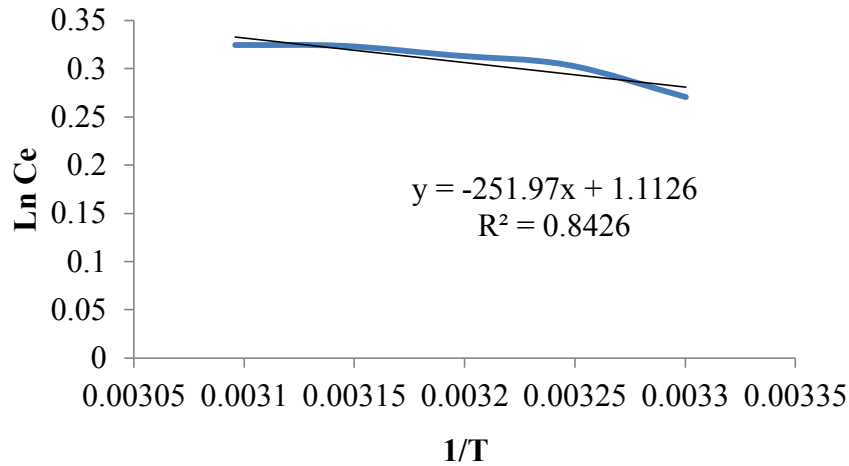


Gambar 13. Kurva Isoterm Freundlich *Congo Red*

Harga koefisien regresi linear (R^2) isoterm Langmuir (0,930) lebih besar dibandingkan dengan isoterm Freundlich (0,765). Isoterm Langmuir adalah model yang sesuai untuk menggambarkan adsorpsi *Congo Red* pada kitosan dengan persamaan garis lurus $y = 17,28 x + 0,309$. Dengan demikian harga K_L atau konstanta Langmuir adalah 0,0179 dan harga qm atau kapasitas adsorpsi maksimum *Congo Red* oleh kitosan adalah 0,309 mg/g. Hal ini juga menunjukkan bahwa mekanisme penyerapan *Congo Red* pada kitosan terjadi secara monolayer, dengan situs-situs aktif pada permukaan kitosan yang bersifat homogen.

Penentuan Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}), Entropi (ΔS_{ads}) dan Energi Bebas Gibbs (ΔG_{ads})

Entalpi adsorpsi *Congo Red* oleh kitosan ditentukan melalui pengaruh suhu pada proses adsorpsi. Pada Gambar 14. ΔH_{ads} diperoleh sebesar -2094,3 kJ/mol. Hasil negatif menunjukkan proses adsorpsi berlangsung spontan pada temperatur tinggi atau merupakan proses eksoterm.



Gambar 14. Kurva Entalpi Adsorpsi *Congo Red* oleh Kitosan

Pada penelitian ini, adsorpsi *Congo Red* oleh kitosan mengikuti isoterm Langmuir, sehingga entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) *Congo Red* dapat ditentukan menggunakan rumus Van't Hoff pada persamaan 4. sebagai berikut:

$$\ln K_L = \frac{\Delta S}{R} - \frac{\Delta H}{R.T} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana K_L : Konstanta Langmuir, R: tetapan gas universal (8,314 J/mol Kelvin), T adalah temperatur pada saat percobaan (Hwang Chen, 2010). Dilihat pada Gambar 12. didapatkan persamaan garis $y = 17,28x + 0,309$. Harga konstanta Langmuir dapat ditentukan dari kurva setelah diplot $1/C_e$ (absis) dan $1/Q_e$ (ordinat) yaitu sebesar 0,0179. Data perhitungan entropi adsorpsi variasi suhu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penentuan Entropi Adsorpsi (ΔS_{ads}) *Congo Red* oleh Kitosan

T(K)	K_L	$\ln K_L$	(ΔS_{ads}) J/mol
303	0,0179	-4,0229	-40,358
308	0,0179	-4,0229	-40,246
313	0,0179	-4,0229	-40,179
318	0,0179	-4,0229	-40,327
323	0,0179	-4,0229	-39,931

Pada tabel 1. menunjukkan semakin tinggi suhu maka entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) semakin besar. Nilai entropi adsorpsi ΔS_{ads} pada penelitian ini adalah -39,931 J/mol. Nilai negatif menunjukkan berkurangnya derajat kebebasan dari spesi yang teradsorpsi (Emelda, 2013).

Nilai energi bebas Gibbs *Congo Red* oleh kitosan dapat dilihat pada tabel 2. dan penentuan energi bebas Gibbs di tunjukkan pada Lampiran F. Nilai ΔG positif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung baik pada temperatur tinggi dan berlangsung secara eksotermis. Menurut Azmiyawati (2006) adsorpsi kimia terjadi bila besarnya energi adsorpsi lebih dari 20,9 kJ/mol. Dari

hasil penelitian yang diperoleh adsorpsi *Congo Red* oleh kitosan merupakan adsorpsi fisika (fisisorpsi) dan ikatan yang terbentuk merupakan ikatan fisika.

Tabel 2. Penentuan Energi Bebas Gibbs *Congo Red* oleh Kitosan

T(K)	(ΔS_{ads}) kJ/mol	(ΔG_{ads}) kJ/mol
303	-40,358	10,1342
308	-40,246	10,3015
313	-40,179	10,4819
318	-40,327	10,7297
323	-39,931	10,8034

Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan yaitu Rendemen yang diperoleh adalah 64,67% dan derajat deasetilasi kitosan yaitu 76,9%. Kondisi optimum adsorpsi *Congo Red* yaitu pada waktu kontak 30 menit, pH= 4, suhu 50°C, dan konsentrasi larutan sebesar 28 ppm. Adsorpsi *Congo Red* meng-ikuti model Isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi maksimum q_m sebesar 0,309 mg/g. Entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}) adalah -2094,3 kJ/mol, entropi adsorpsi (ΔS_{ads}) adalah -39,931 J/mol dan Energi Bebas Gibbs (ΔG_{ads}) adalah 10,8034 kJ/mol.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sunan Gunung Djati Bandung. Dan kepada bapak Lanang Solakhudin, Laboratorium Penelitian Kimia Analitik FMIPA ITB yang telah membantu dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Nurhayati (2011) : *Degradasi Reactive Orange 84 dalam Medium Cair Menggunakan Sonochemistry*, Skripsi, Insititut Teknologi Bandung.
- [2] Minierini, Risqia. (2013) : *Polimerisasi Metil Metakrilat dalam Admisel Zeolit-HDTMA-Br untuk Adsorpsi Congo Red*, Skripsi, Universitas Indonesia.
- [3] Zenasni M.A et al., (2012). Adsorption of Congo Red from Aqueous Solution Using CTAB-Kaolin from Bechar Algeria. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, 4: 332-341.
- [4] Susanti, A. (2009) : *Potensi Kulit Kacang Tanah Sebagai Adsorben Zat Warna Reaktif Cibacron Red*, Skripsi, Institut Pertanian Bogor.
- [5] Rochima, E. (2007) : *Karakterisasi Kitin dan Kitosan Asal Limbah Rajungan Cirebon Jawa Barat*, Tesis, Universitas Padjajaran.
- [6] Arh-Hwang Chen. and Yao-Yi Huang. (2010). Adsorption of Remazol Black 5 from aqueous solution by the templated crosslinked-chitosans. *Journal od Hazardous Materials*, 177: 668-675
- [7] Astuti, P. (2007) : *Adsorpsi Limbah Zat Warna Tekstil Jenis Procion Red MX 8b oleh Kitosan dan Kitosan Sulfat Hasil Deasetilasi Kitin Cangkang Bekicot (Achatina Fullica)*, Skripsi, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [8] Bayu, T.H. (2007) : *Pengaruh Konsentrasi Plasticizer Gliserol dan Komposisi Kitosan dalam zat Pelarut Terhadap Sifat Fisik Edible Film dari Kitosan*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.
- [9] Day, R.A and Underwood (2001) : *Analisis Kimia Kuantitatif*. Jakarta : Erlangga.

- [10] Fatimah, Is. (2012) : *Kinetika Kimia*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [11] Indah, Handayani. (2008) : *Karakterisasi dan Isolasi Kitosan dari Kulit Udang*, Skripsi, FMIPA UI, Jakarta.
- [12] Li, Songjun. et al., (2008). *Thermodynamic and Kinetic Considerations on the Specific Sorption and Molecular Recognition*. China: Sensors.
- [13] M. Saleem., M.Afzal., F.Mahmood., and A.Hameed. (1994). *Thermodynamics od Adsorption of Rhodamine B and Nile Blue Sulphate on Alumina from Aqueous Solutions*. Jour. Chem. Soc. Pak. Vol.16, No.2. Pakistan: Quaid-i-Azam University.
- [14] Meriatna (2008) : *Penggunaan Membran Kitosan untuk Menurunkan Kadar Logam Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dalam Limbah Cair Industri Pelapisan Logam*, Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [15] Miswar, B.M (2012) : *Kajian Bioteknologi Udang Putih (Peanus merguines) di Ekosistem Mangrove Percut Sei Tuan Sumut*, Tesis, Institut Pertanian Bogor.
- [16] Mital A., Kurup L., and Mittal J. (2006). Freundlich and Langmuir Adsorption Isotherms and Kinetics for the Removal of Tartazine from Aqueous Solutions using Hen Feathers. *Journal of Hazardous Materials*, 146: 243-348
- [17] Panji, Tri. (2011) : *Teknik Spektroskopi untuk Elusidasi Sturuktur Molekul*, Yogyakarta : Graha Ilmu.
- [18] Ramadhan, LOAN., dkk (2010) : *Deasetilasi Kitin secara Bertahap dan Pengaruhnya terhadap Derajat Deasetilasi serta Massa molekul Kitosan*, Jurnal Kimia Indonesia Vol. 5 (1), 2010, h. 17-21
- [19] Satake M, Nagahiro T. 1990. *Modern Dictionary Physical Chemistry*. New Delhi: Discovering.
- [20] Siregar, M. (2009) : *Pengaruh Berat Molekul Kitosan Nanopartikel untuk Menurunkan Kadar Logam Besi (Fe) dan Zat Warna pada Limbah Industri Tekstil Jeans*, Tesis, Universitas Sumatra Utara, Medan.
- [21] Sugita, P., dkk. (2009) : *Kitosan Sumber Biomaterial Masa Depan*, Bogor : IPB Press.
- [22] Supratman, Unang. (2010) : *Elusidasi Struktur Senyawa Organik*, Bandung : Widya Padjajaran.
- [23] Tanasale, Matheis. (2012) : *Kitosan dari Limbah Kulit Kepiting Rajungan (Portunus sanguinolentus L.) sebagai Adsorben Zat Warna Biru Metilena*. Jurnal Natur Indonesia, Vol 14(2). Hal 165-171
- [24] Yahdiana (2011) : *Studi Degradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Metode Fotokatalitik menggunakan Suspensi TiO₂*, Skripsi, Universitas Indonesia, Jakarta.

Studi Termodinamika dan Kinetika Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau

Putri Ayuningtyas^{1, a)}, Tety Sudiarti^{2, b)} dan Meyliana Wulandari^{3, c)}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati,
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru, Bandung 40614, Indonesia
email : ^{a)}putriayu13@gmail.com, ^{b)}s_tety70@yahoo.com, dan ^{c)}meylianawuladari@gmail.com

Abstrak

Rhodamin B adalah zat warna yang banyak dipakai sekaligus sebagai limbah terbanyak pada industri tekstil. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi ampas teh hijau untuk mengurangi zat warna rhodamin B dengan melakukan studi termodinamika dan kinetiknya. Kondisi optimum penyerapan terjadi pada waktu kontak 10 menit, pH 4 dan pada suhu 70 °C. Ditentukan pula orde pseudo 2, orde 1 dan 2 untuk mengetahui mekanisme adsorpsi. Adsorpsi ini mengikuti kinetika orde pseudo 2 dan, mengikuti orde 2. Proses adsorpsi ini berlangsung mengikuti Isoterm Freundlich, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,05 mg g⁻¹. Nilai entalpi adsorpsi negatif, $\Delta H_{ads} = -9556$ kJ mol⁻¹ menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksoterm, nilai energi bebas Gibbs positif, $\Delta G = 8542,94$ J mol⁻¹ menerangkan bahwa proses adsorpsi berlangsung baik pada temperatur tinggi.

Kata kunci: adsorpsi, kinetika adsorpsi, termodinamika, rhodamin B, ampas teh hijau.

Pendahuluan

Limbah zat warna tekstil mengandung logam berat, senyawa fenol, poliklorobifenil (PCB), trikloroetilen (TCE), dan senyawa aromatik lain atau senyawa organik lain yang merupakan senyawa mudah terurai dan tidak mudah terurai. Apabila limbah tekstil ini dialirkan langsung ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu maka akan menurunkan kualitas lingkungan sehingga akan selalu berkesinambungan dan berakhir pada kerusakan.

Pengolahan limbah dimaksudkan untuk meminimalkan konsentrasi, volume dan toksisitas limbah. Pengolahan limbah yang paling banyak dilakukan oleh pabrik tekstil adalah dengan teknik koagulasi atau penggumpalan, teknik lumpur aktif, ataupun adsorpsi dengan zeolit, reaksi kimia, foto-degradasi, bio-degradasi, *ultrasound*-degradasi, dan *reverse osmosis*. Metode yang paling efektif dalam mengurangi limbah zat warna adalah metode adsorpsi karena relatif murah, mudah dan ketersediaannya melimpah [1].

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan lain yang terjadi akibat adanya ketidakseimbangan gaya tarik pada permukaan zat tersebut [2]. Penggunaan adsorben memiliki beberapa keuntungan seperti memiliki pori-pori yang luas, hidrofob, stabil terhadap temperatur tinggi, tidak memiliki aktivitas katalitik dan mudah diregenerasi [3]. Bahan adsorben yang sering digunakan antara lain arang aktif, dan silika gel. Umumnya arang aktif digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan zat warna namun arang aktif memiliki harga produksi yang tinggi dan sulit untuk diregenerasi. Sehingga banyak penelitian dilakukan untuk menemukan bahan alternatif

yang dapat digunakan sebagai adsorben, baik adsorben untuk mengadsorpsi logam maupun zat warna.

Rhodamin B merupakan pewarna yang umum digunakan dalam industri tekstil, dan keberadaannya dapat diperoleh dengan mudah. Apabila Rhodamin B tidak diolah sebelum dibuang ke badan air maka akan mengganggu ekosistem air. Rhodamin B bersifat tidak mudah terurai, zat ini mengandung gugus benzena, yang membahayakan karena bersifat karsinogenik, zat warna ini sulit diuraikan oleh panas dan bakteri. Oleh karena itu dibutuhkan penanggulangan limbah Rhodamin B dengan cara yang praktis dan ekonomis agar industri tekstil dapat mengelola limbahnya dengan baik.

Ampas teh hijau mengandung serat kasar sebesar 20,39% [4] yang pada dasarnya merupakan bagian dari serat. Pada proses pembuatan teh hijau tidak dilakukan penghancuran sel untuk mencegah fermentasi sehingga kadar serat kasar yang dikandung oleh teh hijau lebih banyak dibandingkan teh hitam ataupun teh oolong. Selulosa, hemiselulosa, lignin serta komponen penyusun dinding sel tanaman lainnya termasuk dalam kelompok serat. Selulosa dalam teh memiliki gugus fungsi $-OH$ yang kemungkinan dapat berikatan secara hidrogen dengan gugus karbonil dari Rhodamin B. Berdasarkan komposisinya ampas teh hijau diharapkan dapat digunakan sebagai adsorben zat warna Rhodamin B.

Dalam penelitian ini akan dipelajari termodinamika dan kinetika adsorpsi Rhodamin B oleh ampas teh hijau dengan metode *batch* sebagai dasar untuk mempelajari proses adsorpsi. Parameter yang akan diuji antara lain model isoterm adsorpsi, kinetika orde 1, 2, kinetika pseudo, energi bebas gibbs (ΔG_{ads}) dan entalpi adsorpsi (ΔH_{ads}).

Teori

Tahap pertama yang dilakukan pencucian ampas teh yaitu dengan mendidihkannya dengan air selama 8 jam sambil diganti airnya setiap 2 jam kemudian dikeringkan pada suhu $105^{\circ}C$ selama 10 jam dan dihaluskan. Ampas teh diayak dengan ukuran 80 mesh. Selanjutnya dilakukan penentuan kondisi optimum adsorpsi dengan menambahkan 0,2 gram adsorben ampas teh ke dalam 10 ml larutan rhodamin B 5 mg L^{-1} pada variasi konsentrasi, pH, dan suhu. Uji kinetika adsorpsi dilakukan pada variasi konsentrasi 5, 10, 20, dan 50 mg L^{-1} , dengan masing masing waktu kontak 10, 20, 40, 60, dan 80 menit. Masing-masing filtrat hasil sentrifuge dari hasil adsorpsi dibaca dengan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum. Selanjutnya adsorben dilakukan karakterisasi dengan menggunakan metode FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada sebelum dan sesudah proses adsorpsi.

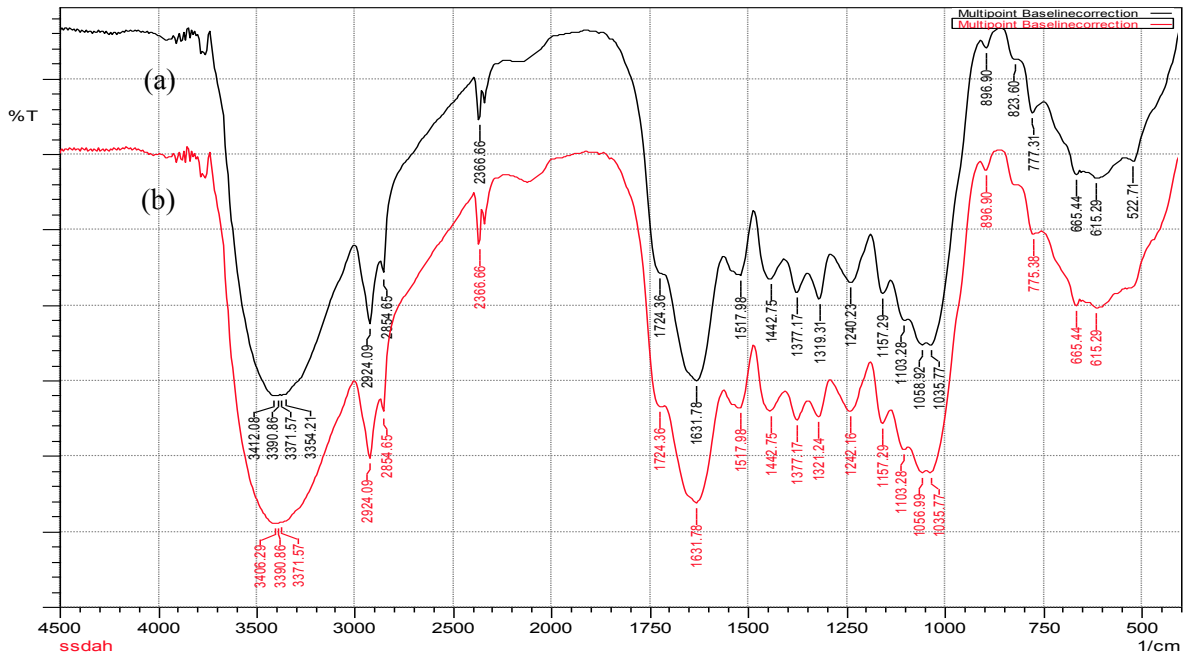
Hasil dan Diskusi

Selulosa dalam ampas teh hijau memiliki gugus fungsi $-OH$ yang kemungkinan dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karbonil dari Rhodamin B. Ikatan hidrogen yang terbentuk diharapkan mampu mengikat Rhodamin B pada selulosa untuk dapat mengurangi limbah zat warna Rhodamin B. **Gambar 1** menunjukkan hasil analisa *Fourier Transform Infrared Spectrophotometry* (FTIR) diperlukan untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang berperan dalam proses adsorpsi.

Tabel 1 Tabel Spektrum Hasil FTIR

Bilangan Gelombang (cm^{-1})		% Transmisi		Bil. Gelombang Referensi (cm^{-1})	Gugus Fungsi
Sebelum Adsorpsi	Sesudah adsorpsi	Sebelum Adsorpsi	Sesudah adsorpsi		
3354,21-3412,08	3371,57-3406,29	27,360	25,705	3300-3700	-OH
2924,09	2924,09	41,430	38,433	2800-3000	-C-H

Spektrum FTIR adsorben ampas teh hijau sebelum dan sesudah adsorpsi ditunjukkan pada **Gambar 1**. Pada **tersebut** terlihat pada bilangan gelombang 3300-3700 cm^{-1} merupakan gugus yang spesifik untuk $-\text{OH}$ yang menggambarkan vibrasi *stretching*, yang menjelaskan bahwa adsorben ampas teh hijau mengandung gugus $-\text{OH}$. Puncak pada bilangan gelombang 2924,09 cm^{-1} merupakan indikasi bahwa ada vibrasi pada gugus C-H.



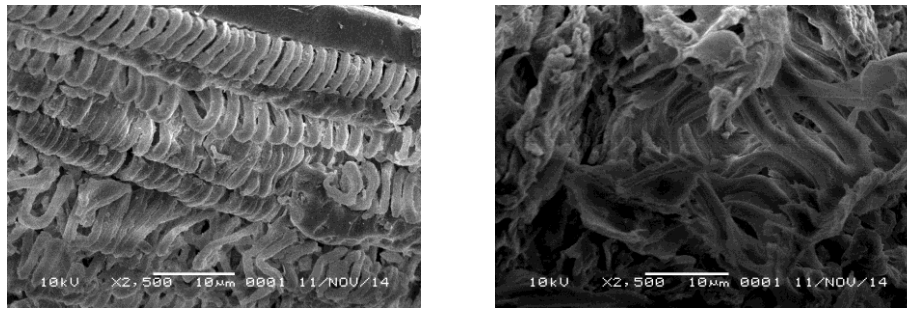
Gambar 1. Spektrum FTIR Adsorben (a) Sebelum Adsorpsi (b) Sesudah Adsorpsi

Pada gugus $-\text{OH}$ tidak ada perubahan yang berarti antara sebelum dan sesudah adsorpsi, dan begitu pula dengan gugus lainnya pada spektrum. Sehingga diketahui ikatan antara rhodamin B dengan ampas teh hijau adalah jenis ikatan fisik atau fisisorpsi.

Pada puncak gugus $-\text{OH}$ terjadi perubahan % Transmisi. % Transmisi sebelum adsorpsi (27,360%) lebih besar dari pada setelah adsorpsi (25,705%). Begitu pula pada % Transmisi pada gugus $-\text{C-H}$, dari 41,430% menjadi 38,433%. Berkurangnya nilai % Transmisi menunjukkan bertambahnya jumlah $-\text{OH}$ dan $-\text{C-H}$ pada adsorben setelah adsorpsi.

Jumlah $-\text{O-H}$ yang bertambah tidak dapat menjelaskan mekanisme reaksi karena satu $-\text{OH}$ dari selulosa akan menggantikan satu buah $-\text{OH}$ yang dibawa oleh rhodamin B sehingga untuk mekanisme adsorpsi tidak dapat diidentifikasi melalui FTIR.

Hasil dari analisis SEM dapat dilihat pada **Gambar 2**. SEM (*Scanning Electron Microscope*) digunakan untuk studi morfologi/permukaan suatu zat. Pada adsorben sebelum diadsorpsi terlihat rata dan berjajar. Pada permukaan adsorben setelah adsorpsi tidak lagi terlihat rata dan berjajar, pada permukaan selulosa terlihat lebih besar karena telah terlapisi oleh rhodamin B.

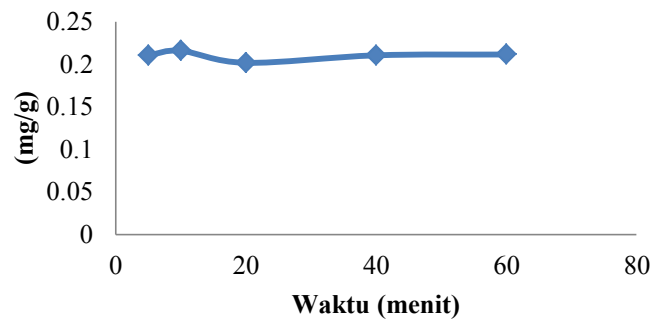


(a)

(b)

Gambar 2. Gambar pemindaian adsorben sebelum adsorpsi (a) dan sesudah adsorpsi (b)

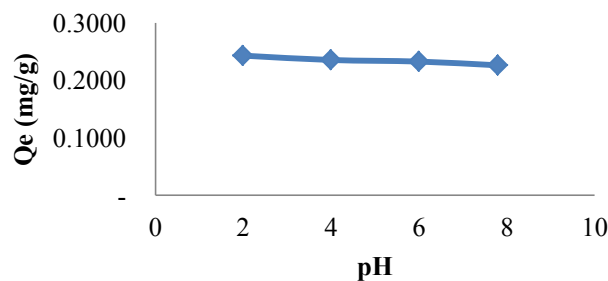
Waktu Kontak Optimum



Gambar 3. Penentuan Waktu Kontak Optimum

Pada **Gambar 3** adsorben ampas teh hijau mampu mengadsorpsi rhodamin B dengan baik hingga menit ke-10 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,22 mg/gram. Namun kemampuan adsorpsi menurun pada menit ke-20 yaitu dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,20 mg/gram. Setelah kondisi optimum tercapai, molekul rhodamin B yang sudah teradsorpsi pada sisi aktif adsorben akan terlepas kembali atau terdesorpsi sehingga kapasitas adsorpsinya menurun. Permukaan sisi aktif yang telah kosong dapat ditempati kembali oleh rhodamin B, yang dapat dilihat dari naiknya kapasitas adsorpsi secara signifikan yaitu pada menit ke-40 yaitu 0,21 mg/gram dan pada menit ke-60 yaitu 0,21 mg/gram.

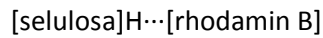
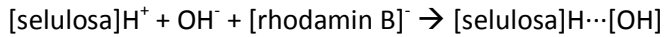
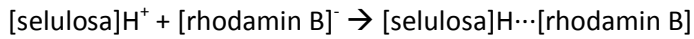
pH Optimum



Gambar 4. Penentuan pH Optimum

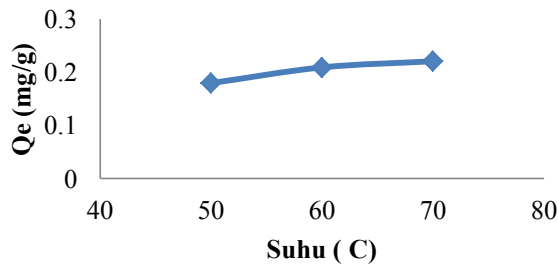
Adsorpsi larutan rhodamin B oleh adsorben ampas teh hijau bergantung dari pH larutan tersebut, karena pH akan mempengaruhi muatan permukaan adsorben sehingga menentukan spesi apa saja yang dapat terserap dalam adsorben. Pada penelitian sebelumnya^[2], adsorpsi rhodamin B

oleh ampas teh hitam dilakukan pada pH 2. Pada pH basa, keberadaan OH⁻ akan menghambat penyerapan rhodamin B karena akan terjadi kompetisi ion akibat muatan yang sama antara daerah di sekitar permukaan adsorben yaitu OH⁻ dari lingkungan basa dengan gugus karbonil (C=O) dari rhodamin B sehingga kapasitas adsorpsinya rendah.



Pada **Gambar 4** dapat dilihat semakin rendah pH larutan rhodamin B maka semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. pH optimum terjadi pada pH 2 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,24 mg/gram. Pada pH rendah, keberadaan ion H⁺ tidak terlalu mempengaruhi penyerapan sehingga kapasitas adsorpsinya lebih tinggi. Oleh karena itu pada penentuan pH optimum ini dilakukan pada variasi pH 2, 4, 6, dan 8. Kapasitas adsorpsi terkecil terjadi pada pH 8 yaitu sebesar 0,22 mg/g.

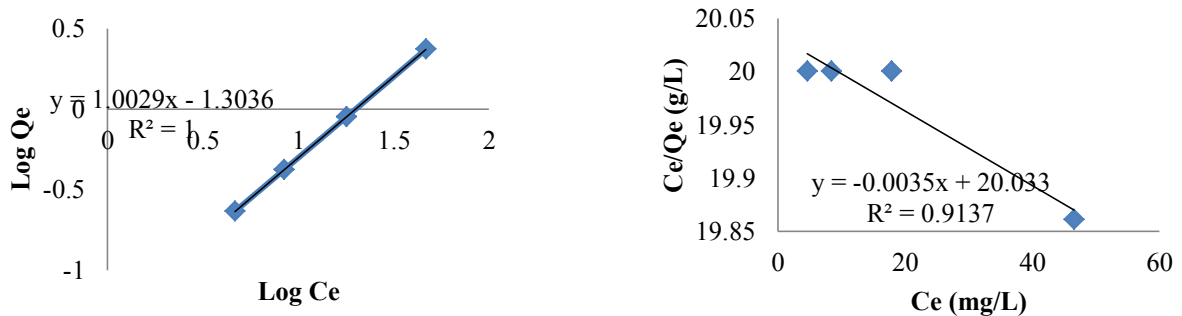
Suhu Optimum



Gambar 5. Penentuan Suhu Optimum

Pada **Gambar 5** suhu 50 °C memiliki kapasitas adsorpsi terendah yaitu sebesar 0,18 mg/gram. Kemampuan adsorpsi adsorben ampas teh hijau akan meningkat seiring dengan bertambahnya suhu, hal ini dapat dilihat pada suhu 60 °C yaitu memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0,21 mg/gram dan pada suhu optimum yaitu 70 °C sebesar 0,22 mg/gram. Pada suhu yang tinggi, luas permukaan adsorben akan meningkat sehingga memungkinkan adsorbat untuk terserap lebih banyak. Namun, dengan meningkatnya luas permukaan adsorben juga dapat memungkinkan terjadinya desorpsi, hal ini dapat terjadi pada suhu yang lebih tinggi akibat terjadinya peningkatan pergerakan molekul rhodamin B pada suhu yang tinggi.

Isoterm Adsorpsi



Gambar 6. (a) Isoterm Langmuir (b) Isotrm Freundlich

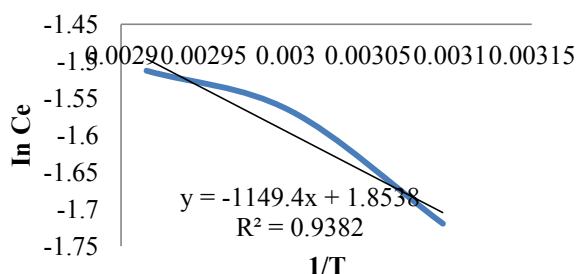
Pada **Gambar 6 (a)** dan **(b)** menunjukkan isoterm adsorpsi rhodamin B oleh ampas teh hijau lebih mengikuti model isoterm Freundlich ($R^2=1$) dibanding isoterm Langmuir ($R^2=0,9137$). Pada isoterm Freundlich semua sisi permukaan adsorben akan terjadi proses adsorpsi dibawah kondisi yang diberikan. Isoterm Freundlich tidak mampu memperkirakan adanya sisi-sisi pada permukaan yang mampu mencegah adsorpsi saat kesetimbangan tercapai dan hanya beberapa sisi aktif saja yang mampu mengadsorpsi molekul terlarut [5].

Tabel 2. Konstanta Isoterm Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau.

Isotherm Freundlich			Isotherm Langmuir		
K_f (mg/g)	n	R^2	Q_m (mg/g)	b (L/mg)	R^2
0,05	0,997	1	0,05	-14,29	0,9137

Nilai koefisien adsorpsi (K_f) secara umum merupakan indikator kapasitas adsorpsi yaitu sebesar 0,05 mg rhodamin per gram adsorben. **Tabel 2** menjelaskan bahwa kapasitas adsorpsi monolayer maksimum (Q_m) adalah 0,05 mg/g. Nilai n memberikan indikasi yang mendukung proses adsorpsi. Nilai $n < 1$ menunjukkan bahwa adsorpsi kurang disukai [6].

Penentuan Energi Entalpi Adsorpsi (ΔH_{ads}) Dan Energi Bebas Gibbs (ΔG)

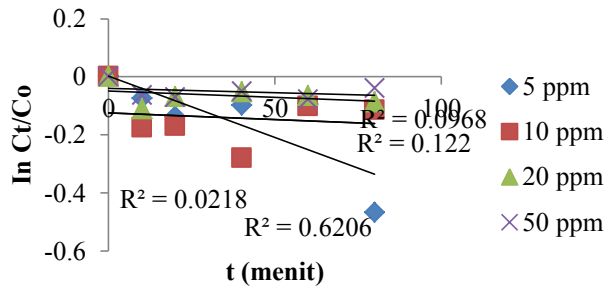


Gambar 7. Penentuan Entalpi Adsorpsi

Jumlah \ln konsentrasi adsorbat yang diserap pada $1/T$ yang bervariasi telah dihitung dan diplotkan pada **Gambar 7**. Gradien pada grafik tersebut merupakan $\Delta H_{ads}/R$ sehingga diperoleh ΔH_{ads} sebesar $-9556,11 \text{ kJ mol}^{-1}$. Nilai ΔH menerangkan proses adsorpsi yang berlangsung. Kecilnya nilai ΔH menunjukkan proses adsorpsi berlangsung spontan pada temperatur tinggi atau merupakan proses eksoterm. Nilai ΔH kurang dari 40 kJ/mol menggambarkan bahwa proses adsorpsi ini merupakan fisisorpsi.

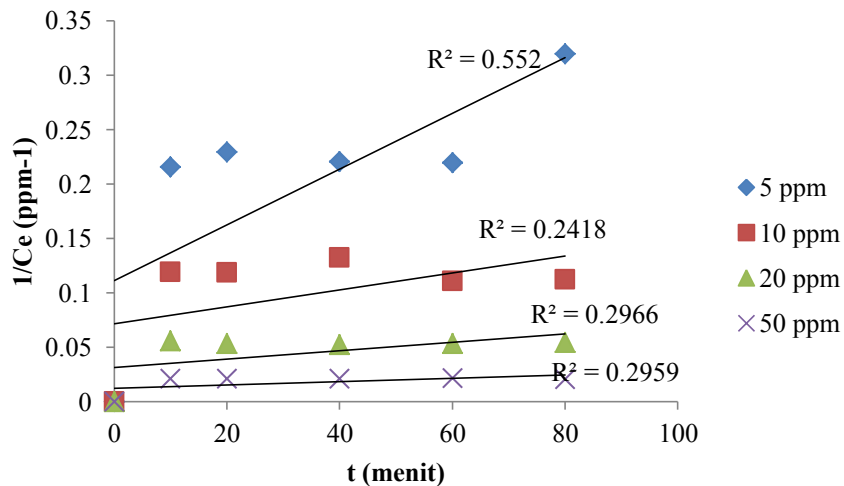
Interaksi antara rhodamin B dengan ampas teh hijau tidak kuat hal ini dibuktikan dengan tingginya nilai energi bebas gibbs yaitu sebesar $8542,936 \text{ J/mol}$ dan rendahnya nilai kapasitas adsorpsi (Q_e) sebesar $0,05 \text{ mg/gram}$.

Penentuan Orde Adsorpsi



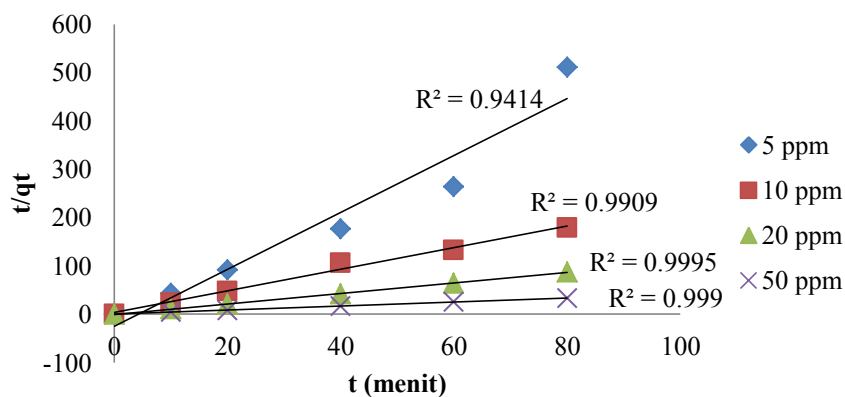
Gambar 8. Penentuan Kinetika Orde 1 Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau pada pH 2 Suhu 70 °C di Berbagai Konsentrasi

Kinetika adsorpsi dipelajari untuk mengetahui laju penyerapan. Berdasarkan **Gambar 8** dan **9** dapat terlihat perbedaan regresi antara kedua grafik. Regresi pada grafik orde 2 lebih besar dibanding dengan regresi pada orde 1, sehingga proses adsorpsi memiliki kecenderungan untuk mengikuti hukum orde 2. Pada konsentrasi tinggi, 20 dan 50 ppm, laju adsorpsi meningkat hingga menit ke-40 yaitu berturut turut sebesar 18,96ppm dan 47,52 ppm. Sedangkan pada konsentrasi rendah, 5 dan 10 ppm, terjadi fluktuasi kecepatan adsorpsi yaitu antara 3,13 ppm hingga 4,64 ppm, dan 7,5 ppm hingga 9,03 ppm. Semakin tinggi konsentrasi rhodamin B maka semakin tinggi pula kemampuan adsorpsi akibat dari pengaruh gaya tarik molekul pada konsentrasi tinggi.



Gambar 9. Penentuan Kinetika Orde 2 Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau pada pH 2 Suhu 70 °C di Berbagai Konsentrasi

Gambar 10 menjelaskan bahwa konsentrasi 50 ppm dan 20 ppm memiliki regresi yang besar, artinya hukum pseudo 2 lebih terpenuhi pada konsentrasi yang tinggi. Hukum laju pseudo 2 mengasumsikan bahwa konsentrasi salah satu reaktan berlebihan. Pada konsentrasi tinggi dianggap bahwa konsentrasi rhodamin B konstan selama proses adsorpsi berlangsung.



Gambar 10. Penentuan Kinetika Pseudo 2 Adsorpsi Rhodamin B oleh Ampas Teh Hijau pada pH 2 Suhu 70 °C di Berbagai Konsentrasi

Sedangkan pada konsentrasi rendah, setelah proses adsorpsi berlangsung maka akan terjadi penurunan laju adsorpsi. Adsorpsi terjadi lebih cepat pada awal adsorpsi dan berjalan lebih lambat pada kondisi ekilibrium.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian, analisis dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. FTIR tidak dapat menjelaskan interaksi ikatan yang terjadi dan perbedaan permukaan adsorben antara sebelum dan sesudah adsorpsi dapat terlihat melalui SEM.
2. Adsorpsi rhodamin B oleh ampas teh hijau memiliki kondisi optimum yaitu waktu kontak 10 menit, pH 4 dan suhu 70 °C.
3. Tipe isoterm yang terjadi pada proses adsorpsi ini adalah Isoterm Freundlich. Isoterm ini mengasumsikan bahwa permukaannya bersifat heterogen dan multilayer.
4. Energi bebas Gibbs yang terjadi pada proses adsorpsi adalah sebesar 8542,94 J/mol dan entalpi adsorpsi sebesar -9556,11 kJ/mol
5. Kinetika adsorpsi rhodamin B oleh ampas teh hijau mengikuti hukum orde ke 2 dan orde pseudo 2.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung atas tempat yang telah diberikan untuk melakukan riset ini serta Laboratorium Analitik ITB sehingga peneliti dapat memperoleh data penelitian ini.

Referensi

- [1] Hossain, Mohamad Abul dan Md. Shah Alam. 2012. *Adsorption Kinetics of Rhodamin B on Used Black Tea Leaves*. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering 2012, 9:2
- [2] Siaka M, Sukadana IM, Rahayu KS. 2002. Arang Kulit Kacang Tanah sebagai Adsorben Alternatif untuk Adsorpsi Larutan Nitrat. Chemical review: 67-73 Vol V.
- [3] Wahab, O. A., Nemr, A.E. Sikaily, A.E., dan Khalded A. 2005. Used of Rice Husk for Adsorption of Direct Dies from Aqueous Solution: A case Study of Direct F. Scarlet . Egyptian Journal of Aquatic Research 31, 2005.

- [4] Fiberti E. 2002. Pengaruh Beberapa Tingkat Penggunaan Ampas Teh dalam Ransum Bentuk Pelet terhadap Performan Kelinci Persilangan Lepas Sapih [Skripsi]. Bogor: Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor.
- [5] P.W. Atkins.1989. Kimia Fisika Jilid 2 Edisi Keempat. Oxford. Erlangga: Jakarta.
- [6] Hameed, B. H. 2008. *Spent Tea Leaves: A New Non-Conventional and Low-Cost Adsorbent for Removal Of Basic Dye from Aqueous Solutions*, J. Hazard material.161 (2009) 753-759.

Studi Adsorpsi Ion Logam Tembaga(II) Menggunakan Kulit Biji Bunga Matahari dengan Spektrometri Serapan Atom

Yuni Martiani Fitria^{1, a)}, Tety Sudiarti^{2, b)} dan Meyliana Wulandari^{3, c)}

¹Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati,
Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru, Bandung 40614, Indonesia
email : ^{a)}yunimartiani@gmail.com, ^{b)}s_tety70@yahoo.com, dan ^{c)}meylianawuladari@gmail.com

Abstrak

Tembaga adalah logam yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Logam tembaga berfungsi untuk tumbuh kembang dalam tubuh dan kegiatan manusia, kebanyakan tembaga digunakan untuk peralatan listrik. Namun, kelebihan tembaga dapat berakibat fatal karena tembaga termasuk kedalam golongan logam berat. Logam berat juga dapat menjadi masalah yang serius di dalam tubuh, hal ini dikarenakan logam berat merupakan suatu polutan konservatif yang tidak dapat didegradasi. Sejauh ini telah banyak adsorben yang digunakan untuk mengurangi kadar tembaga (Cu). Pada penelitian ini, kulit biji bunga matahari berhasil dijadikan adsorben logam Cu²⁺, dengan terlebih dahulu di cuci sampai bersih dan di keringkan kemudian diaktivasi. Proses aktivasi dilakukan menggunakan H₃PO₄ 0,3 M selama 24 jam pada suhu kamar, dinetralkan dan dioven selama 24 jam pada suhu 60 °C. Pada tahap karakterisasi dianalisis menggunakan FTIR, SEM, dan analisis angka iod dengan hasil terbesar 668,76 g/kg adsorben. Kondisi optimum penyerapan berada pada ukuran adsorben >30 mesh, dan pH 8 dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,4732 mg/g. Adsorpsi ion Cu(II) oleh biji bunga matahari mengikuti model isoterm *Langmuir*. Dengan hasil percobaan yang telah dilakukan, kulit biji bunga matahari yang telah diaktivasi cukup efektif dan efisien digunakan sebagai adsorben logam.

Kata kunci: Tembaga, bunga matahari, adsorpsi, isoterm adsorpsi.

Pendahuluan

Tembaga banyak digunakan di kehidupan manusia, di kehidupan sehari-hari tembaga biasanya digunakan sebagai peralatan listrik, dan pada tubuh manusia diperlukan sebagai mikronutrisi dan tumbuh kembang. Namun Kelebihan ion tembaga pada tubuh, akan menyebabkan kerusakan kekebalan tubuh, mendatangkan gangguan fungsi sistem kardiovaskular (jantung dan pembuluh darah), defisiensi metabolisme tulang, dan osteoporosis bersamaan dengan faktor umur [1]. Mengacu pada baku mutu air limbah golongan I menurut Kep. 03/MENKLH/II/1991, batas maksimal kandungan tembaga yang diperbolehkan adalah 1 mg L⁻¹.

Telah banyak adsorben yang digunakan untuk mengurangi kadar tembaga (Cu). Beberapa diantaranya menggunakan limbah sampah organik seperti kulit buah coklat untuk menyerap Cu(II) [2], dedak padi [3], sekam jagung (Han dkk., 2006), sekam biji melon (Okieimen dan Onyenkpa, 1989), cangkang hazelnut (Cimino dkk., 2000) dan masih banyak yang lainnya. Proses mengurangi kadar logam dengan adsorpsi memiliki keunggulan dibanding metode lainnya seperti membran

filtrasi, *reverse osmosis* dan pertukaran ion, yaitu karena prosesnya yang sederhana, tidak menghasilkan lumpur, dan biaya yang relatif murah (Awoyale, 2013).

Dikarenakan ketersediaan di alam, mudah ditemukan diberbagai negara, dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi, biji bunga matahari (BBM) dapat menjadikan alternatif sebagai adsorben ion logam, salah satunya tembaga. Menurut Opeolu (2010), selulosa telah terbukti sebagai media yang efektif dan relatif sederhana untuk menghilangkan ion logam Cu(II) dikarenakan memiliki gugus aktif yang dapat mengikat logam. Studi sebelumnya oleh Osma dkk (2007) telah dilakukan adsorpsi menggunakan biji bunga matahari untuk menyerap pewarna diazo.

Pada biji bunga matahari terdapat kandungan serat yang besar yaitu 78,4% (Osma, 2007). Serat selulosa dan hemiselulosa memiliki potensi yang sangat besar untuk menyerap ion tembaga dari perairan karena memiliki gugus –OH (Doruyun dan Celik, 2006). Gugus oksida (–OH) terbentuk akibat adanya adsorpsi kimia antara karbon dan oksigen di udara. Gugus oksida tersebut juga dapat dibentuk dengan menambahkan asam pada selulosa, yang berfungsi sebagai agen pengoksidasi. Mekanisme penyerapan yang terjadi antara penyerapan gugus –OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif terjadi melalui pertukaran ion. Kelebihan ion tembaga pada tubuh, akan menyebabkan kerusakan kekebalan tubuh, mendatangkan gangguan fungsi sistem kardiovaskular (jantung dan pembuluh darah), defisiensi metabolisme tulang, dan osteoporosis bersamaan dengan faktor umur [1]. Mengacu pada baku mutu air limbah golongan I menurut Kep. 03/MENKLH/II/1991, batas maksimal kandungan tembaga yang diperbolehkan adalah 1 mg L⁻¹.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan asam pengaktivasi yang paling baik, menganalisis kondisi optimum kulit BBM (dengan variasi ukuran adsorben, pH dan konsentrasi ion logam), menganalisis model isoterm adsorpsi, menganalisis gugus aktif pada kulit BBM, menganalisis perubahan morfologi pada kulit BBM (sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi dan setelah mengadsorpsi ion logam).

Teori

Bunga matahari sendiri memiliki nama latin *Helianthus annuus* L, taksonomi pada bunga matahari dapat dilihat pada **Tabel 1.** dibawah ini:

Tabel 1. Sistematika Bunga Matahari

Klasifikasi	Spesifik
Kingdom	Plantae (Tumbuhan)
Super Divisio	Spermatophyta (Menghasilkan biji)
Divisi	Magnoliophyta (Tumbuhan berbunga)
Kelas	Magnoliopsida (berkeping dua / dikotil)
Sub Kelas	Asteridae
Ordo	Asterales
Famili	Asteraceae
Genus	Helianthus
Spesies	<i>Helianthus annuus</i> L

Sumber : Aboki dkk, 2012

Bunga matahari memiliki beberapa manfaat, diantaranya dapat menurunkan tekanan darah, mengurangi rasa sakit gigi, sakit kepala, sakit pada saat haid, dan nyeri lambung.

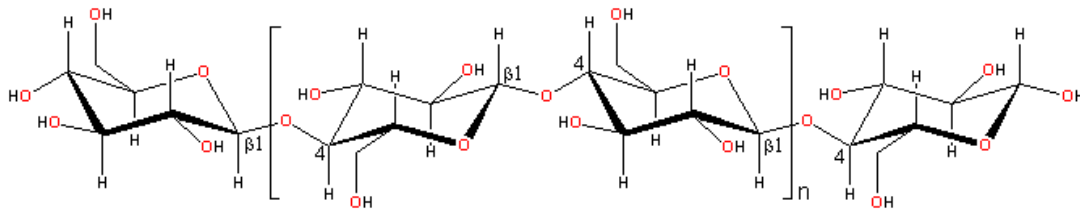
Buswell dan Oider (1997), telah meneliti kandungan senyawa kimia yang terdapat di dalam biji bunga matahari yang meliputi analisis proksimat dan komposisi mineral. Hasil yang diperoleh disebutkan dalam **Tabel 2** berikut ini.

Tabel 2. Data pengujian proksimat dari kulit biji bunga matahari

Kadar Air (%)	Total N (%)	Abu (%)	Total Karbon Organik (%)	Lignin (%)	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Nitroselulosa N/C (%)
11,8	0,56	3,0	41,20	28,7	31,3	25,2	72,4

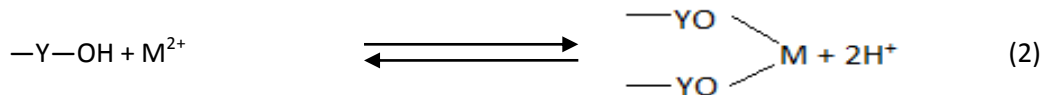
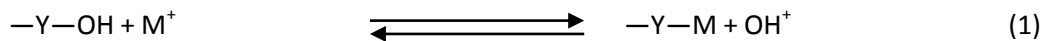
Sumber : Buswell dan Oider, 1997

Selulosa yang terdapat dalam kulit BBM diprediksi dapat menyerap ion logam berlebih. Dapat dilihat dari struktur selulosa dibawah ini:



Gambar 1. Struktur Selulosa

Dilihat dari struktur monomer dari selulosa, telah mengandung tiga gugus –OH. Hal ini tentunya membuat selulosa dan hemiselulosa memiliki potensi yang besar untuk menyerap ion logam. Adanya gugus –OH pada selulosa dan hemiselulosa menyebabkan terjadinya sifat polar pada adsorben tersebut. Dengan demikian, zat yang mengandung selulosa dan hemiselulosa dapat menyerap zat yang sifatnya polar juga, dari pada yang kurang polar. Mekanisme yang terjadi antara –OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif (kation) merupakan mekanisme pertukaran ion positif (Yantri, 1998). Mekanisme penyerapan ion dapat dilihat pada reaksi dibawah ini.

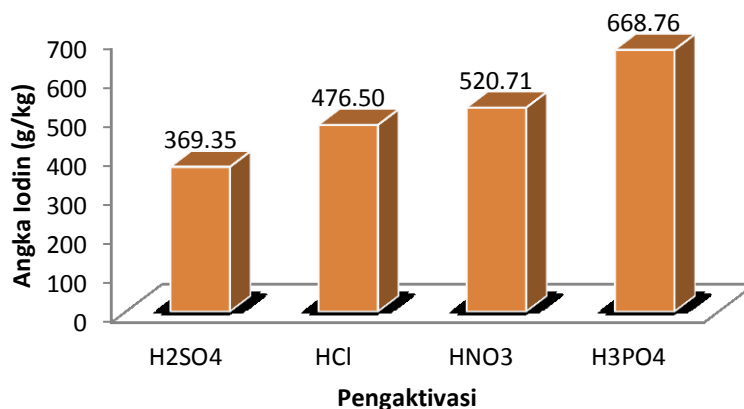


Mekanisme penyerapan ion logam diatas, dapat dijelaskan sebagai berikut. M^+ dan M^{2+} merupakan ion logam yang bermuatan +1 dan +2, –OH merupakan gugus hidroksil dan Y merupakan matriks dimana tempat melekatnya gugus –OH seperti pada selulosa.

Hasil dan Diskusi

1. Penentuan Angka Iodin

Penentuan angka iodin dilakukan guna mengetahui kapasitas adsorpsi dari kulit BBM yang telah diaktivasi. Pada penelitian ini penentuan angka iodin dilakukan pada adsorben dengan ukuran >30 mesh dengan aktivasi asam yang berbeda yaitu : HNO_3 , H_2SO_4 , HCl dan H_3PO_4 . Dari data yang dikumpulkan, diperoleh data yang disajikan dalam **Gambar 2**. Di bawah ini



Gambar 2. Grafik Angka Iodin

Dari **Gambar 3.** diatas diperoleh hasil yang paling besar angka iodinnya adalah adsorben kulit biji bunga matahari (BBM) yang diaktivasi menggunakan asam H₃PO₄ dengan besar adsorpsi 668,76 mg/g adsorben.

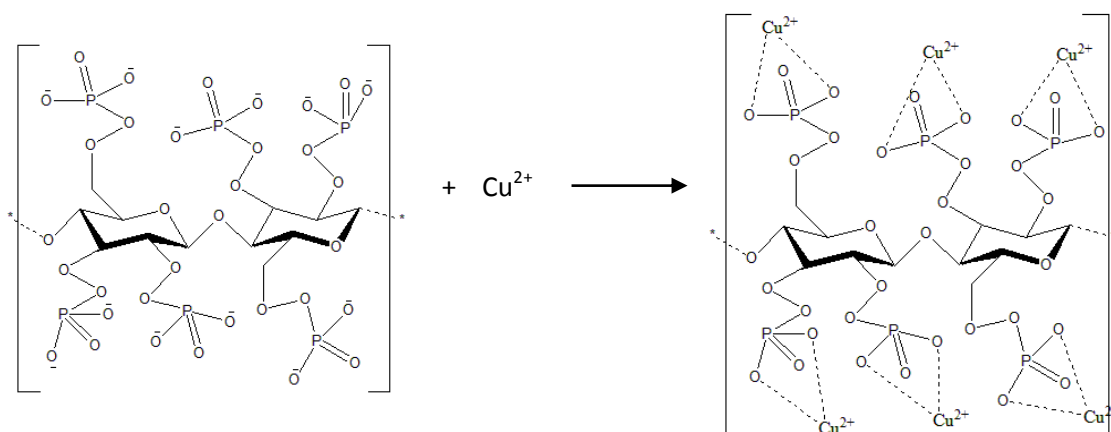
2. Reaksi Aktivasi

Variasi asam yang digunakan untuk aktivasi yaitu: HNO₃, H₂SO₄, HCl dan H₃PO₄. Reaksi asam dengan adsorben merupakan reaksi kimia yang menghasilkan sisi aktif terhadap serat kulit BBM. H₃PO₄ sebagai pengaktivasi kulit BBM, akan mengaktivasi gugus fungsional –OH dari adsorben menjadi sisi aktif yang dapat berikatan dengan adsorbat.

Gugus aktif –OH yang terdapat pada kulit BBM, memiliki ion H⁺ yang akan disubstitusi oleh ion PO₄³⁻ yang ada pada H₃PO₄ menjadi gugus aktif –PO₃²⁻. Kemudian gugus ini menjadi sisi reaktif pada kulit BBM untuk dapat berikatan secara elektrostatis dengan ion logam Cu(II).

3. Reaksi Adsorpsi

Reaksi pengikatan ion Cu(II) pada gugus aktif –OH dapat dilihat pada **Gambar 5.** dibawah ini



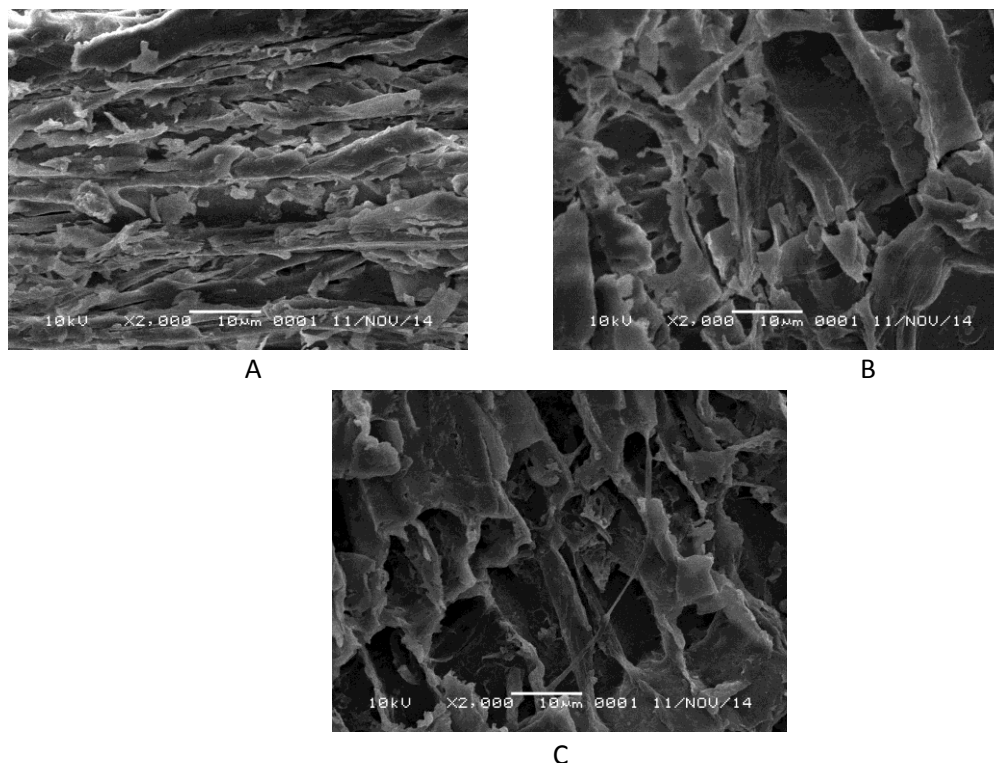
Gambar 3. Mekanisme reaksi adsorpsi

Reaksi yang terjadi antara gugus O⁻ dengan logam Cu²⁺ dapat terjadi karena selulosa yang telah diaktivasi menggunakan H₃PO₄ jadi memiliki gugus aktif PO₃²⁻. Interaksi antara keduanya dapat disebabkan karena O⁻ mempunyai satu elektron tidak berpasangan, sedangkan Cu memiliki bilangan

koordinasi +2 dimana yang artinya Cu^{2+} membutuhkan 2 elektron untuk stabil. Dua elektron yang berasal dari dua O^- kemudian berikatan secara kovalen koordinasi dengan logam Cu^{2+} .

4. Karakterisasi permukaan dengan *Scanning Electron Misroscope (SEM)*.

Luas permukaan yang bertambah luas dapat dilihat dari rongga permukaan yang meluas pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Hasil Karakterisasi SEM

Keterangan: A = Sebelum Aktivasi, B = Sesudah Aktivasi dan C = Setelah Adsorpsi

5. Karakterisasi Gugus Fungsi menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Dari ketiga hasil karakterisasi pada hasil A, B dan C tidak terlihat perbedaan yang signifikan, tetapi dari data hasil karakterisasi diatas dapat dilihat pada **Tabel IV.1** berikut

Tabel 3. Spektrum Hasil FTIR

Bilangan Gelombang						Bilangan Gelombang Referensi	Gugus Fungsi
Sebelum diaktivasi (A)		Setelah diaktivasi (B)		Setelah mengadsorpsi (C)			
$\lambda(\text{cm}^{-1})$	%T	$\lambda(\text{cm}^{-1})$	%T	$\lambda(\text{cm}^{-1})$	%T		
2924,09	80,746	2924,09	77,695	2924,09	84,088	2800-3000	C-H
1253,73	79,35	1249,87	70,733	1249,87	80,126	1100-1300	C-O
3425,58	54,632	3417,86	52,15 2	3448,72	61,718	3300-3700	-OH

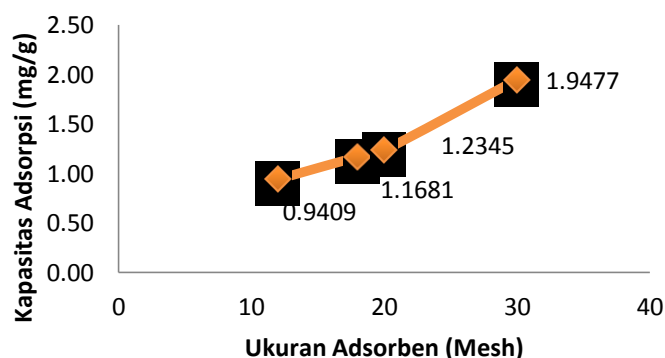
Setelah diaktivasi gugus $-\text{OH}$ mengalami pergeseran menjadi 3417,86 dan 3444,87 cm^{-1} . Dilihat dari pergeseran persen transmisi (%T) pada saat sebelum diaktivasi-setelah diaktivasi (54,632-52,601), turunnya %T disebabkan karena absorbansi pada gelombang gugus $-\text{OH}$ meningkat, sehingga cahaya yang ditransmisikan terdeteksi sedikit dan menyebabkan %T turun. Dengan turunnya %T menunjukkan bahwa konsentrasi gugus $-\text{OH}$ semakin meningkat. Karena %T pada angka 100 disebut garis dasar, penurunan %T menunjukkan bahwa suatu senyawa memiliki lebih banyak

gugus tertentu pada panjang gelombang tertentu (Fessenden dan Fessenden, 1982). Penurunan gugus -OH pada sampel kulit BBM yang telah diaktivasi disebabkan adanya substitusi oleh asam.

Setelah mengadsorpsi ion logam, gugus fungsi -OH yang terdeteksi tidak jauh berbeda dengan sampel setelah aktivasi asam yaitu pada 3425,58 dan 3448,72. Tetapi dilihat dari %T yang meningkat kembali yaitu (77,695-84,088), naiknya %T disebabkan karena absorbansi pada gelombang -OH menurun, sehingga cahaya yang ditransmisikan lebih banyak dan menyebabkan %T naik. Meningkatnya %T menunjukkan bahwa kandungan gugus -OH menurun, hal ini disebabkan karena gugus -OH telah berikatan dengan ion logam. Ikatan ini adalah ikatan kovalen koordinasi. Karena kesamaan gugus fungsi sebelum adsorpsi dan setelah adsorpsi, maka dapat dianalisis bahwa adsorpsi dilakukan secara fisisorpsi yaitu penyerapan ion logam secara fisika.

6. Optimasi Ukuran Partikel

Variasi ukuran partikel yang digunakan untuk optimasi adalah 12, 18, 20 dan 30 mesh.

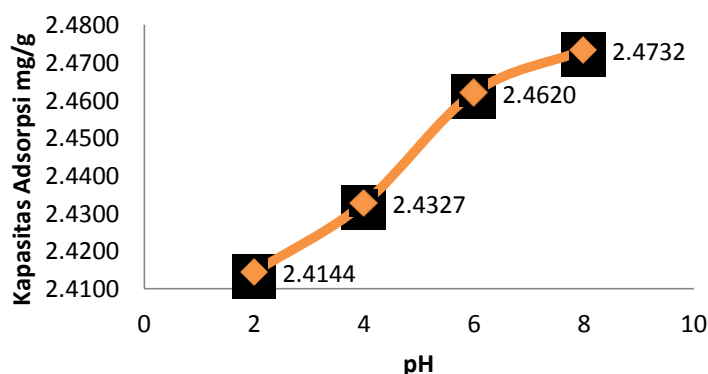


Gambar 5. Ukuran Partikel Optimum

Dari **Gambar 5**, dapat dilihat bahwa ukuran partikel yang dapat menyerap ion logam paling banyak adalah ukuran >30 mesh. Karena semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaannya dan semakin banyak Cu(II) yang teradsorpsi.

7. Optimasi pH

Optimasi variasi pH dilakukan untuk mengetahui daya serap paling optimum pada pH tertentu. Variasi pH ion logam yang digunakan untuk variabel y adalah pH 2, 4, 6 dan 8. Setelah sampel dianalisis menggunakan Spektrometri Serapan Atom (SSA), hasil dapat dilihat pada **Gambar 6**. dibawah ini

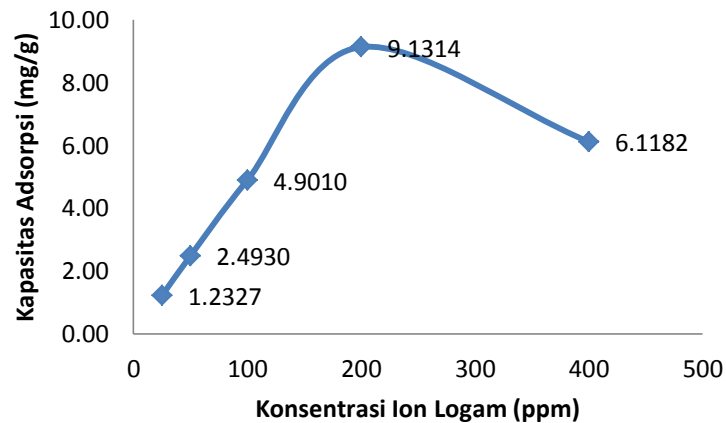


Gambar 6. pH Optimum

Dari data diatas dapat dilihat bahwa pH optimum penyerapan ion logam adalah pada pH 8. Pada pH 2 penyerapan ion logam terhitung kecil yaitu sebesar 2,4144 mg/g, hal ini disebabkan karena pada pH 2 lebih banyak terkandung ion H⁺ dari pada OH⁻, karena semakin rendah pH suatu larutan maka semakin banyak kandungan H⁺, dan semakin tinggi pH maka semakin sedikit kandungan ion H⁺ namun kandungan OH⁻ semakin banyak.

8. Optimasi Konsentrasi Ion Logam

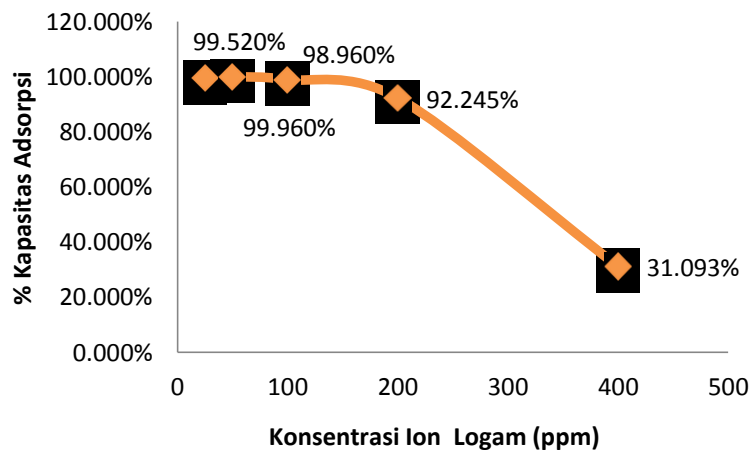
Setelah dua optimasi yang lain, terakhir dilakukan pengukuran kapasitas adsorpsi berdasarkan variasi konsentrasi ion logam (25, 50, 100, 200 dan 400 ppm) yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kejenuhan optimum pada adsorben dalam menyerap ion logam Cu(II). Hasil analisis optimasi konsentrasi ion logam dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Konsentrasi Ion Logam Optimum

Berdasarkan hasil data analisis yang diperoleh, dapat dilihat bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dengan konsentrasi ion logam yang meningkat pula. Kapasitas adsorpsi paling tinggi terjadi pada adsorben kulit BBM konsentrasi 200 ppm ion logam dengan kapasitas adsorpsi (Q_e) sebesar 9,1314 mg/g yang artinya pada 0,1 gram adsorben dapat menyerap 0,9131 mg ion Cu(II).

Dilihat dari perhitungan % kapasitas adsorpsi yang dapat dilihat pada **Lampiran F** variasi konsentrasi ion logam, konsentrasi ion logam 50 ppm memiliki persen kapasitas adsorpsi paling tinggi dibandingkan yang lainnya data ini dapat dilihat pada **Gambar 8**. dibawah ini

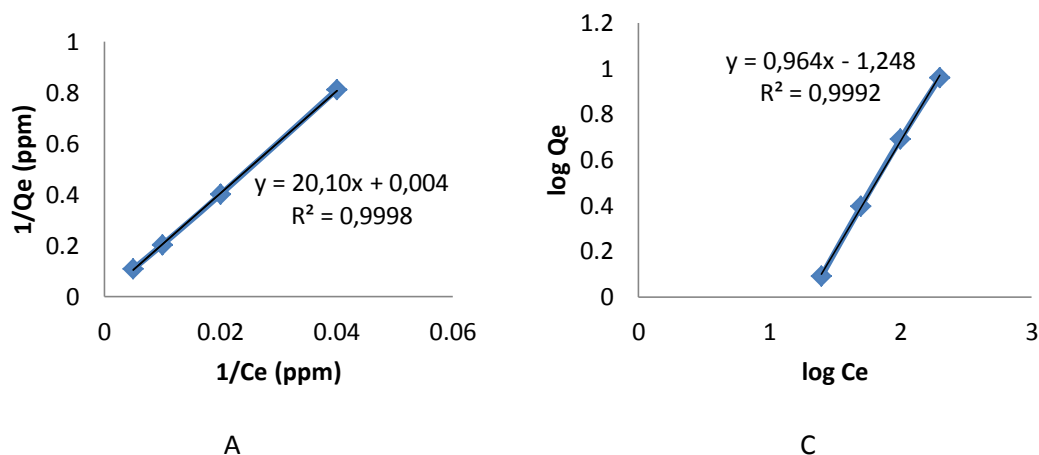


Gambar 8. Persen Kapasitas Adsorpsi Konsentrasi Ion Logam

Dari **Gambar 8.** diatas dapat dilihat bahwa % kapasitas adsorpsi dengan konsentrasi ion logam 50 ppm adalah konsentrasi yang paling baik mengadsorpsi ion logam Cu^{2+} .

9. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi *Freudlich* dan isoterm adsorpsi *Langmuir* adalah tipe yang sering digunakan pada penyerapan fasa padat terhadap fasa cair (Atkins, 1990). Pada penelitian ini data hasil diperoleh seperti pada **Gambar 9.** dibawah ini.



Gambar 9. Isoterm Adsorpsi

Keterangan: A = Isoterm Adsorpsi *Langmuir* dan B= Isoterm Adsorpsi *Freudlich*

Dari data yang diperoleh menunjukkan keduanya memiliki regresi linear yang sama besar yaitu sebesar 0,9998 pada isoterm *Langmuir* dan 0,9992 pada isoterm *Freudlich*. Maka pada penelitian ini diduga mengikuti pola isoterm *Langmuir* yang berarti pada proses adsorpsi berjalan secara kimia dan fisika.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Asam pengaktivasi optimum adalah H_3PO_4 dengan angka iodin sebesar 668,76 g/kg adsorben.
2. Partikel adsorben dengan ukuran >30 mesh merupakan ukuran partikel optimum untuk menyerap ion logam, dengan Q_e sebesar 1,9477 mg/g. Suasana pH optimum adalah pH 8, dengan Q_e sebesar 2,4732 mg/g adsorben.
Kapasitas adsorpsi maksimum terjadi pada konsentrasi ion logam 50 ppm, dengan Q_e sebesar 2,4930 mg/g adsorben.
3. Pada adsorpsi Cu(II) oleh adsorben kulit biji bunga matahari mengikuti model isoterm adsorpsi *Langmuir*.
4. Analisis menggunakan FTIR membuktikan bahwa pada gugus $-\text{OH}$ pada proses setelah aktivasi dan setelah adsorpsi berjalan dengan baik dilihat dari % transmisi yang menurun dan naik kembali (54,632 - 52,152 - 61,718).
5. Analisis menggunakan SEM, dapat memberikan gambaran perbedaan morfologi adsorben sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi dan setelah adsorpsi.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih penulis tujukan kepada Laboratorium Pertanian UNPAD, Laboratorium Analitik ITB, Badan Penelitian Geologi dan UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah menyediakan tempat dan memfasilitasi sampai selesainya penelitian ini.

Referensi

- [1] Angelova M., Asenova S., Nedkova V., Koleva-Kolaroya R. 2011. "Copper in thr Human Organism". *Trakir Ajournal Of Science*. Bulgaria. 9,(1): 88-89.
- [2] Odoemelam S.A., Iroh C.U. dan Igwe J.C. 2000. "Copper(II), Cadmium(II) anl Lead(II) Adsorption Kinetics from Aqueous Metas Solution Using Chemically Modified and Unmodified Cocoa Pod Husk (*Theobroma cacao*) Waste Biomass". *Research Journal of Applied Sciences*. Nigeria . 6(1): 44-52.
- [3] Wang, X.S and Y. Qin. 2005. "Equilibrium Sorption Isotherms for of Cu^{2+} on Rice Bean". *Procces Biology Chemistry*. 40: 677-680.
- [4] Emsley, John. 2003. *Nature's building blocks: an A-Z guide to the elements*. Oxford University Press. hal. 121–125.
- [5] Chalips, M.Z., Jonathan , O.O., Mahlatse, M.S., Nana, M.A., dan Rotimi Sadiku. 2008. "Application of Maize Tassel for the Removal of Pb, Se, Sr, U and V from Borehole Water Contaminated with Mine Wastewater in the Presence of Alkali Metals". *Journals of Hazardous Materials*.164: 884-891.
- [6] El-Nady, F.E and M.M. Atta. 1996. "Toxicity and Bioaccumulation of Heavy Metals to Some Marine Biota from the Egyptian Costal Waters". *J. Environ. Sci. Health Part A*, 31: 1529-1545.

Analisis Soal-Soal International Junior Science Olympiad (IJSO) Bidang Kimia Berdasarkan Dimensi Proses Kognitif Dan Pengetahuan

Yunita^{1, a)}

¹Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}doktor_yunita@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan komposisi dimensi proses kognitif dan pengetahuan taksonomi Bloom revisi pada soal-soal *International Junior Science Olympiad* (IJSO) bidang kimia Nigeria 2010 dan mendeskripsikan pemetaan soal-soal IJSO kimia Nigeria tahun 2010 berdasarkan SK/KD SMA/MA. Metode penelitian yang dilakukan deskriptif kualitatif. Soal yang di analisis pada penelitian ini dengan rincian *Multiple Choice* 10 soal, *Theoretical Test* dalam bentuk wacana, dan *Experimental Test* 12 soal. Data yang diperoleh Berdasarkan hasil analisis data, temuan, dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa komposisi dimensi proses kognitif taksonomi Bloom revisi aspek mengingat (C1) 2,94%, memahami (C2) 5,88%, mengaplikasi (C3) 44,12), menganalisis 32,35%, menilai (C5) 14,71%, dan mencipta 0%. Pemetaan pada dimensi pengetahuan faktual 8,82%, pengetahuan konseptual 44,11% dan pengetahuan prosedural 47,06%. Berdasarkan hasil analisis rincian kesesuaian SK/KD sebanyak 38,24 % materi kelas X, Sebanyak 50,00% kelas XI, sedangkan kelas XII sebesar 11,76%.

Kata kunci: Analisis soal, IJSO, IPA (Kimia), dimensi Proses Kognitif , dimensi Pengetahuan

Pendahuluan

Berdasarkan hasil pemetaan *The Learning Curve The Pearson* , pada tahun 2013 dan 2014 Indonesia menempati posisi buncit (dari 40 negara) dalam hal akses dan mutu pendidikan. Pada pemetaan *Trend in Mathematics and Science Study* (TIMSS) pada tahun 2011 bidang literasi sains, berada diperingkat 40 dari 42 negara, kondisi tak lebih baik juga terlihat pada peringkat Indonesia berdasarkan pemetaan (PISA) tahun 2012 yang berada di posisi 64 dari 65 negara. Sejak tahun 2000 posisi Indonesia posisi Indonesia cenderung stagnan, untuk pendidikan tinggi hasil pemetaan Universitas 21 menempatkan Indonesia pada posisi 49 dari 50 negara.

Adanya kesenjangan antara hasil yang diharapkan dengan fakta di lapangan, perlu adanya usaha kearah peningkatan hasil belajar siswa, untuk menjembatannya perlu diikuti sertakan olimpiade sains ditingkat Internasional agar siswa termotivasi. Ide awalnya diadakan olimpiade sains mutu pendidikan terhadap sains supaya merata, maka pemerintah memprogramkan untuk mengikut sertakan olimpiade yang bertujuan untuk memicu bagi siswa yang lain untuk berprestasi dalam mata pelajaran Sains di tingkat Internasional. *International Junior Science Olympiad* (IJSO) digagas oleh

Indonesia pada tahun 2004 dalam bidang IPA: fisika, kimia, dan biologi dan matematika tingkat SMP usia 15 tahun sebagai usaha untuk mendorong siswa-siswi muda dalam meraih prestasi bakat dan mencintai ilmu pengetahuan alam yang dapat mengembangkan komunikasi. Tujuan dari IJSO adalah menciptakan hubungan persahabatan secara Internasional dalam bidang sains. Mendorong siswa-siswi muda dalam meraih prestasi bakat dan mencintai ilmu pengetahuan alam yang dapat mengembangkan komunikasi. Dan menciptakan hubungan persahabatan secara Internasional dalam bidang sains [1].

Tujuan *International Junior Science Olympiad* adalah 1) Meningkatkan minat para siswa terhadap mata pelajaran sains (Fisika, Kimia dan Biologi) sejak duduk di tingkat SMP, 2) Memberikan motivasi kepada para siswa agar semakin giat belajar, 3) wahana pembinaan berkelanjutan dari lomba sains nasional untuk berkompetisi pada lomba tingkat internasional, 4) Memberikan kesempatan pada siswa untuk lebih memahami arti persaingan yang sehat dan kompetitif.

Ilmu kimia merupakan ilmu yang dikembangkan berdasarkan penelitian (induktif), ilmu yang dapat menjabarkan fenomena-fenomena alam dan penjelasannya berhubungan dengan struktur, sifat, komposisi, dinamika, energi, dan lainnya [2]. Dijelaskan, soal-soal yang diujikan khususnya pada materi kimia harusnya bersifat menantang dan mampu memisahkan siswa-siswa kedalam suatu kelompok tinggi atau rendah [3], sehingga sebaiknya soal mampu tersebar pada enam jenjang dimensi proses kognitif, tetapi pada kenyataannya, di lapangan dunia pendidikan kimia kebanyakan soal berada pada kelompok *LOCS (Lower-Order Cognitive Skills)* atau kelompok rendah [4].

Penelitian terhadap analisis soal matematika PISA (*Programme for International Student Assessment*) pada tahun 2003 menunjukkan beberapa tipe soal yang disajikan yakni, mengaplikasikan pengetahuan konseptual guna menyelesaikan soal tahapan, soal yang tidak familiar, dan membutuhkan penalaran. Hal ini berkaitan dengan pengetahuan konseptual juga pengetahuan prosedural yang menuntut siswa berpikir dengan fleksibel, memikirkan jawaban dari setiap langkah dan tidak bergantung pada pemikiran awal saja [5].

Penelitian lain terhadap soal-soal bidang rumpun IPA pada soal jenis olimpiade yakni *International Physics Olympiad (IPhO)* yang dilakukan oleh [6], menunjukkan point utama dari soal yang diujikan yakni kemampuan matematik yang berhubungan dengan pengetahuan prosedural. Tipe pengerjaan soal yang bertahap-tahap dan kompleks menjadikan kebanyakan masyarakat mengkategorikan soal olimpiade sebagai soal yang sulit [7]. Tingkatan level kognitif yang digunakan di Indonesia yakni Taksonomi Bloom revisi. Analisis yang dilakukan dalam penelitian inipun dilakukan terhadap dimensi proses kognitif dan pengetahuan yang disusun berdasarkan Taksonomi Bloom revisi, karena dapat mengelompokkan soal tersebut kedalam kelompok *HOCS (Higher-Order Cognitive Skills)* dan *LOCS (Lower-Order Cognitive Skills)* [8]. Begitu pula dengan adanya dimensi pengetahuan dalam Taksonomi Bloom revisi yang memberikan tingkat kespesifikan pada pembuatan indikator soal.

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penelitian ini yakni untuk mendeskripsikan komposisi dimensi proses kognitif Taksonomi Bloom revisi soal- soal IJSO kimia Nigeria 2010 dan untuk mendeskripsikan pemetaan soal-soal IJSO kimia Nigeria tahun 2010 berdasarkan SK/KD SMA/MA

Kajian Teori

International Junior Science Olympiad

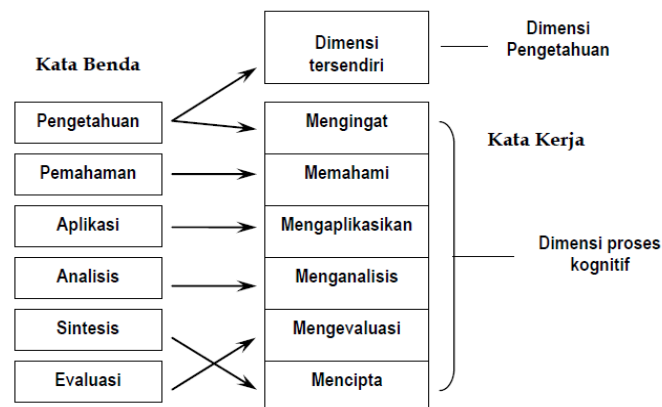
Direktorat Pembinaan SMP sejak tahun 2004 telah merintis kegiatan lomba internasional bidang sains yang diberi nama *International Junior Science Olympiad (IJSO)*. Sekilas kami gambarkan

pelaksanaannya, sebagai berikut, 1). International Juniors Science Olympiad (IJSO) ke-1 dilaksanakan di Jakarta 5 – 14 Desember 2004 dengan memperoleh 5 medali emas, 4 perak dan Indonesia berprestasi sebagai juara umum dan mendapatkan absolute winner, 2). IJSO ke 2 dilaksanakan di Yogyakarta, 4 – 13 Desember 2005 diikuti oleh 30 negara, berhasil memperoleh 6 medali emas, 4 perak dan 2 perunggu, serta berprestasi sebagai juara umum dan mendapatkan absolute winner, 3). IJSO ke-3 di Sao Paolo, Brazil 3 – 12 Desember 2006 diikuti oleh 36 negara memperoleh 2 medali emas, 3 perak dan 1 perunggu, 4). IJSO ke-4 di Taipei Taiwan 2 – 11 Desember 2007 memperoleh 1 medali emas, 2 perak dan 3 perunggu, 5). IJSO ke-5 di Gyeongnam Korea Selatan 7 – 16 Desember 2008 memperoleh 4 medali emas, 4 perak dan 1 perunggu, 6). IJSO ke-6 dilaksanakan di Yogyakarta 2 – 10 Desember 2009 berhasil memperoleh 5 medali perak dan 1 perunggu dan 7) IJSO ke-7 Desember 2010 di Nigeria. Tim Indonesia berhasil memperoleh 3 medali emas, 12 perak dan 5 perunggu.

Taksonomi Bloom Revisi

Taksonomi Bloom telah menjadi landasan dasar untuk pengelompokan tujuan-tujuan pendidikan dengan waktu yang cukup lama. Kemudian pada tahun 2001 diterbitkan buku 'A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives' yang disusun oleh Lorin W. Anderson dan David R. Krathwohl. Jika pada Taksonomi Bloom yang dulu hanya terdapat satu dimensi, maka dalam Taksonomi Bloom revisi ini terdapat dua dimensi untuk menjelaskan kemampuan pengetahuan dan cara berpikir siswa [6].

Penggambaran mengenai perubahan Taksonomi Bloom lama ke Taksonomi Bloom revisi, dituliskan di bawah ini:



Gambar1 . Perubahan Kerangka dari Taksonomi Bloom lama ke Taksonomi Bloom Revisi [6]

Gambar di atas menunjukkan perubahan yang terjadi pada Taksonomi Bloom yang terdahulu, untuk dimensi proses kognitif, perubahan kecil tapi signifikan yang terjadi adalah perubahan kata benda menjadi kata kerja, tidak ada penambahan tujuan, hanya terdapat pengubahan urutan pada mengevaluasi dan mencipta. Kata kerja pengetahuan tetap dipertahankan, hanya saja berdiri sendiri sebagai satu dimensi, yakni dimensi pengetahuan [9].

Dimensi Proses Kognitif berisikan enam kategori yaitu: mengingat, memahami, mengaplikasikan, menganalisis, mengevaluasi, dan mencipta. a). Mengingat merupakan usaha mendapatkan kembali pengetahuan dari memori atau ingatan yang telah lampau, baik yang baru saja didapatkan maupun yang sudah lama didapat, meliputi mengenali (*recognition*) dan memanggil kembali (*recalling*).

Mengenali atau mengidentifikasi berkaitan dengan mengetahui pengetahuan masa lampau yang berkaitan dengan hal-hal yang konkret, sedangkan memanggil kembali (*recalling*) adalah proses kognitif yang dibutuhkan dari ingatan jangka panjang ketika soal menghendaki demikian, b). Memahami berkaitan dengan membangun sebuah makna dari berbagai sumber baik berupa tulisan ataupun lisan yang berkaitan dengan aktivitas menafsirkan, mencontohkan, mengklasifikasikan, merangkum, menyimpulkan, menjelaskan dan membandingkan. 3). Mengaplikasikan menunjuk pada proses kognitif menggunakan suatu prosedur untuk melaksanakan percobaan atau menyelesaikan permasalahan, meliputi kegiatan menjalankan prosedur (*executing*) dan mengimplementasikan (*implementing*). 4). Menganalisis merupakan memecahkan suatu permasalahan dengan memisahkan tiap-tiap bagian dari permasalahan dan mencari keterkaitan dari tiap-tiap bagian tersebut dan mencari tahu bagaimana keterkaitan tersebut dapat menimbulkan permasalahan yang berkaitan dengan proses kognitif membedakan, memberi atribut (*attributing*) dan mengorganisasikan (*organizing*). 5). Mengevaluasi berkaitan dengan proses kognitif memberikan penilaian berdasarkan kriteria dan standar yang sudah ada, meliputi memeriksa (*checking*) dan mengkritisi (*critiquing*). Dikaitkan dengan proses berpikir merencanakan dan mengimplementasikan maka memeriksa akan mengarah pada pengujian sejauh mana suatu rencana berjalan dengan baik, 6). Mencipta mengarah pada proses kognitif meletakkan unsur-unsur secara bersama-sama untuk membentuk kesatuan yang koheren dan mengarahkan siswa untuk menghasilkan suatu produk baru dengan mengorganisasikan beberapa unsur menjadi bentuk atau pola yang berbeda dari sebelumnya [10].

Metoda Penelitian

Soal yang di analisis pada penelitian ini dari IJSO (Kimia) Nigeria tahun 2010 dengan rincian *Multiple Choice* 10 soal, *Theoretical Test* dalam bentuk wacana, dan *Experimental Test* 12 soal. Soal-soal tersebut sama dengan silabus di Indonesia sesuai kurikulum KTSP tingkat SMA. Metoda penelitian yang dilakukan deskriptif kualitatif, dimaksudkan untuk mengetahui konten dimensi proses kognitif dan pengetahuan yang terkandung dalam soal. Teknik yang dilakukan diawali dengan penyelesaian tahapan soal, karena berdasarkan tahapan tahapan ini akan diketahui karakteristik dimensi soal, kemudian dikelompokkan kedalam salah satu dari enam dimensi kognitif Taksonomi Bloom Revisi.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis *Multiple Choice*, *Theoretical Test*, dan *Experimental Test* yang telah dilakukan sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi jumlah soal-soal IJSO (kimia) Nigeria 2010 terhadap dimensi proses kognitif Taksonomi Bloom revisi

Dimensi Proses Kognitif	<i>Multiple Choice</i>	<i>Theoretical Test</i>	<i>Experimental Test</i>	Jumlah Soal	Persentase (%)
Mengingat	1	-	-	1	2,94
Memahami	2	-	-	2	5,88
Mengaplikasikan	6	4	5	15	44,12
Menganalisis	-	6	5	11	32,35
Mengevaluasi	1	2	2	5	14,71
Mencipta	-	-	-	-	-
Jumlah					100

Berdasarkan data tabel 1 di atas, hasil analisis dimensi proses kognitif Taksonomi Bloom revisi soal-soal dengan rincian aspek C1 Mengingat merupakan usaha mendapatkan kembali pengetahuan dari memori atau ingatan yang telah lampau, baik yang baru saja didapatkan maupun yang sudah lama didapatkan, meliputi mengenali (*recognition*) dan memanggil kembali (*recalling*) sebesar 2,94%. Aspek C.2 Memahami berkaitan dengan membangun sebuah makna dari berbagai sumber baik berupa tulisan ataupun lisan yang berkaitan dengan aktivitas menafsirkan, ditunjukkan ketika siswa dapat mengubah informasi dari suatu bentuk ke bentuk lainnya, seperti mengubah gambar menjadi tulisan sebesar 5,88%. Aspek C3 yang paling banyak dibandingkan aspek yang lain 44,12% dalam mengklasifikasikan, merangkum ditunjukkan ketika siswa dapat mengemukakan kalimat yang menggambarkan mengenai informasi yang telah diterimanya. Menyimpulkan ditunjukkan ketika siswa dapat menarik hubungan dari ciri-ciri yang telah diberikan. Membandingkan merujuk pada identifikasi persamaan dan perbedaan dari dua atau lebih obyek, kejadian, ide, permasalahan, atau situasi. Menjelaskan terjadi ketika siswa dapat membuat dan menggunakan model sebab-akibat dalam sebuah sistem. Aspek C4: 32,35% Menganalisis merupakan memecahkan suatu permasalahan dengan memisahkan tiap-tiap bagian dari permasalahan dan mencari keterkaitan dari tiap-tiap bagian tersebut dan mencari tahu bagaimana keterkaitan tersebut dapat menimbulkan permasalahan yang berkaitan dengan proses kognitif membedakan, memberi atribut (*attributing*) dan mengorganisasikan (*organizing*), dan aspek C5: mengevaluasi 14,71% Mengevaluasi berkaitan dengan proses kognitif memberikan penilaian berdasarkan kriteria dan standar yang sudah ada, meliputi memeriksa (*checking*) dan mengkritisi (*critiquing*). Dikaitkan dengan proses berpikir merencanakan dan mengimplementasikan maka memeriksa akan mengarah pada pengujian sejauh mana suatu rencana berjalan dengan baik. Mengevaluasi mengarah pada penilaian suatu produk atau operasi berdasarkan pada kriteria dan standar eksternal dan berkaitan erat dengan berpikir kritis. Siswa melakukan penilaian dengan melihat sisi negatif dan positif dari suatu hal berdasarkan standar atau kriteria, dan aspek [10].

Berdasarkan hasil analisis soal-soal pada umumnya diberikan stimulus berupa wacana, pernyataan, gambar, data, dan tabel. Berikut uraian bentuk soal *Multiple Choice* dengan rincian soal nomor 1 (C1) dengan indikator memasang sistem koloid dengan contohnya dikaitkan dengan kehidupan sehari-hari yang sesuai. Pada soal nomor 2 (C3) dengan indikator menghitung volume molar gas STP (0°C dan 1 atm), soal nomor 3 (C3) dengan indikator menentukan rumus molekul diketahui unsur C, H, dan O. Pada soal nomor 4 (C3) menerapkan bahan-bahan yang ada dalam kehidupan sehari-hari yang dapat menghantarkan arus listrik. Pada soal nomor 5 aspek C2 dengan indikator menentukan nilai x, y, dan z pada persamaan reaksi redoks kalium bikromat dan belerang dioksida pada suasana asam. Soal nomor 6 (C4) menghitung tekanan osmotik dengan diketahui (π) = C.R.T. Pada soal nomor 7 (C5) dengan indikator menganalisis suatu sampel melalui data pH indikator, sedangkan soal nomor 8 (C3) dengan indikator mengurutkan deret elektrokimia dari 3 macam zat yang diketahui. Pada soal nomor 9 (C3) dengan indikator menghitung jumlah molekul oksigen melalui pernyataan dalam kehidupan sehari-hari dan soal nomor 10 (C3) dengan indikator menuliskan persamaan reaksi melalui metabolisme dalam tubuh.

Pada soal bentuk *Theoretical Test* berupa wacana Aplikasi Asam Sulfat dalam Industri, berikut uraian indikatornya. Pada soal nomor 1 (C4) dengan indikator memilih reaksi pembentukan asam sulfat pekat secara komersial tidak tepat melalui pelarutan langsung SO_3 dalam air. Pada soal nomor 2 (C3) dengan indikator memasang peran dari asam sulfat terhadap aktifitas industri. Pada soal nomor 3 (C4) dengan indikator menuliskan persamaan-persamaan reaksi setimbang untuk ke 4 reaksi utama pada proses kontak. Soal nomor 5 (C4) dengan indikator menggunakan persamaan-persamaan

reaksi ionnya untuk memperlihatkan reaksi reduksi dan reaksi oksidasi dari ion vanadium. Soal nomor 6 (C3) dengan indikator hitung berat asam sulfat 98% yang dihasilkan dari 100 kg belerang murni. Asumsikan konversi belerang menjadi sulfur(IV) oksida adalah 100%. (kerapatan 98% asam sulfat adalah 1.98g/cm^3).

Soal nomor 7: Tuliskan persamaan setimbang untuk reaksi natrium klorida berlebih dengan asam sulfat pekat. Soal nomor 8 (C4) dengan indikator menyimpulkan persamaan setimbang dehidrasi sukrosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$) oleh asam sulfat pekat. Pada Soal nomor 9 (C3) menuliskan persamaan-persamaan reaksi pada ionisasi dalam air. Soal nomor 10 (C5) menentukan volume gas yang dihasilkan pada tahap pertama proses kontak dengan cara mengasumsikan masalah dalam wacana. Soal nomor 11(C4) menghitung volume asam sulfat yang dibutuhkan untuk menetralkan, dan pada Soal nomor 12 (C4) dengan indikator memilih tiga (3) bahan bakar fosil yang akan meningkatkan hujan asam.

Pada soal eksperimental tes diawali dengan wacana Sumber Energi Terbarukan, bahwa Nigeria adalah satu dari negara penghasil minyak terbesar di dunia, akan tetapi, seperti kebanyakan bentuk energi tak-terbarukan. Biodiesel menjadi salah satu sumber energi alternatif yang dihasilkan dari lemah nabati dan hewani. Tujuan percobaan ini membuat biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit atau *Palm Kernel Oil* (PKO) yang dihasilkan dari pohon kelapa sawit (*Elias guinesisi*) yang sangat melimpah di Nigeria dengan diketahui alat, bahan dan prosedur untuk menentukan angka asam untuk PKO-Biodiesel dan PKO. Berdasarkan data hasil pengamatan, pada soal nomor 1 (C4) memilih dua zat yang terkandung dalam lapisan bawah yang dihasilkan pada tahap ke 4. Soal nomor 2 (C3) dengan indikator menghitung persen hasil (% massa) PKO-Biodiesel dari PKO Mengapa magnesium sulfat anhidrat ditambahkan pada ekstraksi PKO-biodiesel. Pada soal nomor 3 (C4) dengan indikator memilih jawaban yang tepat. Soal nomor 4 (C5) menyimpulkan persamaan viskositas absolut. Soal nomor 5 (C4) dengan indikator mencatat volume titrasi yang dihasilkan pada penentuan angka asam PKO Soal nomor 6 (C3) menghitung angka asam PKO. Soal nomor 7 (C3) dengan indikator menghitung konsentrasi asam dari PKO dalam mol dm^{-3} . Soal nomor 8 (C4) dengan indikator menyimpulkan volume titrasi yang dihasilkan pada penentuan angka asam PKO-biodiesel. Soal nomor 9(C3) menghitung angka asam PKO-biodiesel dengan mengukur volume yang tepat PKO-biodiesel. Pada soal soal nomor 10(C3) menghitung konsentrasi asam dari PKO-biodiesel. Soal nomor 11 (C4) dengan indikator perbedaan nilai keasaman antara PKO dan PKO-biodiesel, dan Soal nomor 12 (C4) memilih jawaban yang terbaik alasan bahwa biodiesel melepaskan polutan yang lebih sedikit ke atmosfer dibandingkan petro-diesel ketika dibakar.

Tabel. 2 Komposisi soal-soal IJSO kimia Nigeria tahun 2010 pada SK/KD SMA/MA terhadap Standar isi Standar Kompetensi dan Kompetensi dasar Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP)

No	Kelas /semester	SK	KD	Materi Pokok	Bentuk/Nomor soal			%
					MC	TT	ET	
1	X/1	2	2.2	1. Mr	6	-	-	38,24
				2. Persamaan reaksi	-	-	4	
				3. Konsep Mol	-	-	-	
				a. VMG	2	10,11	-	
				b. Rumus Molekul	3	-	-	
				4. Hitungan Kimia	-	6	1,2,3,6,7,10	
2	X/2	3	3.1	Larutan elektrolit dan non elektrolit	4	-	-	50
			4.3	Minyak bumi	-	12	12	
3	XI/1	2	2.2	Termokimia	10	-	-	50
		3	3.4	Hukum Kesetimbangan Kimia	-	7,8,9	-	
			3.5	Kimia dalam Industri	-	1,2,3,4	-	
4	XI/2	4	4.1	Memperkirakan pH	7	-	11	50
			4.2	Titrasi	-	-	5,8,9	
		5	5.2	Koloid	1	-	-	
5	XII/1	1	1.1	Sifat Koligatif	9	-	-	11,76
		2	2.1	Persamaan Redoks dan Sel Volta	5.8	5	-	
6	XII/2	-	-	-	-	-	-	

Keterangan:

MC: *Multiple Choice*

TT: *Theoretical Test*

ET: *Experimental Test*

Berdasarkan Tabel 2 di atas, soal dalam silabus IJSO sesuai dengan SK-KD SMA/MA, sesuai mata pelajaran kimia kurikulum KTSP agar peserta didik memiliki kemampuan sebagai berikut: 1) Membentuk sikap positif terhadap kimia dengan menyadari keteraturan dan keindahan alam serta mengagungkan kebesaran Tuhan YME, 2). Memupuk sikap ilmiah yaitu: jujur, objektif, terbuka, ulet, kritis, dan dapat bekerja sama dengan orang lain, 3). Memperoleh pengalaman dalam menerapkan metoda ilmiah melalui percobaan atau eksperimen, dimana peserta didik melakukan pengujian hipotesis dengan merancang percobaan melalui pemasangan instrumen, pengambilan, pengolahan, dan penafsiran data, serta menyampaikan hasil percobaan secara lisan dan tertulis, 4) Meningkatkan kesadaran terapan kimia yang dapat bermanfaat dan juga merugikan bagi individu, masyarakat, dan lingkungan serta menyadari pentingnya mengelola dan melestarikan lingkungan demi kesejahteraan masyarakat, 5). Memahami konsep, prinsip, hukum dan teori kimia serta saling keterkaitannya dan penerapannya untuk menyelesaikan masalah dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi sedangkan ruang lingkupnya merupakan kelanjutan dari mata pelajaran IPA di SMP/MTs yang menekankan pada fenomena alam dan pengukurannya dengan perluasan pada konsep abstrak yang meliputi aspek-aspek 1) Struktur atom, sistem periodik, dan ikatan kimia, Stoikiometri, larutan elektrolit dan non elektrolit, reaksi reduksi oksidasi, senyawa organik dan makromolekul, 2). Termokimia, laju reaksi, Kesetimbangan kimia, larutan asam basa, stoikiometri larutan, kesetimbangan ion dalam larutan, dan sistem koloid, 3). Sifat koligatif larutan, redoks dan elektrokimia, karakteristik unsur, kegunaan dan bahayanya, senyawa organik dan reaksinya, benzena dan turunannya, makromolekul.

Berdasarkan hasil analisis rincian kesesuaian SK/KD nya sebagai berikut: sebanyak 38,24 % materi kelas X dengan KD 2.2 Membuktikan dan mengkomunikasikan berlakunya hukum-hukum

dasar kimia melalui percobaan serta menerapkan konsep mol dalam menyelesaikan perhitungan kimia KD 3.1 Mengidentifikasi sifat larutan non-elektrolit dan elektrolit berdasarkan data hasil percobaan, KD 4.3 Menjelaskan proses pembentukan teknik dan pemisahan fraksi-fraksi minyak bumi serta kegunaannya, 50,00% kelas XI dengan KD 2.2 Menentukan entalpi reaksi berdasarkan percobaan, hukum Hess, data perubahan entalpi pembentukan standar, dan data energi ikatan, KD 3.4 Menentukan hubungan kuantitatif antara pereaksi dengan hasil reaksi dari suatu reaksi keseimbangan KD 3.5 Menjelaskan penerapan prinsip keseimbangan dalam kehidupan sehari-hari dan industri, KD 4.1 Mendeskripsikan teori-teori asam-basa dengan menentukan sifat larutan dan menghitung pH larutan, KD 4.2 Menghitung banyaknya pereaksi dan hasil reaksi dalam larutan elektrolit dari hasil titrasi asam basa, dan 5.2 Mengelompokkan sifat-sifat koloid dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari, sedangkan kelas XII sebesar 11,76% dengan rincian KD 1.1 Menjelaskan penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, penurunan titik beku larutan, dan tekanan osmosis termasuk sifat koligatif larutan dan KD 2.3 Menerapkan hukum Faraday untuk elektrolisis larutan elektrolit.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data, temuan, dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa komposisi dimensi proses kognitif Taksonomi Bloom revisi aspek Mengingat (C1) 2,94%, Memahami (C2) 5,88%, Mengaplikasi (C3) 44,12), Menganalisa 32,35%, Menilai (C5) 14,71%, dan Mencipta 0%, dan pemetaan soal-soal berdasarkan SK/KD SMA/MA Berdasarkan hasil analisis rincian kesesuaian SK/KD nya sebagai berikut: sebanyak 38,24% materi kelas X, Sebanyak 50,00% kelas XI, sedangkan kelas XII sebesar 11,76%

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan yang telah memberikan kesempatan dalam penulisan jurnal penelitian ini, serta pada pihak-pihak lain yang terkait

Referensi

- [1] Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Pertama. (2012). *Panduan Pelaksanaan Seleksi Olimpiade Sains*. Jakarta : Kemendikbud.
- [2] BSNP, "Standar Isi Mata Pelajaran Kimia SMA/MA", Penerbit Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2006.
- [3] Atjenon, "Good, bad Assessment', Jyvaskyla: *Gummerus Kirjapaino Oy*, 2007, p. 19-170.
- [4] Tsaparis dan Zoller, "Evaluation of higher vs. lower-order cognitive skills-type examinations in chemistry: implications for university-class assessment and examinations", *University Chemistry Education*, 2003, **7**(2), p. 50-57.
- [5] Jabubowski. M, "Analysis of the Predictive Power of PISA Test Items", *OECD Education Working Papers*, 2013, p.87.
- [6] Eisenkraft. Arthur, Kotlicki. Andrezej, "Theoretical and Experimental Problems of The International Physics Olympiad-Requirements and Priorities. Norwegian University of Science and Technology", 2010, [Online], Tersedia:[http://ipho.phy.ntnu.edu.tw/news/FINAL\(Kotlicki\).pdf](http://ipho.phy.ntnu.edu.tw/news/FINAL(Kotlicki).pdf). [Diakses 2 Juni 2014].
- [7] Urip, "Soal Olimpiade Lokal-Nasional dari Amerika", [Online], 2012, Tersedia : <http://www.urip.wordpress.com>. [Diakses 28 Juli 2014].
- [8] Tikkanen. Greta, dan Aksela Maija, "Analysis of Finnish chemistry Matriculation Examination questions according to Cognitive Complex", *Journals of uio*, 2012, **8**, (3),p. 258-286
- [9] Gunawan. Imam, dan Palupi, "Taksonomi Bloom-Revisi Ranah Kognitif Kerangka Landasan Untuk Pembelajaran, Pengajaran dan Penilaian", 2012 [Online],

Tersedia, <http://www.ikipggrimadiun.ac.id/ejournal/sites/default/files.pdf>, [Diakses 27 September 2013].

- [10] Anderson. Lorin W, dan Krathwohl, David R, (Eds), "*Kerangka Landasan Untuk Pembelajaran, Pengajaran dan Asesmen*". Terjemahan oleh Agung Prihantoro", Penerbit Pustaka Belajar, Yogyakarta, 2001.

Penerapan Pembelajaran Learning Cycle 5-E Untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa Pada Konsep Sifat Koligatif Larutan

Cucu Zenab Subarkah^{1, a)}, Ratih Pitasari¹ Siti Tihamah¹

¹Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung
email : ^{a)}zenabsc@gmail.com

Abstrak

Sifat koligatif larutan merupakan salah satu konsep yang sulit dipelajari siswa. Masalah yang dihadapi, guru kimia diantaranya belum mampu menghubungkan faktor van't Hoff pada perhitungan sifat koligatif larutan elektrolit dan aktifitas siswa belum optimal dalam proses pembelajaran. Hal ini seperti yang dialami oleh guru di SMAN 16 Bandung. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan aktifitas siswa dalam setiap siklus, menganalisis kemampuan siswa menyelesaikan Lembar Kerja Siswa (LKS) setiap tahap pembelajaran *learning cycle* 5-E dan menentukan kemampuan berpikir kritis (KBKr) siswa pada konsep sifat koligatif larutan setiap siklus. Subjek penelitian ini adalah siswa kelas XII IPA-6 SMAN 16 Bandung sebanyak 37 orang. Metode penelitian yang digunakan yaitu penelitian tindakan kelas dengan tiga siklus. Instrumen yang digunakan yaitu LKS, lembar observasi siswa dan tes KBKr. Berdasarkan hasil penelitian, model ini berlangsung dengan baik. Hasil observasi aktivitas siswa menunjukkan peningkatan pada setiap siklus. Kemampuan siswa menyelesaikan LKS setiap tahapan model pembelajaran *learning cycle* 5-E mengalami peningkatan dengan nilai rata-rata siklus I 63, siklus II 75 dan siklus III 85. Sedangkan, untuk hasil tes KBKr yang dilaksanakan pada akhir pembelajaran menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar yaitu nilai rata-rata siklus I 68, siklus II 77 dan siklus III 84.

Kata Kunci: *Learning Cycle 5-E*, Keterampilan Berpikir Kritis, Sifat Koligatif Larutan

Pendahuluan

Salah satu konsep dalam ilmu kimia adalah sifat koligatif larutan yang mempunyai banyak kaitan dengan konsep-konsep kimia lainnya. Sebelum mempelajari sifat koligatif larutan siswa terlebih dahulu harus memahami konsep macam-macam larutan elektrolit dan larutan nonelektrolit yang selanjutnya dihubungkan dengan faktor van't Hoff. Selain itu, siswa harus terlebih dahulu menguasai jenis-jenis satuan konsentrasi yang dijadikan prasyarat konsep sifat koligatif larutan.

Berdasarkan masalah yang dihadapi salah seorang guru kimia di SMAN 16 Bandung, diketahui bahwa siswa mengalami kesulitan memahami konsep sifat koligatif larutan yang meliputi penurunan tekanan uap, kenaikan titik didih, penurunan titik beku dan tekanan osmotik. Kesulitan yang dihadapi seperti belum dapat membedakan larutan elektrolit dan non elektrolit yang menyebabkan siswa mengalami kesulitan untuk menghubungkan faktor van't Hoff pada perhitungan sifat koligatif larutan elektrolit. Selain itu juga, siswa belum dapat mengkonversi satuan dan kemampuan siswa yang berkembang hanya baru pada memberikan penjelasan sederhana, membangun keterampilan dasar,

dan menyimpulkan. Aktifitas siswa selama proses pembelajaran masih belum optimal, sehingga hal ini berpengaruh terhadap hasil belajar siswa. Hasil belajar yang baik akan tercapai jika siswa termotivasi untuk melakukan kegiatan belajar di sekolah. Untuk menunjang kegiatan dalam pembelajaran, aktivitas belajar siswa sangatlah diperlukan, sebab proses belajar adalah perubahan melalui aktivitas, praktik, dan pengalaman [1].

Dengan kenyataan tersebut, diperlukan upaya untuk meningkatkan hasil belajar siswa dalam konsep sifat koligatif larutan dan peningkatan aktifitas siswa. Guru memegang peranan penting dalam merancang peningkatan pembelajaran siswa, seperti salah satunya dengan mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Keterkaitan berpikir kritis dalam pembelajaran adalah perlunya mempersiapkan siswa agar menjadi pemecah masalah yang tangguh, pembuatan keputusan yang matang, dan orang yang tak pernah berhenti belajar. Berpikir kritis merupakan berpikir secara beralasan dan reflektif dengan menekankan pembuatan keputusan tentang apa yang harus dipercayai atau dilakukan [2].

Model pembelajaran yang dapat digunakan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan menuntut keaktifan siswa adalah model pembelajaran *learning cycle*. *Learning cycle* suatu model yang berpusat pada siswa atau peserta didik. *Learning Cycle* merupakan suatu model pembelajaran yang berdasarkan pada pandangan konstruktivisme dimana pengetahuan dibangun dari pengetahuan siswa itu sendiri [3].

Learning cycle 5-E adalah suatu model kerangka konseptual yang digunakan sebagai pedoman dalam melakukan proses pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (*student centered*), karena setiap "E" merupakan bagian dari proses untuk membantu rangkaian pembelajaran siswa dan menghubungkan pengetahuan sebelumnya dengan konsep-konsep baru, model ini terdiri dari: *engage, explore, explain, elaborate, evaluate* [4]. Tujuan dalam penelitian ini adalah, mendeskripsikan aktifitas guru dan siswa dalam setiap siklus pembelajaran *learning cycle 5E (engage, explore, explain, elaborate, evaluate)* pada konsep sifat koligatif larutan, menganalisis kemampuan berpikir kritis siswa setiap tahap model pembelajaran *learning cycle 5E (engage, explore, explain, elaborate, evaluate)* pada konsep sifat koligatif larutan dan menganalisis kemampuan berpikir kritis siswa pada konsep sifat koligatif larutan untuk setiap siklus di kelas XII IPA-6 SMAN 16 Bandung.

Teori

Model Pembelajaran Learning cycle 5-E

Model pembelajaran *learning cycle* 5-E merupakan suatu prosedur pembelajaran yang fleksibel, artinya dapat menggunakan model pembelajaran lain yang sesuai dengan pokok bahasan yang akan diajarkan agar siswa dapat lebih termotivasi dalam belajar [5]. Fokus pembelajaran dari setiap komponen model pembelajaran *learning cycle* 5-E adalah aktivitas yang harus dilakukan guru. Model pembelajaran *learning cycle* 5-E terdiri dari lima tahap yaitu: *engage, explore, explain, elaborate, evaluate*.

Keterampilan Berpikir Kritis

Berpikir kritis adalah aktivitas terampil yang bisa dilakukan dengan baik atau sebaliknya, dan pemikiran kritis yang baik akan memenuhi beragam intelektual, seperti kejelasan, relevansi, kecukupan, koherensi dan lain-lain [6]. Keterampilan berpikir kritis memiliki lima indikator yang dirinci oleh Ennis [7] yaitu: memberikan penjelasan sederhana, membangun keterampilan dasar, menyimpulkan, membuat penjelasan lebih lanjut dan mengatur strategi dan taktik.

Sifat Koligatif Larutan

Sifat koligatif larutan adalah sifat-sifat yang bergantung pada banyaknya partikel zat terlarut dan tidak bergantung pada jenis partikel zat terlarut [8]. Ada empat sifat koligatif larutan yaitu penurunan tekanan uap (ΔP), kenaikan titik didih (ΔT_b), penurunan titik beku (ΔT_f) dan tekanan osmotik (π). Sifat koligatif larutan dibedakan menjadi sifat koligatif larutan elektrolit dan sifat koligatif larutan nonelektrolit. Sifat koligatif larutan elektrolit pada umumnya lebih besar dari sifat koligatif larutan nonelektrolit apabila kedua larutan itu mempunyai konsentrasi yang sama. Hal ini dikarenakan elektrolit terurai menjadi ion-ion dalam larutan yang akan menghasilkan partikel-partikel yang lebih banyak daripada larutan nonelektrolit.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian tindakan kelas berkolaborasi dengan guru di lapangan. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini kegiatan pembelajarannya berbentuk siklus, dengan jumlah tiga siklus, dimana setiap siklus terdiri dari empat komponen kegiatan pokok yaitu: (a) Perencanaan (*planning*); (b) Tindakan (*acting*); (c) Pengamatan (*observing*); (d) Refleksi (*reflecting*). Pada pelaksanaannya, keempat komponen kegiatan pokok itu berlangsung secara terus-menerus.

Hasil dan Diskusi

Data hasil penelitian diperoleh dari lembar observasi aktivitas guru dan aktivitas siswa, LKS dan tes tertulis mengenai keterampilan berpikir kritis setiap siklusnya. Data aktifitas siswa pada setiap siklus dijelaskan sebagai berikut :

Tabel.1 Hasil Observasi Aktivitas Siswa dalam Kelompok pada setiap siklus

Kelompok	Aktivitas Siswa		
	Siklus I	Siklus II	Siklus III
1	75	80	90
2	63	70	80
3	63	70	80
4	75	80	90
5	63	70	80
6	75	80	90
7	75	80	90
Rata-rata	70	76	86

Proses pembelajaran sifat koligatif larutan dengan menerapkan model pembelajaran *learning cycle* 5-E dilakukan dalam 3 siklus meliputi tahapan *engage*, *explore*, *explain*, *elaborate* dan *evaluate*. Data kemampuan siswa dalam menyelesaikan LKS setiap tahapan 5-E disajikan sebagai berikut :

Tabel.2 Nilai LKS setiap Kelompok Belajar pada siklus I

Kelompok Belajar	Nilai LKS					Rata-rata
	<i>Engage</i>	<i>Explore</i>	<i>Explain</i>	<i>Elaborate</i>	<i>Evaluate</i>	
1	50	100	67	50	70	67
2	50	50	67	50	50	54
3	50	50	70	63	67	60
4	60	100	50	75	80	73
5	50	50	67	75	54	60
6	67	50	70	63	61	62
7	50	100	67	50	70	67
Rata-rata	54	71	56	61	65	63

Berdasarkan hasil tersebut, tahapan yang memperoleh nilai terendah yaitu tahap *engage* sedangkan tahapan yang memperoleh nilai tertinggi yaitu tahap *explore*.

Tabel.3 Nilai LKS setiap Kelompok Belajar pada siklus II

Kelompok Belajar	Nilai LKS					Rata-rata
	<i>Engage</i>	<i>Explore</i>	<i>Explain</i>	<i>Elaborate</i>	<i>Evaluate</i>	
1	65	100	67	70	80	76
2	60	86	67	67	87	73
3	55	73	50	94	85	71
4	75	87	67	100	63	78
5	75	87	67	56	58	67
6	79	68	83	67	89	77
7	90	93	67	78	86	83
Rata-rata	71	85	67	76	78	75

Data di atas menunjukkan nilai kelompok belajar pada siklus II setiap tahap model pembelajaran *learning cycle* 5-E mengalami peningkatan yang dapat dilihat dari nilai rata-rata kelompok belajar siswa yaitu tahap *engage* sebesar 20, *explore* sebesar 14, *explain* sebesar 11, *elaborate* sebesar 15 dan tahap *evaluate* sebesar 13.

Tabel.4 Nilai LKS setiap Kelompok Belajar pada siklus III

Kelompok Belajar	Nilai LKS					Rata-rata
	<i>Engage</i>	<i>Explore</i>	<i>Explain</i>	<i>Elaborate</i>	<i>Evaluate</i>	
1	80	100	100	83	80	89
2	80	100	88	83	70	84
3	60	100	88	83	80	82
4	80	100	88	83	83	85
5	80	100	100	83	73	87
6	100	50	75	100	89	83
7	75	100	75	83	82	83
Rata-rata	79	93	88	85	80	85

Data di atas menunjukkan nilai kelompok belajar pada siklus III setiap tahap model pembelajaran *learning cycle* 5-E mengalami peningkatan yang dapat dilihat dari nilai rata-rata kelompok belajar siswa yaitu tahap *engage* sebesar 8, *explore* sebesar 8, *explain* sebesar 21, *elaborate* sebesar 9 dan tahap *evaluate* sebesar 2.

Adapun untuk analisis lembar kerja siswa (LKS) perindikator keterampilan berpikir kritis pada siklus I, II dan III yaitu LKS dan pembelajaran yang disajikan menggambarkan beberapa indikator Keterampilan Berpikir Kritis diantaranya adalah 1) kemampuan memberikan alasan 2) menarik kesimpulan dari hasil data percobaan 3) menemukan persamaan dan perbedaan 4) memberikan penjelasan sederhana 5) memberikan penjelasan lanjut 6) menerapkan prinsip yang dapat diterima. Data analisis keterampilan berpikir kritis pada setiap siklus disajikan sebagai berikut :

Tabel. 5 Keterampilan Berpikir Kritis siswa setiap indikator pada siklus I

No	Kelompok	Nilai KBKr Siswa			
		1	2	3	4
1	Tinggi	71	71	79	86
2	Sedang	67	69	78	59
3	Rendah	60	60	65	53

Keterangan Indikator KBKr:

- 1 = Memberikan Alasan
- 2 = Menarik Kesimpulan dari data hasil percobaan
- 3 = Menemukan persamaan dan perbedaan
- 4 = Menerapkan prinsip yang dapat diterima

Tabel. 6 Keterampilan Berpikir Kritis siswa setiap indikator pada siklus II

No	Kelompok	Nilai KBKr Siswa			
		1	2	3	4
1	Tinggi	79	83	83	92
2	Sedang	74	80	82	77
3	Rendah	69	75	69	61

Keterangan Indikator KBKr :

- 1 = Memberikan Alasan
- 2 = Memberikan penjelasan sederhana
- 3 = Menarik Kesimpulan dari data hasil percobaan
- 4 = Menerapkan prinsip yang dapat diterima

Tabel. 7 Keterampilan Berpikir Kritis siswa setiap indikator pada siklus III

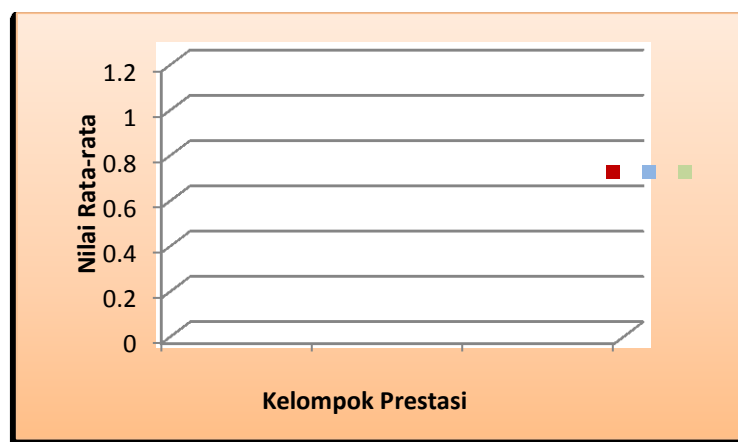
No	Kelompok	Nilai KBKr Siswa			
		1	2	3	4
1	Tinggi	80	90	90	93
2	Sedang	76	86	88	82
3	Rendah	70	80	80	78

Keterangan Indikator KBKr :

- 1 = Memberikan penjelasan sederhana
- 2 = Membuat penjelasan lebih lanjut
- 3 = Menarik Kesimpulan dari data hasil percobaan
- 4 = Menerapkan prinsip yang dapat diterima

Peningkatan Keterampilan Berpikir Kritis (KBKr) siswa pada model pembelajaran *learning cycle 5-E* terjadi pada indikator memberikan alasan, menarik kesimpulan dari data hasil percobaan, menemukan persamaan dan perbedaan, menerapkan prinsip yang dapat diterima pada siklus I, sedangkan pada siklus II yaitu memberikan alasan, memberikan penjelasan sederhana, menarik kesimpulan dari data hasil percobaan, menerapkan prinsip yang dapat diterima dan pada siklus III yaitu memberikan penjelasan sederhana, membuat penjelasan lebih lanjut, menarik Kesimpulan dari data hasil percobaan, menerapkan prinsip yang dapat diterima.

Tes evaluasi yang diberikan setelah pembelajaran pada penelitian ini merupakan tes keterampilan berpikir kritis siswa setiap siklus (terdiri dari tiga siklus). Secara keseluruhan, nilai rata-rata yang diperoleh siswa dalam tes ini disajikan dalam bentuk grafik berikut ini:



Gambar. 1 Kelompok Prestasi pada setiap siklus

Berdasarkan hasil tes tertulis yang dilaksanakan pada akhir pembelajaran di setiap siklus menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar yaitu nilai rata-ratanya siklus I 68, siklus II 77 dan siklus III 84. Hal ini dikarenakan pada proses pembelajaran siswa dituntut aktif sehingga mempengaruhi hasil belajar. Keaktifan dalam proses pembelajaran bertujuan agar siswa memperoleh pengetahuan yang dapat melatih kemampuan intelektual, merangsang keingintahuan dan memotivasi kemampuan siswa. Setiap siklus mempunyai prosedur penelitian yang terdiri dari rencana tindakan, pelaksanaan tindakan, dan refleksi. Hasil refleksi digunakan untuk memperbaiki pembelajaran pada siklus berikutnya.

Berdasarkan hasil observasi aktivitas siswa selama pembelajaran dari mulai siklus I, siklus II sampai siklus III diperoleh peningkatan yang cukup baik. Berdasarkan refleksi pada siklus I aktivitas siswa dalam berdiskusi dan mengerjakan LKS pada setiap tahap model pembelajaran *learning cycle* 5-E masih perlu bimbingan agar aktivitas lebih terarah karena siswa belum terbiasa belajar dengan menggunakan model pembelajaran tersebut. Bimbingan yang dimaksud yaitu agar guru memberikan arahan dan menjelaskan kepada siswa tahapan dari model pembelajaran *learning cycle* 5-E. Berdasarkan refleksi pada siklus II mengalami peningkatan yaitu aktivitas siswa sudah mulai baik, karena siswa mulai memahami tahapan dari model pembelajaran *learning cycle* 5-E dan menikmati pembelajaran yang baru mereka ketahui, tetapi pada saat pelaksanaan praktikum siswa masih perlu bimbingan melakukan praktikum dengan baik atau berjalan tertib. Hal ini dikarenakan, bahwa pada saat praktikum sebagian siswa masih belum memahami prosedur percobaan yang dilakukan, penggunaan dari alat praktikum dan pembacaan termometer. Berdasarkan refleksi pada siklus III mengalami peningkatan yaitu aktivitas siswa sudah baik dan pada saat pelaksanaan praktikum siswa sudah terlihat tertib. Peningkatan aktivitas siswa dipengaruhi oleh guru yang berperan sebagai fasilitator menyediakan sarana dan situasi agar proses konstruksi pengetahuan siswa berjalan mulus, sehingga siswa dapat membangun pengetahuannya sendiri. Hal ini sejalan dengan pernyataan yang dikemukakan sebelumnya bahwa sebagai penunjang kegiatan dalam pembelajaran, aktivitas siswa sangatlah diperlukan, sebab proses belajar adalah perubahan melalui aktifitas, praktik, dan pengalaman [9]. Pengetahuan tersebut tak terlepas dari perkembangan-perkembangan mental dan fisik yang terjadi pada individu sendiri, termasuk perkembangan intelektual.

Dari hasil analisis dapat dilihat bahwa secara keseluruhan pada setiap tahap menunjukkan adanya peningkatan. Hal ini dikarenakan, pada LKS setiap siklusnya dilakukan refleksi untuk perbaikan pada LKS yang selanjutnya. Selain itu juga, guru pada saat penyampaian materi pembelajaran kepada siswa dengan cara menggunakan media yang berbeda setiap siklusnya.

Berdasarkan hasil analisis keterampilan berpikir kritis siswa setiap tahap model pembelajaran *learning cycle* 5-E pada konsep sifat koligatif larutan untuk tiap siklus mengalami peningkatan dengan nilai rata-rata siklus I 63, siklus II 75 dan siklus III 85, akan tetapi seluruh kelompok belajar lebih berperan aktif pada tahap *explore* dan setelahnya, hal ini dikarenakan pada tahap *explore* siswa sudah mampu mengkonstruksikan pengetahuan (ide-ide) dan mengaplikasikannya [9].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan tentang penerapan model pembelajaran *learning cycle* 5-E untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada konsep sifat koligatif larutan di SMAN 16 Bandung dapat disimpulkan, penerapan pembelajaran *learning cycle* 5-E untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa pada konsep sifat koligatif larutan berlangsung dengan baik. Hal ini terbukti dari hasil penerapan tahapan atau langkah-langkah model pembelajaran *learning cycle* 5-E yang seluruhnya teraplikasi dengan baik dan lancar, karena dapat dilihat dari persentase aktivitas siswa selama pembelajaran yang mengalami peningkatan pada setiap siklusnya. Kemampuan siswa menyelesaikan LKS untuk setiap siklus model pembelajaran *learning cycle* 5-E (*engage, explore, explain, elaborate, evaluate*) pada konsep sifat koligatif larutan mengalami peningkatan dengan nilai rata-rata siklus I 63, siklus II 75 dan siklus III 85. Indikator Keterampilan Berpikir Kritis (KBK) siswa pada model pembelajaran *learning cycle* 5-E terjadi peningkatan setiap siklusnya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih diantaranya kepada Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, pihak-pihak di SMAN 16 Bandung, serta pihak-pihak lain yang telah memebantu dalam proses penelitian ini.

Referensi

- [1] Nasrudin. E, "Psikologi Pembelajaran", Penerbit STAI Sukabumi Publising, Sukabumi, 2008, p.49.
- [2] Hassoubah. Z, "Mengasah Pikiran Kreatif dan Kritis", Penerbit Nuansa, Bandung: Nuansa, 2008, p.87.
- [3] Djumhuriyah. S, "Penggunaan Model Pembelajaran Learning Cycle untuk Meningkatkan Ketuntasan Belajar Siswa Pada Konsep Pemuaian di Kelas VIID SMP Negeri 8 Bogor", 2008, p.12 Tersedia di www.docstoc.com. Diakses tanggal 15 November 2014.
- [4] Karrsly. Fethiye, dan Ayas. Alipasa. "It is possible to eliminate alternative conception and to improve scientific process skills with difference conceptual change method? 'An example of Electrical cells", Journal of Computer and Education Research, Vol 1. No 1, 2013.
- [5] Lawson. A, "Escince Teaching and The Development of Thinking. Arizona State University Wadsworth Publishing Company Belmont", A. Daivision Wadsworth, California, 1994, p.137.
- [6] Fisher. A, "Berpikir Kritis: Sebuah Pengantar", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2008, p.13.
- [7] Ennis. R.H, "Goal for A Critical Thinking Curriculum. COSTA, A.L. (Ed), Developing Mind A Resource Book for Teaching Thinking. Alexandria", Assosiation for Supervisions and Curriculum Development (ASCD), Virginia, 1985, p. 54-57.
- [8] Chang. R, "Kimia Dasar:Konsep-konsep Inti, Jilid II (Ed. Ketiga)", Terjemahan oleh Suminar Setiadi Achmadi, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005, p.12 .
- [9] Baharuddin. dan Esa N.W. "Teori Belajar dan Pembelajaran", Penerbit Ar-Ruzz Media, Jogjakarta, 2010, p.119.

Pengembangan Prototype Reaktor Dan Prosedur Eksperimen Pembuatan Biogas Skala Rumah Tangga Dari Sampah Organik Untuk Pembelajaran Kimia

Ida Farida Ch^{1a)}, Imelda Helsy¹ dan Miya Nurmelati¹

¹Prodi Pendidikan Kimia – Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}email : farchemia65@gmail.com

Abstrak

Penelitian pengembangan ini bertujuan menghasilkan produk berupa prototype reaktor dan prosedur eksperimen pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik yang dapat diterapkan untuk pembelajaran kimia baik di tingkat sekolah maupun perguruan tinggi. Prosedur eksperimen berupa lembar kerja yang dikembangkan mencakup tiga aspek: 1) tugas kinerja berorientasi ketrampilan proses sains dan berpikir kreatif, 2) desain pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik, dan 3) format penilaian otentik. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan: 1) Studi pendahuluan, 2) Perancangan desain reaktor biogas skala rumah tangga dan pembuatan prosedur eksperimen/lembar kerja, 3) validasi ahli dan uji coba terbatas untuk menjangkau pendapat tanggapan dan saran perbaikan terkait kelayakan prototype reaktor dan perangkat lembar kerja eksperimen yang telah dibuat. Berdasarkan hasil validasi dan uji coba diperoleh kesimpulan bahwa prototype reaktor dan prosedur eksperimen yang dikembangkan layak digunakan dalam pembelajaran kimia. Hasil penelitian menyarankan perlunya penerapan produk dalam pembelajaran kimia dengan mengadopsi pembelajaran berbasis proyek.

Kata kunci: Prosedur eksperimen, Prototype reaktor biogas skala rumah tangga, Pembelajaran kimia

Pendahuluan

Kimia merupakan salah satu mata pelajaran yang erat kaitannya dengan lingkungan, sehingga dalam pembelajarannya perlu ditingkatkan dalam pemahaman siswa terhadap pemanfaatan dan penerapannya di masyarakat. Belajar kimia tidak cukup hanya dengan teori tetapi harus diintegrasikan dengan eksperimen agar dapat peserta didik mampu mengembangkan keterampilan proses, pemecahan masalah dan berpikir tingkat tinggi [1].

Oleh karena itu, penting bagi peserta didik mempelajari ilmu kimia dengan memperhatikan isu lingkungan hidup. Topik pembuatan biogas berhubungan dengan penanggulangan masalah sampah dan bahan bakar alternatif pengganti minyak bumi. Topik pembuatan biogas berkaitan dengan konsep hidrokarbon yang menjadi salah satu materi kimia di SMA berdasarkan kurikulum yang berlaku. Pembelajaran kimia dengan melakukan percobaan biogas akan sangat bermanfaat bagi peserta didik di tingkat SMA maupun perguruan tinggi, karena melalui topik itu diharapkan dapat memberikan kesadaran pada peserta didik mengenai upaya pelestarian alam dan lingkungan hidup.

Penelitian mengenai biogas sudah banyak dilakukan [2]. Kebanyakan penelitian tentang pembuatan biogas berada pada skala besar dengan biaya yang tidak sedikit serta membutuhkan

lahan yang luas [3]. Namun untuk diintegrasikan menjadi salah satu topik bahasan dalam praktikum pada pembelajaran kimia memerlukan desain alat dan rancangan lembar kerja atau eksperimen pembuatan biogas yang tepat, mengingat selama ini reaktor biogas berukuran besar dan membutuhkan lahan yang luas.

Berdasarkan pemikiran di atas, makalah ini mendeskripsikan penelitian yang ditujukan untuk menghasilkan produk berupa prototype reaktor dan prosedur eksperimen pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik yang dapat diterapkan untuk pembelajaran kimia baik di tingkat sekolah maupun perguruan tinggi. Rancangan lembar kerja atau format prosedur tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai contoh untuk pembekalan terhadap calon guru kimia dalam menyusun model praktikum yang kontekstual.

Metode

Untuk menemukan karakteristik alat dan prosedur, sehingga menghasilkan produk berupa prototype reaktor dan prosedur eksperimen pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik digunakan desain penelitian dan pengembangan yang diadaptasi dari Borg et.al [4]. Tahap-tahap penelitian yang dilakukan: 1) Studi pendahuluan, 2) Perancangan desain reaktor biogas skala rumah tangga dan pembuatan prosedur eksperimen/lembar kerja, 3) validasi ahli dan uji coba terbatas untuk menjaring pendapat tanggapan dan saran perbaikan terkait kelayakan prototype reaktor dan perangkat lembar kerja eksperimen yang telah dibuat.

Subjek uji coba pada penelitian ini adalah mahasiswa Pendidikan Kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung semester IV yang berjumlah 15 orang. Sedangkan validator produk dipilih 3 orang ahli untuk menguji kelayakan prosedur kerja pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik. Data mengenai kelayakan prosedur pembuatan biogas diperoleh dari hasil angket atau kuesioner yang diberikan kepada para ahli dan mahasiswa. Data yang berupa komentar dan saran perbaikan selama proses uji coba dianalisis secara deskriptif kualitatif dan disimpulkan sebagai masukan untuk merevisi produk yang dikembangkan. Sedangkan data yang berupa skor tanggapan responden yang diperoleh melalui kuesioner, diolah secara deskriptif kuantitatif dengan mengubah frekuensi jawaban dalam bentuk persentase dan kategorisasi. Hasil pengolahan kemudian dianalisis dan dijadikan alat untuk menilai kelayakan dan pedoman untuk melakukan perbaikan.

Hasil dan Pembahasan

Berikut ini dideskripsikan hasil penelitian dan pembahasan:

1. Karakterisasi dan optimasi prototype alat dan prosedur eksperimen pembuatan biogas

Pada bagian ini dideskripsikan karakterisasi dan optimasi prototype alat dan prosedur eksperimen pembuatan biogas. Untuk mendapatkan komposisi bahan yang tepat untuk pembuatan biogas skala rumah tangga, dilakukan percobaan awal menggunakan balon sebagai penampung gas. Hasil dari percobaan awal, selanjutnya digunakan untuk merancang prototype alat dan pembuatan lembar kerja eksperimen.

Percobaan awal ditujukan untuk mengamati pengaruh tiga jenis sampah organik terhadap waktu dan jumlah biogas yang dihasilkan. Sampah organik yang terdiri dari tiga jenis yaitu sampah buah, sampah sayuran, dan sisa nasi. Bahan baku sampah organik diperoleh dari pasar tradisional dan rumah tangga yakni berupa sampah sayuran, sampah buah, dan sisa nasi. Sampah dicacah/dipotong ukuran kecil-kecil kemudian ditambahkan air dan EM4, kemudian dimasukkan ke dalam wadah ukuran 1,5 L (reaktor biogas skala kecil) yang dihubungkan dengan balon penampung gas. Variasi komposisi sampah dan air dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel.1. Variasi Bahan Isian Reaktor 1,5 L

Variasi Bahan											
Sisa Nasi : Air				Sampah Buah : Air				Sampah Sayuran : Air			
Tanpa EM4		Dengan EM4		Tanpa EM4		Dengan EM4		Tanpa EM4		Dengan EM4	
R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
1:1	1:2	1:1	1: 2	1:1	1: 2	1:1	1: 2	1:1	1: 2	1:1	1: 2

Keterangan: R = Reaktor

Volume gas yang dihasilkan diukur diameter balon yang mengembang (gambar 1). Proses fermentasi dihentikan sampai bahan tidak menghasilkan gas lagi.



Gambar 1. Pembuatan biogas skala kecil

Berdasarkan hasil penelitian pada percobaan awal, sampah sayuran menghasilkan biogas paling banyak dengan rata-rata diameter balon 19,26.

Hal tersebut karena sampah sayuran yang banyak mengandung serat dan selulosa yang berikatan kuat telah ditambah air yang dapat membantu dalam proses pendegradasian. Peningkatan kadar air substrat dari 36% menjadi 99% dapat meningkatkan produksi gas sampai 670%. Kadar air yang terlalu besar dapat menghambat aktivitas bakteri metanogenik karena akan meningkatkan konsentrasi oksigen yang bersifat racun bagi bakteri anaerob. Sebaliknya bila kadar air yang terlalu rendah akan mengakibatkan terjadinya akumulasi asam asetat yang bersifat menghambat [5]. Pada percobaan pembuatan biogas awal digunakan starter EM4 (*Effective Microorganism-4*) untuk mempercepat proses fermentasi.

Percobaan selanjutnya adalah pembuatan biogas skala rumah tangga menggunakan reactor biogas dengan bahan jerigen plastic berukuran 20 L. Rangkaian reactor biogas terbuat dari bahan yang murah dan mudah didapat, yaitu terbuat dari jerigen berukuran 20 L yang biasa digunakan sebagai tempat penyimpanan minyak tanah. Alat ini terdiri atas tiga komponen utama, yaitu tangki pencerna (*biodigester*), tangki pemasukan bahan, dan tangki keluaran. Rangkaian reactor biogas dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Rangkaian reactor hasil pengembangan

Persiapan bahan baku pada biogas skala rumah tangga ini berdasarkan hasil pengamatan dan pilihan perlakuan yang sudah dilakukan pada percobaan awal. Sampah yang digunakan sebelumnya dihaluskan atau dipotong kecil-kecil terlebih dahulu. Bahan baku yang dibuat dengan perbandingan bahan isian dan air 1 : 1 dengan komposisi 3 kg sampah yang dicampur dengan 3 kg kotoran sapi dan 6 liter air. Campuran kotoran sapi dan air diaduk terlebih dahulu secara merata agar pemasukan bahan ke digester dapat berlangsung baik. Campurkan sampah organik yang telah dihaluskan/dipotong, lalu saring campuran tersebut sambil membuang benda-benda keras yang mungkin tercampur. Tambahkan 1 L BOM (*Balancer of Microorganism*) sebagai *starter*. Selanjutnya, isian yang telah dibuat dimasukkan ke dalam tabung pencernaan melalui tempat pemasukan bahan. Pemasukan isian dihentikan setelah tabung pencernaan terisi tiga perempat bagiannya yang terlihat pada jerigen yang berwarna putih. Pada lubang saluran pemasukan dan pengeluaran ditutup untuk mengkondisikan digester *anaerob*.

Berdasarkan rincian prosedur kerja yang dikembangkan pada percobaan yang dipaparkan di atas, selanjutnya dirancang lembar kerja pembuatan biogas. Langkah kerja yang tersaji dalam prosedur percobaan biogas memiliki karakteristik yang dapat digunakan untuk mengembangkan keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kreatif, yaitu sebagai berikut :

1. Keterampilan Proses Sains, dengan indikator-indikator berikut ini:
 - a) Kemampuan pengamatan; berdasarkan pengamatan dalam percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat: mengamati gas yang dihasilkan, memeriksa tidak adanya kebocoran reaktor, mengumpulkan data tentang pengaruh jenis sampah organik, komposisi masukan, dan penambahan starter terhadap volume gas yang dihasilkan dan kecepatan terbentuknya gas dan mengukur diameter balon dari setiap jenis sampah organik
 - b) Menafsirkan hasil pengamatan; berdasarkan data pengamatan percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat: mencatat komposisi bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biogas dan waktu dilakukannya pengamatan, menghubungkan-hubungkan hasil pengamatan yang diperoleh, menginferensi pengaruh jenis sampah organik, komposisi masukan, dan penambahan starter terhadap volume gas yang dihasilkan dan kecepatan terbentuknya gas.
 - c) Merumuskan hipotesis: pengaruh jenis sampah, pengaruh penambahan starter dan komposisi bahan dengan air terhadap volume biogas yang dihasilkan.
 - d) Merencanakan Percobaan: menentukan alat/bahan/sumber yang akan digunakan dalam percobaan, menentukan variabel/ faktor penentu yang harus dibuat tetap dan variabel yang berubah, menentukan apa yang akan diukur, diamati, dan dicatat, merancang kegiatan percobaan untuk menguji hipotesis, merancang percobaan yang mungkin berbeda dengan prosedur
 - e) Menggunakan Alat / bahan; menjelaskan alasan mengapa memilih alat dan bahan tersebut, menjelaskan bagaimana menggunakan alat dan bahan tersebut. menimbang bahan baku (sampah organik dan kotoran sapi), mengukur bahan baku (campuran air), memotong bahan sesuai ukuran yang dikehendaki.
 - f) Menerapkan Konsep; Berdasarkan prosedur percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat: menggunakan konsep-konsep hidrokarbon dan pengolahan limbah untuk menerangkan apa yang diamatinya, membuktikan sendiri kebenaran suatu teori dalam konsep hidrokarbon dan pengolahan limbah
 - g) Mengelompokkan / klasifikasi; Berdasarkan data hasil percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat: menemukan perbedaan dari penggunaan bahan baku sampah sayur, sampah buah, dan sisa nasi terhadap volume gas yang dihasilkan dan kecepatan terbentuknya gas,

engurutkan perlakuan sampah organik mana yang menghasilkan biogas dengan waktu yang relatif cepat.

2. Keterampilan Berpikir Kreatif, dengan indikator-indikator berikut ini:

- a) *Fluency* (Berpikir lancar, menurunkan banyak ide); Berdasarkan data hasil percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat mencetuskan banyak gagasan, jawaban, atau pertanyaan. Misalnya ketika biogas tidak dihasilkan dalam waktu tertentu.
- b) *Flexibility* (Berpikir luwes, mengubah perspektif dengan mudah); Berdasarkan data hasil percobaan pembuatan biogas, peserta didik dapat memberikan macam-macam penafsiran terhadap suatu masalah dan biasanya memikirkan cara yang berbeda untuk menyelesaikannya. Misalnya siswa akan mencari tahu dan mengatasi permasalahan ketika gas tidak dihasilkan.
- c) *Originality* (Berpikir asli, menyusun sesuatu yang baru); Berdasarkan prosedur percobaan biogas, peserta didik dapat membuat suatu rangkaian reaktor yang mungkin berbeda dari rangkaian reaktor dalam prosedur dan memodifikasi alat atau bahan baku yang digunakan dalam pembuatan biogas sesuai dengan ide baru yang mereka rencanakan.
- d) *Elaboration* (Berpikir rinci, mengembangkan ide lain dari suatu ide) ; Berdasarkan prosedur percobaan biogas, peserta didik dapat membuat rangkaian reaktor biogas skala rumah tangga dan mendesign rangkaian reaktor tersebut ke dalam suatu gambar yang dilengkapi dengan keterangannya secara detail dan rinci.

Hasil validasi dan uji kelayakan

Berdasarkan hasil pengembangan format prosedur kerja pembuatan biogas skala rumah tangga dapat dihasilkan suatu produk prosedur percobaan pembuatan biogas yang dapat mengukur keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kreatif peserta didik. Format prosedur kerja pembuatan biogas skala rumah tangga divalidasi kepada validator dengan tujuan menguji sejauh mana prosedur percobaan pembuatan biogas yang dikembangkan dapat digunakan dalam pembelajaran kimia. Dari validasi dapat diketahui kelemahan dari prosedur yang telah disusun dan kemudian dilakukan perbaikan. Uji validitas dilakukan dengan penyebaran angket kepada tiga dosen Kimia sehingga diperoleh penilaian dan saran perbaikan. Uji coba terbatas dilakukan untuk mengetahui kelayakan prosedur percobaan pembuatan biogas. Pelaksanaan uji coba terbatas dilakukan kepada 15 orang mahasiswa pendidikan kimia yang di ambil secara acak. Pengumpulan data dilakukan dengan penyebaran angket uji kelayakan. Pengisian angket dilakukan setelah mahasiswa melihat demonstrasi pembuatan biogas yang dilakukan oleh salah satu mahasiswa yang dibantu oleh peneliti dan membaca prosedur percobaan pembuatan biogas yang diberikan kepada masing-masing mahasiswa. Respon validator dan mahasiswa dapat dilihat pada tabel 2.

Berdasarkan tabel 2, sebesar 82,06% validator yang berjumlah tiga orang menyatakan setuju terhadap pernyataan dalam prosedur percobaan pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik. Hal tersebut menunjukkan bahwa secara umum prosedur ini layak digunakan sebagai penuntun praktikum dalam pembelajaran kimia agar peserta didik lebih mudah dalam melakukan percobaan pembuatan biogas. Tabel 2 juga memberikan gambaran penilaian mahasiswa terhadap prosedur percobaan biogas skala rumah tangga dari sampah organik. Sekitar 88,6% dari jumlah 15 orang mahasiswa pendidikan kimia menyatakan setuju.

Prosedur kerja pembuatan biogas ini dapat menilai aspek dalam keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kreatif peserta didik sehingga dibuat format penilaian berorientasi

keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kreatif berdasarkan prosedur pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik. Hal tersebut dilandasi oleh pernyataan Farida [6], ketika siswa ditugaskan untuk membuat suatu produk, guru melakukan penilaian kinerja siswa dalam membuat produk mulai dari tahap persiapan, pembuatan, hingga dihasilkan produk itu sendiri.

Tabel 2. Respon validator dan mahasiswa terhadap produk

No	Pernyataan	% Respon persetujuan	
		Validator (N=3)	Mahasiswa (N=15)
1.	Kalimat dalam prosedur cukup jelas, mudah dimengerti dan dipahami	66,7	100
2.	Penggunaan istilah dalam prosedur yang berkaitan dengan bidang keilmuan sudah sesuai dan tepat	100	100
3.	Percobaan dapat dilakukan dengan mudah	66,7	93,3
4.	Tahapan dalam prosedur disusun secara runtut	100	93,3
5.	Pembelajaran kimia dengan melakukan percobaan berkaitan dengan kehidupan sehari-hari dapat memberi umpan balik terhadap motivasi siswa	66,7	93,3
6.	Konsep hidrokarbon dan pengolahan limbah dapat dijelaskan melalui eksperimen biogas sederhana menggunakan bahan-bahan alam yang ada disekitar	100	93,3
7.	Percobaan biogas dari sampah organik dapat melatih peserta didik untuk cepat tanggap terhadap situasi lingkungan dan terampil menyelesaikan masalah menggunakan pengetahuan dan konsep-konsep kimia	100	86,7
8.	Pembuatan biogas dari sampah organik dapat memberikan pengaruh terhadap lingkungan dan masyarakat	100	86,7
9.	Alat dan bahan konstruksi mudah tersedia dan didapatkan	66,7	100
10.	Bahan baku yang digunakan umumnya terdapat dalam kehidupan sehari-hari	33,3	100
11.	Bahan baku yang digunakan dapat mengurangi potensi limbah	100	93,3
12.	Alat dan bahan yang digunakan terlalu tidak mahal jika harus dibeli	66,7	13,3
13.	Rangkaian reaktor bisa dibuat secara mandiri	100	66,7
Persentase Rata-rata		82,06	88,6

Prosedur percobaan biogas skala rumah tangga juga dapat menilai keterampilan berpikir kreatif peserta didik sehingga peserta didik diberikan kebebasan untuk dapat membuat inovasi baru dari prosedur yang telah disusun. Peserta didik dapat mengeksplor ide-ide baru mereka dengan cara merancang suatu percobaan yang mungkin berbeda dari prosedur yang telah disediakan. Melalui prosedur percobaan biogas ini, peserta didik mungkin menemukan suatu permasalahan ketika melakukan percobaan dan mereka sendiri yang akan berusaha menyelesaikan dan memecahkan masalah yang ditemukan, karena guru hanya menjadi fasilitator.

Secara umum dari hasil penelitian baik dari tahap validasi dan tahap uji coba kepada para mahasiswa, prosedur kerja pembuatan biogas yang dibuat layak digunakan sebagai penuntun praktikum dalam pembelajaran kimia. Pembelajaran kimia kontekstual yang dihubungkan dengan

permasalahan dalam kehidupan selain dapat mempermudah siswa memahami materi yang disampaikan juga dapat membuat praktikum kimia menjadi lebih menarik dan menyenangkan.

Kesimpulan

Format prosedur kerja pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik memiliki karakteristik:

- (1) Penggunaan alat dan bahan baku yang cukup mudah diperoleh dalam kehidupan,
 - (2) Prosedur kerja pembuatan biogas skala rumah tangga dari sampah organik yang mudah dilakukan,
 - (3) Format penilaian berorientasi keterampilan proses sains dan keterampilan berpikir kreatif.
- Berdasarkan hasil validasi dan uji coba diperoleh kesimpulan bahwa prototype reaktor dan prosedur eksperimen yang dikembangkan layak digunakan dalam pembelajaran kimia. Hasil penelitian menyarankan perlunya penerapan produk dalam pembelajaran kimia dengan mengadopsi pembelajaran berbasis proyek

Referensi

- [1] Arifin, M., dkk. (2003). *Strategi Belajar Mengajar Kimia. Common Text Book (Edisi Revisi)*. Bandung: Jurusan Pendidikan Kimia FPMIPA UPI
- [2] Fairus, S., Salafudin, Rahman, L., dan Emma A., dkk. (2011). Pemanfaatan Sampah Organik Secara Padu Menjadi Alternatif Energi: Biogas dan *Precursor* Briket. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknonogi Nasional.
- [3] Wardahni dan Marsono. (2008). Perencanaan Biodigester Tinja Manusia dan Kotoran Ternak Skala Komunal Rumah Tangga di Kecamatan Ngancar, Kabupaten Kediri. [online]. Tersedia: <http://digilib.its.ac.id>. [Diakses 09 April 2013].
- [4] Borg, W.R., et.al. (2003). *Educational Research: An Introduction*; (Seventh Ed.). Newyork: Longman, Inc
- [5] Bahrin, D., Anggraini, A., dan Pertiwi, M.B. (2011). Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik Pasar di Kota Palembang. *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*. Palembang: Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- [6] Farida, Ida. (2013). *Penilaian Proses dan Hasil Belajar IPA-Kimia*. Bandung: Program Studi Pendidikan Kimia Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Pembuatan Bioetanol dari Jerami Padi dan Karakterisasinya

Risa Rahmawati S^{1, a)} Yunita¹⁾ dan Taufik Hidayat¹⁾

¹Prodi Pendidikan Kimia, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: sunaryarisar@gmail.com

Abstrak

Jerami padi merupakan salah satu bahan baku yang bisa digunakan dalam pembuatan bioetanol karena mengandung selulosa sebesar 34,2%. Bioetanol saat ini menjadi solusi alternatif sebagai pengganti BBM atau sebagai aditif untuk bensin karena bioetanol ramah lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum pembuatan bioetanol, dan mengetahui karakteristik bioetanol yang dihasilkan. Sampel yang digunakan yaitu jerami padi dari kabupaten Bekasi. Massa ragi optimum pada pembuatan bioetanol dari jerami padi sebesar 16% dengan menghasilkan bioetanol sebanyak 2,76 %, sedangkan waktu fermentasi yang optimum yaitu selama 4 hari. Karakteristik bioetanol yang dihasilkan pada kondisi optimum meliputi densitas 0,81038 g/mL, titik didih 72^oC, dan indeks bias 1,35808.

Kata kunci: Jerami padi, Bioetanol, Fermentasi

Pendahuluan

Bahan bakar fosil merupakan Sumber Daya yang tidak dapat diperbaharui. Diperkirakan cadangan minyak dunia saat ini hanya akan bertahan dalam 30 tahun ke depan. Solusi dari masalah di atas adalah dengan mengembangkan bahan bakar alternatif, salah satunya yaitu bioetanol. Bioetanol dapat langsung digunakan sebagai bahan bakar di kendaraan bermesin bensin yang dimodifikasi atau yang lebih umum sebagai tambahan atau zat aditif untuk bensin. Bioetanol digunakan sebagai bahan bakar, karena penggunaan etanol murni akan menghasilkan CO₂ 13%, lebih rendah dibanding premium dan bioetanol juga dapat menurunkan kadar emisi gas rumah kaca hingga 80% serta mengurangi efek rumah kaca [1]. Selain itu jika bioetanol digunakan sebagai zat aditif atau tambahan untuk bensin maka emisi yang dihasilkan lebih sedikit dibanding bensin murni atau tanpa tambahan etanol. Namun yang harus diketahui bioetanol sebagai zat aditif harus benar-benar murni kadar etanolnya sampai 100%.

Menurut Sari, dkk. [2] bioetanol merupakan produk fermentasi yang dapat dibuat dari substrat yang mengandung karbohidrat (gula, pati, atau selulosa) [2]. Pembuatan bioetanol dari bahan bergula ataupun berpati sudah makin terbatas karena bahan-bahan bergula dan berpati yang digunakan untuk memproduksi bioetanol tersebut juga dimanfaatkan sebagai bahan pangan [3]. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditemukan sumber bahan baku lain yang mengandung polisakarida dan tidak dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Salah satu bahan yang mengandung rantai polisakarida adalah selulosa.

Selulosa banyak terdapat dalam limbah pertanian atau kehutanan dan belum banyak dimanfaatkan secara optimal. Limbah ini merupakan salah satu sumber energi yang cukup potensial

dan pada umumnya merupakan bahan berselulosa yang dapat dikonversi menjadi etanol [3]. Salah satu limbah pertanian yang dapat digunakan sebagai bahan baku etanol adalah jerami padi.

Jerami padi merupakan salah satu bahan baku untuk pembuatan bioetanol karena jerami padi memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 34.2%, hemiselulosa 24.5% dan kandungan lignin hingga 23.4% [4]. Di samping itu pemanfaatan jerami padi belum optimal, biasanya jerami padi digunakan untuk pakan ternak dan sisanya dibakar atau dibiarkan membusuk di sawah. Jika jerami padi dibakar maka asap yang dihasilkan dari pembakaran jerami akan mengakibatkan polusi udara sekaligus akan merusak ozon sebagai pelindung bumi. Selain itu jika jerami padi dibiarkan maka akan menambah volume sampah yang semakin banyak. Dengan demikian untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan volume sampah maka jerami padi diolah menjadi bioetanol agar lebih bermanfaat, bernilai ekonomis dan bisa mengurangi dampak pencemaran lingkungan.

Menurut Wirawan secara umum proses pembuatan bioetanol meliputi persiapan bahan baku, sakarifikasi, fermentasi dan pemurnian. Pembuatan bioetanol dari jerami padi ini dapat dilakukan melalui empat tahap yaitu *pretreatment*, sakarifikasi (hidrolisis), fermentasi dan distilasi [5].

Menurut Harimurti *Pretreatment* atau perlakuan awal bertujuan untuk membuka struktur rapat dari bahan lignoselulosa. Setelah itu proses selanjutnya yaitu hidrolisis. Menurut Badger terdapat dua jenis proses hidrolisis yang dapat dilakukan, yaitu hidrolisis enzim dan hidrolisis kimiawi [5]. Biasanya pada tahap hidrolisis banyak peneliti menggunakan hidrolisis enzim namun pada penelitian ini menggunakan hidrolisis kimiawi. Dipilih hidrolisis kimiawi karena membutuhkan biaya relatif murah dan memerlukan waktu tidak terlalu lama [6]. Bahan yang digunakan pada proses hidrolisis secara kimiawi yaitu asam sulfat encer karena asam sulfat disini berguna untuk menghisap kandungan air (H_2O) sehingga bisa mengurangi kadar air dalam etanol. Dengan demikian, etanol yang dihasilkan bisa lebih maksimal. Selain itu proses hidrolisis ini bertujuan untuk memproduksi monomer-monomer gula dari selulosa dan hemiselulosa [4].

Pada proses fermentasi, fermentasi etanol dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain jenis mikroorganisme dan substrat. Fermentasi etanol bersifat anaerob melibatkan mikrob dari jenis *yeast* yaitu *Saccharomyces cerevisiae* [7]. *Saccharomyces cerevisiae* lebih banyak digunakan untuk memproduksi alkohol karena dapat memproduksi alkohol dalam jumlah yang besar [8]. Pada proses distilasi dilakukan untuk memisahkan etanol dari air. Etanol akan menguap pada suhu sekitar 78°C sedangkan air tidak menguap.

Maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi optimum pada pembuatan bioethanol serta mengkarakterisasinya.

Teori

Bioetanol adalah salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan. Menurut Prihandana [9] bioetanol dapat diproduksi dengan bahan baku yang mengandung bahan berpati seperti singkong, ubi kayu, kentang gandum dan lain-lain, selain itu bioetanol juga bisa diproduksi dengan bahan baku yang mengandung bahan bergula seperti tetes tebu, nira tebu, nira kelapa dan sebagainya, selain bahan berpati dan bahan bergula sebagai bahan baku bioetanol ternyata bahan berselulosa juga bisa digunakan untuk membuat bioetanol, contohnya jerami padi, tongkol jagung, batang pisang serbuk gergaji dan lain-lain [9].

Etanol mempunyai sifat berupa cairan yang tidak stabil, mudah terbakar dan tidak berwarna [10], lebih lanjut Nurfiana, dkk memaparkan etanol merupakan alkohol rantai lurus dengan rumus molekul C_2H_5OH . Dapat juga dinotasikan sebagai CH_3-CH_2-OH yang menandakan adanya gugus metil

(CH₃-) berikatan dengan gugus metylene (-CH₂-) dan berikatan pula dengan gugus hidroksil [10]. (-OH). Sifat fisik dari etanol adalah sebagai berikut:

- a. Titik didih : 78,29°C
- b. Titik beku : -144,14°C
- c. Densitas : 0,7893 gram/cm³
- d. Indeks bias : 1,3611

Bioetanol sebagai bahan bakar yang alternatif mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya lebih ramah lingkungan, karena bahan bakar tersebut memiliki nilai oktan 92 lebih tinggi dari premium nilai oktan 88, dan pertamax nilai oktan 94, selain itu bioetanol dapat mengurangi emisi CO₂ [11]. Menurut Nurdyastuti [12] bioetanol bisa dimanfaatkan dengan beraneka ragam, maka terdapat penggolongan kualitas (grade) bioetanol, lebih lanjut Nurdyastuti memaparkan bioetanol yang mempunyai kadar 90-96,5% volume dapat digunakan pada industri, sedangkan bioetanol yang mempunyai kadar 96-99,5% volume dapat digunakan sebagai campuran untuk miras dan bahan dasar industri farmasi [12]. Bioetanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan harus betul-betul kering dan anhydrous supaya tidak korosif, sehingga bioetanol harus mempunyai kadar sebesar 99,5-100% volume[12].

2. Jerami Padi

Jerami adalah tanaman padi yang telah diambil buahnya (gabahnya), sehingga tinggal batang dan daunnya yang merupakan limbah pertanian terbesar serta belum sepenuhnya dimanfaatkan karena adanya faktor teknis dan ekonomis [4]. Menurut Gurav, jerami padi sangat berpotensi untuk diproses sebagai bahan bakar alternatif, hal ini dikarenakan jerami padi memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 34,2%, hemiselulosa 24,5% dan kandungan lignin hingga 23,4% [7]. Menurut Kim dan Dale potensi etanol dari jerami padi adalah sebesar 0.28 L/kg jerami.

3. Tahap Pembuatan Bioetanol

Adapun langkah kerja pembuatan etanol dari jerami padi seperti berikut:

1) Proses *pretreatment* atau *delignifikasi*

- a) Jerami yang baru dipanen, dikeringkan terlebih dahulu dengan sinar matahari sampai benar-benar kering.
- b) Potong jerami menjadi bagian-bagian yang kecil dengan ukuran 1 atau 2 cm.
- c) Masukkan masing-masing jerami padi ke dalam wadah plastik kemudian tambahkan 1000 mL NaOH 5% pada masing-masing jerami lalu biarkan selama 24 jam.
- d) Cuci jerami padi. Pencucian dihentikan apabila cairan pencuci sudah jernih ataupun pH telah netral.

2) Proses hidrolisis

- a) Kemudian pada masing-masing jerami padi yang sudah kering ditambahkan larutan H₂SO₄ 1N sebanyak 800 mL.
- b) Panaskan sampai 105 menit sambil terus diaduk.
- c) Setelah itu dinginkan larutan yang telah dipanaskan tadi. Setelah dingin saring
- d) Jika larutan sudah mencapai pH 4 maka siap untuk proses selanjutnya yaitu fermentasi.

3) Uji Kadar Glukosa Sebelum Fermentasi

- a) Uji Kualitatif (Metode Benedict)
- b) Uji Kuantitatif

Uji kadar glukosa menggunakan metode Luff Schoorl karena tingkat kesalahannya sebesar 10%.

4) Proses fermentasi

- a) Jika semua larutan pada proses hidrolisis sudah mencapai pH 4 maka masukkan ke dalam wadah plastik yang besar (ember).
- b) Kemudian tambahkan ragi *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 10%, 16%, dan 20% gram dan urea serta pupuk NPK sebanyak 50% dari massa ragi.

5) Uji Kadar Glukosa Setelah Fermentasi

- a) Uji Kualitatif (Metode Benedict)
- b) Uji Kuantitatif

Uji kadar glukosa menggunakan metode Luff Schoorl karena tingkat kesalahannya sebesar 10%.

6) Distilasi

Untuk mengetahui seberapa banyak etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi maka tahap selanjutnya dilakukan proses distilasi dan penghilangan kadar air menggunakan CuSO_4 .

Hasil dan Diskusi

Jerami padi merupakan limbah pertanian yang berpotensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif yaitu bioetanol. Jerami padi bisa dijadikan bahan bakar alternatif karena memiliki kandungan selulosa yang tinggi, mencapai 34.2%, hemiselulosa 24.5% dan kandungan lignin hingga 23.4% [4].

Tahap pertama dalam pembuatan bioetanol dari jerami padi yaitu proses *pretreatment* atau *delignifikasi*. Pada tahap ini bertujuan untuk membuka struktur rapat dari bahan lignoselulosa agar pada proses hidrolisis bisa mencapai selulosa. Larutan yang dipakai pada proses delignifikasi yaitu NaOH 5 %, ini merujuk pada penelitian sebelumnya [13]. Proses delignifikasi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Proses Delignifikasi

Pada gambar 1 yaitu proses delignifikasi dimana jerami padi direndam oleh larutan NaOH 5% dengan perbandingan 1:5 (Jerami padi 1 dan NaOH 5% 5) selama 24 jam namun sebelum direndam jerami padi terlebih dahulu kering dan dipotong menjadi ukuran yang sangat kecil kira-kira 1-2 cm ini bertujuan untuk memperkecil ukuran serat sehingga selulosa pada serat bisa berkontak secara efektif.

Sebelum ketahap selanjutnya yaitu proses hidrolisis asam, jerami padi yang sudah direndam oleh NaOH 5% selama 24 jam harus dinetralkan terlebih dahulu dan harus dikeringkan selama 1 hari

ini bertujuan agar pada proses hidrolisis asam selulosa yang terdapat di jerami padi bisa didegradasi secara maksimal.

Tahap berikutnya yaitu hidrolisis selulosa oleh asam sulfat (H_2SO_4) 1N. Proses ini bertujuan untuk memecah ikatan hemiselulosa dan menghilangkan kandungan lignin serta merusak struktur kristal selulosa menjadi senyawa gula sederhana [13]. Proses hidrolisis asam menggunakan suhu $100^\circ C$ selama 105 menit. Berdasarkan uji kualitatif menggunakan metode benedict menunjukkan hasil berupa endapan berwarna hijau lihat gambar 2.



Gambar 2 Uji Kulitatif Sampel

Pada gambar di atas terdapat endapan berwarna hijau, hal ini menunjukkan bahwa dalam filtrat hasil saringan (sampel) positif mengandung karbohidrat berupa glukosa. Setelah uji Benedict menunjukkan hasil positif mengandung karbohidrat, maka selanjutnya dilakukan analisis secara kuantitatif menggunakan metode *Luff Schrools*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar karbohidrat yang terkandung dalam sampel. Kadar yang diperoleh ketika dilakukan uji kuantitatif bisa dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Kadar gula reduksi / monosakarida (*Luff Schoorls*)

No.	Kode Sampel	V Sampel (mL)	Vol. Titrasi (mL)	mL tio 0,1N	Mg G. Reduksi	K. G. reduksi (%)
1.	Jerami Padi	5,00	20,50	4,3215	10,5038	0,1891

Proses selanjutnya yaitu fermentasi dimana karbohidrat yang telah dihasilkan akan diubah menjadi etanol. Fermentasi dilakukan pada suhu $25-30^\circ C$ agar ragi yang ditambahkan dapat hidup dan berkembang biak. Pada penentuan optimasi massa ragi variasi yang diteliti yaitu 16%, 18%, dan 20% dengan menambahkan urea dan pupuk NPK sebanyak 50% dari massa ragi. Adapun penambahan urea dan ragi bertujuan untuk pakan ragi. Fermentasi dilakukan selama 2 hari dalam keadaan anaerob.

Setelah proses fermentasi selesai tahap selanjutnya yaitu uji karbohidrat. Berdasarkan sampel hasil fermentasi diuji menggunakan uji benedict menunjukkan negatif mengandung karbohidrat. Sampel yang diuji setelah fermentasi menunjukkan tidak adanya karbohidrat atau negatif tidak mengandung karbohidrat.

Tahap selanjutnya adalah pemurnian bioetanol melalui destilasi pada suhu $78^\circ C$ hingga tidak ada bioetanol yang menetes lagi.

Bioetanol merupakan bahan kimia yang mudah terbakar, oleh karena itu untuk menguji apakah destilat yang dihasilkan merupakan bioetanol atau buka yaitu dilakukan dengan uji nyala. Uji nyala terhadap bioetanol yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Uji Nyala

Untuk mengetahui massa ragi optimum pada pembuatan bioetanol dari limbah jerami padi ini digunakan variasi massa ragi sebanyak 16%, 18%, dan 20% dengan perbandingan massa urea 1:2 dengan massa ragi dan difermentasi selama 2 hari. Hasil yang diperoleh diberikan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Percobaan Pada Optimasi Massa Ragi

No	Massa sampel (g)	ragi (%)	Waktu fermentasi (Hari)	pH	Volume destilat (mL)
1	500	16	2	4	12,4
2	500	18	2	4	6,6
3	500	20	2	4	7,0

Kondisi optimum pada pembuatan bioetanol dijadikan patokan untuk menentukan karakteristik bioetanol yang dihasilkan. Adapun uji karakteristik meliputi indeks bias, titik didih dan massa jenis. Hasil pengukuran diperoleh indeks bias sebesar 1,35808, titik didih 72⁰C, dan massa jenis 0,81038 g/cm³.

Kesimpulan

Kesimpulan hasil penelitian menunjukkan bioethanol dapat diproduksi dari limbah jerami dengan perolehan bioethanol sebesar 2.76% dan kadar ragi optimum sebesar 16%.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Ketua Prodi Pendidikan Kimia, ketua laboratorium Pendidikan kimia UIN SGD Bandung yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materil serta fasilitas kepada penulis.

Referensi

- [1] Gunam, I.B.W, dkk. (2010). Produksi Selulase Kasar dari Kapang *Trichoderma Viride* dengan Perlakuan Konsentrasi Substrat Ampas Tebu dan Lama Fermentasi, *Jurnal Biologi*, **15**, 29-33.
- [2] Sari, A.P, dkk. (2012). Produksi Bioetanol dari Selulosa Alga Merah dengan Sistem Fermentasi Simultan Menggunakan Bakteri *Clostridium Acetobutylicum*.
- [3] Kodri, dkk. (2013). Pemanfaatan Enzim Selulase dari *Trichoderma Reseei* dan *Aspergillus*.
- [4] Yulianto, M.E, dkk. (2009). Pengembangan Hidrolisis Enzimatis Biomassa Jerami Padi untuk Produksi Bioetanol. *Simposium Nasional Rapi*. Semarang: Jurusan Teknik Kimia UNDIP Semarang.
- [5] Anindyawati, T. (2009). *Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa untuk Produksi Bioetanol*. Bogor: LIPI.
- [6] Megawati, dkk. (2009). Kinetika Reaksi Hidrolisis Ranting Kering dengan Asam Encer pada Kondisi Non-isotermis. **12**. (4). 211-217.
- [7] Mulyono, A.M.W. dkk. (2011). Permentasi Etanol dari Jerami Padi. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat*. Sukoharjo: Fakultas Pertanian Universitas Veteran Bangun Nusantara. 56

- [8] Antoni, R., dkk. (2012). Fermentasi Nira Nipah (*Nypa fruticans Wurmb*) menjadi Bioetanol menggunakan Kombinasi Ragi *Pichia stipitis* dan *Saccharomyces cereviceae* dalam Bioflo 2000 Fermentor. Pekanbaru: Fakultas Teknik.
- [9] Prihandana, R., dkk. (2008). *Bioetanol Ubi Kayu: Bahan Bakar Masa Depan*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- [10] Nurfiana, F., dkk. (2009). *Pembuatan Bioethanol dari Biji Durian sebagai Sumber Energi Alternatif*. Yogyakarta: Tidak diterbitkan.
- [11] Gusmailina. (2009). *Prospek Bioetanol sebagai Pengganti Minyak Tanah*. [Online]. Tersedia, <http://energihiujukugsmlina.blogspot.com/2009/12/prospek-bioetanol-sebagai-pengganti.html>. [Diakses 04 Oktober 2013].
- [12] Nurdyastuti, Indah. (2005). Teknologi Proses Produksi Bio-Ethanol. *Prospek Pengembangan Bio-fuel sebagai Substitusi Bahan Bakar Minyak*.
- [13] Barlian, H.S. (2013). *Pembuatan Bahan Bakar Alternatif Biobutanol Dari Jerami Padi Secara Fermentasi dengan Menggunakan Bakteri Clostridium Acetobutylicum*. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Padang.

Adsorpsi Kromium (VI) Menggunakan Bentonit Termodifikasi Cetyl Trimetil Amonium Bromida

Sitti Aminah^{1,a)}, M.B.Amran², dan Buchari³

¹KK. Kimia Analitik Sekolah Pascasarjana-ITB

^{2,3}KK. Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA-ITB

email : a) aminah.chem@yahoo.com

Abstrak

Pencemaran air yang disebabkan oleh adanya kontaminasi ion logam berat merupakan salah satu permasalahan utama dunia saat ini. Kromium (VI) merupakan salah satu ion logam berat yang bersifat toksik dan karsinogenik sehingga keberadaannya di lingkungan menjadi salah satu perhatian kalangan peneliti di bidang Analitik. Pada penelitian ini telah dikaji sifat adsorpsi Cr(VI) pada material fungsional hasil modifikasi bentonit dengan Cetyl Trimetil Amonium Bromida (CTAB). Material adsorben dikarakterisasi menggunakan XRF, FTIR, dan XRD. Karakterisasi sifat adsorpsi Cr(VI) pada material adsorben dengan metode batch menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh pH, waktu kontak, dan konsentrasi awal ion Cr(VI). Kapasitas adsorpsi maksimum adalah 9.41 mg/g pada pH 3, dengan waktu kontak 4 jam. Isotherm adsorpsi sesuai dengan model isotherm Freundlich.. Modifikasi Bentonit dengan CTAB mampu meningkatkan kinerja adsorpsi bentonit terhadap spesi Cr(VI).

Kata kunci : Adsorpsi, Cr(VI), bentonit, CTAB

Pendahuluan

Salah satu problem utama dunia saat ini adalah adanya kontaminasi logam berat yang bersifat toksik di lingkungan yang dapat terakumulasi sampai pada rantai makanan. Pada umumnya logam toksik ini merupakan unsur-unsur yang terjadi secara alamiah dan konsentrasinya dapat meningkat sebagai akibat aktivitas antropogenik. Beberapa unsur merupakan unsur esensial terhadap kehidupan manusia, tumbuhan dan hewan, akan tetapi pada konsentrasi tertentu dapat bersifat racun terhadap semua makhluk hidup, oleh karena itu limbah yang mengandung logam berat perlu mendapat perhatian khusus, karena pada konsentrasi tinggi selain dapat terakumulasi juga kemungkinan transformasi menjadi senyawa yang lebih toksik [1].

Peran, toksisitas dan efek-efek lainnya sangat bergantung pada bentuk tertentu (spesi) dimana unsur tersebut hadir dalam sistem. sehingga keberadaan logam toksik dalam lingkungan tidak cukup hanya dinyatakan dalam bentuk totalnya. Misalnya, Cr(VI) dan Cr(III) menunjukkan sifat yang sangat berbeda. Cr(VI) memiliki tingkat toksisitas jauh lebih besar dari Cr(III), sehingga perlu dilakukan penentuan berdasarkan spesinya [2].

Berbagai metode telah digunakan untuk prakonsentrasi dan pemisahan spesi kromium seperti pengendapan kimia, ekstraksi pelarut, pertukaran ion, adsorpsi dll. [3]. Adsorpsi telah terbukti sebagai suatu metode yang efektif untuk melepaskan polutan logam berat dari air limbah jika dibandingkan dengan proses lain, selain itu mudah dioperasikan, dapat dilakukan dengan

metode batch ataupun kolom, dapat diregenerasi serta dapat diterapkan dalam sistem *Analysis* berbasis *Flow Injection* (FIA).

Indonesia memiliki potensi bahan alam yang dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, antara lain bentonit yang memiliki kandungan montmorillonit yang tinggi, struktur berlapis, berpori, stabilitas mekanik dan kimia, luas permukaan yang besar dan kemampuan pertukaran kation yang tinggi. Selain itu ketersediaan bentonit lokal sangat melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal sehingga mendorong upaya-upaya pemanfaatan sekaligus sebagai langkah meningkatkan nilai ekonomis dari bentonit. Bentonit telah terbukti efisien dalam menghilangkan banyak ion logam beracun seperti timbal, kobal, nikel, tembaga, seng, kadmium, kromium dan perak dalam larutan berair [4-6]. Namun, kemampuannya untuk mengadsorpsi ion negatif dan molekul organik relatif rendah. Selain itu situs aktif bentonit tidak seragam dan Oleh karena itu, diperlukan cara untuk memodifikasi bentonit untuk memecahkan masalah ini.

Salah satu cara untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi dari bentonit dapat dilakukan dengan cara memodifikasinya dengan senyawa organik menjadi *organoclay* sebagai suatu material fungsional [7-10]. Material fungsional yang dikembangkan pada penelitian ini adalah modifikasi bentonit secara kimia menggunakan *Cetyl Trimetil Amonium Bromida* (CTAB). Bentonit dan hasil modifikasinya dikarakterisasi menggunakan XRF, FTIR, dan XRD. Sedangkan karakteristik sifat adsorpsi dan faktor yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi terhadap spesi Cr(VI) dipelajari dengan metode batch.

Metodologi

Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah peralatan gelas yang biasa digunakan di laboratorium kimia seperti gelas kimia, labu takar, pipet volume, batang pengaduk, corong dan lain-lain. Peralatan instrumentasi; Spektrofotometer Serapan Atom, Spektrofotometer FT-IR, dan XRD, serta beberapa alat bantu seperti pengaduk magnetik, pH meter, neraca analitik, oven, pompa vakum, dan shaker.

Bahan

Bahan-bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai kualitas pro analisis kecuali disebutkan lain. Bentonit yang digunakan diperoleh dari daerah Cipatat Jawa Barat dengan komposisi kimia seperti tertera pada tabel 1, $K_2Cr_2O_7$ (Merck), NaCl (Merck), HNO_3 (Merck), CTAB (Merck), NaOH (Merck), dan aquadest..

Prosedur Kerja

Sintesis Material Adsorben (Modifikasi Bentonit dengan CTAB)

Sebanyak 10 gram Na-bentonit dengan ukuran partikel tertentu didispersikan ke dalam 250 mL larutan CTAB dengan konsentrasi 7 mmol/L dan diaduk selama 24 jam pada suhu ruang. Material yang terbentuk disaring dan dicuci dengan aquadest sampai bebas ion Br^- selanjutnya dikeringkan pada suhu $60^\circ C$, digerus dan diayak sampai diperoleh ukuran partikel tertentu serta dikarakterisasi. Material hasil sintesis yang disebut BT-CTAB digunakan untuk perlakuan selanjutnya.

Studi Adsorpsi dengan Metode Batch

Pengaruh waktu kontak

Sebanyak 25 mL larutan standar Cr(VI) 25 mg/L dimasukkan ke dalam Erlenmeyer bertutup dan ditambahkan adsorben (BT-CTAB) 0,2 g kemudian campuran dishaker dengan variasi waktu (30-

300) menit. Selanjutnya disaring dengan kertas saring Whatman 42 dan Cr(VI) yang tersisa ditentukan menggunakan alat AAS.

Pengaruh pH

Sebanyak 25 mL larutan standar Cr(VI) 25 mg/L dengan variasi pH (2-7) dimasukkan ke dalam Erlenmeyer bertutup dan ditambahkan adsorben 0,2 g kemudian campuran dishaker sesuai waktu optimum. Selanjutnya disaring dengan kertas saring Whatman 42 dan Cr(VI) yang tersisa ditentukan menggunakan alat AAS.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Ke dalam 6 buah Erlenmeyer 100 mL dimasukkan masing-masing adsorben bentonit termodifikasi CTAB 0.2 g dan ditambahkan 25 mL larutan Cr(VI) dengan konsentrasi berturut-turut 20, 30, 40, 50, 75 dan 100 mg/L pada pH sesuai dengan pH optimum, lalu dikocok menggunakan alat pengocok selama waktu kontak optimum. Selanjutnya campuran disaring dan konsentrasi Cr(VI) yang tersisa ditentukan dengan AAS.

Kinerja Adsorben

Kapasitas adsorpsi (q_e), dan efisiensi adsorpsi (%Ads) mencerminkan kinerja dari suatu adsorben terhadap adsorbat yang dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$q_e = (C_i - C_e)V/m \quad (1)$$

sedangkan efisiensi adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\%Ads = \frac{q_e}{C_i} \times 100 \quad (2)$$

Keterangan: %Ads = Efisiensi adsorpsi (%) q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g) , V = Volume larutan (L) C_i = Konsentrasi awal ion logam (sebelum adsorpsi) ,(mg/L) ,
 C_e = Konsentrasi ion logam sesudah adsorpsi, (mg/L) dan m = Massa adsorben (g).

Hasil Dan Diskusi

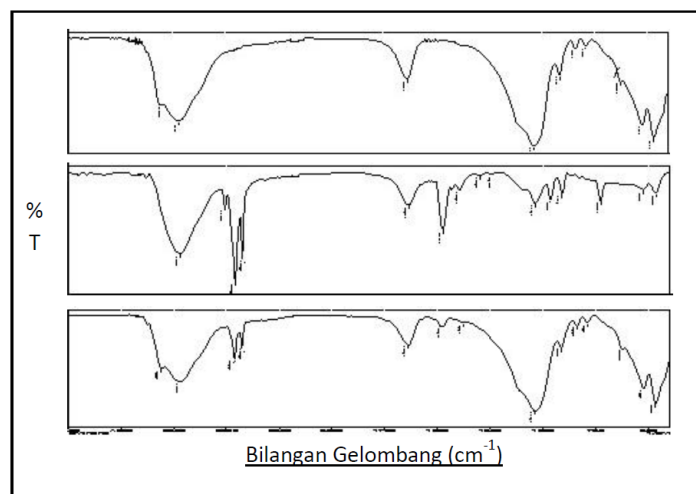
Karakterisasi Bentonit dan Bentonit termodifikasi CTAB (BT-CTAB)

Kemampuan adsorpsi bentonit terhadap anion dan senyawa organik sangat rendah, sehingga perlu dimodifikasi untuk meningkatkan kinerja adsorpsinya terhadap Cr(VI) yang berupa anion. Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi terhadap bentonit menggunakan CTAB. CTAB merupakan surfaktan kationik yang dapat digunakan sebagai modifier bentonit melalui proses pertukaran ion dengan kation-kation yang ada pada daerah interlayer [7]. Untuk mengetahui keberhasilan proses modifikasi maka bentonit dan hasil modifikasinya perlu dikarakterisasi. Hasil analisis komposisi kimia menggunakan spektrofotometer fluoresensi sinar-X (XRF) dapat dilihat dalam tabel 1.

Tabel. 1 Tabel Komposisi Kimia Bentonit

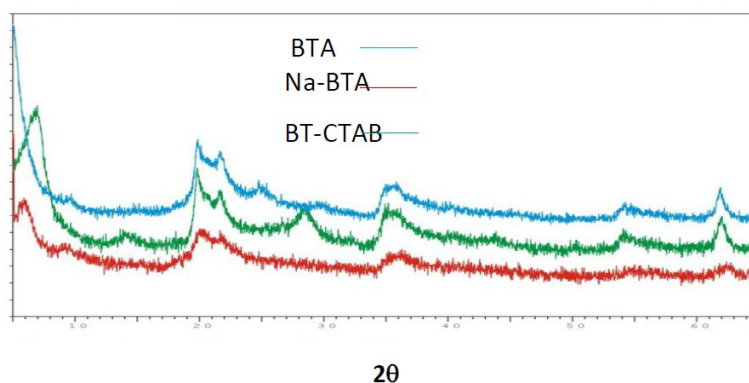
Jenis bentonite	Komposisi (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
Bent. Alam	60,0	16,40	2,04	0,26	0,24	0,84	4,72	0,36	0,023	0,390
Na-BT	61,36	17,23	2,04	0,07	2,32	0,11	4,08	0,32	0,024	0,014
BT-CTAB	52,89	14,95	1,97	0,05	0,09	0,04	3,53	0,29	0,020	0,013

Spektrum IR menunjukkan salah satu keberhasilan modifikasi bentonit yaitu adanya dua pita absorpsi baru pada daerah 2851 dan 2917 cm^{-1} yang merupakan vibrasi C-H alifatik dari CTAB yang sesuai dengan hasil yang dilaporkan oleh peneliti lain [9-10]. Spektrum BT-CTAB memperlihatkan karakteristik antara bentonit dan CTAB.



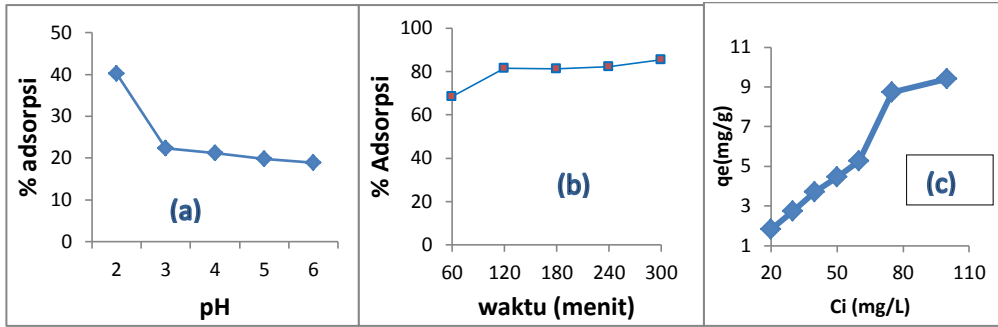
Gambar 1. Spektrum-IR(a) Bentonit (BT), (b) CTAB dan (c) BT-CTAB.

Karakterisasi material adsorben dengan XRD diperoleh pola difraksi seperti pada gambar 2. Berdasarkan gambar 2 terlihat bahwa bentonit alam terdiri dari komponen utama Montmorilonit dengan karakteristik yang khas dengan intensitas tinggi pada sudut 2θ antara $5^\circ - 9^\circ$ dengan nilai $d(2.87-16,26)\text{\AA}$ sedangkan hasil penjuanan dengan NaCl (Na-BT) dan produk modifikasinya (BT-CTAB) menunjukkan adanya pergeseran puncak dan *basal spacing*, akan tetapi tidak menyebabkan perubahan struktur pada Montmorilonit yang ditandai dengan puncak 2θ yang masih menunjukkan puncak khas montmorilonit.



Gambar 2 Difraktogram XRD BTA, Na-BT dan BT-CTAB

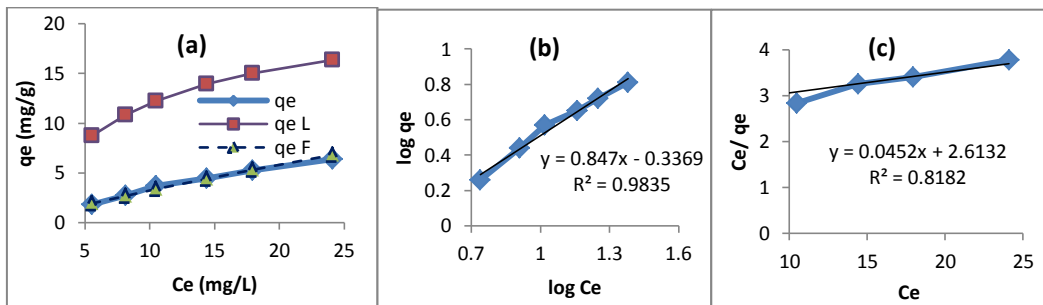
Sifat Retensi Adsorben Terhadap Spesi Cr(VI)



Gambar 3. Pengaruh pH (a), waktu kontak (b) dan konsentrasi awal Cr(VI) terhadap Kapasitas adsorpsi

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa daya adsorpsi adsorben bentonit termodifikasi CTAB (BT-CTAB) terhadap spesi Cr(VI) dipengaruhi oleh pH larutan, waktu kontak dan konsentrasi awal ion Cr(VI). Pengaturan pH larutan merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi spesi kromium, karena selain berperan dalam mengontrol sifat permukaan adsorben juga mempengaruhi keberadaan/bentuk spesi Cr(VI) sehingga akan berpengaruh terhadap interaksi antara adsorben dengan adsorbat. Modifikasi bentonit dengan surfaktan kationik dapat mengubah muatan pada permukaan dari negatif menjadi positif pada kondisi asam sehingga dapat meningkatkan kinerja adsorpsi bentonit terhadap anion [12]. Variasi waktu kontak dan konsentrasi awal bertujuan untuk mengetahui efisiensi dan efektivitas adsorpsi dimana pada suatu proses adsorpsi akan terjadi kesetimbangan pada waktu dan konsentrasi tertentu.

Isoterm Adsorpsi



Gambar 4. Isoterm Adsorpsi (a) bentuk non linear, (b) Freundlich dan (c) Langmuir (Kondisi Analisis : massa adsorben 0.2 g, Volume larutan 25 mL, pH 3, waktu pengadukan 4 jam dan kecepatan pengadukan 150 rpm).

Isoterm adsorpsi merupakan hubungan yang menunjukkan distribusi adsorbat pada permukaan adsorben dengan fase ruah saat kesetimbangan pada suhu tertentu. Berdasarkan gambar 4(a) yang memaparkan perbandingan kapasitas adsorpsi eksperimen dengan hasil perhitungan isoterm Freundlich dan Langmuir, maka model isoterm yang sesuai dengan data penelitian yang diperoleh adalah model Freundlich dengan nilai $R^2(0.9835)$. Isoterm Freundlich didasarkan pada asumsi bahwa adsorben memiliki permukaan yang bersifat heterogen, tiap sisi aktif memiliki energi yang berbeda-beda sehingga memiliki potensi adsorpsi yang berbeda-beda pula. Kapasitas adsorpsi BT-CTAB 9.14 mg/g lebih besar dari bentonit tanpa modifikasi 0,08mg/g (data analisis tidak ditampilkan).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa, bentonit alam dapat dimodifikasi menggunakan CTAB. Hasil sintesis dapat meningkatkan kinerja adsorpsi bentonit terhadap Spesi Cr(VI). Kapasitas adsorpsi dipengaruhi oleh pH, waktu dan konsentrasi awal ion Cr(VI). Kapasitas adsorpsi maksimum 9.41 mg/g pada pH 3 dengan waktu kontak 4 jam, dan konsentrasi 100 mg/L. Isoterm adsorpsi mengikuti model freundlich.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (Tekmira- Bandung) yang telah memberikan bantuan berupa penyediaan bentonit.
2. Laboratorium penelitian KK. Kimia Analitik Jurusan Kimia FMIPA-ITB atas dukungan fasilitas yang diperlukan dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] Connell, D.W. dan Miller, G.J.,(1995), *Kimia dan Ekotoksikologi Pencemaran*, Penerjemah Koestoev. Jakarta : UI-Press.
- [2] Kota, J., dan Stasicka, Z.,(2000), Chromium Occurance in The Environment and Methods of Its Speciation, *Environ. Pollut*, **107**, 263-268.
- [3] Madavi, V., Reddy, A.V.B., Reddy, K.G., Madavi, G., dan Prasad, T.N.V.K., (2013), An Overview on Research Trends In Remediation of Chromium, Review, *Res. J. Recent Sci.* **2(1)**, 71-83.
- [4] Karapinar N., dan Donat R., (2009), Adsorption Behavior of Cu(II) and Cd(II) onto Natural Bentonite, *Desalination*, **249**: 123-129.
- [5] Khan, S.A., (1995), *Adsorption of Chromium and Silver on Bentonite*, Univ. Punjab, Inst. Chem, Lahore, Pakistan.
- [6] Stefan, M., Stefan, D.S., Marinescu, I.A., Belcu, M., dan Vaireanu, D.I., (2008), Simultaneous Sorption of Cadmium, Zinc, and Lead on Montmorillonite, *Revue Roumaine de Chemie*, **53(10)**, 965-971.
- [7] Paiva, L.B., Morales A.R., Diaz, F. R.V., 2008, Organoclays : Properties, Preparation and Applications, *Appl. Clay Sci.*, **42**: 8-24
- [8] Su, J., Huang, G.H., Jing, Y.X., Lu, Q.X., dan Chen, L.Z., (2011), Synthesis, Characterization and Kinetic of A Surfactant-Modified Bentonite Used to Remove As(III) and As(V) from Aqueous Solution, *J. Hazard. Mater.*, **185**, 63-70.
- [9] Atia, A.A.,(2008), Adsorption of chromate and molybdate by cetylpyridinium bentonite, *Applied Clay Science*, **41**, 73-84.
- [10] M.A. Akl., AM. Youssef dan MM. Al-Awadi, (2013) Adsorption of Acid Dyes onto Bentonite and Surfactant-modified Bentonite, *Analytical and Bioanalytical technique*, **4(174)**,doi:10.4172/2155-9872.1000174.
- [11] Ijagbemi, O.C., Baek, M.H., dan Kim, D.S., (2009), Montmorillonite surface properties and sorption characteristics for heavy metal removal from aqueous solutions, *J. Hazard. Mater.*, **166**, 538-546
- [12] Brum C.M., Capitaneo, J. L.C., dan José, F.O., (2010), Removal of Hexavalent Chromium from Water by Adsorption onto Surfactant Modified Montmorillonite, *Miner. Eng.*, **23**, 270 – 272.

Studi Kesetimbangan Adsorpsi Asam Humus Air Gambut Pada Nanopartikel Magnetit Fe_3O_4 Termodifikasi Kitosan

Sonita Afrita Purba Siboro^{1, a)}, M. Ali Zulfikar^{2, b)}, Deana Wahyuningrum^{3, c)}

Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Bandung
email : ^{a)}sonita.afrita@gmail.com dan ^{b)}zulfikar@mail.chem.itb.ac.id

Abstrak

Air gambut merupakan air yang banyak mengandung senyawa organik yang berasal dari pembusukan tumbuhan dengan kandungan utama berupa asam humus. Keberadaan asam humus membuat air gambut kurang menguntungkan untuk dijadikan air minum. Kondisi buruk akibat adanya asam humus yaitu rendahnya pH air menyebabkan kerusakan gigi, kemampuan asam humus mengikat logam sehingga air gambut mengandung banyak logam berat serta proses penguraian asam humus menimbulkan bau pada air. Berbagai jenis perlakuan telah dilakukan untuk menjernihkan air gambut, tetapi proses yang paling optimal dan efektif adalah proses adsorpsi. Proses adsorpsi asam humus dari air gambut dalam penelitian ini dilakukan dengan magnetit termodifikasi kitosan. Kitosan mampu melindungi permukaan magnetit sehingga stabil dalam keadaan asam dan menghalangi terjadinya penggumpalan antar partikel magnetit. Hasil pengujian magnetit-kitosan terhadap penyerapan asam humus menunjukkan bahwa adsorben tersebut mempunyai kapasitas retensi sebesar $16,63 \text{ mg g}^{-1}$ dalam larutan 20 mg L^{-1} pada pH 4,0 menggunakan 0,05 gram adsorben. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen kemudian dianalisis menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu kesetimbangan adsorpsi terjadi pada waktu 60 menit. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa proses adsorpsi asam humus air gambut pada permukaan adsorben nano partikel magnetit terlapis kitosan mengikuti model isoterm Langmuir dengan koefisien korelasi sebesar 0,9972. Dari model isoterm Langmuir diperoleh bahwa kapasitas adsorpsi maksimum magnetit terlapis kitosan pada asam humus air gambut yaitu sebesar $26,08 \text{ mg g}^{-1}$ pada konsentrasi 45 mg L^{-1} .

Kata kunci: Air gambut, asam humus, magnetit-kitosan, adsorpsi dan isoterm adsorpsi

Pendahuluan

Air merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia sehingga ketersediaan sumber air bersih mutlak dibutuhkan. Di Indonesia, ada banyak sumber air yang dapat dimanfaatkan secara langsung namun banyak juga sumber air yang butuh perlakuan khusus sebelum dimanfaatkan. Salah satu sumber air yang banyak terdapat di Indonesia yaitu air gambut, seperti di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Air gambut merupakan air yang banyak mengandung senyawa organik dengan kandungan utamanya berupa asam humus. Keberadaan asam humus dalam air gambut kurang menguntungkan karena dapat menurunkan kualitas sumber air. Rendahnya kualitas air gambut menyebabkan air gambut perlu mendapat perlakuan khusus sebelum dimanfaatkan.

Berbagai jenis perlakuan untuk menjernihkan air gambut telah banyak dilakukan seperti oksidasi, koagulasi-flokulasi serta ekstrakoagulasi, namun perlakuan paling efektif adalah adsorpsi. Adsorpsi yang pernah dilakukan yaitu dengan menggunakan adsorben magnetit [1], namun penggunaannya kurang optimal sehingga perlu dimodifikasi dengan senyawa organik atau anorganik. Senyawa organik yang dapat digunakan untuk melapisi permukaan adsorben adalah senyawa dengan ukuran molekul yang lebih besar dari adsorben. Senyawa organik dengan ukuran besar yang pernah digunakan untuk melapisi permukaan magnetit yaitu poli etilen glikol [2]. Senyawa organik lain yang memiliki ukuran molekul yang besar yaitu kitosan sehingga kitosan dapat dimanfaatkan sebagai pelapis permukaan magnetit.

Keuntungan pelapisan adsorben dengan kitosan yaitu permukaan kitosan yang banyak mengandung gugus aktif hidroksil dan amino memungkinkan kitosan untuk meningkatkan daya serap adsorben. Selain itu, kebutuhan utama pelapisan permukaan magnetit adalah untuk mencegah terjadinya proses penggumpalan antar partikel magnetit dan kitosan sesuai untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Adsorben nano partikel magnetit yang diperoleh akan dilapisi dengan kitosan sehingga dapat dimanfaatkan untuk menyerap asam humus dari air gambut. Keuntungan utama penggunaan adsorben nano partikel magnetit-kitosan ini adalah kemampuan serap yang tinggi dan sifat magnet adsorben yang memudahkan proses pemisahan adsorben dan adsorbat.

Pelapisan permukaan magnetit oleh kitosan dapat dilakukan dengan metode dispersi. Teknik pelapisan ini dapat diharapkan akan menghasilkan adsorben dengan kapasitas adsorpsi yang tinggi.

Teori dan Eksperimen

Air gambut

Air gambut adalah satu sumber air permukaan, banyak dijumpai di Kalimantan, berwarna coklat tua sampai kehitaman, berkadar organik tinggi (138 – 1560 mg/lit KMnO_4), dan bersifat asam (pH 3,7-5,3). Kandungan senyawa organik utama dalam air gambut adalah asam humus. Asam humus dapat dibagi menjadi 3 jenis berdasarkan kelarutannya dalam alkali dan asam, yaitu asam humat, asam fulvat dan humin [3]. Asam humat memiliki berat molekul 10.000 hingga 100.000 g/mol dan merupakan makromolekul aromatik kompleks dengan asam amino, peptida serta komponen alifatik yang posisinya berada diantara kelompok aromatik. Senyawa ini merupakan bagian dari asam humus yang sukar larut dalam air. Asam fulvat merupakan senyawa humus yang larut dalam air dengan berat molekul berkisar antara 1.000 hingga 10.000 g/mol. Senyawa ini larut dalam air dengan berbagai kondisi pH. Sedangkan kompleks humin merupakan molekul paling besar dari senyawa humus dengan rentang berat molekul mencapai 100.000 hingga 10.000.000 g/mol [4].

Magnetit (Fe_3O_4)

Mineral magnetit yang tersusun oleh ion ferric (Fe^{3+}) dan ferrous (Fe^{2+}) di dalam persenyawaannya dapat dinyatakan sebagai Fe_3O_4 ($\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$). Kisi kristal dari magnetit ini adalah spinel invers (AB_2O_4) yang terdiri dari sisi tetrahedral dan oktahedral, ion bervalensi dua pada sisi oktahedral dan ion bervalensi tiga terpisah merata antara sisi kisi oktahedral dan tetrahedral. Setiap kisi mengandung ion-ion dengan momen magnetik yang saling berpasangan antipararel. Pasangan antipararel yang tidak seimbang menyebabkan magnetit bersifat ferimagnetit.

Pembuatan senyawa magnetit secara kimia dapat dilakukan dengan metode presipitasi. Metode ini telah banyak digunakan secara luas untuk membentuk partikel dengan ukuran yang kecil dan komposisi homogen. Senyawa magnetit buatan dapat diperoleh dengan menggunakan bahan dasar yang terdiri atas garam besi yang memiliki ion ferric (Fe^{3+}) dan ferrous (Fe^{2+}) dan dilakukan

pencampuran hingga homogen. Setelah pencampuran sempurna, tahap selanjutnya dilakukan proses presipitasi dengan pemberian larutan basa pada hasil pencampuran larutan garam besi. Larutan basa yang digunakan dalam proses ini dapat berupa KOH, NaOH, LiOH atau NH_4OH . Hasil proses presipitasi itu berupa endapan berwarna kehitaman yang diidentifikasi sebagai mineral magnetit [5].

Kitosan

Kitosan ditemukan C. Rougnet pada tahun 1859 dengan cara mendeasetilasi kitin dalam basa. Kitosan merupakan produk deasetilasi kitin. Sifat dari kitosan yaitu polimer poliamin berbentuk linier, memiliki gugus amina aktif serta memiliki kemampuan mengkelat beberapa logam. Aplikasi khusus dari sifat yang dimiliki kitosan antara lain untuk pengolahan limbah cair terutama sebagai resin penukar ion dalam mengurangi keberadaan logam-logam berat dan kekeruhan.

Kitosan merupakan senyawa yang tidak larut dalam air dan larutan basa kuat, sedikit larut dalam HCl, HNO_3 , H_3PO_4 , tidak larut dalam H_2SO_4 serta larut dalam asam lemah. Kitosan tidak beracun, mudah mengalami biodegradasi, bersifat polielektrolit dan dapat berinteraksi dengan zat-zat organik. Kitosan juga bersifat polikationik sehingga dapat mengikat lemak dan logam berat pencemar. Limbah cair yang mengandung logam berat yang dicampurkan dengan kitosan akan membentuk koloid yang dikenal dengan sebutan flok. Prinsip pengikatan logam oleh kitosan adalah penukar ion dimana garam amina terbentuk karena reaksi amina dengan asam akan mempertukarkan proton yang dimiliki oleh Nitrogen (N). Pada larutan asam, gugus amina kitosan sangat sesuai sebagai polikationik untuk mengkelat logam atau membentuk dispersi [6].

Kitosan sering digunakan sebagai adsorben pada ion logam dan spesi organik karena adanya gugus amino dan hidroksil dari rantai kitosan yang dapat dijadikan sebagai tempat untuk berkoordinasi dan bereaksi [7]. Atom nitrogen pada gugus amina menyediakan pasangan elektron bebas yang dapat bereaksi dengan kation logam. Pada kondisi pH asam, gugus amina terprotonasi sehingga meningkatkan kelarutan kitosan yang bersifat tidak larut dalam pelarut alkali dan pada pH netral [8].

Adsorpsi

Adsorpsi adalah suatu proses dimana suatu komponen bergerak dari suatu fasa menuju permukaan yang lain sehingga terjadi perubahan konsentrasi pada permukaan. Zat yang diserap disebut sebagai adsorbat dan zat yang menyerap disebut adsorben. Ada dua jenis adsorpsi yang dikenal yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisik melibatkan gaya intermolekular (gaya van der Waals, ikatan hidrogen) yang menyebabkan adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga dapat bergerak dari permukaan adsorben ke permukaan adsorben lainnya. Sedangkan adsorpsi kimia melibatkan ikatan valensi sebagai hasil pemakaian bersama elektron oleh adsorbat dan adsorben. Adsorpsi ini berkaitan dengan pembentukan senyawa kimia yang melibatkan adsorben dan permukaan-permukaan zat yang diserap dan tidak reversibel. Apabila ikatan pada adsorpsi adalah ikatan kimia, adsorben harus dipanaskan pada temperatur tinggi untuk memisahkan adsorbat [9].

Sintesis nanopartikel magnetit Fe_3O_4

Sintesis nano partikel magnetit dilakukan dengan mencampurkan garam yang mengandung ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} . Pencampuran garam-garam ini dilakukan dengan pengadukan magnetik dengan kecepatan yang diatur konstan selama 3 jam hingga campuran homogen. Campuran garam yang homogen selanjutnya diendapkan dengan menggunakan basa lemah amonia. Penambahan amonia

ke dalam campuran reaksi dilakukan tetes demi tetes dan tetap dilakukan dalam pengadukan dengan kecepatan yang konstan. Semakin banyak endapan yang terbentuk memungkinkan untuk dilakukan peningkatan kecepatan pengadukan. Hasil pengendapan yang diperoleh berupa endapan berwarna kehitaman yang diduga material magnetit. Endapan yang diperoleh dicuci dengan menggunakan akuades dan dikeringkan di dalam oven pada suhu 100°C hingga diperoleh berat konstan.

Pembuatan nanopartikel magnetit terlapis kitosan

Pembuatan material nano partikel magnetit terlapis kitosan dilakukan dengan mempersiapkan senyawa kitosan sebanyak 0,5 gram ditambahkan secara perlahan ke dalam 250 mL asam asetat (1% v/v). Campuran tersebut diaduk selama 4 jam pada suhu kamar. Kemudian ke dalam larutan tersebut ditambahkan larutan Fe₃O₄ nano magnetik yang telah disintesis sebelumnya secara perlahan, dan dilakukan pengadukan dengan kecepatan konstan. Hasil reaksi yang diperoleh berupa endapan kemudian dipisahkan menggunakan magnet permanen dari luar. Selanjutnya, endapan hasil reaksi dicuci dan dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C hingga diperoleh berat konstan.

Model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Perubahan konsentrasi adsorbat pada proses adsorpsi tergantung pada mekanisme adsorpsinya, ini dapat dipelajari melalui penentuan isoterm adsorpsi. Ada 2 model isoterm adsorpsi yang akan dipelajari dalam penelitian ini yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich. Pengujian menggunakan model isoterm adsorpsi dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan yang sesuai dengan suatu penelitian. Kesetimbangan adsorpsi merupakan perhitungan matematis terkait kondisi isotermal yang khusus untuk setiap adsorben. Setiap adsorben memiliki kesetimbangan adsorpsi tersendiri bergantung pada adsorbatnya.

Isoterm adsorpsi yang mengikuti model Isoterm Langmuir memiliki makna bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah sisi aktif yang dapat menyerap suatu molekul. Ikatan antara adsorben dan adsorbat dapat terjadi secara fisik atau kimia yang proposional dengan luas permukaan, dimana masing-masing sisi aktif menyerap satu molekul adsorbat sehingga membentuk lapisan tunggal (monolayer). Isoterm adsorpsi Langmuir dinyatakan dengan persamaan:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

q_e adalah yang terserap tiap gram Fe₃O₄-Kitosan (mg/g). Konsentrasi asam humus saat terjadinya kesetimbangan dinyatakan oleh C_e (mg/L). Sedangkan q_m dan K_L berturut-turut adalah kapasitas maksimum monolayer (mg/g) dan tetapan isoterm adsorpsi Langmuir (L/mg).

Isoterm Freundlich merupakan persamaan empiris yang juga banyak digunakan untuk menghubungkan data percobaan adsorpsi. Model isoterm Freundlich digunakan untuk menggambarkan sifat adsorpsi pada permukaan adsorben yang bersifat heterogen. Persamaan isoterm Freundlich dinyatakan pada persamaan:

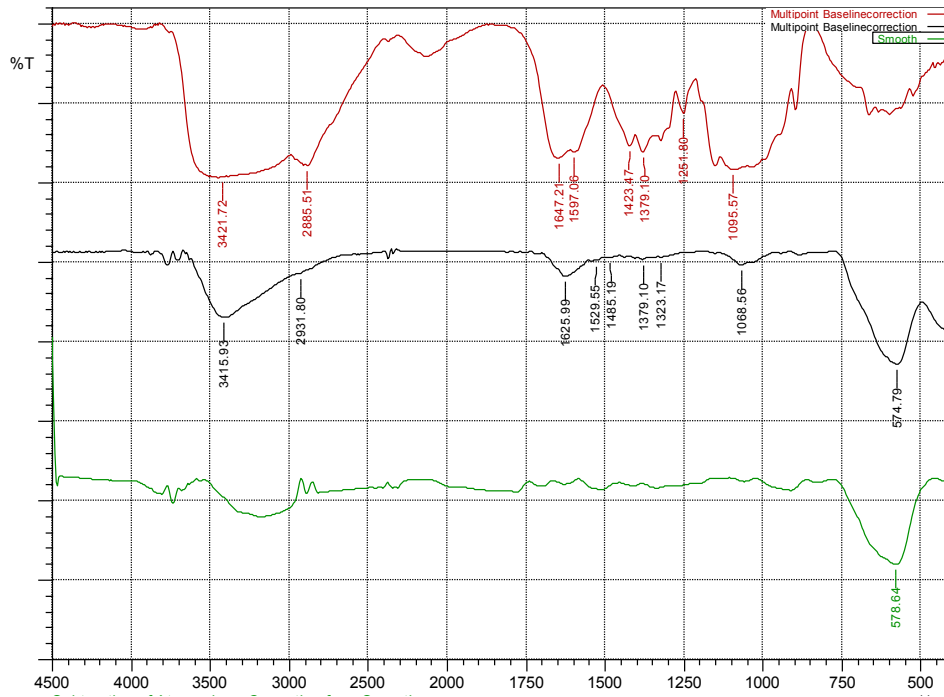
$$q_e = K_f C_e^{1/n}$$

K_f merupakan suatu parameter yang berhubungan dengan kapasitas adsorpsi dan parameter n mengarakterisasi heterogenitas sistem, sedangkan q_e merupakan kapasitas adsorpsi sorben yaitu massa asam humus yang terserap oleh tiap gram Fe₃O₄-Kitosan (mg/g).

Hasil dan Diskusi

Pembuatan adsorben nano partikel magnetit terlapis kitosan dilakukan sesuai dengan prosedur yang dipaparkan sebelumnya. Material yang telah berhasil dibuat kemudian dikarakterisasi dengan FTIR

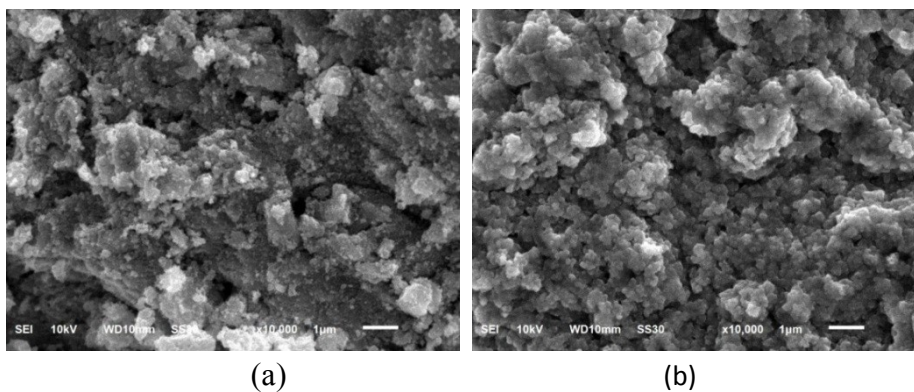
untuk analisis gugus fungsi dalam material adsorben. Hasil pengukuran FTIR adsorben magnetit, kitosan dan magnetit terlapisi kitosan adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik IR Kitosan (merah), Fe₃O₄-Kitosan (hitam), Fe₃O₄ (Hijau)

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan FTIR diperoleh informasi adanya interaksi antara magnetit dengan kitosan, yaitu terlihat pada bilangan gelombang sekitar 3421,72 cm⁻¹ (-NH₂) pada adsorben kitosan muncul pada adsorben magnetit-kitosan pada bilangan gelombang 3388,93 cm⁻¹, pada bilangan gelombang 2879,72 cm⁻¹ yang mengindikasikan ikatan -CH₃ yang terdapat pada adsorben kitosan muncul pada bilangan gelombang 3037,89 cm⁻¹ pada adsorben magnetit-kitosan, bilangan gelombang pada daerah 1423,47cm⁻¹ (-C≡N) pada adsorben kitosan bergeser menjadi 1402,25 cm⁻¹ pada adsorben magnetit-kitosan yang menunjukkan adanya interaksi antara kitosan dengan magnetit. Bilangan gelombang pada daerah 464,84 cm⁻¹ mengindikasikan adanya ikatan Fe-O terdapat juga pada molekul magnetit-kitosan dengan pergeseran bilangan gelombang menjadi 449,41 cm⁻¹ yang turut mendukung kebenaran adanya interaksi antara kitosan dengan magnetit.

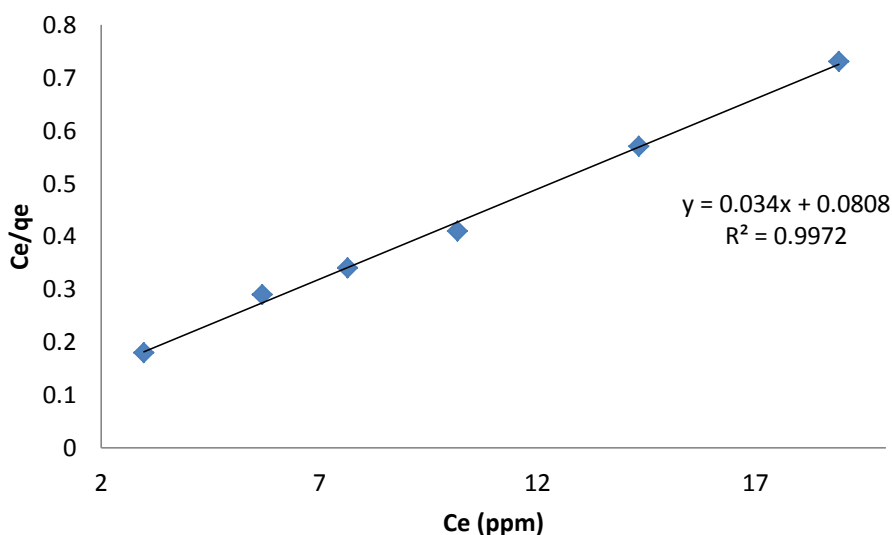
Analisis morfologi permukaan adsorben dilakukan dengan karakterisasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 2. Hasil SEM (a) Fe₃O₄ dan (b) Fe₃O₄-Kitosan

Hasil analisis SEM dari Fe_3O_4 terlihat datar yang menunjukkan bahwa partikel-partikel magnetit cenderung mengalami agromerasi atau penggumpalan yang tampak dari morfologinya yang berbentuk seperti bongkahan. Penggumpalan yang terjadi pada partikel Fe_3O_4 menyebabkan ruang untuk menyerap adsorbat kecil, seperti pada gambar hole yang terbentuk hanya sedikit sehingga penyerapan rendah. Pelapisan Fe_3O_4 dengan molekul kitosan memberikan dampak yang positif bagi morfologi permukaan adsorben, terlihat pada gambar IV.2 (b) morfologi adsorben berbentuk bulir dan terdapat lebih banyak ruang-ruang kosong yang bisa menyerap adsorbat.

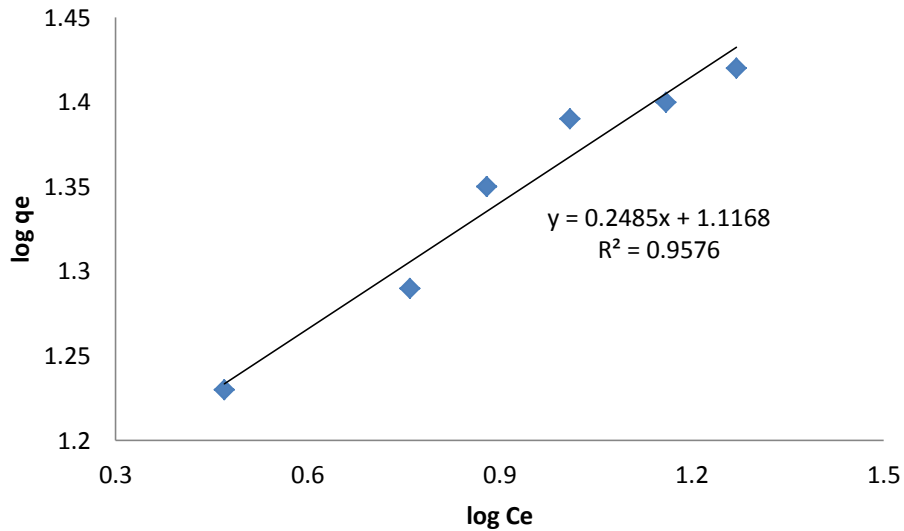
Studi kesetimbangan adsorpsi nano partikel magnetit terlapis kitosan terhadap asam humus dilakukan dengan menggunakan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan persamaan linier dari model Langmuir maka dapat diperoleh kurva linier dari hasil eksperimen sebagai berikut:



Gambar 3. Kurva linierisasi isoterm adsorpsi Langmuir

Berdasarkan kurva di atas diperoleh linieritas isoterm adsorpsi Langmuir dengan hasil yang baik ($R^2 = 0,9972$). Selanjutnya melalui persamaan garis linier kurva, diperoleh nilai q_m dan KL . Nilai q_m yang diperoleh dari perhitungan adalah $29,42 \text{ mg/g}$ yang nilainya dekat dengan nilai q_e hasil eksperimen yaitu $26,08 \text{ mg/g}$. Harga q_e yang mendekati harga kapasitas maksimum menurut Langmuir (q_m) mendukung kebenaran penjenjuran adsorben setelah kontak dengan adsorbat. Penejenuhan sisi aktif adsorben mengakibatkan adsorben tidak mampu menyerap lebih banyak adsorbat lagi meskipun konsentrasi adsorbat bertambah sehingga dapat diperoleh nilai kapasitas adsorpsi paling optimal.

Isoterm Freundlich juga diterapkan pada hasil eksperimen dengan menggunakan persamaan lineir yang dipaparkan sebelumnya sehingga diperoleh kurva berikut:



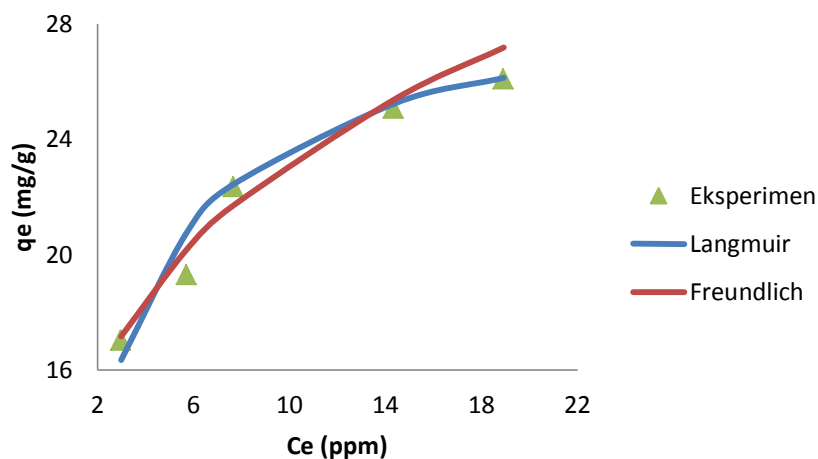
Gambar 4. Kurva linierisasi isoterm adsorpsi Freundlich

Berdasarkan kurva linieritas di atas, terlihat bahwa model isoterm adsorpsi Freundlich bisa digunakan untuk menggambarkan proses adsorpsi asam humus oleh Fe₃O₄-Kitosan ditunjukkan oleh harga koefisien korelasi yang baik ($R^2=0,9576$). Rangkuman parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1. Parameter isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich

q_m (mg)	Langmuir		Freundlich		
	K_L (L/m)	R^2	K_F	$1/n$	R^2
29,42	0,42	0,9972	13,09	0,2485	0,9576

Selanjutnya, parameter yang diperoleh dari isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi (q_e) dengan menggunakan persamaan non linier Langmuir dan Freundlich. Hasil perhitungan q_e isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich kemudian dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi hasil eksperimen (q_e eks), hasilnya dapat dilihat pada Gambar:



Gambar 5. Perbandingan kapasitas adsorpsi eksperimen dan kapasitas adsorpsi menurut persamaan isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich.

Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dipaparkan menunjukkan bahwa pembuatan material adsorben nano partikel magnetit terlapis kitosan membuahkan hasil yang baik. Keseimbangan adsorpsi asam humus pada adsorben nano partikel magnetit terlapis kitosan mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dengan harga kapasitas adsorpsi maksimum yang mendekati harga kapasitas adsorpsi eksperimen yaitu sebesar 26,08 mg/g.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis ucapkan untuk bantuan dana penelitian dan fasilitas yang diberikan oleh Institut Teknologi Bandung dan dana bantuan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi untuk program beasiswa BPPDN.

Referensi

- [1] Sun, et all, "Synthesis and Characterization of Biocompatible Fe₃O₄ Nanoparticles", Journal of Biomedical Material Research, 2006
- [2] Perdana, Febie Angela, Sintesis dan Karakterisasi Partikel nano Fe₃O₄ dengan Template PEG-1000, Jurusan Fisika Fakultas MIPA ITS Sukolila Surabaya, 2010
- [3] Stevenson, F.T, "Humus Chemistry", John Wiley and Sons, Newyork , 1982
- [4] Alimin, dkk, "Fraksinasi Asam Humat dan Pengaruhnya pada Kelautan" , 2005
- [5] Laurent, et all, "Magnetit Iron Oxide Nanoparticles", Chemical Review", Vol 108, No.6 , 2008
- [6] Samford " Karakterisasi Kitin dan Kitosan Asal Limbah Rajunan Cirebon", Jawa , 1989
- [7] Juang, S.R, Wu, "Use of Chemically Modified Chitosan Beads for Sorption and Enzyme Immobilation", Advances in Enviromental Research, Taiwan , 2002
- [8] Bernkop, A. "Thiolated Chitosans". *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.*,9-17, 2004
- [9] Larry, D.B.; Judkinds, J.F.; and Weant, B.L., Process Chemistry for Water and Wastewater. *Prentice Hall Inc.*, 202-206, 1992

Pengaruh Penambahan Nitrogen Terhadap Kadar Biomolekul dan Kadar Biopigmen Pada Mikroalga *Chlorella vulgaris*

Shella Maulidiana Wardani¹⁾, Eko Prabowo Hadisantoso¹⁾, Tina Dewi Rosahdi^{1,a)}

¹⁾Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi UIN SGD Bandung

^{a)}email: tina_dr@uinsgd.ac.id

Abstrak

Mikroalga merupakan mikroorganisme nabati yang hidup melayang-layang dalam air, relatif tidak mempunyai daya gerak sehingga keberadaannya dipengaruhi oleh gerakan air serta mampu berfotosintesis. Karena mikroalga dapat berfotosintesis, maka mempunyai pigmen fotosintesis yaitu berupa klorofil, karotenoid dan fikobilin. Biomolekul yang terdapat dalam mikroalga berupa karbohidrat, lipid dan protein. *Chlorella vulgaris* adalah mikroalga yang termasuk kedalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*), berkembangbiak dengan cara membelah diri dan menghasilkan makanannya sendiri melalui proses fotosintesis atau biasa disebut autotrof. *Chlorella vulgaris* kaya akan kandungan esensial seperti lipid dan protein, dan kandungan biopigmen seperti klorofil dan beta karoten. Tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan 0,2 mM nitrogen terhadap kadar lipid, protein, klorofil dan beta karoten. Metode yang digunakan untuk mengetahui kadar total lipid adalah metode *Bligh and Dyer*, untuk kadar total protein adalah Metode *Lowry* dan untuk kadar total klorofil dan beta karoten adalah metode Spektrofotometri *UV-VIS*. Kandungan lipid yang didapat pada media yang ditambahkan 0,2 mM nitrogen adalah sebesar 33,6 %, kandungan protein sebesar 19,46 %, kandungan klorofil 3,14 mg/L dan kandungan beta karoten sebesar 1,66 mg/L. Sedangkan hasil yang diperoleh dari media yang tidak ditambahkan 0,2 mM nitrogen yaitu 34,4 % untuk kadar lipid total, kandungan protein sebesar 17,89 %, kandungan klorofil 6,18 mg/L dan kandungan beta karoten sebesar 2,78 mg/L. Nitrogen sebesar 0,2 mM yang ditambahkan pada media pertumbuhan BBM meningkatkan biomassa kering yang dihasilkan, serta dapat meningkatkan kadar protein pada *Chlorella vulgaris*.

Kata kunci: *Chlorella vulgaris*, nitrogen, lipid, protein, klorofil, beta karoten.

Pendahuluan

Chlorella vulgaris adalah mikroalga yang termasuk ke dalam golongan alga hijau (*chlorophyta*). Bentuk sel *C.vulgaris* bulat lonjong (ellipsoidal) dengan garis tengah sel antara 2 sampai 8 μm . Mikroalga ini berkembangbiak dengan cara membelah diri dan pembentukan spora dengan waktu generasi yang sangat cepat. *Chlorella vulgaris* hidup secara berkoloni dalam jumlah besar. Habitatnya adalah air atau tempat basah, sebagai epifit atau sebagai endofit. Dalam memperoleh makanan, *Chlorella vulgaris* menghasilkan makanannya sendiri melalui proses fotosintesis atau biasa disebut autotrof [1].

Berikut adalah komposisi nutrisi dari beberapa jenis mikroalga dalam persen berat kering :

Tabel 1 Komposisi Nutrisi Mikroalga ^[2]

Alga	Komposisi kimia (% berat kering)			
	Protein	Karbohidrat	Lemak	Asam Nukleat
<i>Scenedesmus obliquus</i>	50-56	10-17	12-14	3-6
<i>Chlorella vulgaris</i>	51-58	12-17	14-22	4-5
<i>Spirogyra</i> sp.	6-20	33-64	11-21	-
<i>Dunaliella salina</i>	57	32	6	-

Mikroalga sudah banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan manusia antara lain sebagai makanan larva ikan, suplemen makanan, pengolahan limbah logam berat dan sumber energi alternatif biodiesel [2]. Selain itu dimanfaatkan juga sebagai sumber bahan makanan, terutama sebagai sumber vitamin, antioksidan, pewarna atau bahan aditif yang aman, serta digunakan pula dalam industri farmakologi dalam skala besar.

Pada penelitian ini, mikroalga *Chlorella vulgaris* dikultur menggunakan media BBM yang ditambahkan konsentrasi nitrogen berlebih sebesar 0,2 mM. Besarnya konsentrasi nitrogen 0,2 mM merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh E. Forjan dkk pada tahun 2007, tentang peningkatan produksi karotenoid dalam *Nannochloropsis* oleh pembatasan fosfat dan sulfur.

Metode Penelitian

Kultivasi Mikroalga

Sampel mikroalga disimpan dalam botol vial 1000 mL yang telah diisi media BBM dengan perbandingan 1:4, kemudian diatur suhunya pada 27 °C, dengan intensitas cahaya 2500-3000 lux, aerasi 100 ml/ L/ det dan pH awal 7,5-8. Proses tersebut dilakukan selama 14 hari. Pada saat kultivasi ini, dibuat juga media kultur dengan perlakuan yang sama tetapi diberi tambahan ammonium nitrat (0,2 mM nitrogen) dan dilakukan selama 21 hari.

Pembuatan kurva pertumbuhan

Pembuatan kurva pertumbuhan dilakukan dengan cara menghitung absorbansi mikroalga *Chlorella vulgaris* secara periodik setiap 24 jam selama 14 hari dan 21 hari, dengan panjang gelombang 680 nm menggunakan Spektrofotometer UV-VIS.

Pemanenan dan Pengeringan

Pemanenan *Chlorella vulgaris* dilakukan saat kepadatan sel sudah cukup tinggi yaitu pada hari ke-7, sedangkan untuk *Chlorella vulgaris* dengan tambahan ammonium nitrat pada hari ke-11. Pemanenan dilakukan dengan cara biomassa yang ditambahkan dengan ammonium nitrat dan yang tidak ditambahkan, diendapkan menggunakan NaOH sebanyak 1 gram/L selama 24 jam. Setelah itu endapan mikroalga diambil lalu diletakkan dalam plastik tebal. Kemudian didiamkan di ruangan terbuka sampai biomassa kering. Setelah itu dikerik dan ditimbang. Kemudian dimasukkan kedalam botol vial. Dan diletakkan di dalam kulkas.

Analisis Kadar Total Lipid (*Bligh and dyer*)

Sampel sebanyak 0,1 gram disentrifugasi 6000 rpm selama 15 menit. Untuk ekstraksi minyak ditambahkan metanol sebanyak 3 mL, lalu di vortex 4 x 1 menit. Kemudian ditambahkan 6 mL kloroform. Kocok selama 1 jam. Lalu ditambahkan aquades sebanyak 10 mL dan kocok kembali selama 15 menit. Hasil pengocokan tersebut didiamkan sebentar sampai terpisah fase air dan minyak.

Minyak berada di bagian bawah campuran air dan kloroform. Perbandingan antara methanol, kloroform dan aquades adalah 1 : 1 : 1.

Minyak mikroalga yang masih bercampur dengan kloroform diambil menggunakan pipet tetes ke dalam cawan yang sudah ditimbang beratnya. Tabung reaksi disimpan di tempat terbuka agar kloroform menguap dan hanya minyak yang tertinggal. Perhitungan persentase berat kering total lipid sebagai berikut :

$$\% \text{ total lipid} = \frac{(A-B)}{C} \times 100 \%$$

Keterangan :

A= Berat cawan + berat lipid setelah melakukan ekstraksi (mg)

B= Berat cawan kosong (mg)

C= Berat kering sampel (mg) [7]

Analisis Kadar Total Protein (Lowry)

Sampel protein dan H₂O dicampurkan sehingga volume total larutan sampel 2,0 mL. Kemudian larutan biuret 5 mL ditambahkan ke dalam masing-masing tabung yang berisi larutan protein (standar dan sampel) dan segera divortex. Campuran reaksi diinkubasi pada suhu kamar tepat 10 menit.

Kemudian pada menit ke-10 sebanyak 0,5 mL reagen folin ditambahkan ke dalam campuran reaksi dan segera dikocok menggunakan vortex. Larutan diinkubasi pada suhu kamar selama 30 menit setelah penambahan reagen folin. Serapan masing-masing larutan diukur tepat pada menit ke-30 yang ditetapkan pada panjang gelombang 750 nm.

Analisis Kadar Total Klorofil dan Beta Karoten

Sampel sebanyak 0,1 gram ditimbang lalu ditambahkan aseton 80% sebanyak 10 mL. didiamkan beberapa saat sampai mikroalga larut. Kemudian diaduk menggunakan vortex sampai semua bahan larut. Lalu larutan disaring menggunakan kertas saring. Filtrat yang tersisa diukur volumenya dan ditambakan aseton 80% hingga volumenya mencapai 10 mL. Setelah itu sampel diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer UV-VIS pada panjang gelombang 645 nm dan 663 nm. Sedangkan untuk beta karoten diukur pada panjang gelombang 450 nm. Untuk rumus kandungan klorofil dihitung dengan rumus (Harborne,1973) :

- a. Klorofil a = 12,7 (A.663) - 2,69 (A.645) mg/L
- b. Klorofil b = 22,9 (A.645) - 4,68 (A.663) mg/L
- c. Klorofil total = 8,02 (A.663) + 20,2 (A.645) mg/L [4]

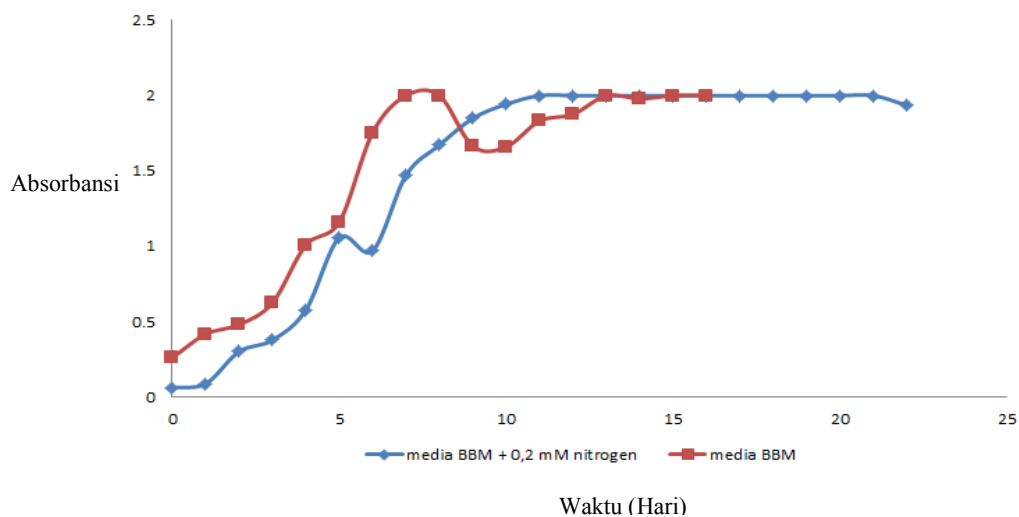
Sedangkan untuk pengukuran beta karoten dihitung menggunakan rumus :

$$\frac{(1000 \times A_{450} - 3.27 \times A_{645} - 104 (A_{663}))}{227} \dots [1]$$

Hasil Dan Pembahasan

Hasil Kurva Pertumbuhan

Kelimpahan tertinggi biomassa *C.vulgaris* pada hari ke-7 yang dikultur menggunakan media BBM dan pada hari ke-11 untuk *C.vulgaris* yang dikultur dengan menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen (**Gambar 1**). Fase yang diambil pada saat waktu panen adalah fase stationer. Dimana fase tersebut adalah fase pertumbuhan *C.vulgaris* mencapai tingkat maksimal, sel yang cenderung konstan dan tidak terjadi peningkatan ukuran populasi jumlah *C.vulgaris*.



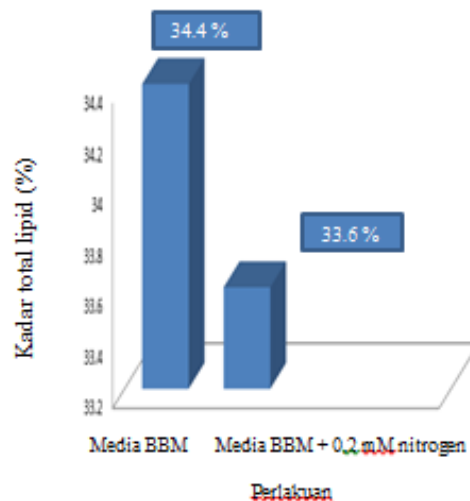
Gambar 1 Kurva pertumbuhan *Chlorella vulgaris*

Waktu untuk bertahan hidup *C.vulgaris* berbeda-beda sesuai dengan media kulturnya, yaitu untuk yang dikultur menggunakan media BBM dapat bertahan hidup selama 16 hari, sedangkan *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen dapat bertahan selama 22 hari. Hal tersebut dapat terjadi karena unsur nitrogen yang berada dalam media BBM, lebih rendah dibandingkan dengan media BBM + 0,2 mM nitrogen. Apabila dalam sebuah media kultur ditambahkan unsur nitrogen yang berlebih maka akan mempengaruhi pertumbuhan mikroalga menjadi lebih optimum dan meningkatkan pertumbuhannya, meskipun waktu yang diperlukan lebih lama [6].

Dalam 1 liter *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM menghasilkan 0,3 gram biomassa kering, sedangkan 1 liter *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM+ 0,2 mM nitrogen menghasilkan 0,4 gram. Hasil tersebut sama dengan penelitian sebelumnya yaitu yang dilakukan oleh E. Forjan dkk pada tahun 2007, dalam penelitian tersebut digunakan nitrat dengan konsentrasi sebesar 0,2 mM dan hasilnya menunjukkan bahwa biomassa kering yang didapatkan lebih banyak dan fase pertumbuhannya pun lebih lama [3].

3.2 Hasil Analisis Kadar Total Lipid metode *Bligh and Dyer*

Berdasarkan **Gambar 2**, *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM memiliki kadar total lipid yaitu sebesar 34,4 %. Sedangkan *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen memiliki kadar total lipid lebih kecil sebesar 33,6 %.

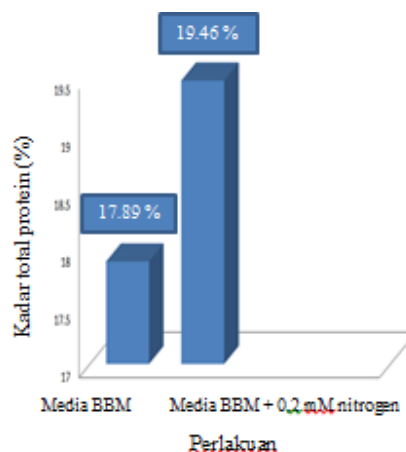


Gambar 2 Hasil Analisis Kadar total Lipid *Chlorella vulgaris*

Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Widianingsih dkk pada tahun 2011, dimana pada penelitian tersebut dijelaskan bahwa semakin kecil komposisi persentase nitrat dan fosfat yang diberikan pada media kultur maka semakin besar kandungan total lipidnya [7].

Pada umumnya konsentrasi nitrogen yang meningkat dapat menyebabkan peningkatan biomassa, protein, klorofil, tetapi lipid yang dihasilkan lebih rendah. Sedangkan pada konsentrasi nitrogen rendah mikroalga memiliki laju pertumbuhan dan biomassa rendah tetapi memiliki kandungan lipid yang tinggi. Hal tersebut disebabkan oleh laju pertumbuhan yang berbanding terbalik dengan lipid yang dihasilkan oleh mikroalga. Pada saat laju pertumbuhan kecil maka energi yang digunakan untuk tumbuh dikonversi untuk produksi lemak sebagai cadangan makanan. Sehingga apabila laju pertumbuhan tinggi, maka produksi lipidnya rendah, sedangkan apabila laju pertumbuhan kecil, maka produksi lipidnya tinggi [8].

3.3 Hasil Analisis Kadar Total Protein metode Lowry



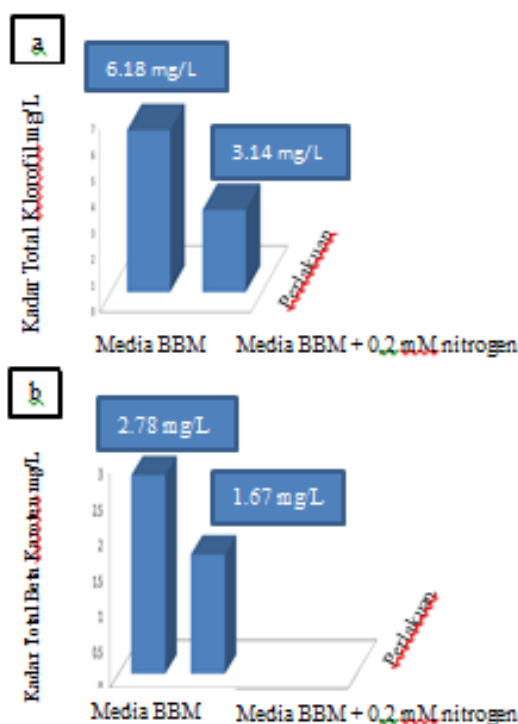
Gambar 3 Hasil Analisis Kadar total protein *Chlorella vulgaris*

Dari **Gambar 3** di atas dapat dijelaskan bahwa *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen memiliki kadar protein yaitu 19,46%, sedangkan *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM saja memiliki kadar protein lebih rendah yaitu 17,89 %. Karena nitrogen merupakan bahan penting penyusun asam amino, amida, nukleotida dan nukleoprotein, maka apabila media kultur diberi konsentrasi nitrogen berlebih maka akan meningkatkan kadar total

protein mikroalga tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hu dan Gao (2006), bahwa peningkatan NaNO_3 dan KH_2PO_4 pada media kultur akan meningkatkan kandungan protein, dan *polyunsaturated fatty acids* (PUFAs) *Nannocloropsis*, tetapi akan menurunkan kandungan karbohidrat, lipid total dan total fatty acids [7]. Jadi pengaruh nitrogen terhadap kandungan protein adalah semakin besar konsentrasi nitrogen yang diberikan akan menghasilkan kandungan protein yang besar pula. Sehingga apabila media kultur ditambahkan 0,2 mM nitrogen maka akan meningkatkan kadar total protein pada mikroalga *Chlorella vulgaris*.

3.4 Hasil analisis kadar total klorofil dan beta karoten

C.vulgaris yang dikultur menggunakan media BBM memiliki kadar total klorofil yang tinggi yaitu sebesar 6,18 mg/L, sedangkan *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen memiliki kadar total klorofil 3,41 mg/L. Hasil dari kadar total karoten tertinggi yaitu pada *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM sebesar 2,78 mg/L dan *C.vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen sebesar 1,66 mg/L.



Gambar 4 Hasil Analisis Kadar Total Klorofil dan Beta Karoten

Pada medium dengan nitrogen tertinggi memiliki peningkatan kandungan klorofil. Hal tersebut dapat terjadi karena pada saat pertumbuhan yang maksimal membutuhkan energi yang besar sehingga kloroplas perlu mengubah banyak energi cahaya menjadi energi kimia. Semakin bekerja bagian kloroplas, semakin banyak pula klorofil yang dibutuhkan untuk menyerap energi tersebut. Dengan demikian, klorofil yang terbentuk akan semakin banyak [6].

Nitrogen berperan dalam sintesis klorofil, maka pada saat konsentrasi nitrogen dalam media kultur optimal, menyebabkan kegiatan metabolisme sel akan berjalan dengan baik. Dengan adanya kandungan klorofil yang meningkat maka proses fotosintesis akan berjalan dengan baik sehingga pertumbuhan mikroalga akan optimal. Dan pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh E. Forjan dkk (2007), telah dijelaskan bahwa penambahan nitrat sebesar 0,2 mM dapat meningkatkan kadar total klorofil dan karotenoid [3].

Dari penelitian yang telah dilakukan kadar klorofil dan beta karoten menurun setelah diberi tambahan nitrogen. Hal ini disebabkan oleh sel-sel mikroalga yang ada hanya dapat meningkatkan salah satu antara kandungan klorofil atau kandungan protein. Hal tersebut dikarenakan proses pembentukan klorofil dan sebagian protein ada di kloroplas sehingga saat kloroplas membentuk protein, maka pembentukan klorofil akan berkurang, begitu pula sebaliknya. Karena dalam pertumbuhan sel mikroalga yang maksimal membutuhkan energi yang besar, maka kloroplas perlu mengubah banyak energi. Semakin bekerja bagian kloroplas, semakin banyak pula klorofil yang dibutuhkan untuk menyerap energi cahaya tersebut. Dengan kata lain klorofil yang terbentuk akan semakin tinggi dan peningkatan klorofil diikuti oleh penurunan kandungan protein [6].

Klorofil dan karotenoid akan disintesis secara seimbang di dalam kloroplas. Pada saat keseimbangan ini berubah akibat naiknya karotenoid, maka struktur plastida akan berubah dan sebagai akibatnya klorofil akan terdegradasi. Pigmen yang dihasilkan nantinya tidak klorofil tetapi karotenoid. Karena klorofil dan karotenoid disintesis secara seimbang, maka peningkatan dan penurunannya pun seimbang [9].

Kesimpulan

Nitrogen sebesar 0,2 mM yang ditambahkan pada media pertumbuhan BBM mempengaruhi pertumbuhan mikroalga *Chlorella vulgaris* dengan meningkatkan masa hidup *Chlorella vulgaris* dan biomassa kering yang dihasilkan. Kadar total lipid yang diperoleh dengan media BBM lebih besar daripada yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen. Sedangkan kadar total protein yang terbentuk dengan media BBM lebih rendah daripada yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen. *Chlorella vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM memiliki kadar total klorofil yang lebih tinggi daripada yang dikultur menggunakan media BBM + 0,2 mM nitrogen. Sedangkan kadar total karoten yang lebih besar terdapat pada *Chlorella vulgaris* yang dikultur menggunakan media BBM.

Referensi

- [1] Irfan Pratama. 2011. *Pengaruh Metode Pemanenan Mikroalga Terhadap Biomassa dan Kandungan Esensial*. Depok. Fakultas Teknik Program Sarjana Universitas Indonesia.
- [2] Efniarsi S Panggalo. 2012. *Identifikasi Pengaruh Variabel Kultur Pertumbuhan Terhadap Total Lipid Mikroalga Menggunakan Metode Permukaan Respon*. Depok. Fakultas Teknik Program Studi Ekstensi Teknik Kimia Universitas Indonesia
- [3] E. Forjan, I. Garbayo. C.Casal dan C. Vilchez. 2007. *Enchament of carotenoid production in Nannochloropsis by Phospahte and Sulphur limitation*. Huelva Spain. Departement of Chemistry and Material Sciences, Algal Biotechnology Group, University de Huelva, Spain.
- [4] Arrohmah. 2007. *Studi Karakteristik Klorofil Pada Daun Sebagai Material*. Surakarta. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret.
- [5] Wiwit Ridhani Rahmaniayah. 2012. *Studi Awal Konversi Biomassa Mikroalga Chlorella sp*. Menjadi Bioetanol. Bandung. ITB.
- [6] Tangguh Wijoseno. 2011. *Uji Pengaruh Variasi Media Kultur Terhadap Tingkat Pertumbuhan dan Kandungan Protein, Lipid, Klorofil dan Karotenoid Pada Mikroalga Chlorella vulgaris Buitenzorg*. Depok. Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- [7] Widianingsih, Retno Hartati, H. Endrawati, dkk. 2011. *Pengaruh Pengurangan Konsentrasi Nutrien Fosfat dan Nitrat Terhadap Kandungan Lipid Total Nannochloropsis oculata*. Semarang. *Jurnal Ilmu Kelautan* vol. 16 (1) 24-29 ISSN : 0853-7291.
- [8] Dania Asdainita. 2014. *Pengaruh Pemberian Timbal (Pb²⁺) Terhadap Pertumbuhan dan Kadar Lipida Mikroalga Spirullina sp.* . Bandung. Jurusan Biologi Universitas Islam Sunan Gunung Djati Bandung.

- [9] Hermin Pancasakti, K dan Muhammad Zainuri. 2013. *Aplikasi Pakan Alami Kaya Karotenoid untuk Post Larvae Penaeus monodon Fab.* Diponegoro. *Ilmu Kelautan UNDIP* vol. 18(3) : 143-149 ISSN 0853-7291.

Prakonsentrasi dan Analisis Ion Kadmium Berbasis *Flow Injection Analysis*

Uswatun Hasanah^{1, a)} Rusnadi^{2, b)} M. Bachri Amran^{2, c)}

¹Jurusan Kimia Analitik, Program Studi Magister Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

²KK Kimia Analitik, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

email : ^{a)}uswatunhasanah@students.itb.ac.id, ^{b)}rusnadi@chem.itb.ac.id, ^{c)}amran@chem.itb.ac.id

Abstrak

Cd-imprinted polymers (Cd-IPs) telah disintesis dan sifat retensinya telah dipelajari untuk prakonsentrasi dan analisis kadmium pada tingkat konsentrasi $\mu\text{g L}^{-1}$ berbasis teknik *flow injection analysis* (FIA). Prosedur ini didasarkan pada retensi ion Cd (II) pada Cd-IPs yang disintesis. Ion kadmium teretensi dapat dielusi secara kuantitatif dengan larutan asam nitrat secara langsung ke sistem nebulizer spektrometer serapan atom. Kapasitas retensi dari Cd-IPs diperoleh sebesar 20,10 mg g^{-1} pada pH optimum dan menunjukkan kinetika retensi yang cepat. Parameter analitik seperti kapasitas retensi, volume sampel, konsentrasi dan volume eluen telah dievaluasi untuk memperoleh kinerja analitik yang baik. Sistem yang dikembangkan memungkinkan untuk menganalisis 15 sampel per jam dengan batas deteksi $8 \mu\text{g L}^{-1}$. Untuk konsentrasi $50 \mu\text{g L}^{-1}$ telah diperoleh nilai presisi yang dinyatakan sebagai persen standar deviasi relatif sebesar 1,6 (n=5). Metoda analisis yang dikembangkan ini telah digunakan untuk penentuan kadmium dalam sampel air sungai Cidurian, Jawa Barat, Indonesia dengan hasil yang memuaskan.

Kata kunci: prakonsentrasi, analisis renik, kadmium, FIA

Pendahuluan

Logam kadmium dapat berasal dari sumber alamiah atau akibat kegiatan manusia (antropogenik). Proses alam seperti pelapukan batuan dan aktivitas vulkanik memberikan kontribusi yang besar ke lingkungan. Apabila proses alam tersebut tidak mengalami perubahan siklus, jarang yang sampai pada tingkat toksik. Kegiatan-kegiatan manusia yang dapat menyebabkan masuknya logam kadmium ke lingkungan antara lain adalah pertambangan, peleburan logam dan kegiatan industri lainnya. Kadmium merupakan salah satu logam berat yang diketahui memiliki efek toksik yang tinggi, dapat masuk ke dalam sistem metabolisme makhluk hidup dan terakumulasi dalam tubuh [1] [2] [3].

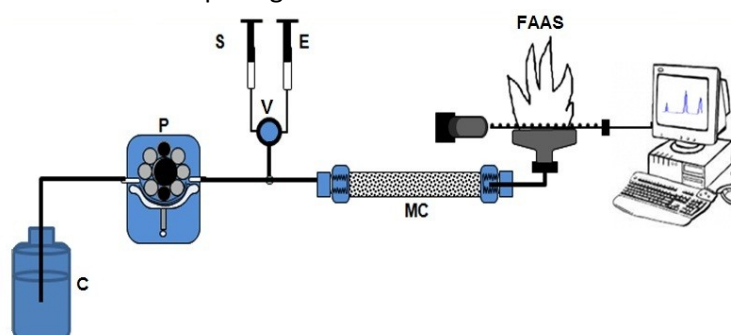
Selama bertahun-tahun *flame atomic absorption spectrometer* (FAAS) telah menjadi alat analisis yang layak untuk penentuan logam dalam berbagai matriks karena berbagai aplikasi yang luas, kesederhanaan dalam operasi dan biaya analisis yang rendah [4]. Namun, karena konsentrasi kadmium dalam sampel lingkungan umumnya berada dalam batas bawah kuantifikasi, maka analisis tidak dapat dilakukan secara langsung tanpa melalui tahap prakonsentrasi. Tandem spektrometer serapan atom dengan teknik analisis injeksi alir (FI-FAAS) untuk prakonsentrasi dan analisis ion logam merupakan alternatif yang menarik untuk menggantikan teknik klasik seperti ekstraksi fase padat

(SPE) [5]. Pencarian sorben selektif dan aplikasinya untuk pemisahan ion kadmium dan prakonsentrasi masih menarik banyak perhatian [6]. Salah satu jenis material yang paling menjanjikan sebagai sorben adalah *metal ion imprinted polimers* (MIIPs). Aplikasi analitis dari MIIPs telah ditinjau oleh Rao et al.[7]. Sintesis resin pengkhelat menggunakan PAF sebagai material pendukung telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Sid Kalal dan sejawat [8] telah mensintesis resin pengkhelat untuk mendeteksi ion logam Platinum serta mempelajari sifat-sifat adsorpsinya. Resin ini juga telah digunakan untuk pemisahan dan prakonsentrasi ion logam berat dari berbagai media dengan teknik pemisahan lainnya [9]. Pada penelitian ini, *Cd-imprinted polymers* (Cd-IPs) disintesis dari monomer anilin dan formaldehid serta tambahan anilin sebagai pemanjang rantai. Cd-IPs yang disintesis ini, diintegrasikan dengan FIA sebagai suatu sistem prakonsentrasi. Sistem FIA digunakan untuk sistem prakonsentrasi sekaligus pengukuran analit secara langsung menggunakan FAAS sebagai detektor selektif unsur. Sistem yang terintegrasi ini memiliki beberapa keuntungan seperti waktu analisis yang lebih cepat, konsumsi sampel yang lebih sedikit, dan presisi yang lebih baik dibandingkan dengan metode FAAS yang biasa dilakukan. Optimasi kondisi laju alir, konsentrasi eluen dan volume eluen dan parameter kinerja analitik.

Metode

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain peralatan gelas standar laboratorium kimia, *hot plate*, pengaduk magnetik, termometer, *thermocouple*, neraca analitik, *shaker (incubated shaker SI-600R)*, oven, serta saringan *mesh 60* dan *80 mesh*. Konsentrasi ion logam ditentukan dengan menggunakan spektrometer serapan atom GBC-Avanta™. Parameter pengukuran seperti panjang gelombang, lebar celah dan laju asetilen/udara mengikuti yang disarankan oleh pabrikan. Semua pengukuran pH dilakukan dengan pH meter digital Orion® model 470. Keberadaan gugus fungsi dari MIIPs yang disintesis diidentifikasi menggunakan spektrometer infra merah bertransformasi Fourier (FTIR) Shimadzu®-SpectraOne, serta SEM-EDX untuk analisis morfologi permukaan dan identifikasi komposisi unsur yang terkandung dalam MIIPs. Diagram sistem prakonsentrasi *on-line* diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram sistem prakonsentrasi *on-line* untuk prakonsentrasi dan analisis ion kadmium (S: sample; E: eluent; P: peristaltic pump; MC: IIPAF minicolumn; V: eight-port valve; C: Chamber dan FAAS: flame atomic absorption spectrometer) [2].

200 mg IIPAF menjadi material pengisi Mini-kolom yang terbuat dari bahan PTFE dengan panjang 3,5 cm dan diameter dalam 4 mm. Modul prakonsentrasi dihubungkan secara langsung ke sistem nebulisasi FAAS menggunakan pipa kapiler PTFE dengan bantuan *peristaltic pump* [2]. Air ultramurni dari sistem pemurnian Easypure RF (Barnstead®, Dubuque, USA) digunakan untuk penyiapan larutan

kerja Cd(II) pada konsentrasi $\mu\text{g L}^{-1}$ yang dibuat secara harian dengan mengencerkan larutan induk $1000 \mu\text{g L}^{-1}$. Polimer dibuat dari monomer anilin dan formaldehid, serta penambahan anilin lebih lanjut sebagai pemanjang rantai dan kadmium asetat sebagai ion *template*, sehingga terbentuk *Ion Imprinted Poly(Aniline-Formaldehyde)/IIPAF*. Pada sintesis ini tidak diperlukan ligan untuk mengkomplekskan ion logam [6].

Sintesis Cd-IPs

Sintesis resin polyaniline formaldehyde (PAF) merupakan tahap pertama dari penelitian ini. Resin PAF dibentuk dari monomer anilin dan formaldehid yang berkopolimerisasi membentuk suatu rantai lurus. Resin PAF disintesis dengan menggunakan 5 mL formaldehid (37%) dengan campuran 9,3 g anilin dan 3 mL HCl (37%), sehingga dihasilkan cairan berwarna kuning, kemudian dilakukan proses refluks pada suhu 100°C selama 2 jam. Suhu sistem kemudian diturunkan hingga 60°C , dinetralkan dengan penambahan 4 ml NaOH 30%, kemudian dicuci dengan air hangat tiga kali. Didapatkan resin PAF berupa suatu cairan kental berwarna coklat tua [10].

Sejumlah 0,5 g resin PAF dilarutkan dalam HCl 1 M, kemudian 20 mL larutan Cd(II) ditambahkan tetes demi tetes (100 mg L^{-1}). 0,5 mL anilin ditambahkan lagi ke dalam larutan dengan pengadukan kuat. Sejumlah FeSO_4 dan 3 mL H_2O_2 ditambahkan. Setelah 6 jam diperoleh polimer berwarna hitam berbentuk *powder*. Polimer yang diperoleh disimpan dalam penangas es (0°C) selama 2 jam [10]. Polimer disaring dan dicuci dengan HCl sampai larutan berwarna bening. Polimer yang terbentuk selanjutnya disebut *ion-imprinted poly(aniline-formaldehyde)/IIPAF*, yang kemudian dicuci dengan HNO_3 0,5 M (*leaching*) yang selanjutnya akan disebut Cd-IIPAF. Sebagai kontrol, dilakukan juga sintesis *Non-imprinted poly(aniline-formaldehyde)/NIPAF* dengan prosedur sintesis yang sama akan tetapi tidak ditambahkan larutan Cd(II) sebagai cetakan [6]. Resin PAF, IIPAF dan Cd-IIPAF yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi.

Sistem prakonsentrasi on-line

Sistem alir dioperasikan dengan berbasis volume. Larutan sampel diinjeksikan ke dalam *valve* FIA melalui *loop* dengan volume 1 mL, mengalir ke dalam mini-kolom yang berisi Cd-IIPAF, dengan laju alir 2 mL menit^{-1} . Dengan memutar *valve* 8 jalur, larutan HNO_3 0,5 M akan mengalir melalui *loop* dengan volume 1 mL ke dalam mini-kolom dan mengelusi kadmium yang teretensi menuju sistem nebulisasi dari FAAS. Sinyal kuantitatif yang dihasilkan selanjutnya dibaca sebagai tinggi puncak dengan menggunakan kombinasi peralatan konverter analog-digital dan perangkat lunak PowerChrom[®] [11].

Hasil dan Diskusi

Karakterisasi gugus fungsi MIIPs

Beberapa puncak yang penting dan membuktikan bahwa polimer telah terbentuk adalah adanya perubahan dari sinyal doublet pada spektrum IR anilin pada bilangan gelombang sekitar 3350 cm^{-1} dan 3421 cm^{-1} , yang menunjukkan adanya ikatan -NH_2 bebas (primer). Sedangkan pada spektrum IR pada resin PAF, sinyal doublet sudah tidak muncul dan hanya terdapat sinyal singlet. Hal ini mengindikasikan bahwa telah terbentuknya ikatan pada N-H primer pada gugus anilin sehingga menjadi N-H sekunder. Adanya N-H sekunder mengindikasikan telah terbentuknya rantai cabang pada rantai utama. Sedangkan puncak pada 3448 cm^{-1} menunjukkan masih terdapatnya N-H primer, dan tidak semua gugus -NH_2 membentuk rantai cabang. Pada gugus N-H primer terbentuk 2 puncak karena adanya *stretch* simetris dan asimetris. Selain itu, muncul sebuah sinyal baru pada bilangan

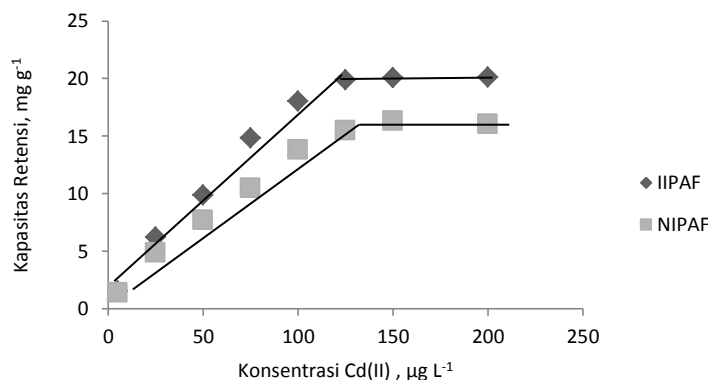
gelombang yang lebih kecil dari amina yang timbul akibat *overtone* N-H. Puncak pada 2902 cm^{-1} menunjukkan ikatan C-H yang terbentuk pada rantai utama resin PAF. Sementara ikatan C-N muncul pada puncak 1176 cm^{-1} . Terdapat perubahan dan pergeseran pada hasil spektrum Cd-IPAF(sebelum *leaching*) dengan Cd-IPAF(setelah *leaching*). Perubahan ini cukup signifikan untuk menunjukkan bahwa ion Cd(II) telah terlepas dari material fungsional yang disintesis. Puncak pertama yang mengalami pergeseran yaitu pada daerah 3406 cm^{-1} . Puncak ini merupakan puncak untuk ikatan -NH, jika melihat struktur IIPAF, Cd berikatan dengan atom N dari cincin aromatik dan setelah Cd dilepaskan dengan larutan asam nitrat, puncak untuk -NH pada cincin aromatik ini bergeser ke bilangan gelombang yang lebih besar. Puncak 3406 cm^{-1} pada Cd-IPAF yang tidak mengandung Cd, menjadi lebih tajam dan intensitasnya menurun, karena atom N sudah tidak mengikat Cd lagi. Berikut ini pada tabel 1, merupakan rangkuman spektrum IR.

Tabel 1. Spektrum IR

Sampel	Vibrasi (Bilangan Gelombang cm^{-1})					
	-NH ₂	-NH	-CH-	C=C Aromatik	-C-N-	-CH ₂
Anilin	3354,21 3429,43	-	2904,80		-	1174,65
PAF	-	3358,07	2902,87	1514,12	1311,59	1176,58
NIPAF	-	3369,64	2922,16	1510,26	1344,38	1176,58
IIPAF	-	3406,29	2920,23	1508,33	1344,38	1176,58
Cd-IPAF(sebelum <i>leaching</i>)	-	3406,29	2920,23	1508,33	1344,38	1176,58
Cd-IPAF(setelah <i>leaching</i>)	-	3446,79	2922,16	1508,33	1382,96	1176,58

Kapasitas retensi MIIPs

Metoda *batch* telah digunakan untuk mempelajari kapasitas retensi dari MIIPs. 0,0500 gram Cd-IPAF dan NIPAF direndam selama 75 menit dalam 20 mL larutan Cd(II) pada pH 5, dengan variasi konsentrasi larutan Cd(II) 5-250 mg L^{-1} , kemudian campuran ini disaring lalu filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya dengan menggunakan FAAS. Cd-IPAF yang disintesis memiliki kapasitas retensi optimum sebesar $20,01\text{ mg g}^{-1}$, sedangkan NIPAF memiliki kapasitas retensi optimum sebesar $16,01\text{ mg g}^{-1}$ seperti terlihat pada Gambar 2 yang merupakan plot antara kapasitas teretensi Cd(II) terhadap konsentrasi awal larutan standar Cd(II).



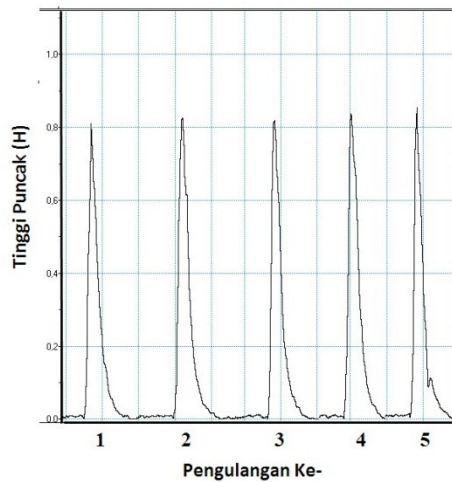
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi Cd(II) terhadap kapasitas retensi

Konsentrasi dan volume eluen

Untuk mengoptimasi kondisi eluen, larutan standar yang mengandung ion Cd(II) $0,25 \text{ mg L}^{-1}$ diinjeksikan ke dalam *valve* FIA melalui loop dengan volume 1 mL, mengalir ke dalam mini-kolom yang berisi Cd-IPAF, dengan laju alir 2 mL menit^{-1} . Dengan memutar *valve* 8 jalur, larutan HNO_3 sebesar 0,1 M atau lebih. Kenaikan konsentrasi asam nitrat melebihi 0,1 M, tidak memberikan perbedaan hasil elusi yang signifikan yang ditandai dengan tinggi puncak yang tidak berubah. Jumlah volume asam nitrat yang digunakan juga telah dievaluasi. Sejumlah 0,5 mL eluen telah cukup untuk mengelusi secara kuantitatif ion Cd(II) yang teretensi. Volume eluen yang lebih kecil memberikan tinggi puncak yang semakin kecil pula yang menunjukkan tidak sempurnanya proses elusi. Volume eluen yang lebih besar dari 0,5 mL tidak memberikan tinggi puncak yang lebih besar, hal ini menunjukkan bahwa volume eluen sebesar 0,5 mL merupakan volume eluen yang optimal untuk mengelusi secara kuantitatif ion Cd(II) teretensi.

Kinerja Analitik

Pengujian kebolehlugan metoda yang dikembangkan telah dievaluasi dengan menggunakan kondisi optimum yang telah diperoleh. Presisi dihitung dengan menggunakan hasil dari lima pengukuran larutan standar kadmium $50 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, seperti diilustrasikan oleh fiagram penentuan kebolehlugan pengukuran pada Gambar 3. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa koefisien variansi (%KV) dari kelima pengukuran tersebut adalah sebesar 1,6 % yang mengindikasikan presisi yang baik dari metoda yang dikembangkan.



Gambar 3. Fiagram penentuan kebolehlugan pengukuran

Metoda prakonsentrasi *on-line* yang dikembangkan ini, memungkinkan untuk penentuan ion Cd(II) pada *range* konsentrasi antara $50 - 250 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$. Kurva kalibrasi yang diperoleh memberikan persamaan garis $y = 0.0005x - 0.0074$ ($R^2 = 0.9974$). Dengan metoda analisis langsung pada FAAS tanpa melalui tahapan prakonsentrasi, diperoleh kelinieran kurva kalibrasi antara $0,5$ hingga $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ dengan persamaan $y = 4\text{E-}05x + 0.001$ ($R^2 = 0.9993$). Dengan demikian, faktor prakonsentrasi dihitung sebagai perbandingan slope kedua kurva kalibrasi, yaitu sebesar 11 kali untuk volume injeksi sampel 1 mL. Limit deteksi dari metoda yang dikembangkan adalah $8 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$, jika dinyatakan sebagai konsentrasi kadmium yang mampu memberikan tinggi puncak sebesar 3 kali simpangan baku tinggi puncak larutan balnko ($S/N=3$). Limit deteksi ini masih dapat diperkecil jika jumlah volume sampel yang diinjeksikan diperbesar. Untuk mengetahui akurasi dari metoda, sejumlah tertentu larutan standar Cd(II) telah ditambahkan ke dalam 50 mL sampel air sungai dan selanjutnya dilakukan

prakonsentrasi dan analisis. Hasil pengukuran menunjukkan adanya kesesuaian antara jumlah yang ditambahkan dengan jumlah analit hasil pengukuran seperti terlihat pada Tabel 2. Nilai perolehan kembali yang dihitung untuk sampel yang ditambahkan larutan standar lebih besar dari 95 %. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa prosedur analisis yang disarankan mampu memberikan hasil yang tidak dipengaruhi oleh matrik sampel.

Tabel 2. Nilai perolehan kembali ion Cd(II)

Sampel	Konsentrasi ion Cd(II) ($\mu\text{g L}^{-1}$)		Perolehan kembali (%)
	Ditambahkan	Ditemukan	
Air sungai	0	24,30 \pm 8,54	-
	50	71,61 \pm 8,54	96,40%

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh pada penelitian ini, menunjukkan bahwa material fungsional yang dikembangkan merupakan material efektif untuk prakonsentrasi ion Cd(II) dari sampel air sungai. Sistem prakonsentrasi *on-line* berbasis *flow injection analysis* (FIA) dengan menggunakan mini-kolom Cd-IPAF mampu memberikan kinerja analitik yang sangat baik. Kombinasi sistem FIA dengan FAAS menggunakan mini-kolom MIIPs dapat menjadi metoda prakonsentrasi dan analisis renik ion logam yang menjanjikan untuk berbagai jenis sampel. Teknik prakonsentrasi dan analisis ion Cd(II) yang dikembangkan ini memberikan kemudahan, kesensitifan dan kehandalan yang sangat baik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Prof. Dr. M. Bachri amran, DEA dan Dr. Rusnadi, M.Si sebagai pembimbing penelitian dan Lembaga Pengelola Dana Keuangan Republik Indonesia atas bantuan dana penelitian melalui beasiswa magister dalam negeri.

Daftar Pustaka

- [1] Almeida, J. A., Barreto, R. E., Novelli, L. B., Castro, F. J., and Moron, S. E., "Oxidative Stress Biomarkers and Aggressive Behavior in Fish Exposed to Aquatic Cadmium Contamination". *Neotrop.Ichthyol.*, 2009, Vol 7, pp. 103-108.
- [2] Flora, S. J. S., "Metal Poisoning: Treatment and Management". Review Article. *Al Ameen, J. Med. Sci*, 2009, Vol 2, pp. 4-26.
- [3] Patrick, L., "Toxic Metals and Antioxidants. Part II the Role of Antioxidant in Arsenic and Cadmium Toxicity – Toxic Metals part II", 2003, *Alternativer Medicine Review*.
- [4] B. Welz, M. Sperling, "Atomic Absorption Spectrometry", 3rd compl. rev. ed., Wiley-VCH, Weinheim, 1999.
- [5] Z. Fang, "Flow Injection Atomic Absorption Spectrometry", John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
- [6] Pyrzyńska, K. and Szelağ, H., "On-line Preconcentration system with FAAS detection for determination of cadmium", *Anal.Lett.*, 2001, 34(12), 2153–2158.
- [7] Rao, P.T., Daniel, S, Gladis, J.M., "Tailored Materials for Preconcentration or Separation of Metals by Ion-Imprinted Polymers for Solid-Phase Extraction (IIPSPE)", *Trends in Anal. Chem.*, 2004, 23 (1): 29- 35.
- [8] Sid Kalal, H, Hoveidi, H., Thagiof, M., Pakizevand, N., Almasian, M. R., and Firoozzare, M. A., "Pre-concentration and Determination of Platinum (IV) in Water Samples Using Chelating Resin by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy(ICP-AES)", *Int. J. Environ. Res.*, 6(3):739-750, Summer 2012, ISSN: 1735-6865.

- [9] Panahi, Ahmad., Homayon., Samadi Zadeh., Marjaneh., Tavangari., and Simin. 2012. Nickel Adsorption from Environmental Samples by Ion Imprinted Aniline-Formaldehyde Polymer. Islamic Azad University and Toosi University of Technology. Tehran : Iran. Vol. 31, No. 3.
- [10] Liu G., Freund M.S., New Approach for the Controlled Cross-Linking of Polyaniline: Synthesis and Characterization, 1997, *Macromol.*, 30, p.5660.
- [11] Amran, M. B., Panggabean, A. S., Sulaeman, A. and Rusnadi, M., "Preparation of a Chelating Resin and its Application as a Preconcentration System for Determination of Cadmium in River Water by Flow Injection Analysis", *Spring 2011, Int. J. Environ. Res.*, 5(2):531-536, ISSN: 1735-6865.

Pemisahan Serium(IV) dari Pasir Monasit Bangka Melalui Teknik Membran Cair Berpendukung Tubular Membran

Vina Amalia^{1, a)} dan Aminudin Sulaeman²⁾

¹Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Prodi Kimia FMIPA Institut Teknologi Bandung

^{a)}email : vinaamalia07@gmail.com

Abstrak

Serium merupakan salah satu unsur tanah jarang yang memiliki banyak kegunaan dan memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Serium digunakan diantaranya sebagai katalis, aditif pada bahan bakar, dan untuk pewarna pada kaca. Kelimpahan serium di kerak bumi adalah sekitar 0,0046%, dan ditemukan dalam mineral monasit dan bastnasit. Di Indonesia Monasit didapatkan sebagai hasil samping dari pengolahan timah. Monasit merupakan senyawa posfat logam tanah jarang yang mengandung 50-70% oksida logam tanah jarang. Pemisahan unsur tanah jarang masih cukup sulit dilakukan karena sifat kimia dan sifat fisika dari unsur-unsur tanah jarang memiliki kemiripan. Beberapa metode pemisahan yang dilakukan untuk memisahkan unsur tanah jarang, diantaranya ekstraksi pelarut dan resin penukar ion. Namun kedua metode ini memerlukan banyak pelarut dan selektifitasnya masih kurang. Salah satu metode alternatif untuk memecahkan masalah tersebut adalah teknik pemisahan melalui membran cair berpendukung, teknik ini dikembangkan dari ekstraksi pelarut yaitu dengan mengamobilkan zat pengekstraksi (*carrier*) pada suatu membran polimer berongga. Penelitian ini bertujuan untuk memisahkan serium(IV) dari mineral monasit Bangka melalui teknik membran cair berpendukung tubular membran (TSLM) menggunakan *carrier* TOA. Hasil pemisahan selanjutnya diendapkan dan dikalsinasi sehingga didapatkan serium dalam bentuk serium oksida. Untuk melihat efektifitas dari pemisahan dilakukan analisis dengan XRF, dan hasilnya menunjukkan bahwa serium (IV) dapat ditranspor dengan baik melalui teknik TSLM ini.

Kata kunci: *Serium, Mineral Monasit, TSLM, TOA*

Eksperimen

1. Alat

Peralatan yang digunakan adalah peralatan gelas standar laboratorium kimia, digunakan pula beberapa peralatan lainnya yaitu: tubular membran dengan membran PTFE, pemanas, dan penangas pasir. Konsentrasi fasa umpan dan fasa penerima ditentukan dengan menggunakan Spektrometri UV/VIS. Kadar unsur tanah jarang sebelum dan sesudah pemisahan ditentukan dengan spektrometri pendarfluor sinar X.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah larutan *carrier* TOA (tri-*n*-octylamine) produksi *Merck*, dalam pelarut kerosen yang merupakan produksi Aldrich Chemicals Co, USA. Kalium hidroksida (KOH) dan larutan HCl pekat. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini,

semuanya berkualitas p.a. kecuali jika disebutkan lain.

3. Metode

3.1 Destruksi Monasit

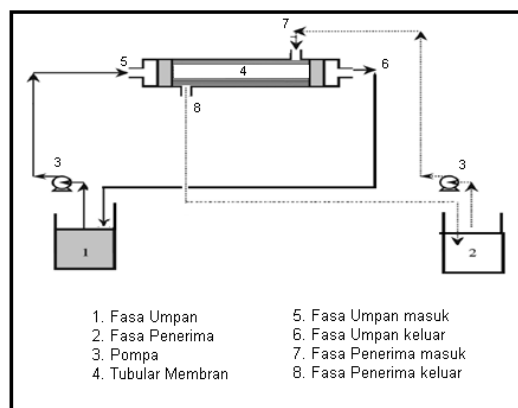
Sejumlah cuplikan monasit digerus dan diayak dengan ayakan 200 mesh, kemudian ditimbang dan dicampur dengan KOH dengan perbandingan 1:3, selanjutnya dimasukkan dalam gelas kimia dan didestruksi secara terbuka dalam penanganas pasir 140°C selama 3 jam dengan pengadukan secara terus menerus. Leburan yang diperoleh dicuci sampai bebas posfat kemudian dilarutkan dengan HCl sampai pH larutan 2,5. Larutan kemudian disaring dan selanjutnya digunakan sebagai larutan induk UTJ.

3.2 Oksidasi Ce(III) → Ce(IV)

Oksidasi Ce(III) menjadi Ce(IV) dilakukan dengan menambahkan KMnO₄ pada larutan induk UTJ pada suasana asam pada suhu 90°C selama 20 menit. Larutan hasil oksidasi ini kemudian diatur pH nya sampai pH 4,5. Endapan yang terbentuk kemudian dilarutkan dalam asam sulfat dan selanjutnya digunakan sebagai fasa umpan dalam pemisahan serium(IV) dengan TSLM.

3.3 Transpor UTJ dengan TSLM

Disiapkan satu set TSLM yang terdiri dari dua tabung dan tabung kaca yang berisi membran yang telah direndam dalam *carrier* TOA dengan konsentrasi yang dikehendaki. Skema alat diperlihatkan pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 1. Skema Pemisahan dengan TSLM

Fasa umpan diisi 100 mL larutan hasil oksidasi yang pH dan konsentrasinya telah diatur sesuai dengan yang dikehendaki. Sedangkan tabung bagian fasa penerima diisi 100 mL larutan HCl dengan konsentrasi sesuai yang dikehendaki. Pemisahan dilakukan selama 60 menit, konsentrasi UTJ pada fasa umpan dan fasa penerima dicek dengan spektrometri UV/VIS.

3.4 Pengendapan UTJ sebagai UTJ Oksida

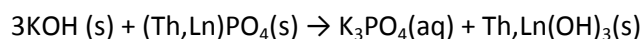
Larutan induk, fasa umpan sebelum pemisahan, fasa umpan setelah pemisahan, dan fasa penerima masing-masing diendapkan sebagai UTJ oksida dengan cara : masing-masing larutan ditambahkan dengan KOH pekat sampai pH 11, dan terbentuk endapan. Endapan yang terjadi ditambahkan dengan asam oksalat pekat sampai terbentuk endapan putih. Endapan putih yang terbentuk dikeringkan dalam oven 125°C selama satu jam. Setelah kering endapan tersebut dikalsinasi pada suhu 400°C selama dua jam.

3.5 Pengukuran dengan XRF

Endapan UTJ oksida dianalisis dengan XRF untuk mengetahui kadar masing-masing UTJ sebelum dan sesudah pemisahan. Dengan demikian diketahui efektivitas transpor TSLM dalam pemisahan serum.

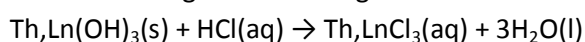
Hasil dan Diskusi

Destruksi mineral monasit dilakukan dengan destruksi terbuka menggunakan basa KOH, reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



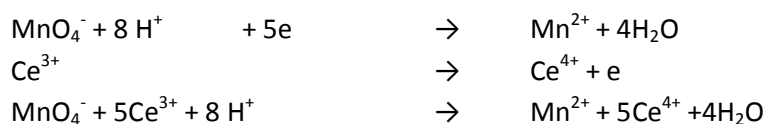
Destruksi mineral monasit menggunakan basa KOH ini menghasilkan produk samping berupa K_3PO_4 , dalam skala proses destruksi yang besar produk K_3PO_4 ini bisa dimanfaatkan sebagai pupuk cair sehingga tidak menjadi limbah.

Padatan $\text{Th},\text{Ln}(\text{OH})_3$ dicuci pada suhu 79°C sampai bebas posfat, kemudian dikeringkan dan dilarutkan dengan HCl 79°C agar larut membentuk LnCl_3 . Reaksi yang terjadi adalah :

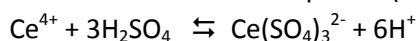


Larutan Th,LnCl_3 kemudian diatur pH menjadi 2,5 pada pH ini semua thorium terendapkan dan hanya tertinggal filtrat larutan lantanum klorida. Filtrat yang dihasilkan merupakan larutan induk UTJ yang akan digunakan dalam pemisahan.

Sebelum digunakan dalam prosen pemisahan, larutan induk UTJ terlebih dahulu harus dioksidasi. Tujuan dari oksidasi ini adalah untuk merubah Ce(III) menjadi Ce(IV), sehingga pada saat terjadi proses pemisahan semua serum telah berada dalam bentuk Ce(IV). Oksidasi dilakukan pada suasana asam dengan menambahkan KMnO_4 0,1 M. Reaksi yang terjadi pada proses oksidasi adalah sebagai berikut :



Hasil akhir dari proses oksidasi ini adalah larutan yang mengandung Ce^{4+} dan Mn, Mn berupa endapan hitam yang dapat dipisahkan dengan cara filtrasi. Filtrat yang tertinggal ditambah dengan KOH sedikit demi sedikit sampai larutan memiliki pH 4,5. Pada pH ini serum akan mengendap sebagai $\text{Ce}(\text{OH})_4$ sedangkan UTJ yang lain akan tetap berada dalam filtrat. Endapan $\text{Ce}(\text{OH})_4$ kemudian dilarutkan dalam asam sulfat pekat. Serum dalam bilangan oksidasi +4 dalam asam sulfat berlebih akan berada dalam bentuk spesi $\text{Ce}(\text{SO}_4)_3^{2-}$. Ini didasarkan pada reaksi yang terjadi yaitu :



Dalam proses pemisahan yang terjadi adalah, molekul amina yang terdapat dalam TOA, dalam larutan asam akan membentuk spesi yang bermuatan negatif R_3NH^+ . Ion Ce(IV) dalam asam sulfat akan diekstraksi sebagai $\text{Ce}(\text{SO}_4)_3(\text{R}_3\text{NH})_2$. Reaksi yang terjadi adalah :

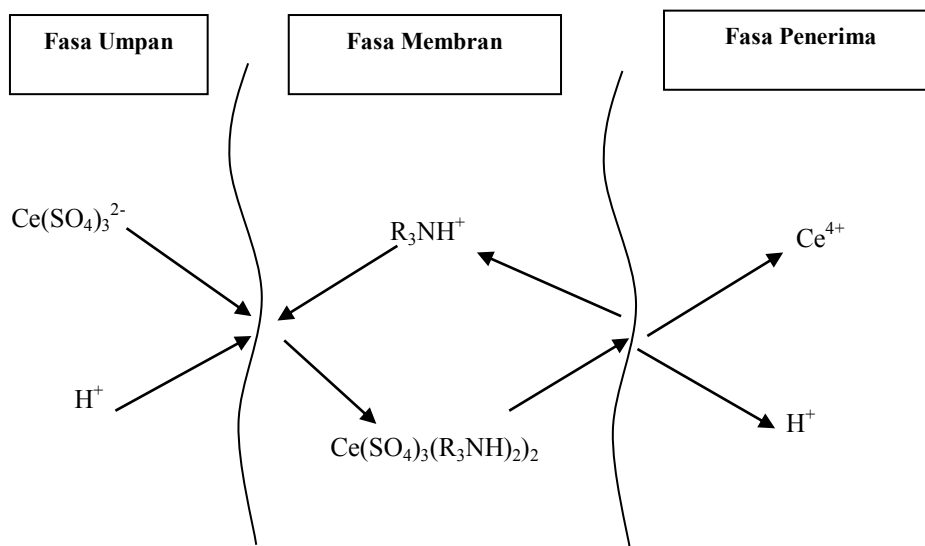


Serium (IV) dalam larutan asam sulfat berada dalam bentuk kompleks anion $\text{Ce}(\text{SO}_4)_3^{2-}$, tetapi lantanum (III) tetap berada dalam bentuk kation La^{3+} . TOA hanya bereaksi dengan kompleks logam anion, lantanum (III) tidak dapat terekstrak dan tetap berada pada larutan fasa umpan.

Reaksi yang terjadi pada pelepasan Ce(IV) dalam fasa penerima adalah sebagai berikut :

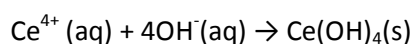


Dengan demikian Ce(IV) diharapkan semuanya dapat terekstraksi dari fasa umpan. Mekanisme transpor Ce(IV) dengan menggunakan *carrier* TOA dapat diilustrasikan sebagai berikut :

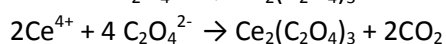
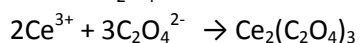
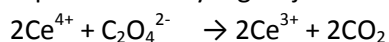


Gambar 2 Mekanisme transpor Ce(IV) menggunakan *carrier* TOA

Larutan Induk UTJ, fasa umpan sebelum pemisahan, sisa fasa umpan setelah pemisahan, dan fasa penerima masing-masing diendapkan menjadi hidroksidanya dengan cara menambahkan KOH sampai pH larutan 11. Di pH 11 ini semua UTJ dapat mengendap, membentuk endapan yang berwarna coklat.



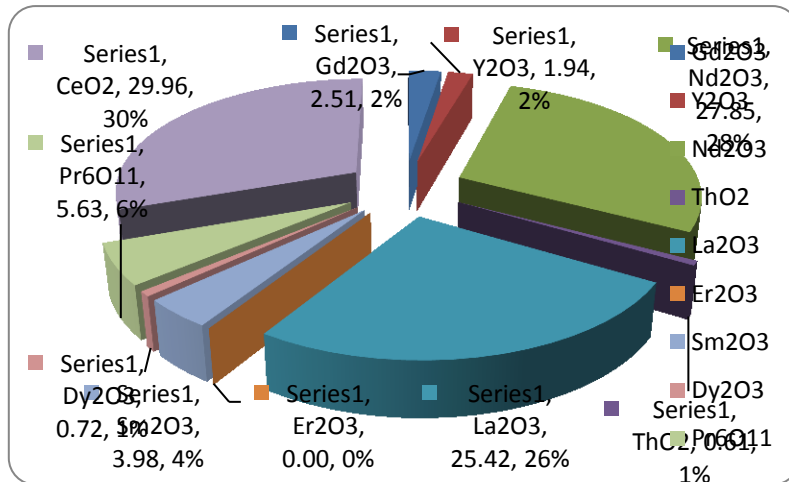
Setelah terbentuk endapan UTJ hidroksida, endapan ini kemudian dilarutkan dengan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ sampai pH larutan 5,5. Diharapkan dalam kondisi ini akan terbentuk UTJ oksalat, endapan yang terbentuk berwarna putih. Reaksi yang terjadi adalah :



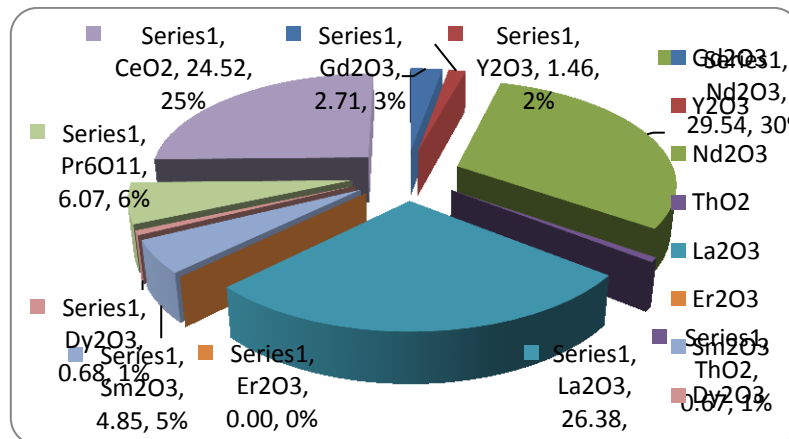
Untuk membentuk UTJ oksida, endapan $\text{Ce}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ yang telah dikeringkan dikalsinasi pada suhu 400°C selama 2 jam untuk mengubah $\text{Ce}(\text{C}_2\text{O}_4)_2$ menjadi CeO_2 .



UTJ oksida yang sudah terbentuk untuk selanjutnya dianalisis dengan menggunakan instrumen XRF. Komposisi UTJ yang terdapat dalam larutan induk, fasa umpan sebelum pemisahan, dan fasa umpan setelah pemisahan dapat digambarkan sebagai berikut :

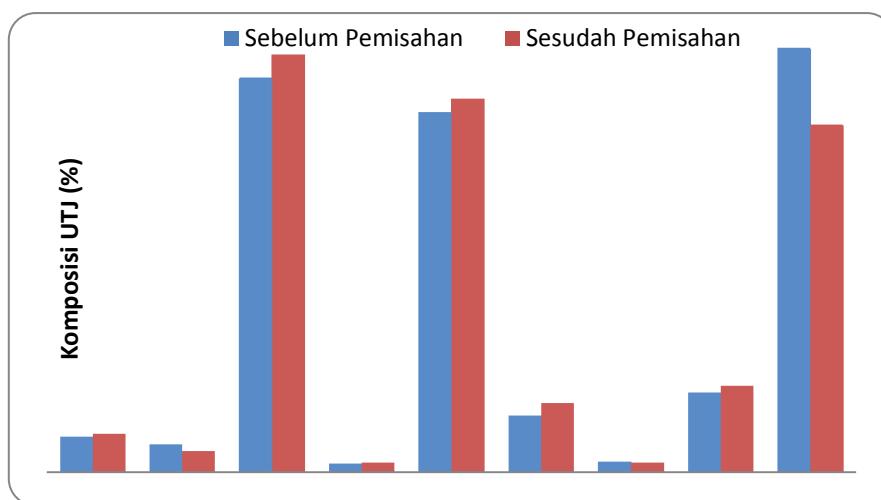


Gambar 3 Komposisi UTJ dalam Fasa Uman Sebelum Pemisahan



Gambar 4 Komposisi UTJ dalam Fasa Uman Setelah Pemisahan

Dari komposisi CeO₂ pada fasa umpan dapat terlihat bahwa CeO₂ yang terkandung belum memberikan hasil yang optimal, komposisi CeO₂ hanya 30% dari keseluruhan konsentrasi UTJ. Hal ini diakibatkan oleh proses oksidasi terhadap Ce(III) yang tidak optimal. Selain itu apabila dicermati komposisi UTJ lain yaitu La dan Nd cenderung tetap komposisinya dalam larutan induk dan dalam fasa umpan. Ini disebabkan oleh proses pengendapan Ce(IV) yang tidak optimal, setelah dilakukan oksidasi seharusnya Ce(IV) saja yang dapat terendapkan pada pH 4,5 tetapi pada kenyataannya semua UTJ dapat terendapkan.



Gambar 5. Komposisi UTJ dalam fasa umpan sebelum dan sesudah pemisahan

Komposisi dari CeO_2 fasa umpan sebelum pemisahan lebih besar daripada komposisi CeO_2 dari fasa umpan setelah pemisahan. Ini menunjukkan bahwa serium (IV) telah berhasil ditranspor ke dalam fasa penerima. Carrier TOA yang digunakan terbukti lebih mentranspor Ce(IV) daripada UTJ yang lainnya. Komposisi UTJ yang lainnya sebelum pemisahan mengalami peningkatan daripada sesudah pemisahan, karena sebagian Ce(IV) ditranspor jadi komposisi UTJ yang lainnya dalam fasa umpan menjadi naik.

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan:

- 1) Hasil XRF dari UTJ oksida sebelum pemisahan dan sesudah pemisahan menunjukkan bahwa serium(IV) dapat ditranspor dengan baik melalui TSLM.
- 2) Larutan pengemban (*carrier*) TOA (try octylamine) dapat digunakan sebagai pengemban alternatif dalam pemisahan serium(IV) melalui teknik TSLM.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Laboratorium Kimia Analitik ITB yang telah memberikan fasilitas selama penelitian berlangsung, dan kepada Laboratorium Analisis Pusat Survey Geologi yang telah membantu melakukan analisis XRF.

Referensi

- [1] Abdel-Rehim, A.M., "An Innovative Methode for Preparation Egyptian Monazite", *J. Hydrometallurgy*, **67**, 9-17, 2002
- [2] Aminudin, S., Buchari, Ummy, M., "Pemisahan Serium dari Mineral Monasit dengan Teknik SLM Bertingkat", *Jurnal Kimia Indonesia*, **1**, 1-6, 2006
- [3] Amri, M., "Pemisahan Cerium dari Mineral Monasit Bangka dengan Teknik Membran Cair Berpendukung Menggunakan Campuran TBP dan D2EHP sebagai Carrier", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2006
- [4] Buchari, Eti, T., Aminudin, S., " Pengaruh Pelarut dan Temperatur terhadap Transpor Europium(III) melalui Membran Cair Berpendukung", *Jurnal Matematika dan Sains*, **8**, 151-156, 2003
- [5] Moeller, T., " The Lanthanides, In Comprehensive Inorganic Chemistry", Pergamon Press Ltd, Oxford, 1996

- [6] Mulder, M., "Basic Principles of Membrane Technology, 2nd ed", Kluwer Academic Publisher, 1991
- [7] Mulyani, S., "Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Mineral Monasit Bangka dengan Teknik Membran Cair Berpendukung Hollow Fiber (HFSLM)", Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011
- [8] P. Ramakul and U. Pancharoen, "Synergistic Extraction and Separation of Mixture of Lanthanum and Neodymium by Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", Korean J. Chem. Eng, **20**, 724-730, 2003
- [9] Prakash, S., "Advance Chemistry of Rare Earth Elements", S. Chand Co (PVT), New Delhi, 1975
- {10] U. Pancharoen, P. Ramakul, Weerawat, P. "Purely Extraction and Separation of Mixture of Cerium(IV) and Lanthanum(III) Via Hollow Fiber Supported Liquid Membrane", J. Ind. Eng. Chem, **11**, 926-931, 2009

Studi Elektropolimerisasi Pirol Menggunakan Teknik Voltametri Siklik Dengan Elektroda Kerja Kasa Baja

Yulia Sukmawardani¹, Buchari²

*Mahasiswa Program Studi Doktor Kimia, Institut Teknologi Bandung¹
Program Studi Kimia, Institut Teknologi Bandung²*

email : yulia.sukmawardani@yahoo.co.id

Abstrak

Studi elektrometri dari elektropolimerisasi pirol merupakan studi awal dalam proses sintesis membran polimer polipirol, yang ke depannya membran polipirol ini bisa digunakan untuk berbagai keperluan biosensor. Proses elektropolimerisasi dan studi elektrokimia dari polipirol sebagai polimer yang elektroaktif telah dipelajari dengan teknik voltametri siklik. Pirol telah di elektropolimerisasi untuk membentuk polipirol dengan larutan elektrolit kalium klorida dalam pelarut air pada berbagai macam pH. Larutan dengan berbagai macam pH divariasikan dengan menggunakan buffer fosfat. Hasil menunjukkan rentang potensial oksidasi yang bagus untuk elektropolimerisasi polipirol adalah 1220 mV vs elektroda Ag AgCl sebagai elektroda referensi. Dapat dilihat juga respon voltametri siklik dari polipirol stabil pada laju selusur 100 mV/s. Sementara elektropolimerisasi pirol menunjukkan hasil yang baik pada rentang pH 2-6. Selanjutnya hasil studi elektrometri ini bisa dijadikan acuan untuk sintesis membran polimer konduktif yang lain selain polipirol.

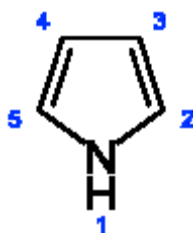
Kata Kunci : Pirol, voltametri siklik, elektropolimerisasi

Pendahuluan

Polimer konduktif merupakan suatu senyawa polimer yang mempunyai ikatan terkonjugasi sehingga memungkinkan polimer tersebut bersifat sebagai penghantar listrik yang baik. Penggunaan polimer konduktif menghasilkan banyak perkembangan dalam kimia analisis modern. Beberapa macam polimer konduktif diantaranya polipirol, polianinin, politiopen, dan turunannya. Kebanyakan, polimer konduktif disebut juga sebagai polier yang terkonjugasi. Tetapi, polimer terkonjugasi ini bisa berubah menjadi semi konduktif atau konduktif melalui proses elektrokimia. Untuk meningkatkan fungsinya, polimer konduktif biasanya ditempelkan dengan senyawa lain membentuk suatu film komposite. Dilihat dari keunikannya, polimer konduktif ini banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti kimia, fisika, elektronika, optik, dan biomedis. Di samping itu, polimer konduktif dapat juga digunakan sebagai pengikat maupun pelepas molekul bioaktif melalui proses sederhana yang sesuai dengan sifat kimia, bentuk dan struktur molekul polimer tersebut. Polimer konduktif digunakan untuk transport molekul bioaktif karena mempunyai sifat redoks yang dapat mengontrol transpor ion yang melewati membran polimer [1].

Polimer konduktif tersebut dapat dibentuk melalui proses polimerisasi secara kimia atau elektrokimia. Proses polimerisasi secara elektrokimia telah banyak dilakukan karena memberikan ketebalan dan morfologi film yang terkendali. Dewasa ini polipirol sebagai polimer konduktif telah

banyak dipelajari. Polipirol adalah senyawa organik siklis yang mengikat nitrogen dengan struktur molekul seperti pada Gambar 1. Keuntungan penggunaan polipirol di antaranya adalah mempunyai sifat redoks yang baik, mudah dielektrosintesis dalam larutan air dan memberikan konduktivitas yang tinggi. Selain itu pirol (monomer dari polipirol) mempunyai sifat mudah larut dalam air, mudah diperoleh dan bersifat stabil. Oleh sebab itu dengan sifat dasar yang baik, polipirol banyak digunakan untuk beberapa aplikasi diantaranya baterai, kapasitor, sensor, biosensor dan sistem transport obat. Polipirol diperoleh secara elektrokimia dengan cara mendeposisikan monomernya dalam larutan elektrolit pada permukaan elektroda melalui oksidasi anodik (elektropolimerisasi). Teknik elektrokimia yang dapat digunakan dalam proses elektropolimerisasi adalah potensiostatik (potensial konstan), galvanostatik (arus konstan) dan potensiodinamik (potensial *scanning* seperti voltametri siklis). Kondisi proses elektropolimerisasi pirol mempengaruhi sifat redoks polipirol [2].



Gambar 1. Struktur Polipirol

Ppy merupakan salah satu polimer konduktif yang paling menjanjikan, dan telah diterima secara komperhensif, karena memiliki karakteristik yang sempurna, termasuk preparasi yang mudah, stabil, konduktivitas tinggi dan karakteristiknya juga relatif stabil terhadap faktor lingkungan (suhu dan kelembaban). Ppy dapat memiliki penerapan yang luas dalam berbagai bidang, seperti sensor dan piranti-piranti elektrik Berbagai metode pendekatan oksidasi polimerisasi secara kimia pada umumnya menghasilkan serbuk padatan, sedangkan sintesis secara elektrokimia mengarah ke pembentukan film dan menempel pada permukaan elektroda kerja. Adapun polimerisasi pirol dengan cara elektropolimerisasi biasanya dilakukan menggunakan teknik voltametri siklik. Metode ini digunakan karena dapat mempelajari reversibilitas transfer elektron pada proses oksidasi dan reduksi selama proses elektropolimerisasi melalui voltammogram arus terhadap potensial. Film Ppy dapat diperoleh dengan cara mendepositkan polimer pada permukaan elektrode pada potnsial anodik [3].

Mekanisme elektropolimerisasi awalnya disarankan oleh Anrieux, dkk (1991) yaitu dengan cara oksidasi monmer dihasilkan monomer radikal kation. Perpanjangan rantai dan pertumbuhan rantai polimer pada tahap propagasi terjadi melalui interaksi antara radikal dimer, trimer dan seterusnya dengan radikal monomer sampai terbentuk rantai polimer dengan muatan parsial positif. Pada keadaan tersebut, dilanjutkan dengan masuknya ion lawan, akhirnya terbentuk polimer padat yang menutupi seluruh permukaan elektrode [3] [4].

Voltametri merupakan salah satu teknik elektroanalitik dengan prinsip dasar elektrolisis. Elektroanalisis merupakan suatu teknik yang berfokus pada hubungan antara besaran listrik dengan reaksi kimia, yaitu menentukan satuan-satuan listrik seperti arus, potensial, atau tegangan, yang terkait dengan parameter-parameter kimia [3]. Voltametri adalah salah satu metode elektroanalisis yang paling umum digunakan secara luas sebagai teknik untuk menentukan konsentrasi analit dan juga sebagai alat untuk menganalisis sifat-sifat analit.

Prioritas pengembangan metode ini adalah membuat, mengkaji, dan menggunakan elektrode baru [5]. Hal ini dimungkinkan karena sinyal elektrokimia dibentuk oleh proses yang terjadi di permukaan elektrode. Oleh karena itu, kondisi permukaan elektroda yang bergantung kepada sifat alamiah, ketidaksempurnaan, dan ketidakhomogenan bahan secara mekanis menentukan beberapa besaran kuantitatif dari sistem pengukuran elektrokimia. Kebutuhan sifat elektrokimia dari elektrode dapat diperoleh jika permukaannya dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan. Modifikasi dan “*molecular design*” pada permukaan elektrode melalui pembentukan lapisan (*coating*) atau melalui pembentukan *template* (*molecularly* atau *ion imprinted polymer*) pada permukaan padatan secara beruntun berkembang secara aktif sebagai bidang penelitian baru [6].

Voltametri siklik merupakan teknik yang paling banyak digunakan untuk memperoleh informasi kualitatif tentang reaksi elektrokimia. Analisis elektrokimia dengan teknik voltametri siklik didasarkan pada pengukuran arus listrik sebagai fungsi aluran potensial, dengan potensial awal sama dengan potensial akhir. Beda potensial di antara kedua elektrode, awalnya diatur sedemikian rupa sehingga tidak terjadi reaksi di elektrode [3].

Eksperimen

Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah pirol, KCl, buffer fosfat, kasa baja dan kawat platina.

Peralatan

Potensiostats AD Instrument, elektroda Ag/AgCl sebagai elektroda pembanding, cakram emas sebagai elektroda pembantu, elektroda kasa baja sebagai elektroda kerja, pH meter dan peralatan gelas.

Prosedur Kerja

Penentuan Potensial Kerja

Penentuan potensial kerja elektropolimerisasi pirol dengan teknik voltametri siklis dilakukan dengan cara *scanning* potensial dari 0 mV hingga potensial tertentu. Potensial terukur menunjukkan potensial relatif terhadap elektroda pembanding Ag/AgCl. Larutan yang digunakan adalah pirol 0,1 M dalam pelarut akuabides dan elektrolit pendukung NaClO₄ 0,1 M. Setiap proses elektropolimerisasi dilakukan sebanyak 10 siklus. Elektroda yang digunakan :

- Elektroda Ag/AgCl (NaCl 3 M) sebagai elektroda pembanding
- Elektroda cakram emas sebagai elektroda pembantu
- Elektroda kasa baja sebagai elektroda kerja

Penentuan Laju Selusur

Laju selusur pada proses elektropolimerisasi dibuat bervariasi, yaitu 50 mV/s, 100 mV/s dan 200 mV/s dengan potensial kerja optimal. Larutan yang digunakan adalah pirol 0,1 M dalam pelarut akuabides dan elektrolit pendukung KCl 0,1 M. Setiap proses elektropolimerisasi dilakukan sebanyak 10 siklus. Polipirol yang terbentuk melalui proses elektropolimerisasi dicelupkan ke dalam pelarut air yang mengandung elektrolit pendukung KCl 0,1M dan diamati kestabilannya dengan teknik voltametri siklis sebanyak 6 siklus.

Pengaruh pH

Proses elektropolimerisasi pirol dalam larutan dengan berbagai pH dengan teknik voltametri siklis dilakukan pada potensial kerja dan laju selusur optimal. Setiap proses elektropolimerisasi

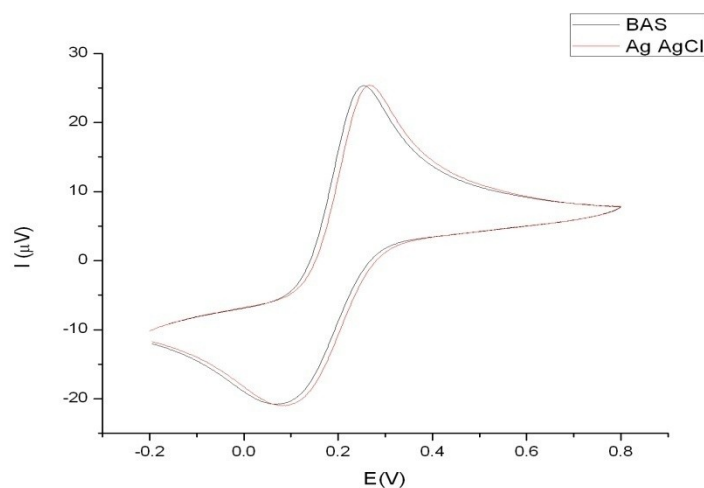
dilakukan sebanyak 10 siklus. Larutan yang digunakan meliputi larutan pirol 0,1 M dengan pH 2-10, larutan pendukung KCl 0,1 M dan pelarut akuabides.

Hasil dan Diskusi

Sintesis dan Karakterisasi Elektroda Pembanding Ag AgCl

Sintesis elektroda pembanding Ag AgCl dilakukan dengan elektrodeposisi ion Cl^- pada kawat Ag menggunakan teknik *Linear Sweep Voltammetry*. Kawat Ag sebagai elektroda kerja, kawat platina sebagai elektroda pembanding dan elektroda pembantu dicelupkan ke dalam larutan NaCl 0,1 M. Kemudian dilakukan elektrodeposisi selama 10 menit. Elektroda Ag AgCl yang telah disintesis kemudian disimpan dengan cara dicelupkan dalam larutan NaCl 3M.

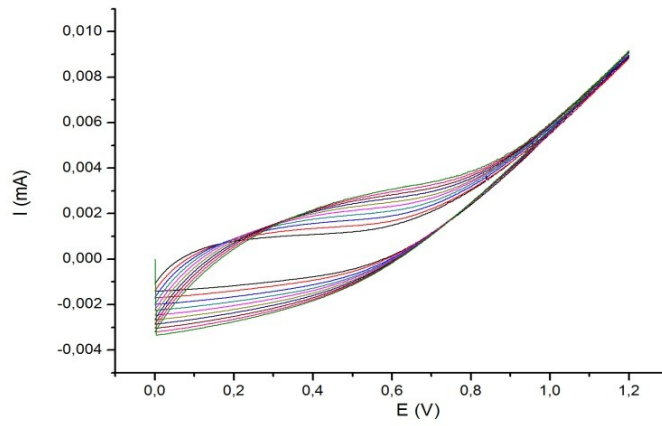
Setelah sintesis, dilakukan karakterisasi menggunakan teknik *cyclic voltammetry*. Elektroda pembanding harus memiliki potensial elektroda yang tetap selama pengukuran. Untuk memenuhi persyaratan ini, elektroda pembanding Ag AgCl yang dibuat sendiri di laboratorium perlu dikalibrasi mengikuti prosedur yang lazim. Dilakukan pengukuran arus pada potensial tetap untuk elektroda Ag AgCl komersil (BAS) dan elektroda Ag AgCl hasil sintesis dalam sistem kesetimbangan $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} | \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ dengan konsentrasi masing-masing 0,01. Hasil pengukuran berupa voltammogram dapat dilihat pada gambar 1. Hasil voltammogram menunjukkan elektroda Ag AgCl yang telah dikalibrasi tersebut merupakan elektroda pembanding yang layak digunakan pada pekerjaan selanjutnya.



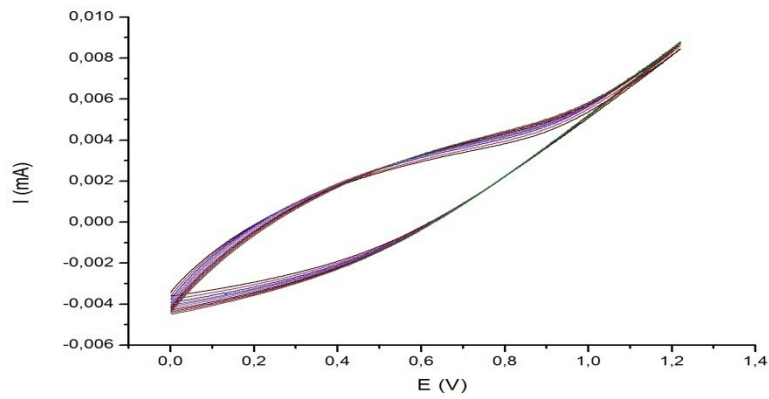
Gambar 1. Voltammogram Hasil Karakterisasi Elektroda Pembanding Ag AgCl

Penentuan Rentang Potensial Elektropolimerisasi Pirol

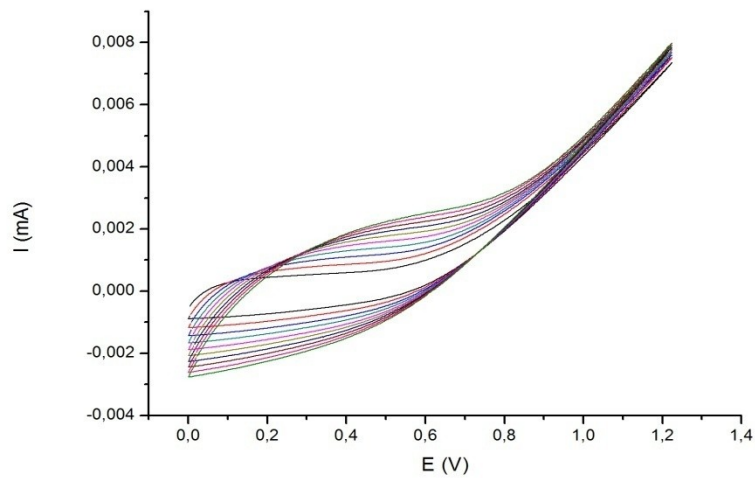
Penentuan potensial kerja pada proses elektropolimerisasi dilakukan dengan teknik voltametri siklis dengan cara *scanning* potensial dari 0 mV hingga potensial tertentu sebanyak 10 siklus yang ditunjukkan pada Gambar 2 – Gambar 5. Pada penelitian ini batas potensial oksidasi yang digunakan adalah 1200 mV, 1220 mV, 1225 mV dan 1240 mV. Dari keempat hasil voltammogram terlihat adanya pertumbuhan membran polipirol yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan arus oksidasi dan kenaikan arus reduksi dari polipirol pada daerah potensial kerja 0,0 V – 0,8 V. Hasil voltammogram yang menunjukkan kenaikan arus oksidasi pirol terlihat pada potensial 1200 mV dan 1220 mV, sedangkan pada potensial 1225 mV terjadi penurunan arus oksidasi pirol setelah dilakukan siklus ke-5, terlebih lagi pada potensial 1240 mV terjadi penurunan arus oksidasi pirol setelah siklus ke-2. Dengan demikian batas potensial oksidasi pirol adalah potensial 1220 mV.



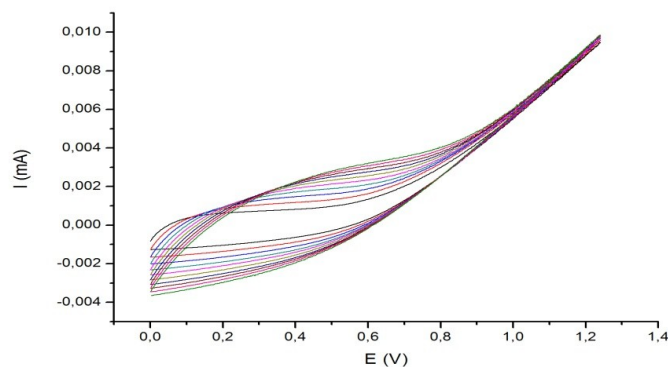
Gambar 2. Voltammogram Elektropolimerisasi Pirol pada Rentang Potensial 0-1200 mV



Gambar 3 Voltammogram Elektropolimerisasi Pirol pada Rentang Potensial 0-1220 mV



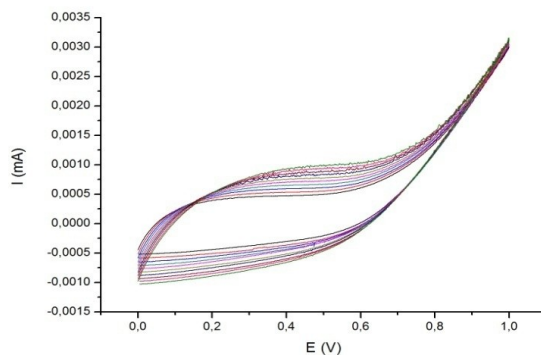
Gambar 4 Voltammogram Elektropolimerisasi Pirol pada Rentang Potensial 0-1225 mV



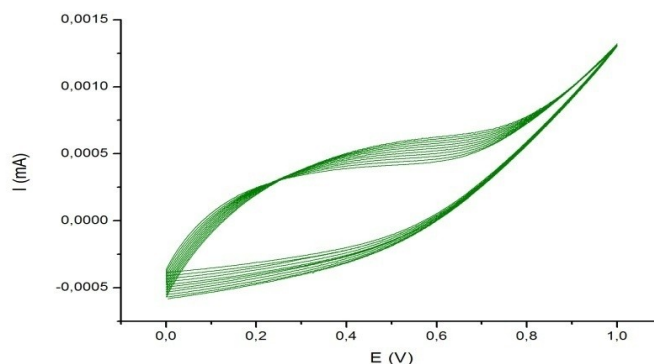
Gambar 5 Voltammogram Elektropolimerisasi Pirol pada Rentang Potensial 0-1240 mV

Penentuan Laju Selusur

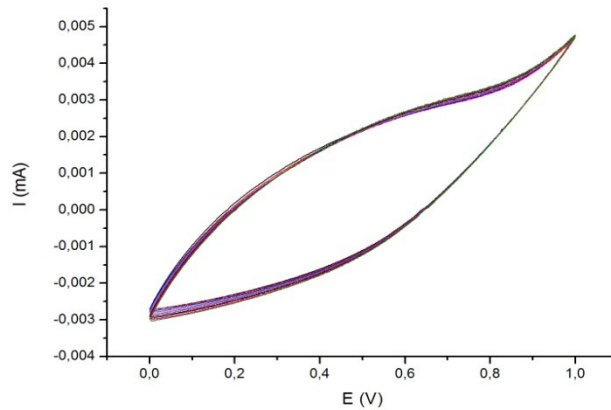
Penentuan laju selusur proses elektropolimerisasi pirol dilakukan pada daerah potensial antara 0 mV hingga 1000 mV dengan laju selusur 50, 100, dan 200 mV/s. Pada elektropolimerisasi pirol (Gambar 11-13 bagian a) dengan laju selusur rendah menunjukkan arus oksidasi pirol pada potensial 1000 mV lebih tinggi daripada proses elektropolimerisasi pirol dengan laju selusur tinggi. Hal ini disebabkan karena reaksi elektropolimerisasi pirol berlangsung lambat, sehingga pada elektropolimerisasi pirol dengan laju selusur rendah, pirol lebih banyak terdifusi ke permukaan elektroda membentuk polipirol, sehingga dihasilkan arus oksidasi pirol yang lebih tinggi.



Gambar 6 Voltammogram Penentuan Laju Selusur 50 mv/s



Gambar 7 Voltammogram Penentuan Laju Selusur 100 mv/s

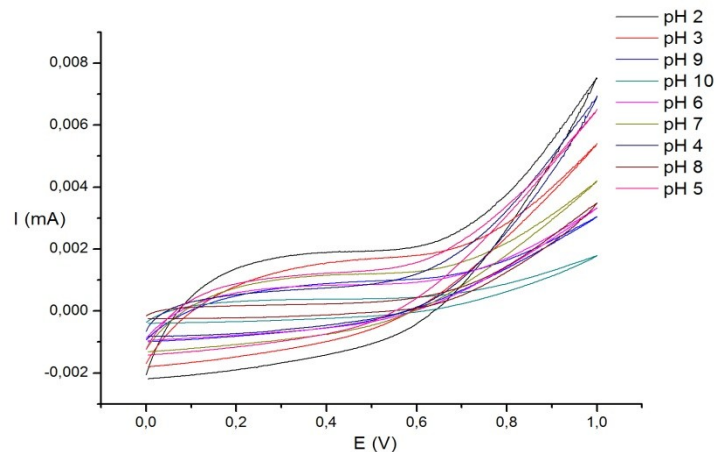


Gambar 8 Voltammogram Penentuan Laju Selusur 200 mv/s

Hasil voltammogram siklis (Gambar 6-8) menunjukkan bahwa polipirol yang dianalisis dengan laju selusur 100 mV/s menunjukkan arus yang lebih stabil jika dibandingkan dengan laju selusur 50 dan 200 mV/s. Arus yang stabil ini menunjukkan kestabilan polipirol yang dihasilkan selama proses elektropolimerisasi, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan laju selusur 100 mV/s.

Penentuan pH

Telah dilakukan elektropolimerisasi pirol pada berbagai pH. Voltammogram siklis pada Gambar 9 menunjukkan siklus ke-10 dari elektropolimerisasi pirol pada pH 2-10. Hasil voltammogram menunjukkan bahwa elektropolimerisasi pirol yang dilakukan pada pH 2, 4 dan 6 menunjukkan hasil yang relatif sama (ditunjukkan dengan voltammogram berwarna hitam, biru tua, dan merah muda), sedangkan pada pH 8 menunjukkan pertumbuhan polipirol maupun arus oksidasi pirol yang lebih rendah daripada elektropolimerisasi pirol pada pH 2, 4 dan 6. Hasil voltammogram elektropolimerisasi pirol pada pH 10 menunjukkan penurunan tajam pada arus oksidasi pirol (ditunjukkan dengan voltammogram berwarna biru muda) dan tidak terjadi pertumbuhan polipirol. Ini disebabkan karena kenaikan pH menyebabkan deprotonasi pada polipirol membentuk polipirol netral yang menyebabkan berkurangnya sifat redoks polipirol. Berdasarkan hasil ini dapat diketahui bahwa kondisi pH yang baik untuk elektropolimerisasi pirol adalah daerah pH 2– 6.



Gambar 9 Siklus ke 10 Elektropolimerisasi Pirol pada berbagai pH

Kesimpulan

- Batas potensial oksidasi pirol adalah potensial 1220 mV.
- Arus yang stabil pada laju selusur 100 mV/s menunjukkan kestabilan polipirol yang dihasilkan selama proses elektropolimerisasi, sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan laju selusur 100 mV/s.
- Kondisi pH yang baik untuk elektropolimerisasi pirol adalah daerah pH 2–6.

Ucapan Terima Kasih

Kepada Prof.Buchari sebagai promotor, Dr. Ihsanawati sebagai co.promotor, DIKTI untuk beasiswa unggulannya.

Referensi

- [1] Suratman,A.2004. Studi Proses Elektropolimerisasi Pirol dengan Teknik Voltametri Siklis. *Indonesian Journal of Chemistry*, 2004, 4 (2), 117 - 124
- [2] Genies, E.M., Bidan, G., and Diaz, A.F., 1983, *J.Electroanal. Chem*, 149, 101
- [3] Wallace, G.G., Spinks,G.M., Kane-Maguire,L.A.P dan Teasdale,P.R (2009) : *Conductive Electroactive Polymers : Intelligent Polymer System*, Third edition, Taylor and Francis Group
- [4] Sadki, S., Schottland,P., Brodie,N dan Sabouraud, G (2000). *The Mechanism of Pyrrole Electropolymerization*. The Royal Society of Chemistry, 29, 283-293
- [5] Vlasov, YUG (1992). *J. Anal. Chem*, 47, 14
- [6] Stozhko, N. Yu, Malakhova, N.A., Fyodorov, M. V., Brainina, K. Z (2008). *Modified carbon-containing electrodes in stripping voltammetry of metals*, J Solid State Electrochem, 12, 1185-1204.

Studi TD-DFT Senyawa Dopamin dan Dopamin-Ti(OH)₂ Menggunakan Firefly

Soni Setiadji^{1, a)}, Atthar Luqman Ivansyah^{2, b)}, Bio Insan Akbar^{3, c)}

^{1,3}Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Jurusan Kimia, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

penulis yang berkorespondensi: ^{a)}s.setiadji@gmail.com, ^{b)}attharquantum@gmail.com, ^{c)}mail.bioinsanakbar@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merupakan studi awal perhitungan komputasi untuk memprediksi sifat elektronik senyawa zat warna organik dopamin dan dopamin-Ti(OH)₂ menggunakan metode perhitungan dan basis set yang sederhana. Penelitian ini memprediksi sifat elektronik (diagram energi HOMO/LUMO, spektrum UV-Vis, dan rapat elektron orbital HOMO/LUMO) dari senyawa zat warna organik dopamin dan sistem dopamin-Ti(OH)₂. Perhitungan komputasi dari sistem dopamin-Ti(OH)₂ [1], yang memodelkan interaksi senyawa zat warna dengan unit TiO₂ paling sederhana dilakukan untuk memprediksi pengaruh zat warna tersebut supaya dapat diaplikasikan dalam sel surya tersensitasi zat warna. Sel surya tersensitasi zat warna merupakan salah satu generasi sel surya yang banyak diteliti sampai saat ini. Sel surya ini menggunakan zat warna sebagai *sensitizer* dan menjadi sangat menarik untuk dikembangkan karena membutuhkan biaya produksi yang murah namun mampu menghasilkan kinerja yang cukup baik. Dalam penelitian ini perhitungan komputasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Firefly, metoda DFT (teori fungsi rapat) dan TDDFT (teori fungsi rapat fungsi waktu), B3LYP/6-31G(d,p) untuk semua atom. Rapat elektron orbital HOMO/LUMO, kekuatan osilator, dan diagram energi HOMO/LUMO merupakan parameter utama untuk memprediksi sifat elektronik dalam senyawa ini. Akan tetapi dalam hal ini spektrum UV-Vis hanya sebagai informasi pendukung. Senyawa dopamin hasil perhitungan komputasi memberikan serapan cahaya pada panjang gelombang 180,36 nm dengan kekuatan osilator 0,642. Sedangkan senyawa dalam bentuk dopamin-Ti(OH)₂ memberikan serapan cahaya pada panjang gelombang yang sedikit lebih besar hingga 181,84 nm dengan kekuatan osilator hampir tetap yaitu 0,650. Diagram energi HOMO/LUMO untuk dopamin dan dopamin-Ti(OH)₂ memberikan *band gap* masing-masing sebesar 0,209 eV dan 0,124 eV. Senyawa dopamin dalam bentuk teroksidasi tidak dilakukan dalam penelitian ini.

Kata kunci: dopamin, *dye sensitizer solar cells*, *organic dye*, *TiO₂ cluster*, *density functional theory*

Pendahuluan

Energi listrik merupakan energi primer, yang saat ini keberadaannya belum dapat digantikan oleh energi yang lain. Di Indonesia, kebutuhan energi listrik masih banyak dihasilkan oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan lain-lain. Penggunaan bahan bakar fosil tersebut berpotensi menyebabkan masalah baru dalam lingkungan, yaitu pencemaran lingkungan dan memicu pemanasan global. Selain itu, di wilayah Indonesia masih banyak daerah

yang belum mendapat pasokan listrik. Tercatat baru sekitar 65% wilayah Indonesia yang sudah mendapatkan pasokan listrik, dan sisanya masih menggunakan energi alam [2].

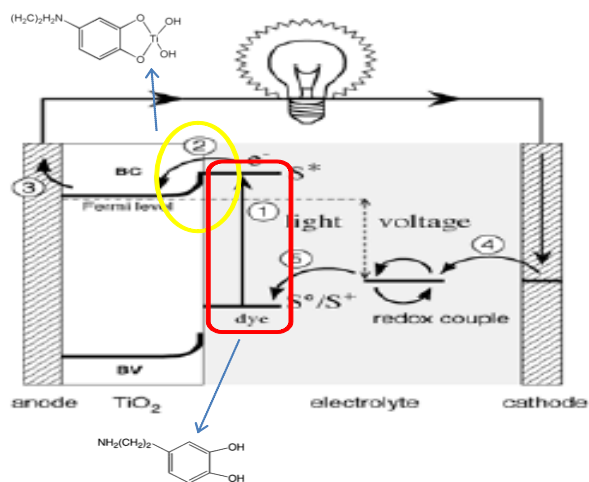
Dengan demikian, diperlukan suatu solusi yang efektif dan efisien baik secara aspek lingkungan maupun aspek ekologi yang dapat memberikan nilai positif bagi kelestarian lingkungan tanpa menyebabkan kerusakan di muka bumi ini. Sel surya cocok dikembangkan di Indonesia karena Indonesia merupakan negara yang memiliki iklim tropis dengan durasi penyinaran matahari yang cukup sepanjang tahunnya. Sel surya tersensitasi zat warna (*Dye Sensitized Solar Cell*, disingkat DSSC) merupakan salah satu pengembangan sel surya yang telah banyak diteliti sejak tahun 1991. Saat ini, sel surya tersensitasi zat warna merupakan sel surya yang paling efisien dan paling stabil [3] [4] [5] [6].

Dalam perkembangannya, sel surya mengalami banyak perubahan untuk mendapatkan sel surya dengan kinerja yang lebih baik. Generasi pertama dari sel surya adalah sel surya yang menggunakan bahan silikon (Si). Pada sel surya yang menggunakan silikon, efisiensi yang dihasilkan sel surya tersebut berkisar 20%. Kelemahan dari sel surya generasi pertama ini adalah bahan silikon yang digunakan relatif sulit untuk didapatkan, sehingga produksi sel surya generasi pertama tidak ekonomis karena ketersediaan silikon di alam relatif sedikit. Pada sel surya generasi kedua, digunakan polimer semikonduktor. Kelemahan dari sel surya generasi kedua ini adalah proses produksinya memerlukan teknologi yang relatif canggih dan biaya produksi yang relatif tinggi [4] [6] [7].

Mempertimbangkan adanya kelemahan pada sel surya generasi pertama dan kedua, maka dikembangkan DSSC yang memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan sel surya generasi pertama dan generasi kedua. DSSC merupakan sel surya generasi ketiga, pengembangan dari sel surya generasi pertama dan generasi kedua. Kinerja DSSC salah satunya sangat dipengaruhi oleh sensitifitas zat warna yang digunakan. Sensitifitas zat warna tersebut mempengaruhi sifat optik dan elektrokimia pada DSSC, seperti spektrum absorpsi, dan sifat redoks. Kelebihan dari DSSC dibandingkan kedua sel surya yang dikembangkan sebelumnya adalah biaya produksi yang lebih murah. Kelemahan yang dimiliki oleh DSSC pada saat ini adalah efisiensi yang dicapai relatif kecil dibandingkan sel surya generasi pertama dan generasi kedua. Efisiensi yang kecil ini, salah satunya disebabkan oleh sensitifitas zat warna yang digunakan, dimana sampai saat ini terus dilakukan penemuan zat warna organik yang lebih baik untuk diaplikasikan pada DSSC [7].

Creutz *et al* [8] berhasil mengkarakterisasi ikatan turunan katekol (4-metil katekol, 4-t-butil katekol, dan dopamin) ke TiO_2 berukuran 1 nm dan 4,7 nm menggunakan Spektroskopi UV-Vis[6]. Namun, dalam penelitian tersebut tidak dijelaskan secara lengkap hal-hal yang menjelaskan sifat elektronik dan redoks dari senyawa tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan studi komputasi untuk mengevaluasi sifat elektronik senyawa dopamin, serta senyawa dopamin yang terikat TiO_2 cluster yang tidak diperoleh secara eksperimen. Diharapkan hasil studi komputasi dilakukan pada penelitian ini dapat melengkapi hasil eksperimen Creutz *et al*. [8].

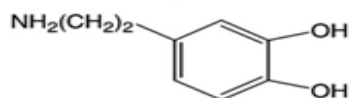
Pada penelitian ini akan ditentukan rapatannya orbital HOMO/LUMO, transisi elektronik orbital HOMO/LUMO, kekuatan osilator, perbedaan pita energi HOMO/LUMO, dan spektrum serapan UV-Vis dari senyawa dopamin, serta senyawa dopamin yang terikat pada senyawa TiO_2 cluster dengan menggunakan metode teori fungsi rapatannya bergantung waktu (TD-DFT). Perhitungan komputasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Firefly.



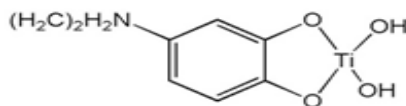
Teori

Struktur senyawa hipotesis yang dihitung diberikan pada gambar 1. Dalam penelitian ini perhitungan dilakukan dalam beberapa tahap dengan menggunakan metoda B3LYP dan basis set 6-31G (d,p) [9]. Koordinat senyawa yang akan dihitung dioptimasi menggunakan perangkat lunak Firefly. Dalam penelitian ini tidak dilakukan variasi basis set untuk menghitung senyawa hipotesis. Struktur senyawa dalam bentuk teroksidasi, yaitu dalam bentuk kuinolin dan katekolat tidak dilakukan dalam penelitian ini.

Perhitungan pertama merupakan perhitungan dengan menggunakan metode DFT, dan output yang dihasilkan akan diolah lebih lanjut dengan perangkat lunak yang sama dengan menggunakan metode TD-DFT. Untuk perhitungan DFT, dilakukan optimasi geometri, sedangkan untuk perhitungan TD-DFT hanya menggunakan perhitungan satu titik. Dari hasil perhitungan TD-DFT tersebut dapat diketahui sifat elektronik dari masing-masing senyawa.



(a)



(b)

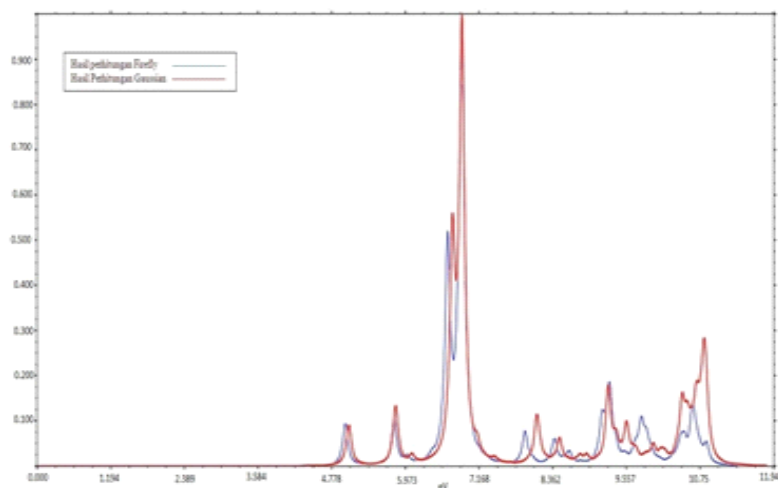
Gambar 1. Struktur (a) senyawa dopamin dan (b) sistem dopamin-Ti(OH)₂.

Hasil dan Diskusi

Dari hasil perhitungan didapatkan kurva spektrum UV-Vis. Kekuatan osilator akan sebanding dengan intensitas spektrum yang menjelaskan besarnya probabilitas elektron yang tereksitasi. Gambar 2 memperlihatkan spektrum UV-Vis dari senyawa dopamin hasil perhitungan komputasi menggunakan perangkat lunak Firefly.

Dalam senyawa dopamin, terdapat beberapa puncak dengan intensitas yang berbeda-beda. Puncak paling tinggi dihasilkan pada energi 6,884 eV (180,36 nm) dengan kekuatan osilator sebesar 0,642, dimana puncak paling tinggi ini dihasilkan oleh eksitasi elektron dari H-2→L+1 sebanyak 16%,

H-1→L+1 sebanyak 56%, dan H→L sebanyak 16%. Selain itu, puncak tertinggi ini juga dihasilkan dari kontribusi minor dari eksitasi.



Gambar 2. Spektrum UV-Vis senyawa dopamin

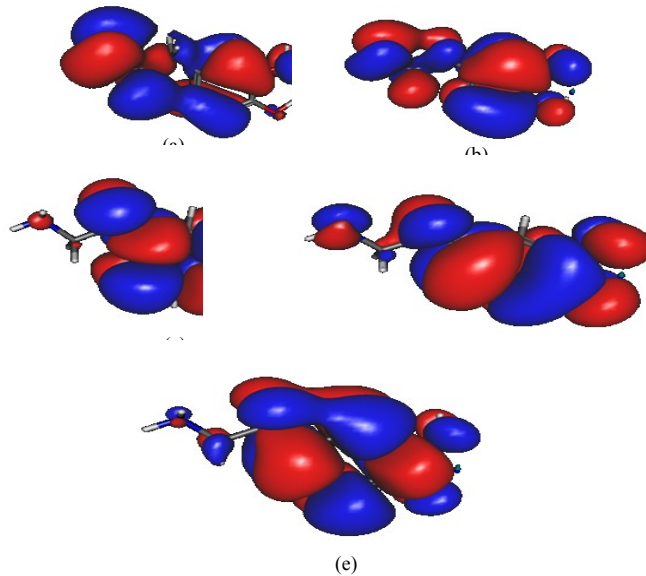
elektron H-3→L sebanyak 2%, H-2→L sebanyak 2%, dan H-1→L sebanyak 4%. Dalam hal ini yang menjadi pertimbangan adalah kekuatan osilator yang setara dengan kekuatan penyerapan cahaya oleh senyawa zat warna dopamin, dimana menjelaskan peluang transisi elektronik elektron dari pita energi HOMO ke LUMO (kekuatan osilator bernilai 1). Tabel 1 memperlihatkan probabilitas eksitasi elektron secara lengkap pada molekul zat warna dopamin hasil perhitungan TD-DFT menggunakan perangkat lunak Firefly.

Tabel 1 Probabilitas eksitasi elektron senyawa dopamin hasil perhitungan
(Keterangan : H = HOMO, L = LUMO)

Kekuatan osilator	Energi (eV)	Kontribusi Utama
0,642	6,884	H-2→L+1 (16%), H-1→L+1 (56%), H→L (16%)
0,311	6,66	H-2→L (12%), H-1→L (49%), H→L+1 (26%)
0,093	9,289	H-2→L+7 (15%), H-2→L+8 (26%), H-1→L+8 (19%)
0,067	5,790	H-1→L(25%), H→L+1 (68%)
0,061	5,002	H-1→L+1 (16%), H→L (77%)
0,049	9,173	H-7→L (80%)
0,046	7,917	H-3→L (95%)
0,043	10,629	H-5→L+3 (33%), H-4→L+3 (17%), H→L+14 (23%), H→L+15 (12%)
0,033	8,397	H-3→L+1 (71%), H→L+8 (13%)
0,031	9,815	H-7→L+1 (25%), H-5→L+2 (21%), H-4→L+2 (22%), H-2→L+9 (16%)

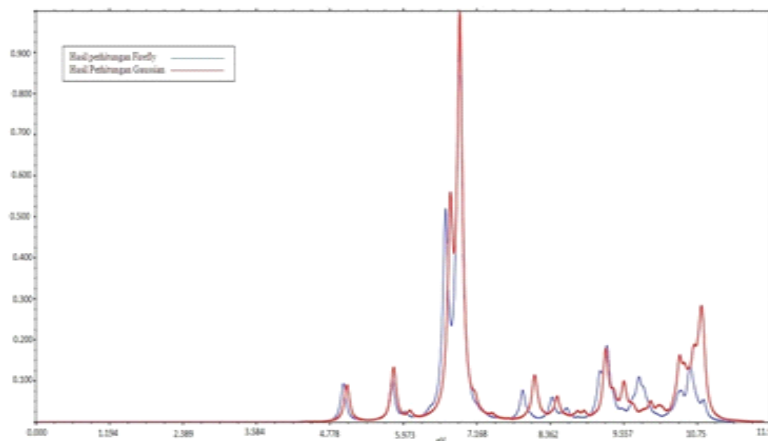
Seperti yang terlihat pada tabel hasil perhitungan senyawa dopamin, pada senyawa zat warna dopamin eksitasi elektron berasal dari eksitasi H-2 ke L+1 , H-1 ke L+1 dan H ke L, akan tetapi memiliki kekuatan osilator yang kecil. Nilai-nilai eksitasi tersebut berkorelasi dengan hasil penelitian sebelumnya yang telah dilakukan sebelumnya oleh Sanchez et al namun dengan fungsi berbeda [8]. Orbital H-2, H-1, dan H berasal dari orbital π (phi) pada seluruh gugus hidroksil. Elektron bebas pada gugus hidroksil memiliki kontribusi yang sangat tinggi pada orbital ini. Sementara itu, elektron bebas dari gugus hidroksil kemudian terdistribusi ke seluruh cincin molekul. Diagram penyebaran elektron

HOMO/LUMO senyawa dopamin dengan kekuatan osilator terbesar dapat dilihat di Gambar 3. Dalam hal ini telah terlihat beberapa perubahan paritas orbital dari orbital simetri (*gerade*) menjadi orbital antisimetri (*ungerade*) atau sebaliknya, dimana merupakan bahan untuk pertimbangan sifat elektronik senyawa.



Gambar 3. Diagram Penyebaran Elektron Hasil Perhitungan Komputasi Senyawa Dopamin (a) pada orbital H-2, (b) pada orbital H-1, (c) pada orbital L+1, (d) pada orbital HOMO, (e) pada orbital LUMO.

Gambar 4 merupakan spektrum UV-Vis hasil perhitungan dari senyawa dopamin yang terikat pada TiO_2 cluster. Pada perhitungan pertama yang menggunakan perangkat lunak Firefly, puncak tertinggi dengan kekuatan osilator 0,650 yang dihasilkan pada energi 6,828 eV, dimana puncak tersebut hanya berbeda sebesar 0,056 eV jika dibandingkan dengan hasil perhitungan zat warnanya. Puncak tersebut dihasilkan oleh kontribusi utama eksitasi elektron dari orbital H-2→L+8 sebanyak 55%, dan eksitasi elektron H→L+6 sebanyak 11%. Sementara kontribusi minor dihasilkan oleh eksitasi elektron H-9→LUMO sebanyak 3%, H-5→L+4 sebanyak 3%, H-4→L+3 sebanyak 4%, H-3→L+2 sebanyak 2%, H-3→L+4 sebanyak 2%, H-2→L+7 sebanyak 3%, H-1→L+8 sebanyak 2%, dan H→L+7 sebanyak 3%. Tabel 3 memperlihatkan probabilitas eksitasi elektron secara lengkap dari molekul dopamin yang terikat pada TiO_2 cluster hasil perhitungan TDDFT perangkat lunak Firefly.



Gambar 4. Spektrum UV-Vis senyawa dopamin – $\text{Ti}(\text{OH})_2$

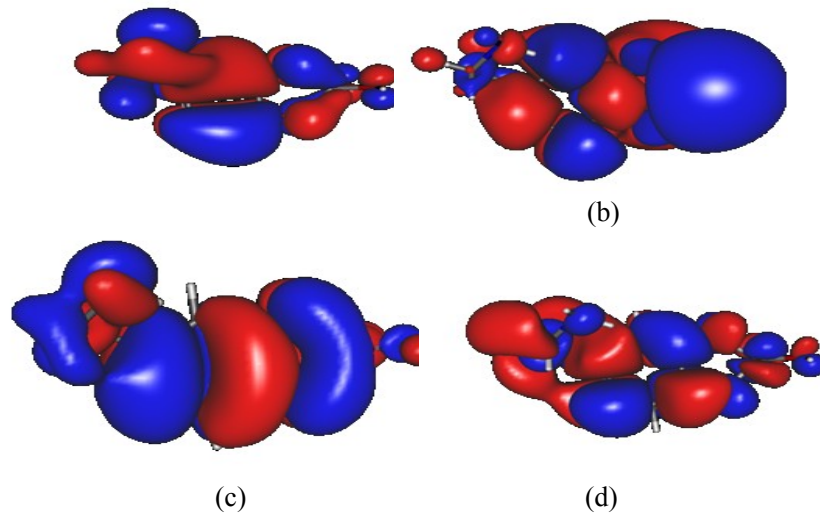
Tabel 3 probabilitas eksitasi elektron senyawa dopamin yang terikat pada TiO₂ hasil perhitungan
(Keterangan : H = HOMO, L = LUMO)

Kekuatan osilator	Energi (eV)	Kontribusi Utama
0,650	6,828	H-2→L+8 (55%), H→L+6 (11%)
0,147	6,659	H-3→L+2 (77%)
0,139	6,757	H-3→L+4 (17%), H-2→L+6 (22%), H-2→L+7 (35%)
0,116	5,153	H-2→L+8 (13%), H→L+6 (75%)
0,080	4,381	H-3→L (11%), H-2→L+1 (16%), H→L+3 (58%), H→L+4 (10%)
0,066	6,963	H-3→L (76%)
0,048	4,970	H-8→L (16%), H-7→L+1 (39%), H-1→L+7 (10%)
0,032	6,250	H-13→L+1 (18%), H-7→L+3 (17%), H-5→L+4 (16%)
0,031	7,140	H-1→L+8 (81%)
0,030	6,090	H-3→L (76%)

Gambar 5 memperlihatkan diagram penyebaran elektron pada senyawa dopamin yang terikat pada TiO₂ hasil perhitungan komputasi. Dalam keadaan teradsorpsi pada TiO₂, senyawa zat warna menunjukkan lebih banyak elektron yang terdistribusi pada seluruh sistem zat warna. HOMO dan LUMO yang dihasilkan hampir menyerupai molekul zat warnanya. Namun ada hal lain yang harus diperhatikan, yakni pada eksitasi elektron yang dihasilkan oleh atom Ti. Terutama pada L+2 dan seterusnya dimana pada keadaan eksitasi ini terdapat orbital *d* yang berasal dari atom Ti. Atom Ti memiliki peran penting pada terbentuknya orbital *d*. Pada sistem zat warna yang memiliki beberapa atom titanium, fungsi gelombang elektronik dapat tersebar ke seluruh sistem zat warna. Pada sistem tersebut, fungsi dari atom titanium adalah untuk menstabilkan sistem zat warna secara keseluruhan. Setelah teradsorpsi pada TiO₂, gabungan senyawa zat warna dan TiO₂ cluster memiliki distribusi densitas elektron lebih banyak. Pengurutan distribusi densitas elektron ini dilakukan oleh perangkat lunak perhitungan dengan melihat seberapa dekat tingkatan energi yang ada pada elektron yang menempati orbital dan orbital virtual yang ada.

Diagram energi dari hasil perhitungan TD-DFT senyawa dopamin dan dopamin yang terikat pada TiO₂ ditunjukkan dalam gambar 6. Dari gambar tersebut, dapat terlihat perbedaan energi antara HOMO dan LUMO yang berkurang ketika dopamin mengadsorpsi TiO₂. Hal ini terjadi akibat berkurangnya kestabilan dari HOMO ketika berinteraksi dengan orbital TiO₂. Dari gambar tersebut diketahui letak dari HOMO yang berada pada *band gap* dari TiO₂ cluster sedangkan LUMO berada pada pita konduksi dari TiO₂ cluster. Kedua hal ini merupakan syarat agar senyawa zat warna dapat digunakan dalam sistem DSSC.

Dalam studi komputasi ini, dihasilkan perbedaan pita energi yang merupakan hasil perhitungan komputasi yang dilakukan dengan menggunakan metode perhitungan TD-DFT. Perbedaan pita energi yang dihasilkan merupakan selisih antara energi LUMO dengan energi HOMO dengan nilai yang bervariasi pada masing-masing perhitungannya. Nilai perbedaan pita energi yang semakin kecil, mengindikasikan bahwa semakin mudah suatu elektron berpindah dari tingkatan energi yang rendah, ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Perpindahan elektron ini dapat terjadi dengan adanya pengaruh suhu dan penyinaran sinar matahari, dengan intensitas penyinaran yang sesuai dengan nilai *band gap*. Oleh karena itu, daya serap terhadap cahaya matahari dari suatu zat warna akan sangat ditentukan oleh besar kecilnya perbedaan pita energi yang dimiliki oleh suatu zat warna.

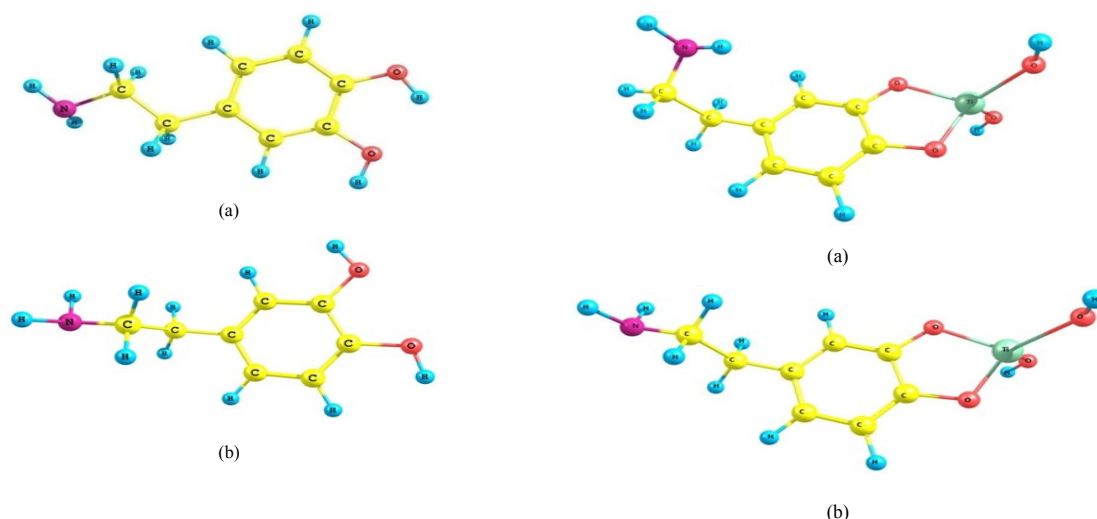


Gambar 5. Diagram penyebaran elektron hasil perhitungan komputasi senyawa dopamin yang terikat pada TiO_2 , (a) pada orbital H-2, (b) pada orbital L+8, (c) pada orbital HOMO, dan (d) pada orbital L+6.

Nilai band gap senyawa zat warna organik yang terabsorpsi TiO_2 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan senyawa zat warnanya, hal ini dikarenakan memiliki penyebaran HOMO/LUMO yang lebih luas dapat dilihat dari diagram penyebaran HOMO/LUMO pada penjelasan sebelumnya. Selain itu, TiO_2 yang memiliki peranan penting dalam zat warna yang sesuai dengan fungsinya, yaitu untuk menstabilkan sistem zat warna secara keseluruhan, dan sebagai fotokatalis. Dengan demikian, senyawa zat warna organik yang terikat TiO_2 memiliki potensi baik untuk digunakan dalam sistem DSSC.



Gambar 6. Diagram energi HOMO/LUMO hasil perhitungan Dopamin (a dan c) dan Dopamin- $\text{Ti}(\text{OH})_2$ (b dan d).



Gambar 7. Hasil optimasi geometri senyawa dopamin dan dopamin-Ti(OH)₂

Kesimpulan

Senyawa zat warna yang terabsorpsi TiO₂ memiliki spektrum UV-Vis yang sedikit lebih lebar dibandingkan dengan senyawa zat warnanya. Spektrum UV-Vis senyawa dopamin hasil perhitungan komputasi memberikan serapan cahaya pada panjang gelombang 180,36 nm dengan kekuatan osilator 0,642. Sedangkan interaksi dopamin-Ti(OH)₂ memberikan serapan cahaya pada panjang gelombang yang sedikit lebih besar hingga 181,84 nm dengan kekuatan osilator hampir tetap yaitu 0,650 (firefly). Diagram energi HOMO/LUMO untuk dopamin dan dopamin-Ti(OH)₂ memberikan *band gap* masing-masing sebesar 0,209 eV dan 0,124 eV. Transisi elektronik elektron dari senyawa dopamin terjadi dari H-1 ke L+1, H-2 ke L+1, dan H ke L dengan kekuatan osilator yang kecil. Transisi elektronik dari senyawa dopamin yang terikat TiO₂ cluster berasal dari H-2 ke L+8, H ke L+6, dan H-3 ke L+2. Keadaan eksitasi elektron yang dihasilkan oleh Ti utamanya berada pada L+2 menjelaskan orbital *d* yang ada di Ti. Akan tetapi sumbangan transisi elektronik ke keadaan L+2 memiliki distribusi yang sedikit, dengan kekuatan osilator yang kecil. Distribusi penyebaran elektron dengan kekuatan osilator yang tertinggi berasal dari keadaan H-2, H, L+1, dan L+6, menjelaskan kerapatan elektron cenderung tinggi pada zat warna dibandingkan kerapatan elektron di Ti, dan keadaan tersebut merupakan perubahan paritas dari orbital simetri (*gerade*) menjadi orbital antisimetri (*ungerade*). Penelitian ini merupakan studi awal perhitungan komputasi untuk memprediksi sifat elektronik senyawa zat warna dopamin dan dopamin-Ti(OH)₂. Untuk mendapatkan data perhitungan yang lebih akurat dan mendekati hasil eksperimen, diperlukan metode perhitungan dan basis set yang lebih baik dan struktur TiO₂ anatase.

Referensi

- [1] Manzhos. S., Segawa. H., Yamashita. K. ((2011): *A model for recombination in Type II dye-sensitized solar cells: Catechol–thiophene dyes.*, Chemical Physics Letters, 504, 230–235.
- [2] Daryanto. (2012). Energi Masalah dan Pemanfaatan Bagi Kehidupan Manusia. Yogyakarta : Pustaka Widyatama.
- [3] Shah, A., Torres, P., Tscharnner, R., Wyrsh, N., and Keppner, H. (1999): *Photovoltaic Technology: The Case for Thin-Film Solar Cells.*, Science, 285, pp. 692–698.
- [4] Brabec, C.J., Sariciftci, N.S., and Hummelen, J.C. (2001): *Plastic Solar Cells.*, Advanced Functional Materials, 11, pp. 16–26.

- [5] O'Regan, B., and Grätzel, M. (1991): *A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films*, Nature, 353, pp. 737–740.
- [6] Grätzel, M. (2003). Dye-sensitized solar cells. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews. 4, 145–153.
- [7] Burgelman, M., Nollet, P., and Degraeve, S. (2000): *Modelling polycrystalline semiconductor solar cells.*, Thin Solid Films, pp. 527–532.
- [8] Creutz, C., and Chou, M.H. (2008): *Binding of Catechols to Mononuclear Titanium(IV) and to 1- and 5-nm TiO₂ Nanoparticles.*, Inorganic Chemistry Article, 47, pp. 3509–3514.
- [9] Sánchez-de-Armas, R., Oviedo López, J., A. San-Miguel, M., Sanz, J.F., Ordejón, P., and Pruneda, M. (2010): *Real-Time TD-DFT Simulations in Dye Sensitized Solar Cells: The Electronic Absorption Spectrum of Alizarin Supported on TiO₂ Nanoclusters.*, Journal of Chemical Theory and Computation, 6, pp. 2856–2865.

Analisis Kimia Dan Peranannya Menjamin Kehalalan Produk Akibat Adanya Program Masyarakat Ekonomi Asean

Begum Fauziyah, S. Si., M. Farm^{1a)}

¹*Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*

^{a)}*email : bhefha@gmail.com*

Abstrak

Selama lebih dari 3 dekade, pasar makanan halal telah mengalami kenaikan khususnya di Negara-negara asean yang mayoritas penduduknya adalah muslim seperti di Indonesia, Malaysia, Pakistan dan timur tengah. Perdagangan produk-produk halal dapat mencapai 150 miliar dolar. Dengan demikian, angka kebutuhan produk halal bagi konsumen muslim merupakan sebuah kewajiban selain standar kualitas yang tinggi. Dengan adanya MEA yang membuka peluang masyarakat asing meningkatkan pasar produk di Indonesia, maka kewaspadaan kita sebagai bagian dari masyarakat muslim Indonesia terhadap maraknya produk non halal yang akan masuk ke Indonesia juga harus ditingkatkan. Peningkatan kewaspadaan tersebut haruslah didukung dengan kemampuan teknologi kita untuk membuktikan suatu produk halal atau tidak. Tulisan ini berisi uraian mengenai pentingnya peran analisis kimia dalam mengembangkan teknologi yang dapat membantu menjamin kualitas halal suatu produk bagi masyarakat muslim. Didalam artikel ini, peran ilmu analisis kimia terhadap penjaminan kehalalan diuraikan dalam beberapa metode dengan disertai langkah atau prosedur analisis dan contoh. Artikel ini disusun guna mendorong peningkatan arah pengembangan atau inovasi bagi para peneliti muslim di bidang kimia analisis untuk bersama-sama mengembangkan teknologi analisis kehalalan produk.

Kata kunci : Halal, Analisis Kimia

Pendahuluan

Makananan (termasuk minuman) merupakan kebutuhan dasar bagi manusia selain kebutuhan sandang dan papan. Pada saat teknologi pengolahan pangan belum berkembang, tidak banyak dijumpai makananan maupun minuman olahan yang beredar atau diproduksi. Masyarakat cenderung mengonsumsi apa yang mereka olah sendiri dengan menggunakan bahan makananan yang mereka jelas mengetahui dari mana bahan tersebut diperoleh. Dengan demikian, keraguan atas halal atau tidaknya makanan yang dikonsumsi tidak terjadi sehingga masalah halal saat itu belum heboh di tengah masyarakat.

Sekarang ini, perkembangan teknologi pengolahan pangan berkembang sangat pesat baik di dalam maupun luar negeri. Industri penghasil makanan olahan pun berkembang pesat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di negeri ini. Hal inilah yang mendasari berkembangnya permasalahan tentang apakah bahan yang digunakan memproduksi makanan olahan adalah bahan yang halal atau tidak. Terlebih lagi dengan akan dibukanya pasar bebas asean yang dikenal dengan istilah MEA. Hal ini akan mengakibatkan banyak makanan impor yang tidak jelas kehalalannya atau keharamannya beredar di tengah masyarakat Indonesia. Sudah semestinya hal tersebut menjadi poin

penting yang harus diperhatikan di Negara kita, mengingat sekitar 85 % – 90 % penduduk di Indonesia adalah muslim, dan di dunia penduduk muslim mencapai sekitar 1.3 milyar [1].

Kehalalan Makanan

Allah telah berfirman dalam al-qur'an surat al-maaidah ayat 88 yang berbunyi : “dan makanlah makanan yang halal lagi baik dari apa yang Allah telah rizkikan kepadamu, dan bertakwalah kepada Allah yang kamu beriman kepadanya “ (Al-maaidah : 88).

Hukum islam yang bersumber pada al-qur'an dan al-hadits member aturan bagi pemeluknya untuk mengonsumsi hanya yang halal dan thayyib (baik). Dua hal tersebut merupakan sebuah kesatuan. Halal artinya diperbolehkan atau diizinkan menurut syariah agama sedangkan baik atau thayyib berarti baik dalam kualitas, baik dari segi kesehatan atau aman dikonsumsi [2].

Kehalalan makanan dapat ditinjau dari tiga segi yaitu, jenis bahan, cara penyiapannya dan usaha untuk mendapatkannya. Dari segi jenis bahan, makanan yang jelas diharamkan atau dilarang dalam agama islam antara lain darah, bangkai, daging babi dan binatang yang saat disembelih menyebut nama selain Allah. Darah adalah cairan yang merupakan alat transport zat-zat dalam tubuh baik zat yang baik ataupun zat yang bersifat toksik atau racun. Produk metabolisme dan mikroorganisme seperti virus penyebab penyakit juga didistribusikan didalam tubuh oleh darah. Sehingga logis bila darah diharamkan dengan kemungkinan akan menyebabkan penularan penyakit [3].

Bangkai adalah bahan yang mudah mengalami pembusukan baik secara enzimatis maupun karena serangan bakteri. Bakteri akan menghancurkan zat gizi dan selama pembusukan akan menyebabkan terbentuknya senyawa-senyawa toksik yang berbahaya bagi yang mengkonsumsi [4].

Sedangkan makanan yang baik adalah yang memiliki kualitas yang baik, bergizi dan aman untuk dikonsumsi atau tidak berbahaya bagi kesehatan. Sebagai contoh makanan yang tidak baik, baru-baru ini, kita lihat di televisi maupun kita baca di media massa pemberitaan pemusnahan 36.3 ton apel impor dari amerika yang mengandung bakteri *lysteria monocytogenes* oleh kementerian pertanian [5], [6]. Tak lama berselang, kita kembali dikejutkan dengan adanya kejadian pemalsuan air zam zam yang pabriknya terdapat di srengseng dan di kramat jati [7]. Hal yang demikian juga menjadi kewajiban bagi kita untuk lebih waspada dan berhati-hati dalam memilih makanan.

Pada saat teknologi pengolahan pangan belum berkembang pesat, penambahan daging babi maupun darah dalam bahan makanan masih dapat dibedakan secara lahiriah. Namun dewasa ini, dengan telah majunya teknik pengolahan makanan menyebabkan sulitnya membedakan secara lahiriah antara daging babi dan turunannya (lemak babi). Bagi masyarakat awam, membaca daftar *ingredients* pada pembungkus atau melihat label halal merupakan cara termudah untuk mengetahui halal atau tidak makanan yang akan dikonsumsi. Kendala yang dihadapi adalah, bahwa tidak semua produk utamanya di Indonesia diberikan label halal meskipun halal dan sebaliknya diberikan label haram jika memang non halal. Begitupula daftar *ingredients* yang menggunakan istilah yang mungkin tidak familiar bagi masyarakat secara keseluruhan. Masyarakat juga sulit membedakan bahan tambahan pangan yang aman dan tidak dilarang bila sudah diolah menjadi bentuk makanan, sehingga tidak tahu apakah makanan yang dikonsumsi mengandung boraks atau tidak, pewarnanya aman atau tidak dan lain sebagainya. Berlatar belakang permasalahan tersebut, peran dari para analis kimia dalam menjamin kehalalan dan keamanan produk sangat diperlukan dan ditingkatkan secara mandiri maupun terorganisir.

Analisis Kimia dan Perannya dalam Menjamin Kehalalan Produk

Sebagaimana ditulis sebelumnya, kehalalan produk dapat dilihat dari tiga segi yaitu segi jenis bahan, cara penyiapan dan usaha untuk mendapatkannya. Hal ini berarti bahwa dalam menjamin kehalalan produk diperlukan sinergi dari beberapa pihak seperti pemerintah, lembaga penjamin halal dan tentu saja ahli pangan (analisis kimia, ahli teknologi pangan, analisis biologi dan sebagainya). Masing-masing unsur memiliki peran masing-masing dimana analisis kimia berperan dalam pengembangan metode analisis kehalalan.

Peran analisis kimia dalam penemuan maupun aplikasi metode analisis kehalalan produk dewasa ini mulai meningkat. Metode analisis kehalalan yang selama ini sering digunakan adalah GC, GC-MS, HPLC dan FTIR. Beberapa analisis juga mulai mengembangkan penggunaan SEM dan diferensial scanning calorimetry serta electronic nose. GC biasa digunakan untuk menganalisis komposisi asam lemak. Lemak babi (lard) berbeda dengan lemak sapi di dalam asam-asam lemak C20:0, C16:1, C18:3, dan C20:1, dan dengan ayam di dalam asam-asam lemak C12:0, C18:3, C20:0, dan C20:1. Lemak babi dan ayam berbeda nyata dalam hal komposisi disaturated dan triunsaturated triacylglycerols (TAGs). GC juga pernah digunakan untuk melihat kontaminasi minyak sawit dengan enzymatically-randomized lard (ERLD) [8][9].

FTIR spectroscopy bisa digunakan untuk menganalisis beragam bahan pangan, seperti lemak hewani, coklat, kue serta biskuit untuk mendeteksi kehadiran bahan pangan tidak halal, seperti lard (lemak babi). Analisa mencakup karakterisasi dan identifikasi perbedaan profil FTIR. FTIR spectroscopy dengan analisa kemometrik menawarkan teknik analisa yang sangat cepat, sederhana, dapat diandalkan, serta ramah lingkungan untuk mendeteksi dan menentukan kadar kontaminasi bahan non-halal dalam makanan hingga level yang cukup rendah (3%).

Sebagai contoh, analisis spectra infra merah antara hemoglobin babi dan sapi dapat dianalisis dengan metode second derivative. Penelitian menunjukkan bahwa vibrasi molekuler khas hemoglobin babi dan sapi, serta filter rokok yang menggunakan hemoglobin babi dan sapi, dengan filter tanpa hemoglobin muncul pada turunan kedua spektra infra merah pada bilangan gelombang 580-592 cm^{-1} . Pola spektra turunan kedua hemoglobin sapi terdapat satu puncak satu lembah sedangkan untuk hemoglobin babi menunjukkan satu puncak dua lembah. Hasil second derivative di validasi dengan menggunakan interpolasi lagrange, menunjukkan bahwa pola spektra valid. Jenis vibrasi molekuler daerah spektra khas hemoglobin babi dan sapi pada bilangan gelombang 580-592 cm^{-1} adalah vibrasi tekukan miring cincin-Fe asimetri (600-500 cm^{-1}), tekukan N-H (695-550 cm^{-1}), dan uluran C-C (850-500 cm^{-1}) yang masing-masing memiliki lingkungan matriks protein yang berbeda [10]. Hasil yang setipe juga diperoleh dari analisis kornet berbahan dasar daging babi dan daging sapi secara FTIR. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pola khas spektra infra merah protein kornet daging sapi dan babi menggunakan metode second derivative (2D). Sampel yang digunakan adalah sampel integral yaitu bagian sandung lamur, iga, samcan, dan kelapa. Variasi konsentrasi kontaminan daging babi pada daging sapi yaitu 0%, 0,5%, 50%, dan 100% (b/b) dengan lima kali ulangan. Pembuatan kornet menggunakan bahan tambahan garam 0,1 gr, merica 0,05 gr, gula 0,1 gr, bawang merah 0,4 gr, bawang putih 0,4 gr, terigu 1 gr, air 3 ml. Perebusan (Tim) dilakukan dengan suhu 100°C selama 60 menit. Identifikasi pola khas spektra protein kornet daging sapi dan babi menggunakan spektroskopi infra merah (FTIR) pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} , resolusi 4 cm^{-1} , dan scan 256. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vibrasi molekuler khas kornet daging babi muncul pada turunan kedua spektra infra merah pada bilangan gelombang 970-985 cm^{-1} , dan 1679-1697 cm^{-1} . Karakteristik pola spektra infra merah kornet daging sapi adalah terdapat satu lembah sedangkan kontaminan daging babi menunjukkan adanya dua lembah. Jenis

vibrasi molekul khas protein kornet pada bilangan gelombang 970-985 cm^{-1} ini diduga berasal dari vibrasi stretching N-H2 deformasi amina primer (800-990 cm^{-1}) dan C-H stretching simetri (850-1100 cm^{-1}). Sedangkan 1679-1697 cm^{-1} vibrasi rentangan C-O amida secara umum (1670-1690 cm^{-1}) dan gugus R-C=O-NH (1630-1680 cm^{-1}) pada ikatan peptide [11].

Kesimpulan

Dari uraian di atas, diketahui bahwa guna menghadapi pasar bebas MEA, diperlukan upaya peningkatan teknologi dalam analisis kehalalan produk yang dilaksanakan di Indonesia. Dengan bekerja sama dengan instansi pemerintah terkait, maraknya barang non halal yang beredar atau masuk ke Indonesia dapat kita waspadai.

Referensi

- [1] Syamsu, K and Hakim, L. 2008. Halal Assurance System as an International Quality Standard. Paper Presented at Workshop on Animal Derivatives. LPPOM MUI, Jakarta, July 3, 2008.
- [2] Qardhawi, Y. 2000. Halal dan Haram dalam Islam. PT Bina Ilmu : Surabaya.
- [3] Husein, M. M and Sakr, A. H. 1983. Islamic Dietary Laws and Practice, in "Halal Food Production" Riaz, M. N and Chaudry, M. M. 2004. CRC Press Boca Raton. Florida.
- [4] Awan, J. A. 1988. Islamic Food Laws: Philosophy of The Prohibition of Unlawful Foods, in "Halal Food Production" Riaz, M. N and Chaudry, M. M. 2004. CRC Press Boca Raton. Florida.
- [5] Afriyadi, A. D. 2015. Pemusnahan 36,3 Ton Apel Berbakteri Butuh Waktu Berhari-hari. diakses pada tanggal 06 Mar 2015 di <http://bisnis.liputan6.com/read/2186669/pemusnahan-363-ton-apel-berbakteri-butuh-waktu-berhari-hari>
- [6] Jalaludin, D. 2015. 36 Ton Apel Amerika Positif Bakteri Dimusnahkan. Diakses pada tanggal 16 april 2015 di <http://news.okezone.com/read/2015/03/06/340/1114787/36-ton-apel-amerika-positif-bakteri-dimusnahkan>
- [7] Fardiansyah, A. 2015. Polisi Bongkar Penjualan Air Zamzam Palsu. Diakses pada tanggal 16 april 2015 di <http://news.okezone.com/read/2015/04/02/338/1128194/polisi-bongkar-penjualan-air-zamzam-palsu>
- [8] Jaswir, I. 2012. Manajemen Analisa Produk Halal.
- [9] Rohman, A. 2012. Pengembangan dan Analisis Produk Halal. Penerbit Pustaka Pelajar : Yogyakarta.
- [10] Robi'ah. 2012. Analisis Pola Spektra Infra Merah Hemoglobin Babi Dan Hemoglobin Sapi Menggunakan Metode Turunan Kedua (SECOND DERIVATIVE) Serta Aplikasinya Pada Filter Rokok. UIN Malang : Malang.
- [11] Latify, M. S. 2012. Identifikasi Spektra Khas Ftir Kornet Berbahan Dasar Daging Sapi Dan Babi Menggunakan Metode Second Derivative (2D). UIN Malang : Malang.

Karakterisasi Ekstrak Kulit Batang Dan Ranting *Aglaiacucullata* Serta Bioaktivitasnya Terhadap Larva Udang (*Artemia salina* Leach) Dengan Metode *Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)*

Gina Fitri Lutfiana¹, Baiq Vera El Viera² dan Asep Supriadin³

^{1,3}Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

²Jurusan Ilmu Keperawatan, Fakultas Keperawatan, Universitas BSI Bandung

Korespondensi penulis: asupriadin@uinsgd.ac.id

Abstrak

Aglaiacucullata termasuk anggota famili Meliaceae yang belum banyak diteliti kandungan kimia dan bioaktivitasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi golongan senyawa metabolit sekunder apa saja yang terdapat dalam ekstrak metanol kulit batang dan ranting *Aglaiacucullata* dan hasil fraksinasi. Identifikasi tersebut menggunakan uji fitokimia dan spektrum FT-IR. Untuk bioaktivitasnya menggunakan metode *Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)* pada ekstrak metanol dan hasil fraksinasi, dengan menentukan nilai LC_{50} . Serbuk kulit batang dan ranting *Aglaiacucullata* (1,5 kg) diekstraksi dengan metanol, selanjutnya ekstrak diuji fitokimia dan toksisitasnya. Ekstrak pekat metanol difraksinasi menggunakan metode kromatografi, sehingga didapat fraksi (A5233) sebanyak 74 mg. Fraksi (A5233) selanjutnya dikarakterisasi, uji fitokimia, dan uji toksisitasnya. Untuk memperkuat hasil karakterisasi pada spektrum FT-IR dilakukan uji fitokimia, dan diketahui ekstrak metanol mengandung senyawa alkaloid, flavonoid, triterpenoid, saponin dan tanin. Sedangkan fraksi (A5233) mengandung senyawa flavonoid dan triterpenoid. Penelitian menunjukkan ekstrak kulit batang dan ranting *Aglaiacucullata* bersifat toksik (LC_{50} : 365,204 ppm) dan hasil fraksinasi (A5233) bersifat lebih toksik (LC_{50} : 196,907 ppm).

Kata kunci: *Aglaiacucullata*, KLT, KVC, KKG, *BSLT*, LC_{50} , FT-IR.

Pendahuluan

Indonesia merupakan daerah tropis yang memiliki keanekaragaman flora (*biodiversity*) juga berarti keanekaragaman senyawa kimia (*chemodiversity*). Hal ini memacu dilakukannya penelitian dan penelusuran senyawa kimia terutama senyawa metabolit sekunder yang terkandung dalam tumbuh-tumbuhan. Salah satu diantaranya adalah tumbuhan famili Meliaceae. Salah satu famili Meliaceae adalah genus *Aglaiacucullata*. *Aglaiacucullata* merupakan genus tumbuhan penting hutan hujan tropik di wilayah Indo-Malesiana [1].

Beberapa penelitian telah berhasil menemukan aktivitas senyawa metabolit sekunder pada tumbuhan genus *Aglaiacucullata* ini sebagai bioaktivitasnya. Penelitian yang dilakukan oleh Janaki *et al.* [2] yang telah berhasil mengisolasi senyawa triterpen *roxburghiadiol A* dan *B* dari buah *A. roxburghiana* dengan ekstrak etanol yang memiliki aktivitas sebagai anti-inflamasi [2]. Harneti *et al.* [3] juga

berhasil mendapatkan lima buah senyawa triterpenoid pada kulit batang *A. smithii* dengan ekstrak etil asetat dan dari kelima senyawa itu yang beraktivitas sitotoksik paling tinggi terhadap sel murin P-388 adalah senyawa 3-epiokotillol dengan nilai IC₅₀ sebesar 11 (µg/mL) [3]. Genus *Aglaiia* sebagai antikanker terdapat pada pacar kidang atau *A. silvestris* yang berhasil diisolasi oleh Yeon *et al.* [4]. Selain itu dalam penelitian Nugroho *et al.* [5] pada tumbuhan *A. odorata* Lour terdapat senyawa siklo-penta-tetra-hidro-benzofuran turunan rokaglamid dan senyawa siklopenta-tetra-hidro-benzopiran turunan aglain bersifat insektisida [5].

Salah satu genus *Aglaiia* yang masih belum banyak diteliti kandungan kimia maupun bioaktivitasnya adalah *Aglaiia cucullata*. Dengan demikian ada peluang untuk ditemukan senyawa bioaktif yang dimilikinya, yang dapat berguna untuk pengembangan ilmu kimia organik bahan alam maupun pada bidang kesehatan. Oleh karena itu diperlukan pencarian sifat toksisitas sebagai uji pendahuluan terhadap senyawa metabolit sekunder yang terkandung dari kulit batang dan ranting *A. cucullata* ekstrak metanol dengan metode *Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)*.

Untuk mengetahui apakah ekstrak kulit batang *A. cucullata* memiliki toksisitas, maka perlu dilakukan penelitian nilai *Lethal Contrantation-50 (LC₅₀)*. *LC₅₀* adalah kadar yang menyebabkan kematian 50% hewan uji selama waktu tertentu. Berdasarkan *LC₅₀* dapat diketahui tingkat aktivitas suatu senyawa. Apabila nilai *LC₅₀* suatu senyawa hasil isolasi atau ekstrak tumbuhan kurang dari 1000 ppm, maka senyawa tersebut dapat diduga memiliki efek sifat sitotoksik [6]. Maka diharapkan metode *BSLT* dapat digunakan sebagai langkah awal menentukan senyawa yang memiliki sifat toksik.

Eksperimen

Bahan tumbuhan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagian kulit batang dan ranting *A. cucullata* yang didapat dari hutan mangrove Sulawesi Selatan dan telah diidentifikasi di LIPI Makasar Sulawesi Selatan. Bahan kimia yang digunakan terdiri atas berbagai jenis pelarut teknis yang didestilasi ulang seperti: *n*-heksana, metanol, etil asetat, aseton, dan pelarut pro-analis seperti: kloroform. Silika GF₂₅₄ pelat kaca untuk kromatografi lapis tipis (KLT) ukuran 20x20 cm, Silika G₆₀ (0,2-0,5 mm) untuk impregnasi, dan Silika G₆₀ (70-230 mesh) untuk kromatografi kolom gravitasi (KKG) dan kromatografi cair vakum (KCV), serta pereaksi uji fitokimia dan pereaksi penampak noda asam sulfat 10% dalam etanol.

Peralatan yang digunakan meliputi alat gelas yang umum digunakan di laboratorium kimia organik, maserator, *rotary evaporator* R-200 Buchi dengan pompa vakum Vac V500 Buchi dan penangas air B-490 Buchi, satu set alat KKG, satu set alat KCV, lampu UV A (315-400 nm) dan C (100-280 nm), serta FT-IR *Spectrum One Perkin Elmer*. Bioindikator yang digunakan adalah larva udang (*Artemia Salina*) yang dibiakkan di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia MIPA Universi Padjajaran.

Sampel kulit batang dan ranting *A. cucullata* disiapkan dan dibersihkan dari kotoran atau debu yang menempel serta dikeringkan pada suhu kamar, kemudian sampel tersebut dihaluskan dengan menggunakan penggiling sehingga didapatkan 1,5 kg serbuk kulit batang dan ranting *A. cucullata*.

A. cucullata yang sudah halus, kemudian dimaserasi dengan metanol pada suhu kamar secara berulang selama 3 × 24 jam dan dilakukan penampungan maserat sebanyak tiga kali. Selanjutnya maserat yang diperoleh dipekatkan dengan *rotary evaporator* pada suhu 40°C, sehingga diperoleh ekstrak pekat metanol. Ekstrak pekat metanol selanjutnya difraksinasi, uji fitokimia dan uji toksisitasnya.

Ekstrak metanol yang diperoleh difraksinasi melalui KVC menggunakan silika gel sebagai fasa diam dan dielusi berturut-turut dengan pelarut *n*-heksana, etil asetat dan metanol dengan gradien

pelarut 10% dan 5%. Hasil kromatografi ditampung dalam botol vial, dan dilakukan KLT lalu diamati dengan lampu UV. Eluat dengan noda yang sama digabungkan menjadi satu fraksi dan dipekatkan. Selanjutnya, fraksi gabungan tersebut dipisahkan lebih lanjut dengan kromatografi kolom gravitasi.

Fraksi yang telah didapatkan dari teknik KCV selanjutnya dilakukan pemisahan dengan kromatografi kolom menggunakan silika gel sebagai fasa diam dan eluen yang cocok. Setelah didapatkan fraksi diisolasi dengan KLT sampai didapat satu noda, maka fraksi tersebut dikarakterisasi, uji fitokimia dan uji toksisitasnya.

Hasil fraksinasi yang diperoleh dianalisis lebih lanjut untuk menentukan gugus fungsi menggunakan spektrofotometer FT-IR. Sampel ditambahkan KBr secukupnya, lalu dimasukkan dalam alat pembuat pelet KBr dan diberi tekanan sampai terbentuk pelet berupa lempeng lingkaran yang tipis. Pelet tersebut dianalisis dengan alat FT-IR.

Uji fitokimia kandungan dilakukan terhadap ekstrak pekat metanol kulit batang dan ranting *A. cucullata* dan hasil fraksinasi yang dilarutkan dengan sedikit masing-masing pelarutnya. Pengujian ini meliputi uji alkaloid, uji flavonoid, uji saponin, uji steroid/triterpenoid dan uji tanin.

Pengujian senyawa steroid/triterpenoid dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan oleh Kadarisman (2000). Empat mg ekstrak kasar diekstraksi dengan kloroform. Fraksi yang larut dalam kloroform ditambahkan CH_3COOH glasial dan H_2SO_4 pekat. Larutan dikocok perlahan dan dibiarkan selama beberapa menit. Steroid memberikan warna biru atau hijau, sedangkan triterpenoid memberikan warna merah atau violet [7].

Pengujian senyawa tanin dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan oleh Sangi *et al.* (2008). Sampel sebanyak 20 mg ditambah etanol sampai sampel terendam semuanya. Kemudian ditambahkan 2-3 tetes larutan FeCl_3 1%. Hasil positif ditunjukkan dengan terbentuknya warna hitam kebiruan atau hijau [8].

Pengujian senyawa flavonoid dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan oleh Chozin (1996). Empat mg ekstrak kasar ditambahkan air panas, dididihkan selama 5 menit, kemudian disaring. Filtrat ditambahkan sedikit serbuk Mg dan 1 mL HCl pekat, kemudian dikocok kuat-kuat. Uji positif ditunjukkan oleh terbentuknya warna merah, kuning atau jingga [7].

Pengujian senyawa saponin dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan oleh Darwis (2000). Empat mg ekstrak kasar ditambahkan air panas, kemudian ditambahkan aquades, dikocok. Uji ditunjukkan oleh terbentuknya busa permanen \pm 15 menit [7].

Pengujian senyawa alkaloid dilakukan berdasarkan metode yang dijelaskan oleh Darwis (2000). Empat mg ekstrak kasar ditambahkan 10 mL kloroform-amoniak. lalu disaring ke dalam tabung reaksi dan filtrat ditambahkan 10 tetes H_2SO_4 2 M dan dikocok sehingga terpisah dua lapisan. Lapisan asam yang terdapat dibagian atas dipipet ke dalam tabung reaksi lain, lalu ditambahkan pereaksi dragendorff (campuran $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dalam asam nitrat dan larutan KI). Adanya alkaloid ditunjukkan dengan terbentuknya endapan berwarna jingga sampai merah coklat dengan pereaksi Dragendorff [7].

Pengujian toksisitas dilakukan terhadap ekstrak pekat metanol kulit batang dan ranting *A. cucullata* dan hasil fraksinasi. Pengujian ini dilakukan dengan berbagai variasi konsentrasi larutan. Garam natrium klorida ditimbang sebanyak 28 gram, kemudian dilarutkan dalam 1000 mL aquadest dan diaduk hingga semua garam larut. Selanjutnya larutan garam disaring dan filtratnya siap digunakan untuk pembibitan larva udang.

Sebanyak 1 gram telur dari *Artemia salina* dimasukkan ke dalam media air laut yang sudah dibuat dan disimpan dalam keadaan tertutup. Telur *Artemia salina* dalam media air laut diaerasi dan diberi penerangan selama 48 jam sampai telur menetas. Setelah telur udang menetas siap untuk

digunakan dalam pengujian sampel.

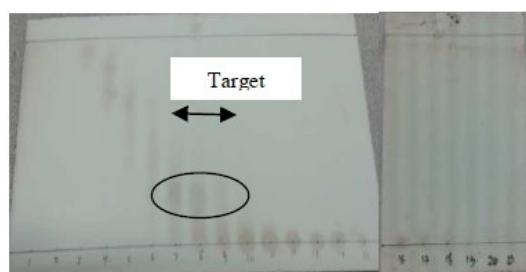
Larutan uji dibuat dengan cara melarutkan sampel dalam air laut buatan sehingga didapat konsentrasi 2000 ppm. Dari larutan uji 2000 ppm, selanjutnya dibuat lagi larutan dengan konsentrasi 1000, 800, 700, 600, 400 dan 200, 100 ppm dengan cara pengenceran. Untuk kontrol (0 ppm) dilakukan tanpa penambahan ekstrak.

Larutan uji dengan konsentrasi 100, 200, 400, 600, 700, 800 dan 1000 ppm, masing-masing dipipet sebanyak 6 mL dimasukkan ke dalam botol vial dan ditambahkan 10 ekor larva udang yang telah berumur 2 hari (48 jam). Pengamatan dilakukan selama 24 jam. Setelah 24 jam (mulai dihitung saat larva udang masuk dalam botol vial) larva udang yang merespon (mati) dan yang hidup dihitung jumlahnya. Selanjutnya dihitung nilai LC_{50} (24 jam) sampel tersebut dengan menggunakan metode statistik *Probit Analysis* (*EPA Probit analysis software (ver 16.0)*) untuk mengetahui *Lethal Concentration* (LC_{50}) dengan selang kepercayaan 95%. Meyer [6], menyebutkan tingkat toksisitas suatu ekstrak:

- $LC_{50} \leq 30$ ppm = sangat toksik
- $31 \text{ ppm} \leq LC_{50} \leq 1.000$ ppm = toksik
- $LC_{50} > 1000$ ppm = tidak toksik

Hasil dan Diskusi

Ekstrak metanol yang didapatkan sebanyak 22,2028 gram. Ekstrak pekat ini kemudian dipisahkan menggunakan teknik kromatografi cair vakum (KCV). Karena ekstrak metanol jumlahnya masih banyak dan masih mengandung banyak senyawa, kromatografi cair vakum (KCV) ini dipilih sebagai teknik pemisahan awal karena kecepatan dan efektivitas proses pemisahannya. Senyawa-senyawa dengan tingkat kepolaran yang lebih tinggi akan terikat atau tertahan pada fasa diam. Sistem elusi yang digunakan berupa sistem elusi bergradien, dalam penelitian ini menggunakan gradien 10% (*n*-heksana:etil asetat:metanol). Pada sistem ini mula-mula menggunakan pelarut nonpolar kemudian digunakan pelarut dengan tingkat kepolaran yang semakin meningkat. Teknik KCV ini menghasilkan 21 fraksi. Fraksi-fraksi ini dianalisis dengan kromatografi lapis tipis (KLT) pada plat silika GF₂₅₄ yang dielusi dengan pelarut *n*-heksana:etil asetat (7:3). Selanjutnya sampel dilihat di bawah sinar UV kemudian disemprot menggunakan asam sulfat dalam etanol 10%. Kromatogram ditunjukkan pada **Gambar 1**.

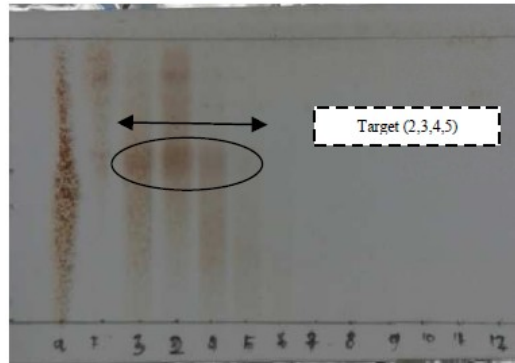


Gambar 1. Kromatogram KLT fraksi-fraksi hasil pemisahan KCV ekstrak metanol pada plat silika GF₂₅₄ yang dielusi *n*-heksana:etil asetat (7:3) setelah disemprot menggunakan asam sulfat 10% dalam etanol

Kedelapan fraksi yang memiliki noda sama diperoleh pada tahap KLT yaitu A1 (fraksi1-2), A2 (fraksi 3), A3 (fraksi 4), A4 (fraksi 5-6), A5 (fraksi 7,8,9: 6,3979 gram), A6 (fraksi 10-11), A7 (fraksi 12-15), A8 (fraksi 16-17). Analisis KLT dilakukan untuk mengetahui fraksi mana yang relatif sederhana

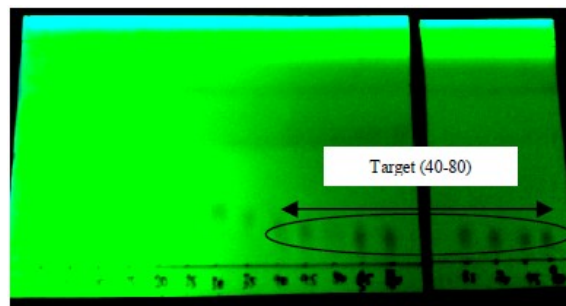
dan mudah untuk pemisahan senyawa tahap selanjutnya.

Berdasarkan hasil analisis KLT, maka fraksi A5 lebih memungkinkan dipisahkan lebih lanjut. Proses pemisahan fraksi A5 kembali menggunakan teknik KVC, karena jumlah massa relatif masih banyak dan noda masih terlihat rumit. Untuk menyederhanakan pola noda pada kromatogram KLT fraksi A5, sampel dielusi dengan gradient 5% (*n*-heksana, etil asetat, dan metanol), sehingga proses pemisahan menjadi lebih mudah dilakukan. Teknik KCV ini menghasilkan 12 fraksi. Fraksi-fraksi ini dianalisis dengan kromatografi lapis tipis (KLT) pada plat silika GF₂₅₄ dengan perbandingan *n*-heksana:etil asetat (5:5). Kromatogram ditunjukkan pada **Gambar 2**.



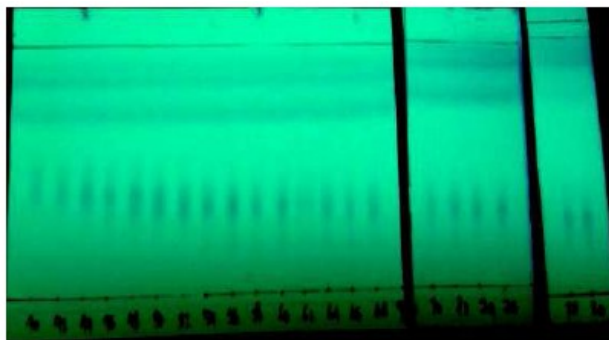
Gambar 2. Kromatogram KLT fraksifraksi hasil pemisahan KVC ke-2 ekstrak metanol pada plat silika GF₂₅₄ yang dielusi *n*-heksana:etil asetat (5:5) setelah disemprot menggunakan asam sulfat 10% dalam etanol

Fraksi-fraksi yang memiliki pola noda sama digabungkan sehingga diperoleh 3 fraksi gabungan yaitu A51 (fraksi 1), A52 (fraksi 2,3,4,5: 2,4675 gram m), A53 (fraksi 16-12). Fraksi A52 dipisahkan dengan menggunakan teknik kromatografi kolom gravitasi (KKG). Pemisahan fraksi A52 dengan KKG menggunakan fasa diam silika gel G₆₀ ukuran 70-230 mesh yang dielusi dengan pelarut *n*-heksana:etil asetat (7,5:2,5) sehingga diperoleh 80 fraksi. Sebelum melakukan KKG dilakukan pencarian eluen yang sesuai terlebih dahulu dengan KLT, sehingga didapat perbandingan *n*-heksana:etil asetat (7,5:2,5). Kromatogram ditunjukkan pada **Gambar 3**.



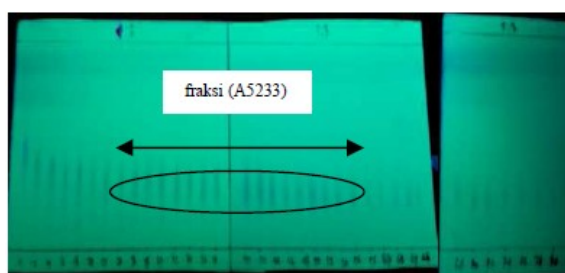
Gambar 3. Kromatogram KLT fraksifraksi hasil pemisahan KKG G ekstrak metanol pada plat silika GF₂₅₄ yang dielusi *n*-heksana:etil asetat (8:2) dan disinari lampu UV.

Fraksi-fraksi yang memiliki pola noda yang sama digabungkan sehingga diperoleh 3 fraksi gabungan yaitu A521 (fraksi 1-22), A522 (fraksi 23-39), A523 (fraksi 40-80: 0.6619 gram)



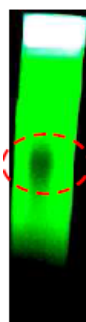
Gambar 4. Kromatogram KLT fraksi hasil pemisahan KKG ekstrak metanol pada plat silika GF (40-80) yang dielusi heksana:etil asetat (8:2) dan disinari lampu UV

Fraksi A523 selanjutnya dipisahkan dengan menggunakan teknik kromatografi kolom gravitasi (KK KG) ke-2 dengan fasa diam silika gel G60 ukuran 230-400 mesh yang dielusi dengan pelarut *n*-heksana:etil asetat (8:2) sehingga diperoleh 80 fraksi. Sebelum melakukan KKG dilakukan pencarian eluen yang sesuai terlebih dahulu dengan KLT, sehingga didapat perbandingan *n*-heksana:etil asetat (8:2). Kromatogram ditunjukkan pada **Gambar 5**.



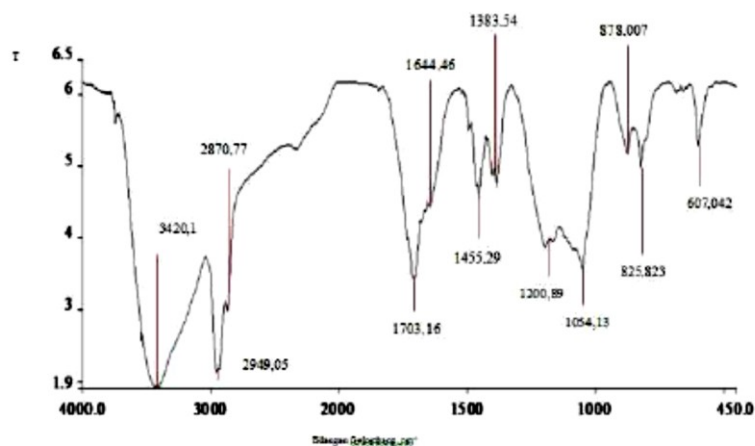
Gambar 5. Kromatogram KLT fraksi hasil pemisahan KKG ke-2 ekstrak metanol pada plat silika GF254 yang dielusi *n*-heksana:etil asetat (7:3) dan disinari lampu UV

Fraksi-fraksi yang memiliki pola noda yang sama digabungkan sehingga diperoleh 4 fraksi gabungan yaitu A52331 (fraksi 1-9), A5232 (fraksi 10-27), A5233 (fraksi 28-56) dan A5234 (fraksi 57--80). Setelah digabungkan fraksi (A5233) diuapkan dan dilakukan KLT kembali dengan perbandingan *n*-heksana:etil asetat (7:3), kromatogram dapat dilihat pada **Gambar 6**. Hasil fraksinasi A5233 didapat sebanyak 74 mg.



Gambar 6. Fraksinasi noda hasil KLT dari fraksi (A A5233)

Hasil spektrum FTIR senyawa fraksi (A5233) aktif toksik ditunjukkan pada **Gambar 7**. Spektroskopi FT-IR ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa.



Gambar 7. Spektrum inframerah dari senyawa fraksi (A5233)

Tabel 1. Data spektrum inframerah dari senyawa fraksi (A5233)

No	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Bentuk pita	Intensitas	Kemungkinan gugus fungsi
1	3420,10	Melebar	Kuat	O-H <i>stretching</i>
2	2949,05	Tajam	Kuat	C-H pada CH ₃ <i>stretching</i> (alkana)
3	2870,77	Tajam	Lemah	C-H pada CH ₂ <i>stretching</i> (alkana)
4	1703,16	Tajam	Kuat	C=O <i>stretching</i>
5	1644,46	Tajam	Lemah	C=C <i>stretching</i>
6	1455,29	Tajam	Sedang	C=C (sp ²) (aril) <i>stretching</i> /tekukan C-H
7	1383,54	Tajam	Sedang	H-C-H <i>bending</i> pada CH ₃
8	1200,89	Tajam	Kuat	C-O-C atau
9	1054,13	Tajam	Kuat	C-OH <i>stretching</i>
10	878,007	Tajam	Sedang	C-H <i>deformation</i>
11	825,823	Tajam	Sedang	C-H <i>deformation</i>

Spektrum fraksi (A5233) dengan spektrofotometer FT-IR menunjukkan 11 pita serapan. Dari Tabel 1 dapat dilihat adanya serapan -OH terikat (*stretching*) yang kuat dan melebar pada bilangan gelombang 3420,10 cm⁻¹ yang membentuk ikatan hidrogen yang biasanya muncul pada daerah 3200-4000 cm⁻¹. Hal ini diperkuat dengan adanya serapan pada daerah 1200,89 cm⁻¹ dan 1054,13 cm⁻¹ yang mengindikasikan adanya vibrasi regang C-O-H. Pada bilangan gelombang 2949,05 cm⁻¹ dan 2870,77 cm⁻¹ ditemukan adanya serapan yang kuat dan tajam yang merupakan vibrasi ulur C-H (*stretching*) yang biasanya muncul pada bilangan gelombang 2800-3000 cm⁻¹. Hal ini diperkuat dengan adanya tekukan C-H pada CH₃ pada bilangan gelombang 1383,54 cm⁻¹. Selain itu juga pada bilangan gelombang 1703,16 cm⁻¹ dengan intensitas kuat dan tajam menunjukkan adanya serapan vibrasi C=O (*stretching*) dari keton yang biasanya muncul pada 1550-1850 cm⁻¹. Pada bilangan gelombang 1644,46 cm⁻¹ adanya serapan C=C (*stretching*) dengan intensitas lemah dan tajam yang biasanya muncul pada bilangan gelombang 1620-1690 cm⁻¹. Adanya pita serapan pada 1200,89 cm⁻¹ dan 1054,13 cm⁻¹ mengindikasikan adanya vibrasi regang C-O-C (*stretching*) dari eter dengan intensitas kuat dan tajam yang

biasanya muncul pada bilangan gelombang 1020-1310 cm^{-1} [9].

Tabel 2. Data spektrum inframerah dari senyawa triterpenoid dan katekin

No	Bilangan Gelombang (cm^{-1})		
	Hasil fraksi (A5233)	Triterpenoid ^[10]	Katekin ^[11]
1	3420,10	3401,1	3317,56
2	2949,05	2946,6	2933,73
3	2870,77		
4	1703,16	1734,7	
5	1644,46	1654,3	1627,92
6	1455,29	1443,0	1469,72
7	1383,54		
8	1200,89	1250,5	
9	1054,13	1039,9	1028,06
10	878,007		
11	825,823		

Data spektrum FT-IR di atas dibandingkan dengan data spektrum senyawa triterpenoid dan flavonoid (katekin), yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Skrining fitokimia bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa triterpenoid, steroid, tanin, falvonoid, saponin dan alkaloid dalam ekstrak. Senyawa-senyawa metabolit tersebut mempunyai efek biologi yang menghambat pertumbuhan kanker, mikroba, sebagai antioksidan, menurunkan kolesterol darah, dan kadar glukosa darah, bersifat antibiotik, memberikan informasi senyawa kimia yang terdapat dalam tumbuhan yang akan diuji, dan uji fitokimia juga merupakan tahapan awal dalam isolasi senyawa bahan alam. Uji fitokimia dalam penelitian ini menggunakan reagen tertentu sesuai dengan senyawanya. ini merupakan data yang memperkuat hasil Sampel yang akan diuji fitokimia adalah karakterisasi spektum FT-IR pada fraksi ekstrak metanol dan fraksi (A5233) sebagai (A5233). Hasil uji fitokimia dapat dilihat perbandingan. Selain itu, hasil uji fitokimia dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak kulit batang dan ranting *A. cucullata*

Kandungan Kimia	Metode	Sampel Ekstrak	
		Ekstrak methanol	fraksi (A5233)
Triterpenoid	Uji Lieberman Burchard	+ (Merah kecoklatan)	+ (Merah kecoklatan)
Steroid	Uji Lieberman Burchard	- (Tidak berwarna Hiaju/biru)	- (Tidak berwarna Hiaju/biru)
Tanin	FeCl_3	+ (Hijau)	- (Tidak berwarna hijau)
Falvonoid	Uji Bate Smith dan Mertcalf	+ (Jingga)	+ (Kuning)
Saponin	Uji Forth	+ (Membentuk Buih)	- (Tidak membentuk buih)
Alkaloid	Dragendoff	+ (Terbentuk endapan)	- (Tidak terbentuk endapan)

Keterangan: (+) ada, (-) tidak ada

Data pada **Tabel 3** menunjukkan bahwa dalam ekstrak metanol dan fraksi (A5233) positif mengandung senyawa triterpenoid, yang ditandai dengan terbentuknya warna merah. Reaksi senyawa triterpenoid dengan pereaksi Liebermann-Burchard menghasilkan warna merah-ungu. Dan negatif mengandung senyawa steroid. Prinsip reaksi dalam mekanisme reaksi uji triterpenoid adalah

kondensasi atau pelepasan H₂O dan penggabungan dengan karbocation. Warna merah-ungu ditunjukkan oleh senyawa yang mengalami perpanjangan konjugasi [12].

Uji tanin memberikan hasil positif terhadap ekstrak metanol, sedangkan pada fraksi (A5233) menunjukkan hasil negatif. Menurut Nurhasanah (2001), terikatnya Fe pada tanin menghasilkan warna hijau kebiruan karena gugus hidroksil berkonjugasi dengan ikatan rangkap [13].

Uji fitokimia menunjukkan bahwa ekstrak metanol dan fraksi (A5233) memiliki kandungan senyawa flavonoid, dengan terbentuknya warna jingga sampai kuning. Penambahan HCl pekat dalam uji flavonoid digunakan untuk menghidrolisis flavonoid menjadi aglikonnya yaitu dengan menghidrolisis O-glikosil. Reduksi dengan Mg dan HCl pekat ini menghasilkan senyawa kompleks yang berwarna merah atau jingga pada flavanol, flavon, flavonol dan xanton [14].

Pada **Tabel 3** ekstrak metanol positif mengandung saponin dengan ditandai adanya busa, dan fraksi (A5233) negatif mengandung senyawa saponin. Menurut Rusdi (1990), timbulnya busa pada uji Forth menunjukkan adanya glikosida yang mempunyai kemampuan membentuk buih dalam air yang terhidrolisis menjadi glukosa dan senyawa lainnya [15].

Hasil uji alkaloid dari kedua ekstrak, yang menunjukkan adanya senyawa alkaloid dengan preaksi Dragendorff yaitu pada ekstrak metanol kulit batang dan ranting *A. cucullata* dengan terbentuknya endapan warna jingga. Menurut Miroslav (1971), pada uji alkaloid dengan pereaksi Dragendorff, nitrogen dari Bi(NO₃)₃ digunakan untuk membentuk ikatan kovalen koordinat dengan K⁺ dari KI yang merupakan ion logam. Sehingga membentuk senyawa kalium tetra iodo bismutat (K[BiI₄]). Senyawa kalium tetra iodo bismutat ini yang akan bereaksi dengan senyawa alkaloid yang ditandai dengan terbentuknya endapan coklat muda sampai kuning ke jingga. Endapan tersebut adalah kalium-alkaloid [15]. Berdasarkan uji fitokimia menunjukkan bahwa sampel kulit batang dan ranting *A. cucullata* positif mengandung senyawa flavonoid, triterpenoid, tanin, saponin dan alkaloid. Sedangkan uji fitokimia terhadap fraksi (A5233) hanya positif mengandung senyawa triterpenoid dan flavonoid (**Tabel 3**). Hal ini disebabkan oleh proses pemisahan senyawa dengan proses ekstraksi dan berbagai macam metode kromatografi yang berdasarkan tingkat kepolaran dari senyawa itu tersendiri, sehingga pada fraksi (A5233) hanya positif mengandung dua senyawa saja dibandingkan dengan kandungan pada ekstrak awal (metanol) yang masih banyak kandungan senyawanya.

Uji toksisitas ini menggunakan metode *Brine Shrimp Lethality Test (BSLT)*. Kelebihan metode ini yaitu memiliki ketelitian yang tinggi karena mengamati kematian larva dalam sampel. Metode ini sangat sederhana tidak memerlukan perlakuan khusus, menggunakan sampel yang relatif sedikit, biaya relatif murah. Selain menggunakan larva udang, metode lain untuk menentukan toksisitas biasa menggunakan mencit, mikroba dan bakteri.

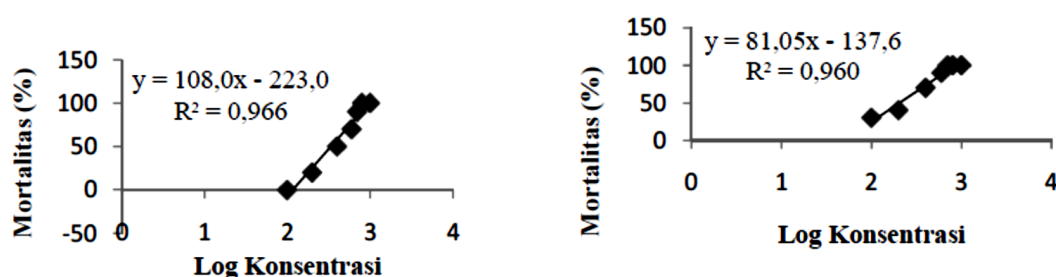
Nilai toksisitas terhadap hewan uji *Artemia salina* Leach diukur dengan nilai LC₅₀. LC₅₀ yaitu suatu konsentrasi atau dosis yang dapat menyebabkan kematian 50% hewan uji. Selanjutnya, penentuan LC₅₀ dihitung dengan analisis probit menggunakan program *software EPA probit analysis version 16*. Nilai LC₅₀ tersebut dihitung untuk jumlah total larva udang yang mati pada waktu inkubasi 24 jam setelah pemaparan. Dari analisis regresi antara log konsentrasi dan mortalitas (%) larva udang diketahui nilai LC₅₀ dari masing-masing ekstrak. Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang kuat antara log konsentrasi dengan mortalitas larva udang. Nilai koefisien determinasi (R²) dari persamaan regresi yang dihasilkan berkisaran antara 0,9600,966. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari 96% variasi tingkat mortalitas larva udang dapat diterangkan dengan adanya perubahan log konsentrasi.

Hasil *BSLT* merupakan penelitian awal untuk pemisahan senyawa yang berpotensi memiliki sifat toksik. Pada tahap awal dilakukan uji toksisitas ekstrak metanol dan fraksi (A5233). Grafik analisis

regresi terlihat pada **Gambar 8**. Tingkat larva udang pada berbagai konsentrasi sampel dan nilai LC_{50} tersaji pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Tingkat mortalitas larva udang pada berbagai konsentrasi pada sampel ekstrak metanol dan fraksi (A5233) serta nilai LC_{50}

No	Ekstrak	MORTALITAS %							LC_{50} (ppm)
		100 ppm	200 ppm	400 ppm	600 ppm	700 ppm	800 ppm	1000 ppm	
1	Metanol	0	20	50	70	90	100	100	365,204
2	Fraksi (A5233)	30	40	70	90	100	100	100	196,907



Gambar 8. Grafik analisis regresi log konsentrasasi dengan tingkat mortalitas *A. salina* Leach terhadap sampel, a. ekstrak metanol dan b. fraksi (A5233)

Dari **Gambar 8** di atas terlihat bahwa semakin besar nilai konsentrasi ekstrak, mortalitas pada *Artemia* juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan Harborne (1994), yang menyebutkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ekstrak maka sifat toksiknya akan semakin tinggi [16]. Berdasarkan nilai LC_{50} , fraksi (A5233) memiliki sifat paling toksik dibandingkan dengan ekstrak metanol. Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) 0,960 dengan tingkat kematian sebesar 96% pada konsentrasi 1.000 ppm dan nilai LC_{50} hasil fraksinasi (A5233) yaitu 196,907 ppm, sedangkan ekstrak metanol memiliki nilai LC_{50} yaitu 365,204 ppm.

Mayer [6] menyatakan bahwa senyawa kimia memiliki potensi bioaktivitas bila mempunyai nilai LC_{50} relatif kecil atau kurang dari 1.000 ppm, semakin kecil nilai LC_{50} , maka semakin menunjukkan bahwa senyawa kimia yang terkandung dalam ekstrak tersebut semakin kuat. Merujuk pada tingkat kepolaran suatu sampel ditemukan bahwa semakin rendah tingkat kepolaran suatu ekstrak akan mengakibatkan kematian larva udang semakin tinggi. Hal ini dikarena fraksi senyawa nonpolar akan larut dalam lemak tubuh dari larva udang tersebut. Oleh karena itu fraksi (A5233) yang dielusi oleh pelarut nonpolar bersifat lebih toksik dibandingkan dengan ekstrak metanol.

Pengujian toksisitas terhadap ekstrak metanol lebih rendah dibandingkan dengan toksisitas fraksi (A5233). Hal ini dimungkinkan karena adanya efek antagonis antar senyawa yang terdapat dalam ekstrak metanol. Sebab dalam ekstrak metanol masih banyak kandungan senyawa metabolit sekunder, sehingga setiap senyawa memiliki peranan tersendiri dalam penghambatan terhadap larva udang. Efek antagonis itu sendiri yaitu apabila dua atau lebih zat kimia yang diberikan secara bersamaan, maka zat kimia yang satu akan melawan zat kimia yang lainnya [17] [18].

Terjadinya kematian terhadap larva udang dikarenakan adanya kandungan senyawa metabolit

sekunder pada sampel. Misalnya, adanya senyawa flavonoid dalam lingkungan sel, menyebabkan gugus OH pada flavonoid berikatan dengan protein integral membran sel. Hal ini menyebabkan terbandungnya transpor aktif Na^+ dan K^+ . Transpor aktif yang berhenti menyebabkan pemasukan ion Na^+ yang tidak terkendali ke dalam sel, hal ini menyebabkan pecahnya membran sel. Menurut Scheuer (1994), pecahnya membran sel inilah yang menyebabkan kematian sel [16].

Terpenoid bersifat toksik dan memiliki struktur lipofilik yang menyebabkan kerusakan membran sel dan kematian sel. Sifat nonpolar terpenoid mudah menembus membran sel atau membran organel dalam sel pada sisi hidrofobik dengan membentuk struktur misel, sehingga terbentuknya ikatan antara senyawa nonpolar (terpenoid) dengan bagian nonpolar dari membran sel. Hal ini menyebabkan permeabilitas membran sel terganggu. Senyawa bioaktif sebagai zat toksik dapat masuk melalui membran sel larva *Artemia* (secara difusi), membran sel berfungsi untuk mengatur perpindahan zat ke dalam dan keluar sel pada organel sel [19].

Menurut Isnansetyo dan Kurniastuty (1995), masuknya zat toksik melalui saluran pencernaan *Artemia* yang bersifat penyaring tidak selektif (*non selective filter feeder*) sehingga apa saja yang dapat masuk mulut *Artemia* seakan-akan menjadi makanannya. Sedangkan menurut Connell dan Miller (1995), senyawa yang masuk dapat berinteraksi dengan target (misalnya enzim, lemak, membran sel, asam nukleat) yang mempengaruhi mekanisme tubuh *Artemia* yang akhirnya dapat menyebabkan kematian [19].

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Prof. Dr. Unang Supratman, M.Si. sebagai Kepala Laboratorium Kimia Organik Unpad beserta stafnya, staf laboratorium kimia UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan semua sivitas akademika Fakultas Sains dan Teknologi Bandung.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, maka disimpulkan:

1. Uji fitokimia terhadap ekstrak metanol menunjukkan bahwa kulit batang dan ranting *A. cucullata* positif mengandung senyawa saponin, tanin, triterpenoid, flavonoid dan alkaloid. Sedangkan uji fitokimia dan analisis FT-IR pada fraksi (A5233) hanya positif mengandung senyawa triterpenoid dan flavonoid.
2. Hasil penelitian LC_{50} ekstrak metanol kulit batang dan ranting *A. cucullata* adalah 365,204 ppm, sedangkan fraksi (A5233) memiliki nilai LC_{50} sebesar 196,907 ppm. Hasil fraksi (A5233) lebih bersifat toksik.

Referensi

- [1] Sukandar, dede., M, Sofnie., Chairul., Nurlaela. 2007. *Elusidasi Struktur Kimia Senyawa Bioaktif Pengendali Serangga Ulat Kubis Dari Kulit Batang Aglaia disoxylum* (Meliaceae). Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah.
- [2] Janaki, et al. 1999. Anti-Inflammatory Activity Of *Aglaia roxburghiana* Var. *Beddomei* Extract And Triterpenes Roxburghiadiol A And B. *J. Ethnopharmacol.* 67(1): hal 45-51.
- [3] Harneti, et al. 2012. Cytotoxic Triterpenoids From The Bark Of *Aglaia smithii* (Meliaceae). *Phytochemistry.* 5: hal 496-499.
- [4] Yeon H. B et al. 2004. Silvestrol And Episilvestrol, Potential Anticancer Rocaglate Derivatives From *Aglaia silvestris*. *J Org Chem.* 69: hal 33503358.
- [5] Nugroho et al. 1999. An Insecticidal Rocaglamide Derivatives And Related Compounds From *Aglaia odorata* (Meliaceae). *Phytochemistry.* 51: hal 367-376.
- [6] Meyer, et al. 1982. *Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay For Active Plant Constituents.*

- Plant Medica*. 45: hal 31-34.
- [7] Atmoko, Tri dan Ma'ruf, Amir. 2009. *Uji Toksisitas Dan Skrining Fitokimia Ekstrak Tumbuhan Sumber Pakan Orangutan Terhadap Larva Artemia Salina Leach*. Kalimantan Timur: Balai Penelitian Teknologi Perbenihan Samboja. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam*. 6(1): hal 37-45.
- [8] Marlinda *et al.* 2012. *Analisis Senyawa Metabolit Sekunder Dan Uji Toksisitas Ekstrak Etanol Biji Buah Alpukat (Persea americana Mill.)*. Manado: Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Sam Ratulangi. *Jurnal MIPA*. 1(1): hal 24-28.
- [9] Socrates, George. 2001. *Infrared And Raman Characteristic Group Frequencies Tables And Charts*, Third Edition. London: Formerly Of Brunel, The University Of West London, Middlesex. Hal 12.
- [10] Bawa, I G. A. Gede. 2009. *Isolasi Dan Identifikasi Golongan Senyawa Toksik Dari daging Buah Pare (Momordica Charantia L.)*. Bukit Jimbaran. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Udayana. *Jurnal Kimia*. 3(2): hal 117-124.
- [11] Hakim, Istifani. 2013. *Senyawa Katekin Dari Ekstrak Etil Asetat Kulit Batang Tumbuhan Aglaia glabrata*. Bandung. Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- [12] Siadi, K. 2012. *Ekstrak Bungkil Biji Jarak Pagar Jatropha Curcas Sebagai Biopestisida Yang Efektif dengan Penambahan Larutan NaCl*. Semarang: Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang. *Jurnal MIPA*. 35(1).
- [13] Nuriyati, Anik. 2013. *Uji Antimalaria Secara In Vitro dari Ekstrak Daun Akway (Drimsy beccariana. Gibbs) Asal Penggunaan Arfak Manokwari Terhadap Plasmodium falciparum*. Papua: Universitas Negeri Papua.
- [14] Robinson, T. 1995. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Bandung: ITB. Hal 152, 157, 192.
- [15] Marlina, Soerya Dewi, *et al.* 2005. *Skrining Fitokimia Dan Analisis Kromatografi Lapis Tipis Komponen Kimia Buah Labu Siam (Sechium edule Jacq. Swartz.) Dalam Ekstrak Etanol*. Surakarta: Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret (UNS). *Biofarmasi*. 3(1): hal 26-31.
- [16] Nurhayati, Awik *et al.* 2006. *Uji Toksisitas Ekstrak Eucheuma Alvarezii Terhadap Artemia Salina Sebagai Studi Pendahuluan Potensi Antikanker*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November. *Akta KimIndo*. 2(1): hal 41-46.
- [17] Salim. 2006. *Penentuan Daya Inhibisi Ekstrak Air Dan Etanol Daging Buah Mahkota Dewa (Phaleria marcrocarpa (Scheff.) Boerl.) Terhadap Aktivitas Enzim Tirosin Kinase Secara In vitro*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- [18] Wikanta *et al.* 2007. *Uji Aktivitas Sitotoksik Ekstrak Karang Lunak Sarcophyton Glaucum (Quoy & Gaimard) Terhadap Sel Lestari Tumor Hela*. Jakarta: Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan dan Fakultas Farmasi Universitas Pancasila. *Jurnal Pascapanen dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan*. 2(1).
- [19] Kartikasari, Fransiska Galuh. *Uji Toksisitas Fraksi Dari Spongs Laut Xestospongia Dengan Metode Brine Shrimp Test (BST)*: Institut Teknologi Sepuluh November

Potensi Sari Kacang Merah (*Phaseolus vulgaris* L.), Kacang Hijau (*Phaseolus radiatus* L.) dan Kedelai Hitam (*Glycine soja sieb*) Sebagai Pangan Fungsional

Nunung Kurniasih,^{1, a)} Lia Satya Rama²⁾, Tina Windyastuti Suryana³⁾,
Nunik Rahmawati Rahman⁴⁾

^{1,2,3,4}Jurusan Kimia FST UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. AH Nasution No 105 Bandung 40614

email : ^{o)}nunung.kurniasih@uinsgd.ac.id

Abstrak

Pangan fungsional merupakan adalah pangan yang secara alamiah maupun yang telah melalui proses, mengandung satu atau lebih senyawa yang berdasarkan kajian-kajian ilmiah dianggap mempunyai fungsi-fungsi fisiologis tertentu yang bermanfaat bagi kesehatan. Salah satunya adalah prebiotik, yaitu komponen pangan yang tidak terhidrolisis dan dapat menstimulus bakteri baik dalam usus manusia. Prebiotik terdapat pada produk kacang-kacangan. Dalam penelitian ini kacang merah, kacang hijau dan kedelai hitam. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efektivitas sari kacang merah, hijau dan kedelai hitam sebagai media pertumbuhan bakteri asam laktat (*Lactococcus lactis*). Pengambilan sampel dilakukan pada fermentasi jam ke-0, 24, 48 dan 72 untuk dilakukan analisis pH, total asam, kadar glukosa dan jumlah bakteri. Analisis pH dilakukan menggunakan pH-meter, kadar asam laktat dengan metode kualitatif dan kuantitatif total asam titrasi, kadar glukosa dengan metode Luff Schoorl dan jumlah bakteri dengan Spektrofotometer UV-Vis. Fermentasi oleh *Lactococcus lactis* selama 72 jam didapatkan nilai pH semakin asam, kadar asam laktat meningkat, kadar glukosa semakin berkurang dan jumlah bakteri sampai jam ke-48 meningkat. Ketiga jenis kacang tersebut berpotensi sebagai pangan fungsional.

Kata kunci: pangan fungsional, kacang merah, kacang hijau, kedelai hitam, *Lactococcus lactis*

Pendahuluan

Pangan bagi manusia berfungsi untuk memenuhi kebutuhan zat-zat gizi tubuh, sesuai dengan jenis kelamin, usia, aktivitas fisik dan bobot tubuh. Pangan juga harus memiliki penampakan dan cita rasa yang baik. Seiring dengan makin meningkatnya kesadaran masyarakat akan pentingnya hidup sehat, maka tuntutan konsumen terhadap bahan pangan bukan saja yang mempunyai komposisi gizi yang baik serta penampakan dan cita rasa yang menarik, tetapi juga harus memiliki fungsi fisiologis tertentu bagi tubuh [1]. Dari sinilah lahir konsep pangan fungsional, yang akhir-akhir ini sangat populer di kalangan masyarakat dunia.

Sampai saat ini belum ada definisi pangan fungsional yang disepakati secara universal. Definisi pangan fungsional menurut Badan POM adalah pangan yang secara alamiah maupun yang telah melalui proses, mengandung satu atau lebih senyawa yang berdasarkan kajian-kajian ilmiah dianggap

mempunyai fungsi-fungsi fisiologis tertentu yang bermanfaat bagi kesehatan. Salah satu contohnya adalah prebiotik.

Prebiotik adalah komponen pangan yang tidak dapat dihidrolisis oleh enzim-enzim pencernaan manusia namun komponen ini dapat menguntungkan tubuh dengan cara menstimulasi pertumbuhan atau aktivitas sejumlah bakteri misalnya bakteri asam laktat (BAL), *Bifidobacterium*, *Enterococcus*, *Bacteroides*, dan *Eubacterium* di dalam usus besar yang pada akhirnya dapat meningkatkan kesehatan tubuh [2]. Bahan makanan yang memenuhi kriteria prebiotik adalah dari golongan oligosakarida yang tidak dapat dicerna (*non-digestible oligosaccharide* atau NDO).

Oligosakarida adalah karbohidrat berbobot molekul rendah, terdiri dari tiga sampai 10 gugus gula sederhana (monosakarida). Awalnya senyawa ini digolongkan sebagai antinutrisi karena dapat menyebabkan timbulnya gas dalam perut (flatulensi). Contohnya adalah rafinosa, stakhiosa, dan verbaskosa yang terdapat dalam bahan pangan nabati seperti kacang-kacangan (misalnya kedelai) dan beberapa jenis umbi-umbian (misalnya ubi jalar). Itu sebabnya mengapa pengolahan bahan-bahan pangan tersebut selalu mengupayakan penurunan kadar oligosakarida atau dihilangkan sama sekali. Akan tetapi penelitian mutakhir menunjukkan oligosakarida berguna karena dapat mencegah tumbuhnya bakteri yang merugikan dalam usus. Karena itu mungkin pandangan terdahulu terhadap senyawa tersebut harus diubah, dan dalam pengolahan perlu diupayakan agar oligosakarida dapat dipertahankan.

Kacang-kacangan seperti kacang merah, kacang hijau dan kedelai dapat dengan mudah dijumpai dalam menu makanan sehari-hari masyarakat Indonesia, khususnya di daerah Bandung Jawa Barat. Biasa digunakan sebagai bahan baku sayuran, makanan ringan atau menjadi bahan baku makanan olahan seperti tempe dan kecap. Ketiga jenis kacang ini diteliti potensinya sebagai bahan baku produk pangan fungsional.

Teori dan Eksperimen

Kacang-kacangan memiliki kadar oligosakarida yang tinggi. Pada awalnya oligosakarida ini disebut antigizi karena bisa menyebabkan flatulensi. Komposisi kimia kacang-kacangan sangat beragam, tergantung varietas, faktor genetik, iklim, maupun lingkungan. Karbohidrat merupakan komponen terbesar (lebih dari 55%) biji kacang yang terdiri dari pati, gula dan serat. Pati pada kacang hijau memiliki daya cerna yang sangat tinggi yaitu 99,8% sehingga sangat baik dijadikan bahan makanan bayi dan anak balita yang sistem pencernaannya belum sempurna orang dewasa [3]. Oligosakarida pada kacang-kacangan merupakan sumber serat pangan (*dietary fiber*). Serat mempunyai peranan yang sangat penting untuk mencegah terjadinya sembelit serta berbagai penyakit yang berhubungan dengan sistem pencernaan.

Bakteri *L. lactis* memiliki koloni berbentuk bulat, hidup secara individu, berpasangan atau membentuk rantai, dapat berantai panjang atau pendek. Non-haemolitik, termasuk bakteri gram positif dan non-motil, fakultatif anaerob dan katalase negatif. *Lactococcus* merupakan bakteri mesofilik, suhu umum untuk pertumbuhan *L. lactis* yaitu berkisar 10-40 °C [4]. *Lactococcus lactis* diklasifikasikan sebagai homofermentatif, hasil metabolismenya sebagian besar berupa asam laktat dan sedikit asam asetat. Produksi asam laktatnya berasal dari laktosa dan sukrosa dalam sampel susu.

1. Pembuatan Sari Kacang

Biji kacang direndam dengan aquades dengan perbandingan 1:2 selama 6 jam. Kemudian biji kacang yang telah direndam tersebut diblender hingga halus dan dipanaskan hingga 70 °C selama 30 menit. Setelah didinginkan dan dilakukan penyaringan, disentrifugasi 3500 rpm selama 10 menit

untuk memperoleh cairan yang jernih. Sari yang didapatkan dipanaskan hingga mendidih selama 10 menit. Setelah didapatkan sari kacang hijau kemudian dilakukan analisis total asam tertitrasi, pH, dan kadar gula reduksi.

2. Pembuatan Starter

Starter dibuat dengan menggunakan media MRS broth dan kultur BAL yang telah disiapkan pada media MRS miring. Media MRS broth steril sebanyak 100 mL dalam erlenmeyer steril diinokulasi dengan dua ose kultur BAL. Media kultur diinkubasi pada suhu 37 °C. Starter dapat digunakan pada waktu fase eksponensial masing-masing BAL.

3. Fermentasi Sari Kacang

Sari kacang ditambah dengan starter sebanyak 3% (v/v) kemudian diinkubasi pada suhu kamar selama 3 hari. Selama proses fermentasi dilakukan analisis total asam tertitrasi, pH, kadar gula reduksi, dan kerapatan sel BAL. Analisis sampel dilakukan pada fermentasi jam ke-0, 24, 48, dan 72.

4. Analisis pH

Analisis pH dilakukan dengan menggunakan pH meter. pH meter dikalibrasi dengan menggunakan buffer pH 4 dan pH 7. Elektroda dibilas dengan aquades sebelum dikalibrasi dengan buffer dan dikeringkan. Elektroda dicelupkan dalam larutan sampel dan set pengukuran pH. Biarkan beberapa saat sampai diperoleh pembacaan yang stabil, pH sampel dicatat.

5. Analisis Total Asam

a. Analisis Kualitatif

Dua mL medium dimasukkan ke dalam tabung reaksi dan ditambahkan beberapa tetes FeCl_3 . Positif terdapat asam laktat jika dalam larutan timbul warna coklat kekuningan.

b. Analisis Kuantitatif

Sepuluh mL larutan sampel dititrasi dengan larutan standar 0,1 N NaOH dengan indikator PP. Akhir titrasi ditandai dengan berubahnya warna menjadi merah muda.

6. Analisis Gula Reduksi

Analisis gula reduksi dilakukan dengan menggunakan metode Luff Schoorl.

7. Analisis Jumlah Sel Bakteri

Jumlah sel bakteri dihitung dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Sebanyak 2 ml sampel masukan ke dalam kuvet, kemudian ukur absorbansi sampel dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 610 nm. Hitung jumlah sel bakteri menggunakan standar Mc Farland.

Hasil dan Diskusi

1. Sari Kacang

Pembuatan sari kacang melalui beberapa tahap. Pada tahap perendaman, biji kacang menjadi lebih lunak sehingga mudah dihaluskan dan juga mengurangi zat antinutrisi di dalamnya [5]. Saat pemanasan 70 °C selama 30 menit, bubur kacang mengental dan berwarna hijau pekat. Pemanasan ini untuk memperoleh kekentalan sari yang baik dan membunuh bakteri. Setelah disaring dan

dipisahkan dengan sentrifugator, sari kacang menjadi lebih bening dan cair. Tahap terakhir adalah dididihkan selama 10 menit untuk membunuh bakteri patogen yang ada dalam sari tersebut.

Sari kacang hijau memiliki kadar pH 6,61 dan kadar total asam tertitrasi sebesar 0,06984%. Nilai pH dari sari kacang merah adalah 6,43 dan total asam sebesar 0,1746%. Untuk nilai pH sari kedelai hitam sebesar 5,98, total asam sebesar 0,2444%. Nilai gula reduksi pada penelitian ini tidak diperoleh nilainya karena karbohidrat dalam kacang kedelai hitam sangat kompleks hingga susah untuk dihidrolisis.

2. Analisis pH

Analisis pH dilakukan untuk menunjukkan derajat keasaman masing-masing sari kacang yang difermentasi. Hasil pengamatan analisis pH adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Analisis pH Fermentasi Sari Kacang oleh BAL

Jam ke-	Kacang merah	Kacang hijau	Kedelai Hitam
0	5,75	5,57	5,46
24	4,89	4,95	4,79
48	4,86	4,80	4,72
72	4,71	4,75	4,70

Lama fermentasi berpengaruh nyata terhadap pH, karena semakin lama fermentasi semakin banyak mikroorganisme yang aktif, berkembangbiak dan bertambah jumlahnya. Dengan bertambah banyaknya bakteri yang terbentuk dan berkembangbiak, maka kemampuan memecah substrat semakin baik, sehingga menghasilkan asam laktat yang lebih banyak. Asam laktat yang dihasilkan oleh bakteri akan diekresikan keluar sel sehingga terakumulasi dalam cairan fermentasi. Dengan meningkatnya jumlah asam dalam substrat, maka keasaman sari kacang juga meningkat.

3. Total Asam Fermentasi Sari Kacang

Total asam untuk sari kacang yang difermentasi oleh bakteri asam laktat *Lactococcus lactis* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Total Asam Fermentasi Sari Kacang oleh BAL

Jam ke-	Kacang merah (%)	Kacang hijau (%)	Kedelai Hitam (%)
0	0,122	0,1222	0,3666
24	0,302	0,2269	0,6984
48	0,401	0,2444	0,7866
72	0,432	0,2496	0,8037

Nilai total asam tertitrasi berbanding terbalik dengan nilai pH. Produksi asam laktat oleh bakteri *L. lactis* menyebabkan peningkatan keasaman sari kacang selama proses fermentasi. Lama fermentasi berpengaruh terhadap total asam, karena semakin lama fermentasi, *Lactococcus lactis* yang digunakan dalam proses fermentasi sari kacang semakin aktif berkembangbiak, sehingga kemampuan untuk memecah substrat semakin banyak dan menghasilkan asam laktat yang semakin meningkat.

Peningkatan atau penurunan nilai total asam tertitrasi terjadi karena intensitas dan banyaknya perubahan glukosa menjadi asam laktat akibat aktivitas bakteri *L. lactis*. Sari ubi cilembu yang difermentasi selama 72 jam masih menunjukkan aktivitas fermentasi menghasilkan asam laktat, sehingga total asam tertitrasi yang semakin tinggi suatu saat dapat mengalami reaksi metabolisme

lebih lanjut yang memungkinkan terjadinya perubahan asam laktat menjadi senyawa sekunder misalnya reaksi lanjut asam asetat menjadi alkohol sehingga tidak terukur sebagai nilai asam tertitrasi lagi [6].

4. Analisis Kadar Gula Reduksi

Gula reduksi adalah gula yang mempunyai kemampuan untuk mereduksi. Sifat mereduksi ini disebabkan adanya gugus hidroksi yang bebas dan reaktif yang termasuk dalam golongan gula reduksi adalah glukosa, galaktosa, fruktosa, maltosa, dan laktosa [7]. Dalam metabolisme mikrobia memerlukan sumber karbon yang berupa monosakarida seperti glukosa, galaktosa, dan fruktosa.

Analisa kadar gula reduksi dari sari kacang yang difermentasi oleh bakteri *L. lactis* selama 72 jam diukur menggunakan metode luff school dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Kadar Gula Reduksi Sari Kacang Hasil Fermentasi

Jam ke-	Kacang merah (mg)	Kacang hijau (mg)	Kedelai Hitam (mg)
0	13,96	10,43	25,8
24	10,06	9,22	12,4
48	8,73	3,10	1,9
72	7,53	2,16	1,4

Fermentasi sari kacang dengan menggunakan starter bakteri *L. lactis* mengalami penurunan kadar gula reduksi. Bakteri *L. lactis* yang ditambahkan akan mempengaruhi beberapa komponen sumber nutrisi tersebut, hal ini diduga kemampuan bakteri untuk menghidrolisis sumber nutrisi dan kecepatan memanfaatkan untuk proses metabolismenya.

Pada awal fermentasi, kadar gula kedelai hitam lebih tinggi dibanding kacang merah dan hijau. Makin lama proses fermentasi, kadar gula menurun. Terlebih pada kedelai hitam, terjadi penurunan yang sangat signifikan. Perbedaan kadar gula selain disebabkan lama fermentasi juga dapat disebabkan oleh substrat yang tersedia selama proses fermentasi sehingga aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan pati menjadi gula akan berbeda [8]. Gula yang terbentuk pada proses fermentasi merupakan hasil penguraian pati oleh enzim amilase yang dihasilkan oleh kapang, khamir, dan bakteri yang bersifat amilolitik. Bakteri amilolitik merupakan mikroorganisme yang mampu memecah pati menjadi senyawa yang lebih sederhana, terutama dalam bentuk glukosa.

5. Analisa Jumlah Bakteri

Aktivitas fermentasi sari kacang oleh starter bakteri *L. lactis* ditunjukkan dengan adanya pertambahan jumlah populasinya. Jumlah populasi bakteri asam laktat dapat dilihat pada pada Tabel 4

Tabel 4. Jumlah Bakteri Hasil Fermentasi Sari Kacang

Jam ke-	Kacang merah (sel/mL)	Kacang hijau (sel/mL)	Kedelai Hitam (sel/mL)
0	$3,46 \times 10^9$	$1,43 \times 10^9$	$3,62 \times 10^9$
24	$3,41 \times 10^9$	$3,02 \times 10^9$	$3,67 \times 10^9$
48	$3,60 \times 10^9$	$3,69 \times 10^9$	$3,68 \times 10^9$
72	$3,80 \times 10^9$	$3,40 \times 10^9$	$3,74 \times 10^9$

Secara keseluruhan terjadi peningkatan jumlah bakteri seiring penambahan waktu fermentasi. Tapi kemudian terjadi penurunan, meski kemudian ada yang naik lagi. Jumlah sel bakteri fermentasi sari kacang merah oleh *Lactococcus lactis* pada jam ke-0 sampai jam ke-24 mengalami penurunan

yang tidak terlalu signifikan, yaitu dari $3,46 \times 10^9$ sel/mL menjadi $3,41 \times 10^9$ sel/mL. Sedangkan pada sari kacang hijau terjadi penurunan pada jam ke-72.

Penurunan jumlah bakteri ini bisa disebabkan karena beberapa faktor seperti tidak homogenya bakteri di dalam sari kacang merah dan karena adaptasi bakteri dari media MRS broth ke media sari kacang merah sehingga jumlah bakteri menjadi turun. Tetapi untuk jam ke-48 sampai jam ke-72 jumlah bakteri meningkat kembali.

Pertumbuhan optimum bakteri *L. lactis* pada media sari kacang hijau terjadi pada jam ke-48. Fermentasi oleh *L. lactis* mengalami peningkatan dari jam ke-0 sampai jam ke-48 hingga $3,69 \times 10^9$ sel/mL. Namun pada jam ke-72 terjadi penurunan yaitu $3,40 \times 10^9$ sel/mL. Penurunan jumlah bakteri pada jam ke-72 diduga sebagian bakteri *L. lactis* mengalami kematian atau fase stasioner.

Jumlah bakteri dalam sari kacang antara lain dipengaruhi oleh ketersediaan substrat dalam media untuk pertumbuhannya. Faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan mikroba diantaranya zat gizi, suhu, air dan oksigen (khusus untuk mikroba aerob) [9]. Pada waktu tertentu jumlah substrat dalam sari kacang untuk fermentasi tersedia cukup banyak sehingga bakteri sangat aktif memperbanyak diri, namun suatu saat jumlah substrat semakin menurun sehingga bakteri relatif tidak aktif memperbanyak diri dan bakteri sudah melewati fase logaritmik [10].

Kesimpulan

Kacang merah, kacang hijau dan kedelai hitam merupakan substrat (prebiotik) yang baik bagi bakteri asam laktat *Lactococcus lactis* (probiotik), ditandai oleh menurunnya nilai pH yang sejalan dengan kenaikan total asam selama fermentasi. Kadar gula reduksi menurun dan jumlah bakteri yang makin meningkat selama proses fermentasi berlangsung. Prebiotik dan probiotik merupakan bagian dari pangan fungsional.

Referensi

- [1] Wijaya, Hanny. (2002). *Pangan Fungsional dan Kontribusinya bagi Kesehatan*, Kharisma; Women and Education, Jakarta.
- [2] Gibson GR, Roberfroid MB. *Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics*. J Nutrition 1995; 125 : 1401-12.
- [3] Made Astawan. 2005. *Kacang Hijau, Antioksidan yang Membantu Kesuburan Pria*. http://web.ipb.ac.id/~tpg/de/pubde_ntrtrnhlth_kacanghijau.php. [Diakses tanggal 12 Desember 2011].
- [4] Teubeur M. 1995. *The genus Lactococcus*. Di dalam: BJB Wood dan WH Holzappel, editor *The Genera of Lactic Acid Bacteria*. Ed ke 2. Glasgow: Blakie Academic & Professional.
- [5] Deddy Muchtadi. 2005. *Oligosakarida yang Menyehatkan*. Bogor: IPB.
- [6] Sunarlim, R. dan S. Usmiati. 2006. *Sifat Mikrobiologi dan Sensori Dadih Susu Sapi yang Difermentasi Menggunakan Lactobacillus plantarum dalam Kemasan yang Berbeda*. Bul. Petern. 30: 208-216.
- [7] Lehninger. 1982. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- [8] Winarno, F.G., 1997. *Keamanan Pangan*. Jakarta: Gramedia.
- [9] Buckle, K.A., R.A. Edwards, G.H. Fleet & M. Wooton. 1985. *Ilmu Pangan*. Terjemahan: H.Purnomo dan Adiono. UI Press, Jakarta.
- [10] Usmiati, Sri dkk. 2011. *Karakteristik Dadih susu sapi yang Menggunakan Starter Bakteri Probiotik*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian. JITV 16(2): 141-153.

Pengaruh Ekstrak Etanol Daun Sirsak (*Annona Muricata* L.) Terhadap Kadar Enzim Transaminase (SGPT dan SGOT) Pada Mencit (*Mus musculus*) Yang Diinduksi DMBA

Bayyinatul Muchtaromah^{1, a)} dan Nur Ariyanti^{1, b)}

¹Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

email : ^{a)} bayyinatul_uin@yahoo.co.id dan ^{b)} ariyantie.nur@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimenta menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima kelompok perlakuan dan empat kali ulangan. Kelompok perlakuan terdiri atas tikus yang diinduksi dengan 7,12-dimetilbenz(α) antrasen (DMBA) dan diberi ekstrak daun sirsak dosis 0 mg/kgBB (K+), dosis 100 mg/kgBB (P1), dosis 150 mg/kgBB (P2), dosis 200 mg/kgBB (P3) dan tikus normal yaitu tikus tanpa diinduksi dengan 7,12-dimetilbenz(α) antrasen (DMBA) dan tanpa diberi ekstrak daun sirsak (K-). Data kemudian dianalisis dengan menggunakan Analisis Varians (*One Way Anova*) satu arah. Jika menunjukkan ada pengaruh maka dilakukan uji lanjut dengan BNT taraf signifikan $\alpha = 1\%$.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui kadar SGPT pada (K+) yaitu $154,472 \pm 4,09$ U/L, sedangkan pada P1, P2, dan P3 masing-masing adalah, $134,352 \pm 3,03$ U/L, $118,137 \pm 2,69$ U/L, $88,950 \pm 3,34$ U/L dan (K-) $11,516 \pm 1,62$. Kadar SGOT pada (K+) adalah $132,174 \pm 2,63$ U/L, sedangkan pada P1, P2, dan P3 masing-masing adalah, $117,674 \pm 2,63$ U/L, $105,232 \pm 2,34$ U/L, $79,717 \pm 3,56$ U/L dan (K-) $8,339 \pm 1,25$. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa ekstrak etanol daun sirsak (*Annona muricata* L.) berpengaruh terhadap kadar enzim transaminase (SGPT dan SGOT) pada mencit (*Mus musculus*) yang diinduksi dengan 7,12-dimetilbenz(α) antrasen (DMBA) secara In Vivo. Sedangkan dosis yang efektif untuk menurunkan kadar enzim transaminase SGPT dan SGOT adalah P3 yaitu 200 mg/kgBB.

Kata kunci : Ekstrak Etanol Daun Sirsak (*Annona Muricata* L.), Kadar Enzim Transaminase *Mus musculus*, dan DMBA

Pendahuluan

Kanker hati merupakan kanker dengan insidensi kematian ketiga terbesar di dunia. Penyebab kanker hati secara umum adalah akibat infeksi virus hepatitis B dan C, sirosis hati, infeksi parasit, alkohol serta paparan karsinogen seperti aflatoxin. Dimetilbenz (α) antrasene (DMBA) merupakan salah satu karsinogen yang mengalami aktivasi di hati dengan proses oksidasi sehingga membentuk karsinogen aktif yang dapat bereaksi dengan DNA [1].

Hati merupakan organ penting dalam proses metabolisme, detoksifikasi, maupun inaktivasi obat atau senyawa beracun lainnya, seperti radikal bebas. Sel hati memiliki keterbatasan dalam

mendetoksifikasi bahan toksik yang masuk dalam tubuh, sehingga tidak semua bahan yang masuk dapat didetoksifikasi dengan sempurna. Tetapi, ditimbun dalam darah [2].

Enzim dalam tubuh dapat digunakan sebagai marker (penanda) dari kerusakan suatu jaringan atau organ, enzim yang sering digunakan dari kelas transaminase adalah Glutamat Piruvat Transaminase (GPT) dan Glutamat Oksaloasetat Transaminase (GOT). Apabila enzim GPT pada hati dalam kadar yang tinggi, maka kadar enzim SGPT pada serum akan tinggi pula. Indikator yang representatif untuk mendeteksi kerusakan jaringan hati adalah SGPT dan SGOT [3].

Untuk mencegah terjadinya efek buruk dari radikal bebas, maka penggunaan antioksidan alami sudah mulai digunakan. Salah satu tumbuhan yang bisa digunakan adalah Tumbuhan Sirsak. Tumbuhan sirsak mempunyai kandungan senyawa kimia antara lain adalah senyawa tanin, alkaloid dan flavonoid yang ditemukan di bagian akar, daun, buah dan bijinya. Alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, steroid dan acetogenins [4]. Familia Annonaceae memiliki potensi sitotoksik. Senyawa sitotoksik adalah senyawa yang dapat bersifat toksik untuk menghambat dan menghentikan pertumbuhan sel kanker [5]. Ekstrak etanol daun sirsak *Annona muricata* L. dengan dosis 200 mg/kgBB yang diberikan secara oral selama 8 minggu berpotensi menghambat karsinogenesis pada tikus yang diinduksi karsinogen DMBA [6].

Meskipun tumbuhan sirsak mempunyai potensi sebagai obat, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui dosis optimal yang dibutuhkan sehingga tidak menimbulkan efek samping yang merugikan.

Materi dan Metode

Penelitian ini digunakan 24 ekor mencit betina (*Mus musculus*) yang dibagi menjadi 6 kelompok perlakuan, setiap kelompok perlakuan terdiri dari 4 ekor mencit betina (*M. musculus*) sebagai ulangan. Kelompok perlakuan 1 adalah mencit yang diinduksi DMBA 0.1 ml 2 kali dalam seminggu selama 6 minggu dan diberi ekstrak daun sirsak dengan dosis 100 mg/kgBB. Kelompok perlakuan 2 adalah mencit yang diinduksi DMBA 0.1 ml 2 kali dalam seminggu selama 6 minggu dan diberi ekstrak daun sirsak dengan dosis 150 mg/kgBB. Kelompok perlakuan 3 adalah mencit yang diinduksi DMBA 0.1 ml 2 kali dalam seminggu selama 6 minggu dan diberi ekstrak daun sirsak dengan dosis 200 mg/kgBB. Kelompok perlakuan 4 adalah mencit yang diinduksi DMBA 0.1 ml 2 kali dalam seminggu selama 6 minggu dan diberi ekstrak daun sirsak dengan dosis 250 mg/kgBB. Ekstrak tersebut diberikan pada minggu ke-3 hingga minggu ke-10 setiap hari sebanyak 0.5 ml

Pengambilan Serum

Pengambilan serum dilakukan melalui jantung (intra cardial) dengan alat suntik sebanyak ± 1 ml. Darah yang telah diambil dimasukkan dalam tabung tube yang bersih dan kering, kemudian disentrifuge dengan kecepatan 3000 rpm selama 10 menit. Serum yang terpisah diambil dan dimasukkan dalam tabung lainnya yang bersih dan kering dan ditutup. Jika serum tidak langsung diperiksa, maka harus disimpan pada lemari es suhu 2°C -8°C selama maksimal 4 hari, karena jika lebih dari 4 hari akan mengalami degradasi aktivitas sebesar 10%.

Pengukuran Kadar Serum SGPT dan SGOT

Pengukuran aktivitas SGPT dan SGOT dilakukan pada masing-masing kelompok perlakuan setelah pemberian ekstrak daun sirsak selama 7 minggu. Pembuatan Larutan Pereaksi dengan melarutkan tablet reagen SGPT dalam larutan buffer dengan perbandingan 1:10. Pengukuran Aktivitas Enzim SGPT dilakukan dengan mengambil serum sebanyak 50 µl dan ditambahkan 500 µl larutan pereaksi kemudian dihomogenkan dan tunggu selama 1 menit sebelum diukur. Setelah 1

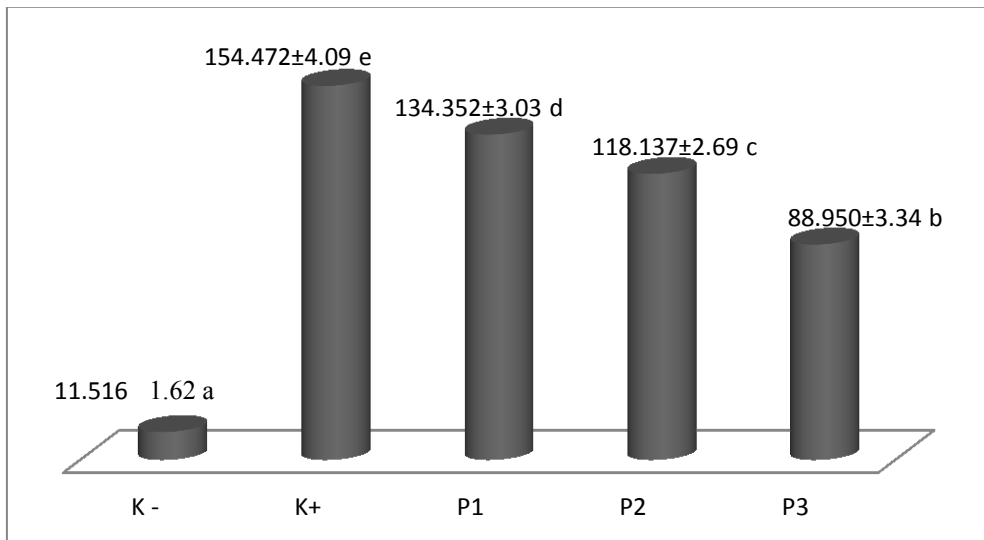
menit, diukur absorbansinya dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 340nm, dan dicatat penurunan absorbansinya setiap menitnya selama 3 menit.

Analisis Data

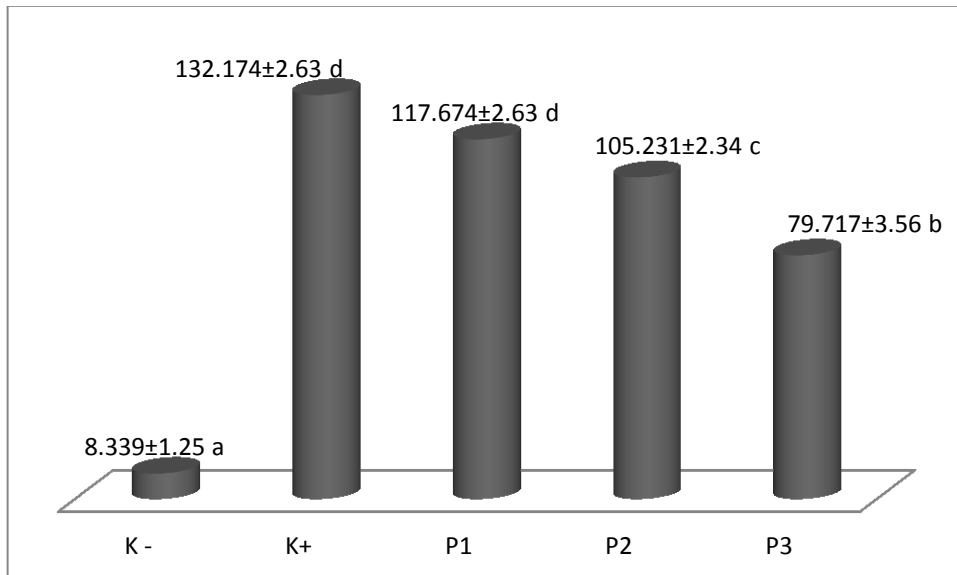
Data yang diperoleh akan dianalisis terlebih dahulu, yaitu uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov (K-S) dan uji homogenitas Levene. Apabila data sudah homogen dan terdistribusi normal maka dilanjutkan dengan uji ANOVA (*Analysis Of varianse*) yaitu uji ANOVA satu arah. Jika hasil uji ANOVA menunjukkan ada pengaruh, maka dilanjutkan dengan uji lanjut BNT dengan signifikansi $\alpha = 1\%$.

Hasil dan Diskusi

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui kadar SGPT pada (K+) yaitu $154,472 \pm 4,09$ U/L yang menunjukkan kadar tertinggi dari semua perlakuan. Kadar SGOT pada (K+) adalah $132,174 \pm 2,63$ U/L yang menunjukkan kadar tertinggi dari semua perlakuan. Sedangkan kadar normal SGPT mencit adalah 2,1-23,8 U/L dan kadar normal SGOT mencit adalah 23,2-48,4 U/L. Menunjukkan adanya kenaikan kadar enzim SGPT maupun SGOT yang sangat signifikan dibanding perlakuan lainnya maupun mencit normal (Gamb. 1 dan 2).



Gambar 1. Pemberian ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L) terhadap kadar enzim SGPT



Gambar 2. Pemberian ekstrak daun sirsak (*Annona muricata* L) terhadap kadar enzim SGOT

Zat toksik dari DMBA mampu menginduksi terjadinya *Reactive Oxygen Species* (ROS) sehingga menyebabkan peroksidasi lemak, kerusakan DNA, dan hilangnya sel yang memiliki sistem antioksidan [7]. Hal ini menjadi pemicu munculnya radikal bebas berupa lipid peroksida [3]. Jika permeabilitas membran sel terganggu maka terjadilah influks kalsium. Peningkatan influks kalsium memicu pengaktifan sejumlah enzim perusak seperti protease yang dapat merusak DNA, ketika DNA rusak poliribosom meningkat dan terjadi pengosongan NAD yang mengakibatkan sintesis ATP terhambat. Penghambatan pembentukan ATP menyebabkan kerusakan pada sel hati atau nekrosis, yang ditandai tingginya kadar glutamat piruvat transaminase dalam serum akibat lisosom dalam membran plasma lisis

Ketika membran plasma rusak akibat senyawa toksik atau radikal bebas, berbagai enzim yang berada di sitosol akan masuk ke peredaran darah diakibatkan adanya perbedaan permeabilitas membran sel sehingga kadar enzim aminotransferase dalam darah meningkat [8].

Kerusakan sel hati akibat senyawa radikal bebas dapat diatasi dengan senyawa antioksidan. Akan tetapi senyawa antioksidan yang ada di dalam tubuh tidak cukup digunakan dalam mengatasi oksidan yang berlebihan dalam tubuh. Oleh karena itu, tubuh memerlukan suatu senyawa antioksidan yang berasal dari luar tubuh (antioksidan eksogen) untuk mengurangi adanya oksidan yang berlebihan dalam tubuh. Pada penelitian ini, tumbuhan yang digunakan adalah daun sirsak yang mengandung alkaloid, flavonoid, tanin, saponin, steroid dan acetogenins [4].

Kandungan flavanoid ekstrak daun sirsak bersifat antioksidan, dapat menghambat kerusakan sel hati (sel hepatosit) dengan cara mengikat radikal bebas. Senyawa flavonoid dapat menghambat banyak reaksi oksidasi. Flavonoid bertindak sebagai penampung yang baik bagi radikal hidroksi dan superoksida serta melindungi membran lipid terhadap reaksi yang merusak. Aktivitas antioksidannya dapat digunakan secara tradisional untuk mengobati gangguan fungsi hati [9]. Dengan demikian jika sel-sel hati telah mampu meregenerasi diri kembali, maka kadar enzim GPT maupun GOT dapat dipertahankan untuk tetap berada pada keadaan normal sehingga tidak menyebabkan tingginya kadar SGPT dan SGOT.

Aktivitas karsinogenik dari DMBA terjadi melalui aktivasi metabolisme (biotransformasi) untuk menghasilkan karsinogenesis. Selain zat toksik dari DMBA, *Annonaceous acetogenins* merupakan senyawa dalam familia Annonaceae yang memiliki potensi sitotoksik [4]. Selain itu, saponin pada daun sirsak juga memiliki efek sitotoksik melawan pertumbuhan sel tumor [6]. Pada dosis yang tinggi, efek sitotoksi juga dapat merusak sel. Efek sitotoksik dari sitotoksin dapat menyebabkan terjadi perubahan permeabilitas membran sel atau kerusakan integritas membran sel. Kerusakan pada membran sel dapat menyebabkan sel menjadi non viabel, dan selanjutnya dapat menyebabkan kematian sel.

Berdasarkan salah satu ciri sel kanker yang tidak sensitif terhadap sinyal antiproliferasi, Pengobatan penyakit kanker dengan obat-obat sitotostik konvensional umumnya menggunakan dosis besar. Peningkatan dosis obat sitotoksik menimbulkan masalah karena semakin banyak sel normal yang terserang dan mati. Selain itu, peningkatan dosis dapat menyebabkan sel kanker cepat menjadi resisten terhadap obat [10].

Kesimpulan

Ekstrak etanol daun sirsak (*Annona Muricata* L.) mampu menurunkan kadar enzim transaminase (SGPT dan SGOT) pada mencit yang diinduksi dengan Dimetilbenz (α) Antrasen (DMBA) secara In Vivo. Dosis yang efektif untuk menurunkan kadar enzim transaminase (SGPT dan SGOT) adalah P3 yaitu 200 mg/kgBB.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan bantuan finansial dan fasilitas kepada penulis sehingga penelitian bisa terselesaikan .

Referensi

- [1] Hayat, MA, 2005, "Handbook of immunohistochemistry and in situ hybridization of human carcinomas".Molecular Genetis, Liver Carcinomas, and Pancratic Carcinomas. Elsevier Academic Press. 2005. P. 130-140.
- [2] Nyblom, H., Berggren, U., Balldin, J., Olsson, R. High AST/ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking. Alcohol Alcohol. 2004. **39** (4): 336–339. doi: [10.1093/alcalc/agh074](https://doi.org/10.1093/alcalc/agh074). PMID [15208167](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15208167/).
- [3] Lee, M. 2009. Basic Skills in Interpreting Laboratory Data. ASHP. pp. 259–. ISBN [978-1-58528-180-0](https://www.amazon.com/Basic-Skills-Interpreting-Laboratory-Data/dp/0781785281). Retrieved 5 August 2011.
- [4] Hamizah,S., A.Roslida, O.Fezah, KL. Tan, YS. Tor and Cl. Tan. Chemopreventive Potential of Annona Muricata L. Leaves on Chemically Induced Skin Papillomagenesis in Mice. Asian Pasific Journal of Cancer Prevention. 2012. Vol. 13. P.2533-2540
- [5] Shyng, SFY., Hsueh,LC., Hsiao, WC, Yao,TY, Ying, HK, Kuei, HL, Yang, CW., Jinu., HS. 2003.Annonacin, a mono-tetrahydrofuran acetogenin, arrests cancer cells at the G1 phase and causes cytotoxicity in a Bax- and caspase-3-related pathway. Life Sciences. Vol. **72**, Issue **25**, P. 2853–286,
- [6] Retnani, V. Pengaruh Suplementasi Ekstrak Daun *Annona muricata* Terhadap Kejadian Displasia Epitel Kelenjar Payudara TikusSprague Dawley yang Diinduksi 7,12 Dimethylbenz(α)Antracene. *Artikel Karya Tulis Ilmiah*. Program Pendidikan Sarjana Kedokteran. Semarang.Indonesia. 2011.
- [7] Paliwal R, Sharma V, Pracheta, Sharma SH. Hepatoprotective and Antioxidant Potential of *Moringa oleifera* Pods against DMBA Induced Hepatocarcinogenesis in Male Mice. *International Journal Of Drug Development & Research* . April-June, 2011. Vol. 3. Issue 2. ISSN 0975-9344
- [8] Ahmed, M.B., Nabil, A.S., Hasona and Hanan, A.H. 2008. Selemin, Protectif Effect Of Ekstrak Dates (*Phoenix Dactylifera L*) And Ascorbit Acid on Thioacetamide Induced Hepatotoxicity In Rats. *Iranian journal of pharmaceutical research*. 7:193-201.
- [9] Stephen, O A. and John, A Q.Protective Effects of *Annona Muricata* Linn. (Annonaceae) Leaf Aqueous Extract on Serum Lipid Profiles and Oxidative Stress in Hepatocytes of Streptozotocin-Treated Diabetic Rats. Afr J Tradit Complement Altern Med. 2009; 6(1): 30–41. Published online 2008 Oct 25. PMID: [PMC2816529](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2816529/)

Analisis Kualitas Tepung Sukun Hasil Fermentasi Dan Aplikasinya Sebagai Mie Basah

Anna Muawanah¹, Intan Mauli Iwari¹, Sandra Hermanto¹

¹Prodi Kimia, FST Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta
Jl. Ir. H. Djuanda 95 Ciputat 15412 Indonesia
annakimia@uinjkt.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang analisis tepung sukun hasil fermentasi dan aplikasinya sebagai produk mie basah. Mikroba yang digunakan selama fermentasi sukun adalah *Saccharomyces cereviceae*, *Rizhopus orizeae* dan campurannya selama 24 jam. Sukun hasil fermentasi dibuat tepung selanjutnya dianalisa kadar gula pereduksi, kadar total fenolik dan gula totalnya. Mie basah dibuat dari tepung sukun untuk dianalisa secara organoleptik dan kualitas tepung berdasarkan SNI tepung terigu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selama fermentasi dengan menggunakan kedua jenis ragi dan campurannya mampu mendegradasi karbohidrat dan menurunkan kadar fenolik pada sukun. Tepung sukun yang menghasilkan mie paling disukai adalah tepung yang difermentasi dengan *R.orizeae* dimana penilaian panelis agak suka Tepung sukun yang difermentasi dengan *R.orizeae* memiliki kualitas sesuai dengan SNI tepung terigu pada parameter kadar air, kadar protein dan kadar cemaran mikroba. Sedangkan untuk kadar abu dan cemaran logam belum memenuhi standar.

Kata kunci: tepung sukun, mie basah, gula pereduksi, kadar fenolik

Pendahuluan

Besarnya kebutuhan gandum dalam negeri seiring dengan tingginya permintaan tepung terigu, dikarenakan terjadi peningkatan konsumsi tepung terigu orang Indonesia dari 9.00 kg per kapita pada tahun 1990 menjadi 19,72 kg per kapita hingga akhir 2012 lalu. Hal inilah yang membuat industri makanan sebagai pengguna tepung terigu terbanyak mengalami pertumbuhan bisnis yang pesat. Permintaan tertinggi berasal dari industri mie instan disusul industri biskuit, industri bakery dan rumah tangga [1].

Usaha untuk dapat mengurangi *import* gandum adalah memanfaatkan komoditas tanaman asli Indonesia yang berbasis tepung. Salah satu komoditas tersebut adalah buah sukun. Buah sukun (*Artocapus communis*) merupakan bahan makanan nabati yang banyak mengandung gizi yang baik bagi tubuh. Memiliki kadar karbohidrat yang cukup tinggi (28,2%) dan kadar air yang rendah (61,8%), buah sukun sangat berpeluang untuk diolah menjadi tepung [2]. Selain menekan impor terigu, pembuatan tepung sukun juga dapat meningkatkan daya guna sukun dan nilai ekonominya [3]. Produk tepung sukun mampu memperpanjang masa simpan bahan sukun dibandingkan dengan buah segarnya [4].

Tepung sukun yang telah banyak diproduksi sebenarnya masih memiliki kekurangan, yaitu memiliki rasa dan aroma yang khas dari sukun. Rasa dan aroma tersebut kurang disukai oleh konsumen. Maka dari itu perlu dilakukan upaya untuk meningkatkan cita rasa tepung sukun. Usaha

yang dapat dilakukan adalah dengan mereduksi bahkan menghilangkan komponen-komponen penyebab rendahnya palatabilitas atau flavor (rasa dan aroma) yang tidak diinginkan konsumen [5] [6]. Selain itu, tepung sukun juga memiliki kekurangan dalam segi warna yang dihasilkan. Warna dari tepung sukun tersebut tidaklah putih seperti tepung lain.

Fermentasi menggunakan khamir dan kapang merupakan salah satu upaya modifikasi dalam proses pembuatan tepung sukun, diharapkan akan meningkatkan karakteristik tepung sukun. Fermentasi karbohidrat telah dilakukan dengan menggunakan mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oryzae*, *Endomycopsis burtonii*, *Mucor sp.*, *Candida utilis*, *Saccharomycopsis fibuligera*, *Pediococcus*, sp. [7]. Pada penelitian ini akan digunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae*, kapang *Rhizopus oryzae* dan campurannya sebagai mikroorganisme dalam fermentasi. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kualitas tepung sukun hasil fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus oryzae* dan campurannya dan mengetahui kualitas aroma, rasa, dan tekstur mie basah yang dibuat dari tepung sukun hasil fermentasi.

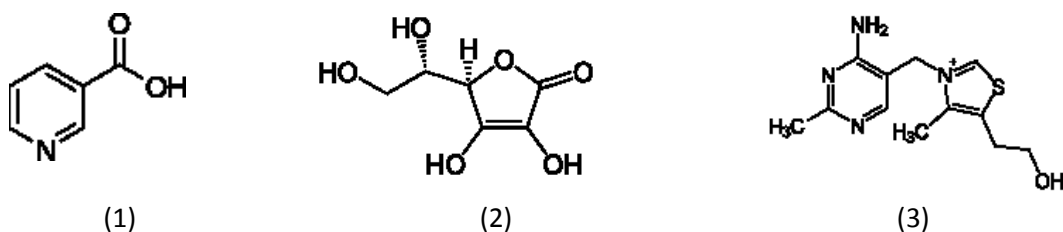
Teori dan eksperimen

Sukun (*Artocarpus communis*) merupakan satu di antara tanaman hutan non kayu yang dimanfaatkan kayunya bila sudah sesuai umurnya. Tanaman ini memiliki manfaat dalam memenuhi kebutuhan pangan karena kandungan gizinya yang tinggi sehingga dapat menjamin ketahanan pangan masyarakat [8].



Gambar 1. Tanaman Sukun [9]

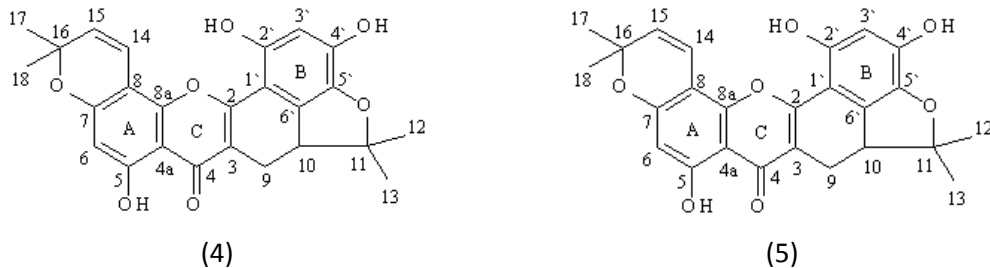
Buah sukun mengandung niasin, vitamin C, riboflavin, karbohidrat, kalium, thiamin, natrium, kalsium, dan besi. Kandungan karbohidrat dalam 100 g sukun adalah 27,12 g, kalsium 12 mg, vitamin C 29 mg, kalium 490 mg dan nilai energi 103 kalori. Dibandingkan dengan beras, sukun lebih lengkap kandungan mineral dan vitaminnya, tetapi nilai kalorinya rendah, sehingga dapat digunakan untuk makanan diet [10].



Gambar 2. Struktur molekul niacin (1), Vitamin C (2) dan Thiamin (3)

Pada kulit kayunya ditemukan senyawa turunan flavanoid yang terprenilasi, yaitu artonol B dan sikloartobilosanton. Kedua senyawa tersebut telah diisolasi dan diuji bioaktivitas antibiotiknya pada cdc2 kinase dan cdc25 kinase [11]. Flavanoid adalah senyawa polifenol yang secara umum mempunyai struktur fenilbenzopiron (C6-C3-C6). Flavanoid dan derivatnya terbukti memiliki aktivitas biologi yang cukup tinggi sebagai cancer prevention (pencegah kanker). Kandungan komponen

tersebut diduga dapat menyebabkan kualitas tepung sukun memiliki warna dan aroma yang berbeda dengan tepung terigu sehingga kurang disukai oleh panelis organoleptik. Telah terjadi rekasi pencoklatan enzimatis. Enzim polifenol oksidase diklasifikasikan sebagai oksidoreduktase dengan oksigen yang berfungsi sebagai akseptor hidrogen. Reaksi pencoklatan tersebut akan membentuk senyawa melanoidin berwarna coklat yang tidak dikehendaki dalam pengolahan produk pangan karena akan menurunkan mutu [12].



Gambar 3. Struktur molekul Artonol B (4) dan sikloartobilosanton (5) dalam Makmur [11].

Menurut penelitian tentang MOCAF (*modified cassava Flour*) karakteristik tepung singkong dapat ditingkatkan dengan cara fermentasi dengan menggunakan khamir [13]. Pada penelitian ini fermentasi dilakukan dengan menggunakan *Sacharomyces cerevisiae*, *Rhizopus orizeae* dan campurannya. Selama fermentasi diamati kandungan gula pereduksi, gula total dan kandungan fenolik. Setelah fermentasi dan dihasilkan tepung maka dilakukan proses pembuatan mie basah yang dilanjutkan dengan uji organoleptik. Kualita tepung yang mampu menghasilkan mie basah paling baik (disukai penulis organoleptik) akan dianalisis dan dibandingkan dengan SNI tepung terigu (SNI 3751-2009).

Fermentasi Sukun

Buah sukun yang telah cukup matang dikupas kemudian diambil daging buahnya, dicuci dan dipotong kecil-kecil. Kemudian daging buah sukun tersebut dikukus untuk menghilangkan aktivitas enzim Polifenol Oksidase yang dapat menimbulkan *browning* pada sukun selama 20 menit. Setelah dingin daging buah sukun tersebut ditambahkan *Saccharomyces cerevisiae* dan *Rhizopus oryzae* dan campurannya dan dinkubasi pada suhu ruang selama 24 jam. Sampel sukun diambil setiap 6 jam. Sukun ditiriskan dan dikeringkan dalam pengering kabinet, kemudian digiling dan diayak sehingga dihasilkan tepung yang homogen.

Pengamatan yang dilakukan selama fermentasi adalah mengukur kandungan gula pereduksi dengan metode Somogy Nelson, kandungan Gula total dengan metode Anthrone dan Kandungan total Fenolik dengan metode Folin-ciocalteou [14]. Selain tepung hasil fermentasi dilakukan juga pengujian terhadap tepung sukun non fermentasi sebagai kontrol. Perubahan struktur gula (gula pereduksi) sebagai indikator terjadinya proses degradasi terhadap bahan sukun oleh mikroorganisme. Sedangkan untuk kandungan fenolik yang tersisa pada sukun akan menentukan sifat warna dan aroma tepung sukun yang dihasilkan.

Pembuatan Mie Basah

Tepung sukun hasil fermentasi yang terdiri dari 3 macam perlakuan dan tepung sukun non fermentasi, masing-masing dimasukkan ke dalam wadah dan ditambahkan tepung terigu dengan perbandingan 3 : 7. Kemudian diaduk hingga merata dan ditambahkan 1 butir telur ayam dan

kembali diaduk. Setelah itu ditambahkan garam, soda kue, dan penyedap rasa secukupnya. Ditambahkan air secukupnya sambil tetap diaduk hingga adonan menjadi kalis. Kemudian adonan digiling menggunakan penggilingan mie. Setelah itu adonan didiamkan selama 3 jam kemudian direbus hingga matang.

Pengamatan dilakukan dengan pengujian organoleptik dengan menggunakan 20 panelis. Sampel disiapkan dengan cara merebus mie selama 4 menit, kemudian ditiriskan selama 2 menit. Selanjutnya diambil 6 untai mie dengan panjang yang sama dan diletakkan diatas piring kertas yang sebelumnya telah diberi kode yang berbeda berdasarkan jenis mie basah dan formulasinya. Para panelis akan diberi lembar uji dengan skala penilaian yang telah ditentukan untuk merekam hasil pengamatan para panelis [15]. Informasi yang terdapat pada skala penilaian adalah 5 = Sangat Suka, 4 = Suka, 3 = Agak Suka, 2 = Tidak Suka dan 1 = Sangat Tidak Suka.

Analisis Kualitas Tepung (SNI 3751-2009)

Tepung sukun terbaik berdasarkan pengamatan organoleptik dianalisis kandungan berbagai komponen makro pangan dan sekaligus uji cemaran logam (Spektrofotometri Serapan Atom) dan cemaran mikrobanya (*Total Plate Count*). Komponen tersebut adalah kadar air dan kadar abu dengan metode termogravimetri. Kandungan karbohidrat (*by Different*), lemak [16], protein [16]. Selain sampel tepung terbaik hasil fermentasi juga dilakukan uji tepung sukun non fermentasi sebagai pembandingan. Hasil analisa akan dibahas terhadap standar tepung yaitu SNI [17].

Hasil dan Diskusi

Pada saat sukun difermentasi dengan kapang *Saccharomyces cerevisiae* dan *Rhizopus oryzae* akan terjadi penguraian karbohidrat menjadi produk hidrolisisnya yaitu berupa monosakarida dan polimer karbohidrat yang lebih sederhana dari pada karbohidrat yang belum difermentasi. Semua jenis ragi mampu menunjukkan adanya aktivitas dalam fermentasi (tabel 1). Hal ini dibuktikan dengan kadar gula pereduksi yang semakin meningkat. Misalnya pada fermentasi dengan ragi campuran mula-mula gula pereduksinya adalah 0.6299 % menjadi 2,8796 % pada jam ke 24. Tepung sukun yang dihasilkan pada waktu fermentasi jam ke 24 dan yang menggunakan ragi campuran ternyata menghasilkan kadar gula pereduksi yang tertinggi.

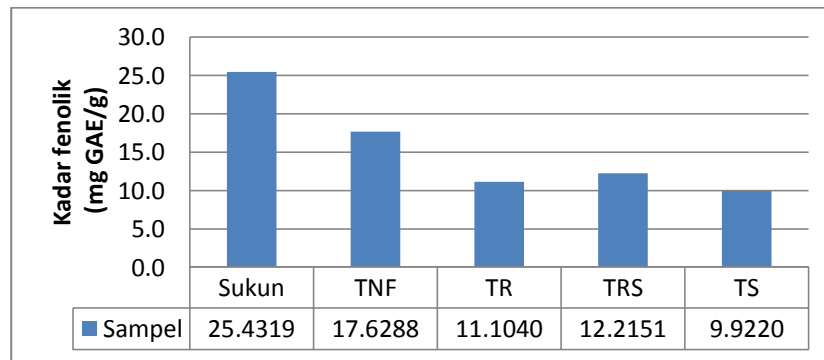
Tabel 1. Kadar gula pereduksi (% b/b) pada tiga jenis fermentasi sukun dengan kapang *R. Orizeae* S. Cereviceae dan campurannya.

Waktu Fermentasi (jam)	Kadar Gula pereduksi (%)		
	R. Orizeae	R.orizeae + S. Cereviceae	S.Cereviceae
0	0,7846	0,6299	1,3531
5	0,7271	1,1337	1,3105
10	0,8195	0,7778	1,0047
15	0,7664	0,6731	0,8578
20	0,3974	0,6325	0,9479
24	1,5647	2,8796	1,7709

Parameter waktu fermentasi ternyata berpengaruh terhadap kadar gula pereduksinya, dimana semakin lama waktu fermentasi maka semakin meningkat kadar gula pereduksinya. Akan tetapi pola kenaikan kadar gula pereduksi terlihat fluktuatif hal ini disebabkan oleh proses metabolisme kapang

yang menggunakan gula sederhana untuk masa pertumbuhannya. Jenis ragi mampu menghasilkan kadar gula pereduksi yang berbeda-beda. Kadar gula pereduksi tertinggi diperoleh pada tepung sukun yang difermentasi dengan ragi campuran, sedangkan paling kecil pada ragi *R.orizeae*. Hal ini disebabkan terjadi persaingan antar ke dua ragi dalam memfermentasi sukun. Seperti halnya fermentasi yang menggunakan konsorsium mikroorganisme maka kemampuan reaksi dalam fermentasi akan lebih besar karena pada dua jenis ragi maka enzim-enzim yang bekerja akan semakin lengkap.

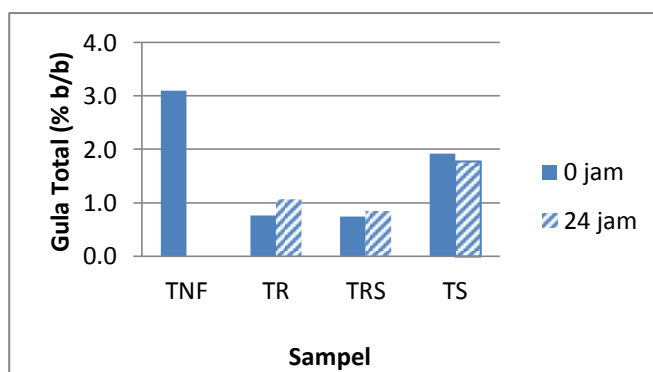
Pengujian kadar fenolik dilakukan untuk mengetahui pengaruh fermentasi terhadap penguraian senyawa kimia yang berperan dalam karakter sukun selain karbohidrat. Karakter yang dimaksud adalah aroma sukun dan warna sukun. Warna tepung sukun yang cenderung tidak seputih tepung terigu disebabkan adanya senyawa kimia yang mudah teroksidasi terutama fenolik. Data kadar fenolik yang tersisa pada tepung sukun ternyata terdapat perubahan jika dibandingkan dengan tepung sukun yang tidak difermentasi (gambar 4).



Gambar 4. Hasil kadar total fenolik pada tepung sukun hasil fermentasi.

Kadar fenolik pada tepung sukun yang difermentasi dengan *R.Orizeae* (TR) adalah sebesar 11.10 % (mg GAE/g), yang merupakan hasil terendah dibandingkan dengan fermentasi dengan ragi lainnya bahkan dengan buah sukun. Hasil ini menunjukkan bahwa fermentasi mampu menurunkan kadar fenolik pada sukun sehingga dapat membantu meningkatkan karakter tepung sukun yang kurang baik jika dibandingkan dengan tepung terigu. Karakter warna tepung sukun yang kurang putih disebabkan oleh produk reaksi pencoklatan enzimatis. Senyawa fenolik pada sukun akan dioksidasi oleh enzim fenoloksidase dan adanya oksigen, sehingga menghasilkan senyawa quinon yang berwarna coklat [18].

Gula total atau yang disebut juga dengan total karbohidrat menurut [19] merupakan jumlah dari keseluruhan gula sederhana, oligosakarida, polisakarida, dan turunannya. Analisa gula total yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah total karbohidrat dalam tepung sukun hasil fermentasi. Sampel yang diuji hanya pada awal (0 jam) dan akhir fermentasi 24 jam, karena ditujukan untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada sebelum dan sesudah fermentasi. Data hasil konsentrasi kadar total gula disajikan pada gambar 5.



Gambar 5. Data kadar gula total pada tepung sukun nonfermentasi dan tepung sukun hasil fermentasi.

Kandungan total gula tertinggi dihasilkan dari tepung sukun hasil fermentasi selama 24 jam yang menggunakan jenis ragi *S. cereviceae*. Kandungan gula total pada tepung sukun non fermentasi lebih tinggi dibandingkan dengan pada tepung sukun yang difermentasi. Kadar gula total tepung hasil fermentasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tepung sukun non fermentasi disebabkan ada sebagian gula yang terlarut dalam media fermentasi. Gula tersebut tidak teranalisa di bagian tepungnya. Hal ini dikarenakan sifat dari gula sederhana adalah larut dalam pelarut air. Semakin rendah derajat polimerisasi dari suatu sakarida maka kelarutannya akan semakin tinggi.

Tepung sukun hasil fermentasi ketiga perlakuan dan satu jenis tepung sukun non fermentasi ternyata dapat diaplikasikan menjadi produk mie basah sebagai substitusi tepung terigu. Hasil pengamatan oleh panelis organoleptik memberikan hasil bahwa mie basah yang tingkat kesukaan tertinggi adalah mie basah (MR) yang terbuat dari tepung sukun *Rhizopus orizeae*. Namun demikian hasil ini masih lebih rendah dibandingkan mie basah terigu (MK) sebagai kontrol (tabel 2). Perbedaan tekstur mie sukun diakibatkan oleh kandungan gluten yang terdapat pada terigu tidak ditemukan pada tepung sukun. Interaksi antara protein tepung (gluten) dan air, yang juga merupakan komponen penting dalam adonan, merupakan faktor kritis dalam tahap pencampuran. Kapasitas penyerapan air dari tepung gandum berkisar antara 812.25 sampai 3.15 ml/g [20]. Hidrasi seluruh komponen tepung, terutama protein dan pati, merupakan syarat awal terbentuknya adonan yang baik.

Tabel 2. Hasil uji organoleptik mie sukun hasil fermentasi.

Sampel	Tekstur	Warna	Aroma	Rasa	Penerimaan keseluruhan
MR	2,95	3,50	3,10	3,15	3,10
MK	4,1	4.05	3,90	4.10	4,15
MS	2,3	2.15	2.8	2,70	2,70
MNF	3,15	3,30	3.00	3,05	3,10
MRS	2,75	3,5	2,60	2,9	2,80

Keterangan: MR = mie tepung sukun fermentasi *Rhizopus orizeae*,

MK = Mie tepung terigu sebagai kontrol

MS = mie tepung sukun *Sacharomyces cereviceae*

MNF= mie tepung sukun yang tidak difermentasi

MRS= mie tepung sukun fermentasi dengan Ragi campuran

Protein gluten pada tepung terigu terutama fraksi gliadannya mempunyai peran penting dalam memperkuat texture adonan mie [21]. Gluten merupakan suatu massa yang kohesif dan dapat meregang secara elastis, sehingga peningkatan gluten akan menyebabkan adonan semakin elastis

dan tidak mudah putus, baik sewaktu pencetakan maupun gelatinisasi. Dexter et al. [22] menambahkan bahwa kekuatan adonan mie berasal dari interaksi ikatan disulfida pada gluten. Pengurangan ikatan disulfida dan ikatan ionik akan menurunkan elastisitas dan kekuatan mie. Jadi, penurunan kadar gluten menyebabkan mie rapuh dan mudah patah. Produk mie disebut memiliki tekstur yang baik apabila dapat memanjang lebih dari 75% dari panjang mula-mula.

Hasil analisis kualitas tepung sukun menunjukkan bahwa sifat fisik tepung sukun memiliki bau yang khas dan warna yang agak keruh. Proses fermentasi mampu membantu meningkatkan warna tepung sukun mejadi leleh cerah, walaupun belum mampu menghasilkan warna tepung sukun yang menyamai tepung terigu (tabel 3). Sifat tersebut akan berperan positif jika tepung sukun ini memang digunakan dalam pembuatan produk khas sukun. Kualitas tepung sukun yang dihasilkan ternyata sesuai dengan mutu SNI terigu terutama pada kandungan air, karbohidrat dan protein serta kualitas cemaran mikroba. Sedangkan beberapa parameter masih belum sesuai dengan SNI tepung terigu yaitu pada kandungan abu dan kandungan logam berat. Akan tetapi kandungan mineral Fe dan Ca ditemukan cukup tinggi pada tepung sukun baik fermentasi maupun non fermentasi. Hal ini merupakan keunggulan dari sukun yang dapat dijadikan sumber asupan mineral. Penelitian serupa ternyata juga menghasilkan kandungan kalsium cukup tinggi sebesar 463,74 mg/kg, kemudian mineral fosfor sebesar 142,4 mg/kg [23].

Tabel 3. Hasil Analisis Proksimat kualitas tepung suku hasil fermentasi

No.	Parameter	Satuan	Tepung Non Fermentasi	Tepung Fermentasi (<i>Rhi. Oryzae</i>)	SNI Tepung Terigu (SNI 3751-2009)
1.	Keadaan :	-			
	a. Bentuk		Serbuk	Serbuk	Serbuk
	b. Bau		Bau sukun	Bau sukun berkurang	Normal (bebas dari bau asing)
	c. Warna		Keruh	Warna keruh berkurang	Putih, khas terigu
2.	Kadar Air	%	10.32	10.90	Maks. 14.5
3.	Kadar Abu	%	3.1503	2.4731	Maks. 0.70
4.	Kadar Lemak	%	0.1210	1.2554	-
5.	Kadar Protein	%	5.5262	5.7487	Maks. 7.0
6.	Kadar Fe	mg/Kg	34.93	26.93	Min. 50
7.	Kadar Ca	mg/Kg	3820	3415	-
8.	Kadar Zn	mg/Kg	9.17	7.19	Min. 30
9.	Cemaran Logam :				
	a. Pb	mg/Kg	6.65	7.63	Maks. 1.0
	b. Cd	mg/Kg	2.26	2.53	Maks. 1.0
10.	Cemaran Mikroba :				
	a. Angka TPC	koloni/g	6.2×10^7	9.4×10^5	Maks. 1×10^6

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pembahasan diatas maka dapat diambil kesimpulan bahwa semua jenis ragi *Saccharomyces cereviceae*, *Ryzopus orizeae* dan campurannya mampu mendegradasi karbohidrat pada sukun ditunjukkan dengan perubahan kadar gula pereduksi, kadar gula total dan kadar fenoliknya. Tepung sukun hasil fermentasi dengan *Ryzhopus rizeae* mampu menghasilkan mie

basah yang paling disukai konsumen dengan hasil penilaian panelis pada tingkat agak suka sampai suka. Kualitas tepung sukun hasil fermentasi dengan *Rhizopus Orizeae* telah memenuhi standar tepung terigu pada parameter kadar air (10,9%), kadar protein (5,7%), kadar cemaran mikroba ($9,4 \times 10^5$ koloni/gram), sedangkan kadar abu dan kadar logam belum sesuai dengan SNI tepung terigu. Tepung sukun hasil fermentasi memiliki kadar kalsium 3415 mg/kg.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian UIN Syarif Hidayatullah Jakarta atas dana penelitian pada tahun anggaran 2014.

Referensi

- [1] CDMI (Creative Data Make Investigation & Research). 2013. Studi Prospek dan Peluang Pasar Tepung Terigu (Gandum) di Indonesia, 2013-2017. Cetakan pertama, PT Central Data Mediatama Indonesia. Jakarta.
- [2] Widowati, S. dan D.S. Damardjati. 2001. Menggali Sumberdaya Pangan Lokal dan Peran Teknologi Pangan Dalam Rangka Ketahanan Pangan Nasional. Majalah Pangan No.36/X/Januari 2001. Jakarta: Puslitbang Bulog.
- [3] Hartanti, Feny Dwi., Amanto, Bambang Sigit., dan A. M, Dimas Rahadian. 2013. Kajian Karakteristik Fisikokimia Tepung Sukun (*Artocarpus communis*) Termodifikasi Dengan Variasi Konsentrasi dan Lama Perendaman Asam.
- [4] Buckle, K.A., R.A. Edwards, G.H. Fleet, dan M. Wootton. 2009. Ilmu Pangan. Terjemahan. UI Press. Jakarta.
- [5] Widowati, S. 2003. *Prospek Sukun (Artocarpus communis) Sebagai Pangan Sumber Karbohidrat Dalam Mendukung Diversifikasi Konsumsi Pangan*. Majalah Pangan.
- [6] Widowati, Sri., Santosa, B.A.S., Sunarlim, Roswita., Hernani., Suismono., Rachmat, Ridwan., Mulyawanti, Ira., Febriyezi., dan Herawati, Heti. 2010. Model Penerapan Teknologi Produksi 1 Ton Tepung Sukun Bermutu Premium Dengan Efisiensi Biaya Produksi 50% dan Pengembangan 5 Macam Produk Olahannya (*Snack Food*) Di Kabupaten Cilacap. 2010. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- [7] Santosa, Agus dan Prakosa, Cucut. 2010. Karakteristik Tape Buah Sukun Hasil Fermentasi Penggunaan Konsentrasi Ragi yang Berbeda. Dosen Jurusan Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Unwidha Klaten. Magistra No. 73 Th. XXII September 2010.
- [8] Siregar, A.S. 2009. Inventarisasi Tanaman Sukun (*Artocarpus cummunis*) pada Berbagai Ketinggian di Sumatera Utara. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- [9] T. O, Akanbi., S, Nazamid., A. A, Adebowale., A, Farooq., and A. O, Oloaye. 2011. Breadfruit Starch-Wheat Flour Noodles : Preparation, Proximate Compositions and Culinary Properties. Universiti Putra Malaysia, Malaysia., University of Agriculture, Nigeria., and University of Nottingham, United Kingdom. International Food Research Journal 18: 1283-1287.
- [10] Suyanti, S. Widowati, Suismono. 2003. Teknologi Pengolahan Tepung Sukun dan Pemanfaatannya Untuk Berbagai Produk Makanan Olahan. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Vol. 25 No. Hal 12-13.
- [11] Makmur, L. 1999. Artonol B dan Sikloartobilosanton dari Tumbuhan *Artocarpus Tesymanii* MIQ. Bandung: Lembaga Penelitian ITB.
- [12] Winarno FG. 2004. Kimia Pangan dan Gizi. Jakarta : PT. Gramedia
- [13] Kurniati Lina Ika, Aida Nur, Gunawan Setiyo, dan Widjaja Tri. 2012. Pembuatan MOCAF (*Modified Cassava Flour*) Dengan Proses Fermentasi Menggunakan *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, dan *Rhizopus oryzae*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-6.

- [14] Heilerova, L., M. Buckova, P. Tarapcik, S. Silhar dan J. Labuda. 2003. Comparison of antioxidant activity data for aqueous extracts of Lemon Blam (*Melissa officinalis* L.), Oregano (*Origanum vulgare* L.), Thyme (*Thymus vulgaris* L.) dan Agrimony (*Agrimonia eupatoria* L.) obtained by conventional method and the DNA-based biosensor. Czech J. Food Sci., 21: 78-84.
- [15] Soekarto, S.T. 1990. Penilaian Organoleptik. Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Pangan Dan Gizi, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- [16] AOAC, 2003. Official Methods of Analysis. 17th ed. (2 revision). AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.
- [17] Badan Standar Nasional. 2009. SNI 3751-2009. Tepung Terigu Sebagai Bahan Makanan. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta
- [18] Eskin, N. A. M., H. M. Henderson and R. J. Townsend, 1971. Browning Reaction in Food. Biochemistry of Foods. Academic Press, New York, San Francisco, London. p: 69-108.
- [19] Apriyantono, A., Fardiaz, D., 1986, Petunjuk Laboratorium Analisis Pangan, PAU Pangan dan Gizi, IPB, Bogor
- [20] Zayas, J.F. 1997. Functionality of Proteins in Food. Springer, Berlin.
- [21] Ruitter, D.D. 1978. Composite Flour. Di dalam: Y. Pomeranz (ed.). Advanced in Cereal Science and Technology II. AACC Inc., St. Paul.
- [22] Dexter, J.E., R.R. Matsuo, K.R. Preston, dan R.H. Kilborn. 1981. Comparison of Gluten Strength, Mixing Properties, Baking Quality and Spaghety Quality of ome Canadian Durum and Common Wheat. Canadian Ins. Food Sci. Tech. J. 14:108.
- [23] Sukandar, D, Anna muawanah, Kiki Amelia, Widad Bassalamah. 2014. Pemanfaatan Buah Sukun (*Artocarpus communis*) Dalam Pembuatan *cookies* untuk anak berkebutuhan khusus. Jurnal Valensi Vol 3 no 3 Mei 2014.

PERANCANGAN SUBSISTEM KOMUNIKASI MENGGUNAKAN CC1000 PADA FREKUENSI 437.33 MHZ UNTUK TEL-USAT

Zulfikar Fajar M. Ramli^{1, a)}, Edwar^{2, b)}, Budi Syihabuddin³, Heroe Wijanto⁴

^{1,3,4} Prodi Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University Bandung

² Magister Teknik Elektro, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung

^{a)} penulis yang berkorespondensi: zulfikar.ramli@outlook.com

^{b)} eduatgugel@gmail.com

Abstrak

Tel-USAT adalah Satelit Nano yang berukuran 1U dengan dimensi 10 x 10 x 10 cm. Dengan ukuran seperti itu, dibutuhkan perancangan subsistem untuk komunikasi dengan ukuran serta konsumsi daya yang kecil agar satelit-Nano tersebut dapat bekerja dengan baik dan efisien. Salah satu fungsi yang ditanamkan di dalam Tel-USAT adalah TTC (Telemetry, Tracking and Command) sebuah subsistem yang berfungsi untuk mengirimkan perintah dari Ground Station serta mengirimkan kondisi terupdate dari Tel-USAT. Pada penelitian ini dibahas bagian dari TTC, yaitu blok komunikasi menggunakan modul transceiver TI CC1000. Modul ini bekerja pada frekuensi 300 – 1000 MHz, yang mana mencakup frekuensi yang akan digunakan pada Tel-USAT yaitu 437.430 MHz dengan skema half-duplex. CC1000 memiliki ukuran 9.8 × 4.5 mm. CC1000 memiliki supply daya yang rendah yaitu 2.1 – 3.6 V. Pada perancangan subsistem komunikasi ini ditambahkan LC filter untuk menapis sinyal pada frekuensi yang tidak diinginkan dan rangkaian decoupling untuk melindungi komponen akibat pengaruh komponen lain di dalam sirkuit. Hasil dari perancangan subsistem ini adalah subsistem komunikasi untuk Tel-USAT dengan menggunakan CC1000 yang dilengkapi dengan rangkaian decoupling dengan menggunakan susunan kapasitor secara paralel dan LC filter.

Kata kunci: subsistem komunikasi, satelit nano, CC1000

Pendahuluan

Satelit nano merupakan platform satelit yang berukuran kecil dengan massa dari 1 – 10 kg. Satelit Nano merupakan salah platform satelit yang dapat ditumpangi misi yang beragam dengan biaya yang jauh lebih murah daripada membangun sebuah satelit geostasioner pada umumnya. Pembuatan nanosatelit ini pun memakan waktu yang relatif lebih cepat [1]. Oleh karena lebih mudah, murah, dan memiliki banyak aplikasi, maka banyak pula pihak yang tertarik untuk mengembangkan teknologi nanosatelit ini, baik dari kalangan profesional hingga ke tingkat mahasiswa.

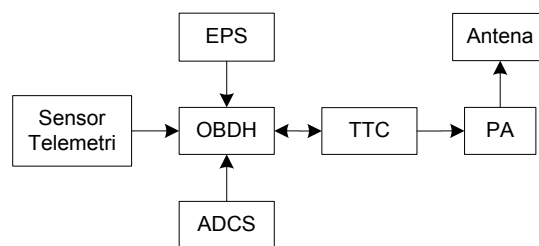
Pada satelit nano terdapat beberapa subsistem yang dirancang untuk menunjang misi yang dibawanya, dimana salah satu subsistem tersebut adalah subsistem komunikasi. Fungsi dari subsistem tersebut adalah untuk telemetry, tracking, dan command. Data yang dikirim oleh subsistem komunikasi ini adalah berupa data-data telemetry seperti data-data dari sensor-sensor untuk memantau kesehatan dari satelit, data posisi untuk tracking. Selain itu subsistem komunikasi akan menerima data perintah dari stasiun bumi untuk satelit agar menjalankan fungsi tertentu.

Dalam desain subsistem komunikasi, perlu diperhatikan adanya kemungkinan gangguan yang dapat membuat subsistem komunikasi tidak berjalan dengan stabil, yang dimana pada penelitian ini gangguan yang ditapis adalah gangguan pada bagian catu daya untuk subsistem komunikasi. Oleh sebab itu, digunakan rangkaian decoupling menggunakan kapasitor untuk mengatasi dan membuat catudaya untuk subsistem komunikasi menjadi lebih stabil.

Teori

Subsistem komunikasi untuk Tel-USAT yang dijelaskan pada makalah ini adalah menggunakan skema half-duplex dengan menggunakan alokasi frekuensi di 437.430 MHz. Alokasi frekuensi tersebut merupakan alokasi frekuensi amatir yang dapat digunakan secara bebas untuk komunikasi satelit yang berlaku di Indonesia.

Secara umum, blok sistem dari sistem komunikasi untuk satelit nano adalah ditunjukkan pada Gambar.1 sebagai berikut



Gambar. 1 Blok Sistem TTC

Blok sistem TTC berfungsi untuk melakukan fungsi telemetri, tracking, dan command [2]. Fungsi telemetri disini merupakan fungsi pengukuran kondisi dari satelit nano secara remote, dimana TTC akan mengirimkan data yang didapat oleh satelit nano terkait kondisi satelit nano seperti suhu, sikap, dan kondisi subsistem-subsistem nanosatelit saat satelit nano berada di atas stasium bumi. Fungsi tracking merupakan fungsi yang digunakan untuk melacak keberadaan satelit nano itu sendiri. Fungsi ini dilakukan dengan cara TTC diatur untuk secara periodik mengirimkan sinyal beacon, sehingga kedatangan satelit nano bisa dilacak oleh stasiun bumi. Selain itu, fungsi tracking juga dibantu oleh perangkat lunak yang dapat mengestimasi orbit dari satelit nano untuk memaksimalkan kemampuan tracking dari satelit nano. Untuk fungsi command merupakan fungsi yang menerjemahkan perintah yang dikirimkan oleh stasiun bumi untuk memerintahkan satelit nano untuk melakukan fungsi atau misi tertentu. Untuk memudahkan dalam implementasinya, command akan dikirim dengan menggunakan protokol AX.25.

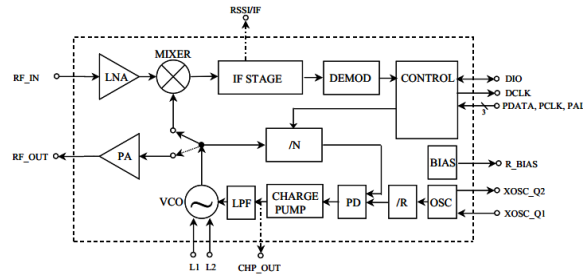
1. CC1000 RF Transceiver

Untuk komponen utama dari subsistem komunikasi, digunakan IC radio transceiver CC1000. CC1000 merupakan single-chip UHF transceiver yang dirancang untuk aplikasi nirkabel. Chip tunggal ini beroperasi pada rentang band frekuensi 315, 433, dan 915 Mhz, tapi dapat pula diatur sesuai penggunaannya pada rentang frekuensi 300 – 1000 Mhz. Untuk pengaplikasiannya CC1000 bisa digunakan sebagai mikrokontroler pada sistem alarm, automasi, telemetry, remote control dan sebagainya. CC1000 memiliki spesifikasi antara lain[3]:

- Konsumsi arus yang rendah
- Rentang frekuensi 300 – 1000 Mhz
- Sensitivitas tinggi (-110 dBm pada 2.4KBaud)
- Daya keluaran pemrograman relatif rendah -20 dBm – 10 dBm

- Suplai tegangan rendah (2.1 V – 3.6 V)
- Rentang data FSK hingga 76.8 Kbaud

CC1000 menggunakan antarmuka 3-wire bus untuk pemrograman dan akses data masuk dan keluar pada sisi basebandnya. Berikut adalah blok sistem dari CC1000



Gambar. 2 Blok Diagram CC1000 [3]

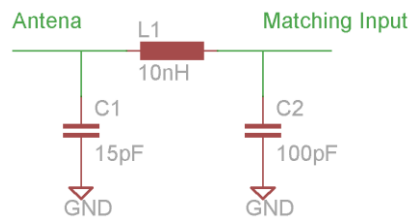
CC1000 merupakan modul yang telah teruji dan sudah digunakan oleh beberapa satelit nano yang sudah pernah diluncurkan, diantaranya adalah CP4 dan CP3 dari California Polytechnic State University [4]. Pada CP3, modul tersebut bertahan dalam waktu yang relatif lama, yaitu, lebih dari sembilan belas bulan [4].

Pada desain TTC untuk satelit nano, selain menggunakan CC1000, sistem juga dilengkapi dengan rangkaian decoupling dan LC filter.

2. LC Filter

LC filter merupakan komponen yang digunakan untuk menyaring frekuensi tertentu dan melewatkan frekuensi yang mengandung sinyal informasi yang diperlukan[5]. LC filter merupakan filter yang terdiri dari komponen induktor dan kapasitor.

Jenis LC filter yang digunakan pada CC1000 merupakan Low Pass Filter (LPF). Gambar Gambar. 3 berikut merupakan rangkaian dari LC Filter



Gambar. 3 LPF LC Filter

3. Rangkaian Decoupling Capacitor

Untuk mencegah gangguan terhadap daya yang masuk ke CC1000, digunakan rangkaian decoupling yang terdiri dari kapasitor yang disusun secara paralel. Rangkaian Decoupling adalah rangkaian yang berfungsi untuk menjaga agar sumber yang masuk ke dalam sistem dapat dibuat lebih stabil terhadap gangguan[6]. Pada rancangan subsistem komunikasi ini, rangkaian decoupling digunakan pada pin VCC dan distribusinya di seluruh pin AVDD, yang mana AVDD digunakan untuk mensuplai beberapa fungsi dalam CC1000 seperti mixer dan penguat internal yang terdapat di dalam chip CC1000.

4. On-board Computer (OBC)

On-Board Computer (OBC) yang digunakan pada penelitian ini berfungsi sebagai pengolah data di level baseband, dimana data yang akan dikirim atau diterima akan diproses terlebih dahulu oleh bagian ini. Tel-USAT menggunakan MBED LPC1768 sebagai OBC dan juga diujicoba dalam BalonSat. MBED LPC1768 merupakan mikrokontroler berbasis ARM Cortex M3.



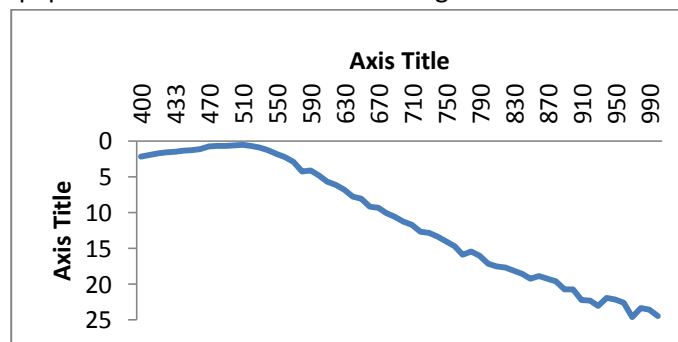
Gambar 3 MBED LPC1768

Berikut adalah spesifikasi singkat dari MBED LPC1768 adalah sebagai berikut[7]

- Menggunakan prosesor 32-bit ARM Cortex-M3 96MHz.
- Memiliki kapasitas memori 512KB FLASH, 32KB RAM
- Memiliki banyak jenis antarmuka seperti SPI, I2C, UART, dan I/O untuk data digital maupun analog.

Hasil dan Diskusi

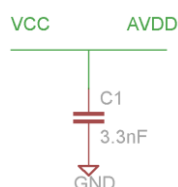
Pada bagian hasil, dipaparkan hasil simulasi dari rancangan LPF LC Filter untuk CC1000.



Gambar. 4 Respon Frekuensi LC Filter CC1000

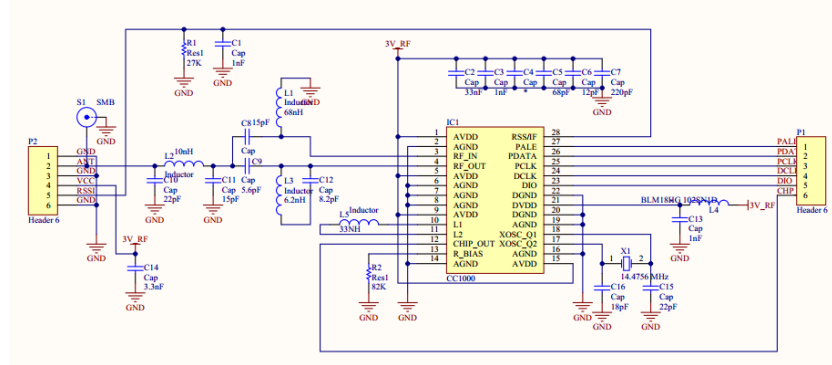
Pada Gambar. 4 terlihat respon dari filter berupa LPF, sesuai dengan desain yang diinginkan. Pada rancangan LPF LC filter ini, terlihat bahwa respon frekuensi filter terlihat landai dari setelah redaman 3 dB. Sedang pada bagian pass band, redaman relatif rata. LC Filter ini melewatkan frekuensi dibawah 580 MHz, termasuk pula frekuensi yang akan digunakan, yaitu 437.430 MHz.

Rangkaian decoupling kapasitor menggunakan satu buah kapasitor dengan nilai 3.3nF pada catu daya VCC seperti pada rangkaian Gambar. 5 di bawah ini



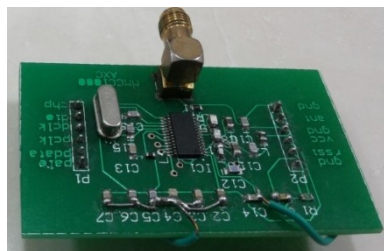
Gambar. 5 Decoupling Kapasitor

Sedangkan rancangan total dari TTC untuk Tel-USAT adalah sebagai berikut



Gambar. 6 Desain TTC untuk Tel-USAT

Dari skematik pada Gambar. 6 di atas, diimplementasikan desain TTC dengan menggunakan komponen – komponen SMD. Berikut adalah hasil dari implementasi desain TTC untuk Tel-USAT



Gambar. 7 Hasil Implementasi Desain TTC dengan CC1000

Sistem minimum CC1000 seperti pada Gambar. 7 di atas memiliki dimensi total 50 mm x 37.98 mm. Ukuran dimensi dari sistem minimum CC1000 tersebut untuk diimplementasikan sebagai bagian subsistem komunikasi untuk Tel-USAT.

Kesimpulan

Perancangan subsistem CC1000 untuk satelit nano Tel-USAT telah berhasil dibuat, dengan dilengkapi LPF LC Filter untuk menapis sinyal informasi pada frekuensi yang diinginkan dan rangkaian decoupling dengan menggunakan kapasitor paralel untuk mendapatkan catu daya yang lebih stabil terhadap noise.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh asisten ISS Laboratory Telkom University yang telah memberikan dukungan dalam perkembangan penelitian ini.

Referensi

- [1] Edwar, Ary Muhammad Murti, "Implementation and Analysis of Remote Sensing Payload Nanosatellite for Deforestation Monitoring in Indonesian Forest", Recent Advance in Space Technology, 2013
- [2] Cabo Javier, Luis Jose Madrid, Cueto Juan, Martinez César, Sarmiento Fany Sarmiento, Amaro Ricardo, "TTC Integrated Subsystem for Nano-Satellites", Instituto Nacional De Tecnica Aeroespacial (INTA), Spanyol
- [3] Datasheet CC1000
- [4] Klofas Bryan, Anderson Jason, "A Survey of CubeSat Communication systems, California Polytechnic State University", California, 2008
- [5] Bowick Christopher, "RF Circuit Design", Newnes, 1982

- [6] Bhardwaj Nitin, "Decoupling Capacitance", University of Rochester, New York
- [7] Datasheet MBED LPC1768

Perbandingan Metode *Adaptive Thresholding* dan *Global Thresholding* Pada Deteksi Penyakit Kanker Serviks

Rita Magdalena^{1, a)} Ledy Novamizanti^{2, b)} Eggi Intan Putri^{3, c)}

^{1,2} Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³ Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

^{a)} ritamagdalen@telkomuniversity.ac.id

^{b)} ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

^{c)} eggiintanputri@gmail.com

Abstrak

Dalam penelitian ini, dibandingkan metode *Adaptive Thresholding* dan *Global Thresholding* dalam mendeteksi gejala kanker serviks. Kanker serviks adalah penyakit kanker yang disebabkan oleh *human papilloma virus* tipe 16 and 18, yang menyerang leher rahim wanita. Digunakan sebanyak 500 citra, yaitu 250 citra untuk data latih dan 250 citra untuk data uji. Sistem yang dirancang dengan bantuan *software Matlab 2009a*, mampu mengelompokkan citra menjadi dua tipe, yaitu normal dan abnormal (pra kanker). Untuk tipe abnormal terbagi menjadi tiga, yaitu ringan (*mild*), sedang (*moderate*), dan berat (*severe*). Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh nilai akurasi sebesar 100% dan rata – rata waktu proses pada sistem ini adalah 25,4 detik dengan kombinasi parameter $WS = 10$ dan $C = -2$ untuk metode *Adaptive Thresholding* dan untuk metode *Global Thresholding* diperoleh akurasi 100% dan rata-rata waktu proses pada sistem adalah 1,12 detik dengan nilai level 0,8.

Kata kunci: kanker serviks, *adaptive thresholding*, *global thresholding*

Pendahuluan

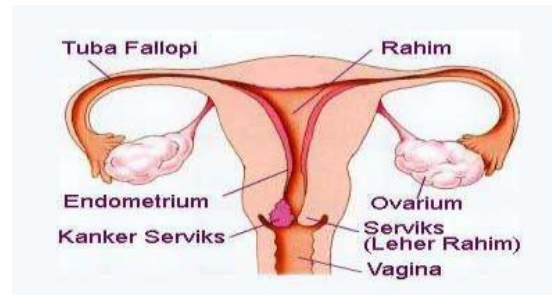
Saat ini, kanker serviks menjadi momok yang menakutkan setiap wanita, dikarenakan gejala penyakit ini tidak terasa dan terlihat jelas sebelum stadium lanjut. Kanker serviks adalah penyakit kanker yang disebabkan oleh *human papilloma virus* (HPV) tipe 16 dan 18, yang menyerang leher rahim wanita. Karena itu, perlu dilakukan deteksi dini secara rutin untuk pencegahan dan pengobatan gejala kanker serviks. Proses deteksi dini kanker serviks yang sering dilakukan adalah *Pap-Smear* [1]. Namun sering terjadi kekeliruan dalam mendiagnosa hasil pemeriksaan *Pap-Smear*. Oleh karena itu, dibuat suatu sistem yang mampu mendeteksi dini kanker serviks dengan memanfaatkan citra hasil pemeriksaan yang menggunakan metode *Pap Smear*.

Klasifikasi pada sistem ini dibagi menjadi dua tipe, yaitu normal, abnormal. Untuk tipe abnormal dibagi menjadi tiga, yaitu ringan (*mild*), sedang (*moderate*), dan berat (*severe*). Metode yang digunakan pada sistem ini adalah *Adaptive Thresholding* dan pembandingnya *Global Thresholding* serta *K-Nearest Neighbor* (KNN) untuk klasifikasi tipe sel kanker serviks. Penelitian ini juga dibuat untuk melengkapi penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, yaitu Deteksi Penyakit Kanker Serviks Menggunakan Metode *Adaptive Thresholding* [15], Mendeteksi Penyakit Kanker Serviks dengan Menggunakan Teknik *Evolving Ann* [3], *Pap-Smear Classification using Efficient Second Order Neural Network Training Algorithms* [5] dan *Neuro-fuzzy Classification of Cells in Cervical Smears*[13].

Teori

A. Kanker Serviks

Penyakit kanker serviks umumnya menyerang wanita yang berusia 35-55 tahun. Kanker serviks adalah tumor ganas yang tumbuh di dalam serviks, yaitu bagian terendah dari rahim yang menempel pada puncak vagina.



Gambar 1. Bagian – bagian sistem reproduksi wanita [1]

B. Tipe Sel Serviks

Perubahan sel pada serviks terjadi secara perlahan hingga menjadi sel kanker. Ada tahapan yang disebut *pre-cancer / Dysplasia Serviks*, dimana tahapan ini terdapat proses perubahan sel normal menjadi abnormal sebelum terjangkit kanker serviks. Sel *dysplasia* ini umumnya berukuran lebih besar dan berwarna lebih gelap dan menempel bersama membentuk kelompok yang besar. Keberadaan sel *pre-cancer / pra kanker* harus tetap diwaspadai karena penanganan pada masa pra kanker dapat mencegah terbentuknya sel kanker.

Terdapat tujuh tipe sel pada citra hasil *pap-smear* dalam penelitian ini, yang dijelaskan pada gambar 2. Sel terbagi menjadi dua, yaitu sel normal dan sel abnormal (*Dysplasia*) yang memiliki *class* masing – masing, antara lain [3] :

1. Sel Normal

a. *Columnar epithelial cells*,

Sel ini memiliki nukleus dan sitoplasma. Nukleus terletak dibagian bawah sitoplasma. Ketika dilihat dari atas, area nukleus akan terlihat lebih besar ketika dibandingkan dengan area sitoplasma. Jika dilihat dari samping, sitoplasma terlihat lebih besar. Area nukleus memiliki luas $\sim 50 \mu\text{m}^2$ dan lebih gelap dibandingkan sekeliling sitoplasma [5].

b. *Parabasal squamous epithelial cells*

Nukleus pada sel *parabasal* ini berbentuk lingkaran dengan luas $\sim 50 \mu\text{m}^2$ dan 200-300 μm^2 untuk luas dari sitoplasmanya [5].

c. *Intermediate squamous epithelial cells*,

Nukleus pada sel *Intermediate* ini memiliki luas yang lebih kecil dibandingkan dengan sel *Parabasal*, yaitu 20-35 μm^2 . Namun, memiliki sitoplasma yang lebih luas, yaitu 800-1600 μm^2 [5].

d. *Superficial squamous epithelial cells*,

Nukleus pada sel *Superficial* ini memiliki luas yang sama dengan sel *Intermediate*, yaitu 20-35 μm^2 dan memiliki sitoplasma yang luasnya sama, yaitu 800-1600 μm^2 [5].

2. Sel Abnormal (*Dysplasia*)

a. *Mild nonkeratinizing dysplastic cells*,

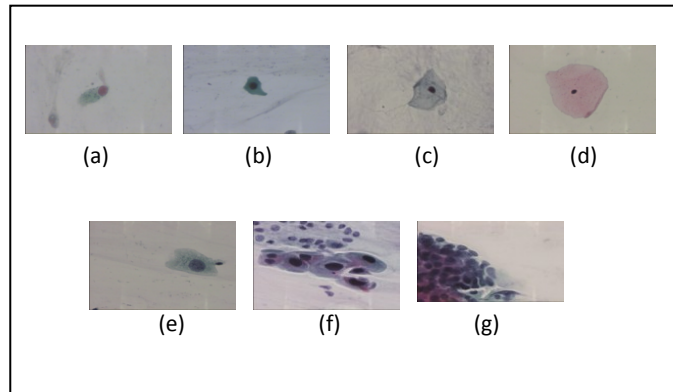
Nukleus pada sel ini lebih luas dibandingkan sel normal dan warnanya lebih terang [5].

b. *Moderate nonkeratinizing dysplastic cells,*

Nukleus pada sel ini lebih luas dan berwarna lebih gelap. Pada tahap ini, nukleus akan berubah bentuk menjadi lebih buruk dan terdapat butiran / bulatan kecil pada nukleusnya [5].

c. *Severe nonkeratinizing dysplastic cells,*

Tahap ini adalah tahap terakhir perubahan sel pra kanker. Nukleus pada sel ini berwarna gelap, besar, bentuknya telah rusak dan antar nukleus bersatu satu dengan yang lain. Sitoplasma pada sel ini juga berwarna gelap dan berukuran lebih kecil dibandingkan dengan nukleusnya [5].



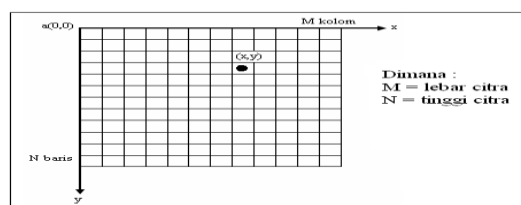
Gambar 2. Sel yang ditemukan pada serviks :

(a) *Columnar epithelial cells*, (b) *Parabasal squamous epithelial cells*, (c) *Intermediate squamous epithelial cells*, (d) *Superficial squamous epithelial cells*, (e) *Mild nonkeratinizing dysplastic cells*, (f) *Moderate nonkeratinizing dysplastic cells*, (g) *Severe nonkeratinizing dysplastic cells*

C. Pengolahan Citra Digital

Menurut Efford (2000), pengolahan citra adalah istilah umum untuk berbagai teknik yang keberadaannya untuk memanipulasi dan memodifikasi citra dengan berbagai cara [7]. Pengolahan citra *digital* menyatakan pemrosesan gambar berdimensi dua melalui komputer digital (Jain, 1989).

Citra dapat kita deskripsikan sebagai sebuah data 2 dimensi dalam bentuk matriks $M \times N$, dimana M menyatakan jumlah kolom, dan N menyatakan jumlah baris. Elemen terkecil dari citra disebut piksel, dimana sebuah piksel adalah sampel dari pemandangan yang mengandung intensitas citra yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Sebuah citra digital adalah kumpulan piksel-piksel yang disusun dalam larik dua dimensi. Indeks baris dan kolom (x,y) dari sebuah piksel dinyatakan dalam bilangan bulat. Representasi citra digital pada komputer terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Representasi citra digital pada komputer [6]

D. Metode Adaptive Thresholding

Adaptive Thresholding adalah pengambangan yang menggunakan nilai ambang lokal, yang dihitung secara adaptif berdasarkan statistik piksel-piksel tetangga. [7] Proses pengambangan menghasilkan citra biner, yaitu citra yang memiliki dua nilai tingkat keabuan yaitu hitam dan putih.

Ada tiga pendekatan pada adaptive thresholding, yaitu : [7]

1. Pendekatan rerata (mean) terhadap intensitas lokal

Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut

$$T = f(i,j)(y,x) \in WNw - C \quad (2.1)$$

Dimana W menyatakan jendela pada citra, Nw adalah jumlah piksel dalam jendela, dan C menyatakan konstanta.

2. Pendekatan median

Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut

$$T = \text{median } f(y,x), y,x \in W - C \quad (2.2)$$

3. Pendekatan statistik maksimum dan minimum

Secara matematis, dirumuskan menjadi

$$T = \max f(y,x), y,x \in W + \min f(y,x), y,x \in W/2 \quad (2.3)$$

Pada penelitian ini, digunakan tipe pendekatan rerata (mean) terhadap intensitas lokal.

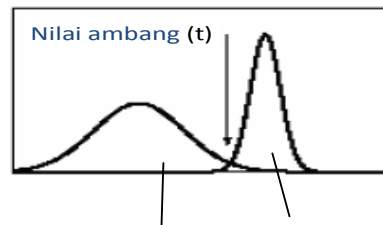
E. Metode Global Thresholding

Metode ini berlaku apabila nilai ambang t bergantung hanya pada satu nilai aras keabuan $f(y,x)$. Global thresholding akan memproses citra yang memiliki nilai dengan intensitas kurang dari nilai ambang (t) di set menjadi 0 dan yang lebih dari atau sama dengan nilai ambang (t) di set menjadi 1.

1. Metode ini memiliki persamaan sebagai berikut [7] [13] :

$$f_0(x,y) = \begin{cases} 0, & f_0(x,y) < t \\ 1, & f_0(x,y) \geq t \end{cases} \quad (2.4)$$

Metode ini menentukan nilai ambang (t) dengan cara membedakan antara objek dan latar belakang yang memiliki nilai yang saling bertumpukan, berdasarkan gambar 2.9.



Gambar 4. Penentuan nilai ambang

Metode global thresholding yang digunakan adalah Otsu. Otsu memiliki beberapa prinsip, diantaranya adalah sebagai berikut [7]

$$p_i = \frac{n_i}{N}, p_i \geq 0, \sum_{i=1}^{256} p_i = 1 \quad (2.5)$$

dengan n_i menyatakan jumlah piksel berintensitas i dan N menyatakan jumlah semua piksel dalam citra. Jika histogram dibagi menjadi dua kelas (objek dan latar belakang), pembobotan pada kedua kelas dinyatakan sebagai berikut:

$$w_1(t) = \sum_{i=1}^t p(i) \quad (2.6)$$

$$w_2(t) = \sum_{i=t+1}^L p(i) = 1 - w_1(t) \quad (2.7)$$

Dalam hal ini, L menyatakan jumlah aras keabuan. Rerata kedua kelas dihitung melalui:

$$m_1(t) = \frac{\sum_{i=1}^t i \cdot p(i)}{w_1(t)} \quad (2.8)$$

$$m_2(t) = \frac{\sum_{i=t+1}^L i \cdot p(i)}{w_2(t)} \quad (2.9)$$

Varians kedua kelas dinyatakan dengan rumus:

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^t (i - m_1(t))^2 \cdot \frac{p(i)}{w_1(t)} \quad (2.10)$$

$$\sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^L (i - m_2(t))^2 \cdot \frac{p(i)}{w_2(t)} \quad (2.11)$$

Varians total dapat dinyatakan dengan

$$\sigma^2(t) = \sigma_w^2(t) + \sigma_B^2(t) \quad (2.12)$$

Dalam hal ini, σ_W^2 dinamakan sebagai *within-class variance* (WCV) dan σ_B^2 disebut sebagai *between-class variance* (BCV). WCV dapat dinyatakan dengan

$$\sigma_W^2(t) = W_1 t \cdot \sigma_1(t)^2 + W_2 t \cdot \sigma_2(t)^2 \quad (2.13)$$

Rumus di atas menunjukkan bahwa WCV adalah jumlah varians kelas secara individual yang telah diboboti dengan probabilitas kelas masing-masing. Adapun BCV dinyatakan dengan

$$\sigma_B^2 t = W_1 \cdot m_1(t) - m_T^2 + W_2 \cdot m_2(t) - m_T^2 \quad (2.14)$$

Dalam hal ini, m_T adalah rerata total ($m_T = \sum_{i=1}^N i \cdot p(i)$).

Nilai ambang optimum dapat diperoleh dengan dua cara. Cara pertama dilaksanakan dengan meminimumkan WCV. Cara kedua dilaksanakan dengan memaksimumkan BCV. Namun, berdasarkan kedua cara tersebut, cara yang kedua lebih menghemat komputasi.

Implementasi berikut didasarkan pada Persamaan 2.14. Skrip ditulis tanpa memperhatikan optimasi komputasi. Pendekatan lain, yang memperhatikan kecepatan komputasi, dapat dilihat pada Demirkaya, dkk. (2009). [7]

Hasil dan Diskusi

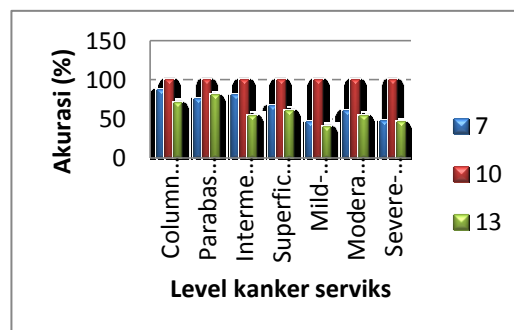
Citra masukan berupa citra sel serviks yang didapatkan dari <http://labs.fme.aegean.gr/decision/downloads> yang merupakan citra kanker serviks hasil pemeriksaan menggunakan metode *Pap-Smear* dengan resolusi 768 x 568 *pixels* dan format citra BMP. Terdapat 250 citra latih dan 250 citra uji untuk pelatihan dan pengujian sistem secara *non-realtime*.

Untuk menguji kehandalan sistem, ada beberapa skenario yang dilakukan, yaitu :

- Pengaruh nilai *window size* (*ws*) pada *Adaptive Thresholding*
- Pengaruh nilai *Constanta* (*c*) pada *Adaptive Thresholding*
- Pengaruh nilai level pada *Global Thresholding*
- Pengujian terhadap akurasi sistem
- Pengujian terhadap waktu komputasi sistem

1) Pengaruh nilai *window size* (*ws*) pada *adaptive thresholding*

Pada pengujian sistem, dilakukan perubahan terhadap nilai *window size* pada metode *Adaptive Thresholding*. Nilai *window size* yang diujikan adalah 7, 10, dan 13 untuk tiap citra latih yang diujikan, seperti pada gambar 5.

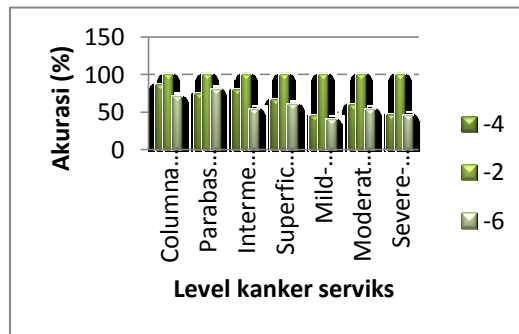


Gambar 5. Pengujian nilai WS pada data latih

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai *ws* pada Gambar 5, untuk 250 jumlah sampel latih yang diujikan, diperoleh nilai terbaik untuk *window size* adalah 10.

2) Analisis pengaruh nilai Constanta (C) pada Adaptive Thresholding

Pada pengujian sistem, dilakukan perubahan terhadap nilai konstanta pada metode *Adaptive Thresholding*. Nilai konstanta yang diujikan adalah -4, -2, dan -6 untuk tiap citra latih yang diujikan, seperti pada gambar 6.

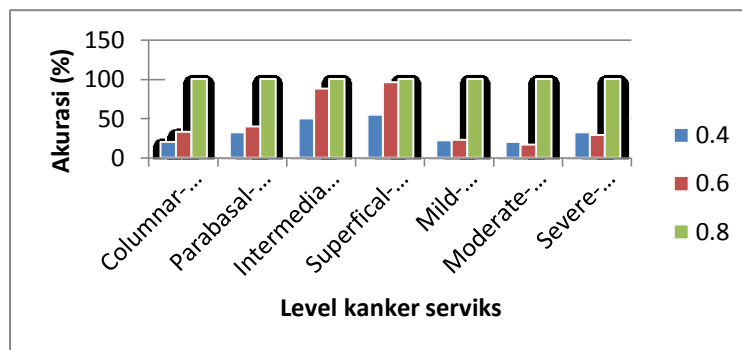


Gambar 6. Pengujian nilai konstanta pada data latih

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai konstanta (C) pada gambar 6, untuk 250 jumlah sampel latih yang diujikan, diperoleh nilai C terbaik adalah -2.

3) Pengaruh nilai level pada Global Thresholding

Pada pengujian sistem, dilakukan perubahan terhadap nilai level pada metode *Global Thresholding*. Nilai level yang diujikan adalah 0.4, 0.6, dan 0.8 untuk tiap citra latih yang diujikan, seperti pada gambar 7.

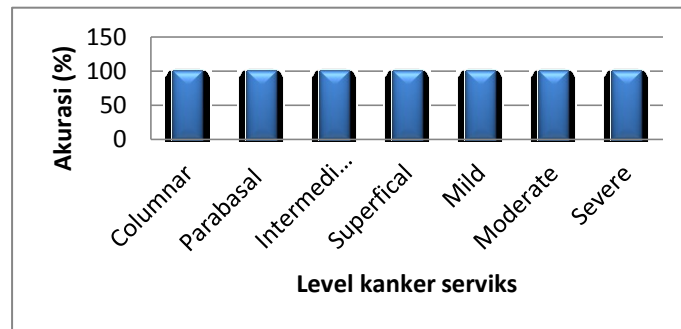


Gambar 7. Pengujian nilai level yang berbeda pada citra latih

Berdasarkan hasil pengujian dengan nilai level pada gambar 7, untuk 250 jumlah sampel latih yang diujikan, diperoleh nilai level terbaik adalah 0.8.

4) Pengujian terhadap akurasi sistem

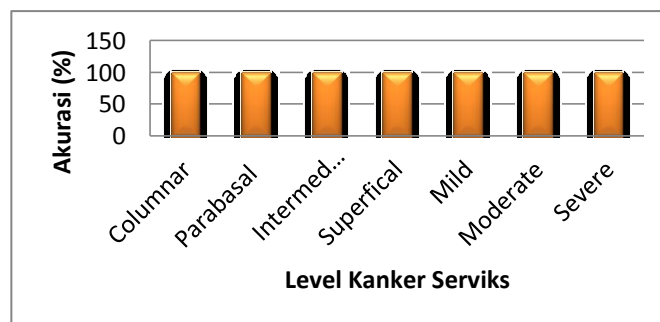
Pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai $w_s = 10$ dan $c = -2$ pada 250 data uji. Hasil pengujian digambarkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian menggunakan parameter terbaik pada data uji dengan metode Adaptive Thresholding

Dari gambar 8, dapat kita lihat bahwa sistem sudah mampu mengenali klasifikasi dengan sempurna dengan akurasi **100%** untuk semua level kanker serviks.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan nilai level 0.8 pada 250 data uji. Hasil pengujian digambarkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengujian menggunakan parameter terbaik pada data uji dengan metode Global Thresholding

Dari gambar 9, dapat kita lihat bahwa sistem sudah mampu mengenali klasifikasi dengan sempurna dengan akurasi **100%** untuk semua level kanker serviks.

5) Pengujian terhadap waktu komputasi sistem

Dari tabel 1, pengujian citra uji menggunakan metode *Adaptive thresholding*, waktu proses terlama diperoleh saat sampel uji dideteksi selama 36,063 detik dan 2,22959 detik untuk metode *Global Thresholding*.

Tabel 1 Pengujian Waktu Komputasi Sistem

Citra Uji (250 citra)	Waktu Minimum	Waktu Maksimum	Waktu Rata-rata
<i>Adaptive Thresholding</i>	21,392 detik	36,063 detik	25,45198 detik
<i>Global Thresholding</i>	0,74803 detik	2,22959 detik	1,127118 detik

Untuk waktu rata-rata prosesnya, dari pengujian yang telah dilakukan pada 250 citra uji diperlukan waktu rata-rata selama **25,4 detik** dengan metode *Adaptive Thresholding* dan 1,12 detik dengan metode *Global Threshodling* untuk mengklasifikasi kanker serviks.

Kesimpulan

Citra masukan berupa citra sel serviks yang didapatkan dari <http://labs.fme.aegean.gr/decision/downloads> yang merupakan citra kanker serviks hasil pemeriksaan menggunakan metode *Pap-Smear* dengan resolusi 768 x 568 *pixels* dan format citra BMP. Terdapat 250 citra latih dan 250 citra uji untuk pelatihan dan pengujian sistem secara *non-realtime*.

Perancangan sistem deteksi penyakit kanker serviks mampu mendeteksi 7 klasifikasi kanker serviks yang ada, yaitu Normal yang terbagi menjadi empat kelas dan Abnormal yang terbagi menjadi tiga kelas dengan akurat menggunakan kombinasi nilai parameter $ws = 10$, $C = -2$ dan luas piksel putih pada citra bernilai 100 pada metode *Adaptive Thresholding*. Dengan metode *Global Thresholding* menggunakan parameter nilai level 0,8, juga mampu mendeteksi dengan akurat.

Tingkat akurasi sistem yang dibuat sebesar 100% untuk masing-masing metode. Sedangkan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk mendeteksi adalah 25,4 detik dengan menggunakan metode *Adaptive Thresholding* dan 1,12 detik dengan metode *Global Thresholding*. Dengan demikian, metode *Global Thresholding* lebih baik dibandingkan *Adaptive Thresholding* karena mampu memberikan hasil dengan waktu yang lebih cepat.

Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah, segala puji syukur ditujukan kepada Allah SWT yang tidak pernah putus memberikan nikmat dan ridho kepada makhluk-Nya sehingga penulis mendapatkan berbagai kemudahan dalam menyusun dan menyelesaikan penelitian ini.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua, atas segala do'a, perhatian, nasihat, semangat dan pengorbanannya yang luar biasa untuk ku.
2. Bu Rita Magdalena sebagai dosen pembimbing 1, terima kasih banyak atas bimbingan, diskusi, nasihat, waktu, dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Bu Ledy Novamizanti selaku dosen pembimbing 2, terima kasih banyak atas bimbingan, diskusi, nasihat, waktu, dan ilmu yang bermanfaat sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Pak Byriel, yang telah diizinkan menggunakan citra hasil pemeriksaan Pap-Smear untuk penelitian ini.
5. Tim panitia penyelenggara Proceeding Sensaintek 2015- Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Referensi

- [1] Prayitno, Sunyoto. 2014. *Buku Lengkap Kesehatan Organ Reproduksi Wanita*. Jogjakarta.Saufa.
- [2] Anatomi dan Patofisiologi Leher Rahim. Modul Fakultas Kedokteran Universitas Sriwijaya Palembang.
- [3] Kahfi, Reza Al. "*Mendeteksi Penyakit Kanker Serviks dengan Menggunakan Teknik Evolving Ann.*" Penelitian Program Sarjana Universitas Telkom, Bandung, 2013.
- [4] McCormick, Colleen C. ,Robert L. Giuntoli II. 2009. *Patients' Guide to Cervical Cancer*. Sudbury,Massachusetts.Jones & Bartlett Pub.
- [5] Ampazis, Nikolaos dkk. 2004. SPRINGER –VERLAG BERLINmHEIDELBERG, dalam jurnal *Pap-Smear Classification Using Efficient Second Order Network Neural Network Training Algorithms*.
- [6] Nugrahanto. "*Deteksi Gejala Hematuria Berdasarkan Jumlah Eritrosit pada Urine Berbasis Pengolahan Citra.*" Penelitian Program Sarjana Institut Teknologi Telkom. Bandung, 2012.

- [7] Kadir, Abdul dan Adhi Susanto. 2013. *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*. Yogyakarta. ANDI Yogyakarta.
- [8] Modul Matlab Dasar *Image Processing*. Modul Pelatihan Pengolahan Sinyal Digital Universitas Telkom Bandung.
- [9] Putra, Darma. 2010. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta. Andi Publisher.
- [10] Sianipar, R.H. 2013. *Pemrograman MATLAB dalam Contoh dan Penerapan*. Bandung, Informatika.
- [11] Data citra pap smear serta pengelompokan jenisnya yang di unduh pada halaman: <http://labs.fme.aegean.gr/decision/downloads>
- [12] Jantzen, Jan and George Dounias. *Technical University of Denmark, dalam jurnal Analysis of Pap-Smear Image Data*.
- [13] Byriel, Jens. Technical University of Denmark Dept. Of Automation, Bldg 326 DK-2800 Lyngby Denmark. 1999, dalam jurnal *Neuro-Fuzzy Classification of Cells in Cervical Smears*.
- [14] eprints.dinus.ac.id/13337/1/jurnal-13964.pdf. 21 Februari 2015
- [15] Putri, Eggi Intan. 2015. Proceeding GTAR-2015. *Detection of cervical cancer using adaptive thresholding method by image processing*.

Perbandingan Hasil Perhitungan LUEC PLTN Dengan Menggunakan Model Legecost, Mini G4Econs dan Nest

Mochamad Nasrullah^{1, a)}

¹Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN

^{a)} Telp/Fax : (021) 5204243 Email: anas_maksum@yahoo.com, nasr@batan.go.id

Abstrak

Perhitungan biaya pembangkitan listrik sangat diperlukan dalam perusahaan listrik dalam menetapkan kebijakannya. Model perhitungan diperlukan untuk menghitung biaya pembangkitan listrik sehingga dapat dihasilkan perhitungan yang akurat. Tiga model perhitungan Levelized Unit Electricity Cost (LUEC) atau biaya pembangkitan listrik dari IAEA (International Atomic Energy Agency) yang selama ini digunakan BATAN dalam menghitung harga keekonomian PLTN terdiri dari LEGECOST, Mini G4ECONS dan model NEST. Metodologi meliputi perhitungan biaya pembangkitan (Levelized Unit Electricity Cost) dengan menggunakan ketiga software tersebut dengan discount rate 10% per tahun dan dengan asumsi input data untuk ketiga model sama, dan dengan puncak waktu penggunaan beban tahunan 7884 jam (sesuai dengan load factor 90%). Hasil perhitungan menunjukkan biaya pembangkitan listrik PLTN model LEGECOST sebesar 86,82 mills\$/kWh model Mini G4ECONS dan model NEST masing-masing sebesar 90,16 mills\$/kWh dan 94,02 mills\$/kWh. Hasil perhitungan ketiga modul menunjukkan kesamaan pada biaya operasi dan perawatan yaitu sebesar 15,39 mills\$/kWh. Perbedaan hasil perhitungan terletak pada biaya investasinya, model LEGECOST lebih murah yaitu sebesar 65,02 mills\$/kWh dibandingkan dua model lainnya yaitu sebesar 67,10 mills\$/kWh dan 68,35 mills\$/kWh. Sedangkan bahan bakar model NEST lebih mahal yaitu sebesar 9,83 mills\$/kWh dibandingkan kedua model yang relatif sama yaitu sebesar 4,71 mills\$/kWh. Selisih perbedaan biaya pembangkitan listrik dari ketiga model antara 4 sampai 8 mills\$/kWh, artinya dengan selisih tidak terlalu besar, maka pertimbangan jika menghitung biaya pembangkitan listrik dapat diambil salah satu model tersebut. Perbedaan biaya terletak pada biaya investasi dan biaya bahan bakar. Meskipun tampilan model mempunyai kesamaan dalam menggunakan spreadsheet, namun masing-masing model mempunyai karakteristik khusus dalam pengoperasiannya. Tiga model ini bisa dijadikan *benchmark* untuk menghitung biaya pembangkitan listrik baik untuk PLTN maupun non PLTN di Indonesia.

Kata kunci: Biaya Pembangkitan Listrik, LEGECOST, Mini G4Econs, NEST

Pendahuluan

Bagian Kebutuhan energi listrik di Jawa-Madura-Bali akan semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi, pertumbuhan penduduk dan rasio elektrifikasi. Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) mengasumsikan bahwa selama periode tahun 2005 s.d 2025 *Gross Domestic Regional Product* (GDRP) tumbuh 6,2% per tahun, jumlah penduduk tumbuh 0,9% per tahun, dan rasio elektrifikasi pada tahun 2025 mencapai 93%. Pertumbuhan permintaan energi listrik untuk periode 2005 – 2025 diperkirakan akan tumbuh rata-rata 7,2% per tahun. Mengingat

kebutuhan (*demand*) listrik dipastikan akan terus meningkat, sementara penyediaan (*supply*) energi dari sumber sumber konvensional (fossil) di masa mendatang semakin terbatas, maka tenaga nuklir merupakan salah satu opsi untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia [1].

Energi Nuklir adalah sumber energi potensial, berteknologi tinggi, berkeselamatan handal, ekonomis, dan berwawasan lingkungan, serta merupakan sumber energi alternative yang layak untuk dipertimbangkan dalam Perencanaan Energi Jangka Panjang bagi Indonesia guna mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Mengingat situasi penyediaan (*supply*) energi konvensional termasuk listrik nasional di masa mendatang semakin tidak seimbang dengan kebutuhannya (*demand*), maka opsi nuklir dalam perencanaan sistem energi nasional jangka panjang merupakan suatu solusi yang diharapkan dapat mengurangi tekanan dalam masalah penyediaan energi khususnya listrik di Indonesia [2].

BATAN sebagai Lembaga Pemerintah, berdasarkan Undang-undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, telah dan akan terus bekerja bersama-sama dengan Lembaga Pemerintah terkait, Lembaga Swadaya Masyarakat, Lembaga dan Masyarakat Internasional, dalam mempersiapkan pengembangan energi nuklir di Indonesia, khususnya dalam program persiapan pembangunan PLTN. Adapun Salah satu kegiatan yang harus dilakukan dalam rangka mempersiapkan pengembangan energi nuklir tersebut adalah studi dan kajian aspek ekonomi PLTN. Penelitian Studi ini merupakan studi khusus, dan sehubungan Pembangkit Listrik dengan menggunakan energi nuklir ini PLTN yang belum pernah di bangun di Indonesia, maka diperlukan penelitian bukan hanya menangani dalam menangani studi ekonomi saja, tetapi juga harus berpengalaman dalam masalah kelistrikan di Indonesia, sekaligus yang mengerti tentang masalah pengetahuan tentang ketenaganukliran di Indonesia [2].

Penelitian ini dilakukan Studi bertujuan untuk menghitung biaya pembangkitan listrik PLTN yang menggunakan tipe PWR dengan satuan mills\$/kWh dari berbagai model/software yang semua model tersebut dikeluarkan oleh IAEA (*International Atomic Energy Agency*) dalam bentuk *spreadsheet*. Tiga model perhitungan biaya pembangkitan listrik dari IAEA yang selama ini digunakan BATAN dalam menghitung harga keekonomian PLTN terdiri dari LEGECOST, Mini G4ECONS dan model NEST. Studi Penelitian dilakukan dengan mengambil data sekunder dan menggunakan data terbaru dan telah disesuaikan dengan studi tahun 2014. Dalam penelitian ini akan dihitung biaya sesaat (*Overnight cost*), komponen biaya bahan bakar (*front-end costs*) menggunakan data harga bulanan tahun 2014. Upah tenaga kerja yang ada diasumsikan diambil dari data Indonesia berdasarkan sesuai standar gaji PT PLN (Persero). Dalam penelitian ini akan dikaji biaya LUEC (*Levelized Unit Electricity Cost*) untuk PLTN jenis PWR yaitu AP 1000 yang mempunyai kapasitas daya listrik 1000 MWe. Tujuan Penelitian untuk menghitung biaya pembangkitan listrik atau *Levelized Unit Electricity Cost* (LUEC) dengan menggunakan tiga model/software yaitu LEGECOST, Mini G4ECONS, dan model NEST yang mempunyai satuan mills\$/kWh. Menganalisis hasil perhitungan ketiga model termasuk kelemahan dan kelebihan jika menggunakan ketiga model tersebut.

Metodologi

Harga listrik teraras adalah biaya pembangkitan per kWh yang di-levelized, yang terdiri dari biaya modal, biaya operasi dan perawatan tetap (*fixed operational and maintenance cost*), biaya operasi dan perawatan tetap (*variable operational and maintenance cost*) dan biaya bahan bakar. Harga listrik teraras tidak termasuk biaya transmisi, sehingga sering disebut juga *busbar cost*. Pada beberapa literatur harga listrik teraras juga disebut *Levelized Cost Of Electricity* (LCOE). Perbandingan keekonomian pembangkit tenaga listrik secara internasional maupun perbandingan jenis pembangkit

yang berbeda biasa dilakukan dengan konsep harga listrik teras ini, yang sering juga disebut *discounted levelized cost*. Harga listrik teras adalah biaya rata-rata teras (*levelized*), yaitu biaya yang diperlukan (dalam mata uang tetap) per kWh yang memperhitungkan semua biaya, meliputi biaya kapital pembangunan pembangkit, biaya operasi dan biaya bahan bakar. Untuk PLTN, selain Biaya-biaya tersebut harus ditambah dengan biaya pengelolaan limbah dan dekomisioning, tanpa memperhitungkan biaya sosial-politik [3].

Perbandingan harga listrik teras sulit dilakukan, karena ada banyak faktor-faktor yang mempengaruhinya, dimana faktor-faktor tersebut dapat berbeda pada tempat lokasi dan waktu. Tujuan perbandingan harga listrik teras adalah untuk membantu pengambil keputusan dalam memilih PLTN yang akan dipertimbangkan dalam rangka penentuan pemanfaatan sumber daya (*resource allocation*). Harga listrik teras tidak memperhitungkan faktor-faktor sosial politik yang dapat mempengaruhi biaya pembangkitan. Perhitungan dan perbandingan keekonomian PLTN tersebut akan digunakan untuk menganalisis kelayakan ekonomi dengan menggunakan model LEGECOST, Mini G4ECONS, dan model NEST yang berasal dari IAEA.

Langkah-langkah yang digunakan untuk penelitian adalah menghitung biaya yang mempengaruhi biaya pembangkit listrik dengan cara sebagai berikut :

- Menetapkan parameter teknis dan ekonomi dari PLTN jenis PWR yaitu AP 1000 yang mempunyai kapasitas daya listrik 1000 MWe
- Menentukan komponen biaya pembangkit listrik seperti biaya investasi, biaya bahan bakar dan biaya operasional dan perawatan dari PLTN jenis PWR yaitu AP 1000 tersebut.
- Menghitung biaya pembangkit listrik dari data masukan dengan menggunakan tiga model/software yaitu LEGECOST, Mini G4ECONS, dan model NEST [4].
- Menganalisis hasil perhitungan keekonomian PLTN yang menggunakan tiga model/software tersebut

Dasar Perhitungan LUEC pada Model NEST, Mini G4Econs, dan LEGECOST

NEST [5]

NEST adalah singkatan dari (*NESA economic support tool*), semua persamaan didefinisikan dalam Volume 2 (ekonomi) dari TECDOC-1575 rev 1, manual INPRO. Persamaan telah diprogram ke dalam perangkat NEST. Persamaan (dan NEST) digunakan untuk memeriksa:

- Daya saing biaya pembangkit listrik tenaga nuklir terhadap pesaing potensial, misalnya pembangkit listrik fosil dengan menghitung satuan *levelized* biaya listrik (LUEC).
- Daya tarik investasi dalam pembangkit listrik tenaga nuklir dibandingkan dengan pesaing potensial, misalnya pembangkit listrik berbahan bakar fosil dengan menghitung *Return of Investment* (ROI) dan *Internal Rate of Return* (IRR)
- Untuk investor swasta (misalnya, utilitas swasta) investasi yang maksimal dia bisa membuat berdasarkan karakteristik pasar.

Levelized Unit Electricity Cost (LUEC) mencakup tiga faktor, biaya modal LUAC, operasi, biaya pemeliharaan LUOM, dan bahan bakar biaya LUFC.

$$\text{LUEC} = \text{LUAC} + \text{LUOM} + \text{LUFC}$$

Dimana:

LUEC	=	biaya pembangkitan listrik
LUAC	=	biaya investasi
LUOM	=	biaya operasi dan perawatan
LUFC	=	biaya bahan bakar

Mini G4Econs [6]

Model ini telah diberikan singkatan G4-ECONS, berasal dari kata Generasi 4 Perhitungan Excel berbasis Nuklir *Systems*. Mini G4Econs merupakan perhitungan yang memanfaatkan Excel dan meringkas dari *software* G4-ECONS yang dibuat William K dari IAEA. Untuk panduan yang menjelaskan Versi 2.0 dari model G4-ECONS, dirilis ke EMWG pada akhir September 2007 [7]. Rumus perhitungan LUEC oleh OECD [8] adalah:

$$\text{LUEC} = \sum [(I_t + \text{FUEL}_t + \text{O\&M}_t) (1 + r)^{-t}] / \sum [E_t (1 + r)^{-t}]$$

Dimana:

LUEC	=	<i>Levelized Unit Electricity Cost</i> atau Biaya pembangkitan listrik
I_t	=	Pengeluaran investasi tiap tahun dalam periode t
FUEL_t	=	Pengeluaran bahan bakar tiap tahun dalam periode t
O\&M_t	=	Pengeluaran operasi dan pemeliharaan tiap tahun dalam periode t
E_t	=	Produksi energy tiap tahun dalam periode t
r	=	<i>discount rate</i>

Biaya investasi merupakan porsi yang paling besar pada biaya pembangkitan listrik. Dengan asumsi pembangkit energi tahunan yang sama, persamaan untuk menghitung *levelized* biaya modal dolar konstan dapat dinyatakan sebagai:

$$\text{LCC} = (\text{FCR} \times \text{TCIC})/E$$

Dimana :

LCC	=	<i>levelized</i> biaya investasi dalam dollar konstan (\$/MWh)
FCR	=	<i>fixed charge rate</i> dalam dollar konstan
TCIC	=	total biaya investasi dalam dollar konstan (\$)
E	=	Biaya pembangkitan Listrik tahunan (MWh/year).

FCR biasanya digunakan untuk memperhitungkan pengembalian modal, penyusutan, pengganti sementara, pajak properti, dan pajak penghasilan dan dibahas secara rinci dalam *Oak Ridge National Laboratory (ORNL)* [9]. FCR dapat dihitung dengan menggunakan *Data Base for Nuclear and Coal-Fired Power Plant Power Generation Cost Analysis* [10], metodologi yang diterapkan dalam *User Instructions for Levelized Power Generation Cost Codes Using IBM-Type PC* [11].

LEGECOST

LEGECOST singkatan dari *Levelized Generation Cost* merupakan program untuk menilai biaya pembangkitan listrik yang disusun oleh OR.G.Woite dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*). Dalam program ini terdapat parameter-parameter baik secara teknis maupun ekonomi, selanjutnya dinilai biaya konstruksi, termasuk IOC (*Interest During Construction*) sampai dengan biaya investasinya, kemudian biaya perawatan dan pemeliharannya serta terdapat penilaian tentang daur bahan bakar yang meliputi pembelian uranium alam sampai penyimpanan lestari bahan bakar bekas, ataupun olah ulangnya (*reprocessing*). Selanjutnya berdasarkan perhitungan-perhitungan di atas biaya-biaya tidak diurai mengikuti tahun demi tahun, tetapi dinyatakan dalam besaran pada tahun

awal operasi, besaran nilai kini atau besaran teraras (*levelized*), dan semua harga dinyatakan dalam nilai dollar tetap. Adapun rumus perhitungan biaya teraras investasi, bahan bakar, perawatan dan pemeliharaan serta biaya pembangkitan dengan menggunakan program LEGECOST [12] adalah sebagai berikut:

- a. Biaya teraras Investasi = Jumlah total biaya investasi dalam nilai kini
(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)
- b. Biaya teraras bahan bakar = Jumlah total biaya bahan bakar dalam nilai kini
(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)
- c. Biaya teraras perawatan dan pemeliharaan
= Jumlah total biaya perawatan dan pemeliharaan dalam nilai kini
(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)
- d. Biaya teraras pembangkitan = Jumlah total biaya dalam nilai kini
(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)

Asumsi dan Data untuk Biaya Pembangkitan Listrik PLTN

Parameter dasar ekonomi yang digunakan pada data pembangkit tenaga listrik yang digunakan untuk menghitung dan mengevaluasi keekonomian adalah sebagai berikut: Referensi pembangkit (*reference plant*) yang digunakan pada studi ini adalah PLTN ukuran large jenis PWR dengan kapasitas 1000 MWe, dalam kasus ini diambil PLTN AP 1000. PLTN large jenis PWR ini dipilih karena pertimbangan sebagai berikut: (i) Desain, operasi dan performance-nya telah terbukti baik, dan bukan First-Of-A-Kind, (ii) Kapasitas pembangkit cukup besar untuk memenuhi skala ekonomi dan cocok untuk jaringan Jawa-Bali, (iii) Biaya kapital kompetitif, (iv) Tersedia data rinci mengenai biaya EPC (*Engineering Procurement and Construction*) termasuk disbursement-nya, lama konstruksi, dan biaya O&M (*Operation and Maintenance*) [12].

Biaya Investasi PLTN

Biaya investasi PLTN biasanya disebut biaya sesaat (*overnight cost*), yaitu biaya yang belum memasukkan tingkat suku bunga selama konstruksi atau *Interest During Construction (IDC)*. Biaya ini terdiri dari biaya EPC (*Engineering Procurement Construction*), biaya pengembangan (*development costs*) dan biaya lain-lain (*other costs*) serta biaya *contingency*. Komposisi biaya kapital untuk EPC terdiri atas biaya *nuclear island, conventional island, balance of plant, construction dan erection work, design dan engineering*[14].

Biaya investasi yang dihitung disesuaikan dengan disbursement selama masa konstruksi, dan data tersebut diambil dari data terbaru tahun 2014. Pembangunan PLTN memerlukan dana yang cukup besar sehingga biasanya pemilik modal (*owner*) tidak cukup dana untuk membiayai pembangunan PLTN tersebut. *Owner* biasanya meminjam dana dari lembaga keuangan internasional, dengan demikian ada konsekuensi biaya berupa IDC. Biaya sesaat apabila ditambahkan dengan IDC disebut juga dengan biaya investasi. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Biaya Bahan Bakar

Pembuatan bahan bakar nuklir untuk PLTN terdiri dari 4 tahap yang masing-masing memberi kontribusi pada harga bahan bakar nuklir daur terbuka (*front end costs*), yaitu: i) harga uranium alam (U_2O_8), ii) biaya konversi, iii) biaya pengkayaan (*separative work unit / SWU*), iv) biaya fabrikasi.

Dalam bulan Juni 2013 biaya dalam US\$ untuk mendapatkan 1 kg uranium UO_2 bahan bakar reaktor pada harga pasar pada 45.000 MWd/t burn-up akan memberikan 360.000 kWh *electrical* per kg. sehingga biaya bahan bakar menjadi 0.66 c/kWh [23].

Back-end cost merupakan biaya penanganan bahan bakar bekas sesudah dipakai dan keluar dari reaktor, berupa biaya penyimpanan sementara on-site di PLTN dan biaya penyimpanan lestari (*permanent storage*) di repository akhir, dimana untuk daur bahan bakar tertutup (*closed fuel cycle*) biaya *back-end* juga termasuk biaya *reprocessing*. *Burn-up* bahan bakar nuklir merupakan besarnya energi yang dihasilkan oleh reaktor untuk setiap metrik ton U_{235} . Besarnya burn-up U_{235} tergantung pada teknologi reaktor yang dari tahun ke tahun terus meningkat. Nilai burn-up yang dipakai pada studi ini adalah 60.000 MWd per metrik ton uranium, sesuai dengan spesifikasi reference plant yang dipilih. Dalam studi ini biaya *back-end* diperkirakan sebesar 840 US\$/kgHM tidak termasuk biaya *reprocessing*. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Biaya Operasi dan Perawatan (*Operation and Maintenance Costs*)

Biaya operasi dan perawatan (*O&M Cost*) merupakan biaya yang dibutuhkan untuk menjalankan operasi rutin PLTN. Biaya O&M besarnya bergantung pada teknologi dan kapasitas daya yang terpasang. *O&M Cost* dibedakan menjadi dua, yaitu biaya *variable* O&M dan biaya *fixed* O&M. Biaya *Fixed* O&M merupakan biaya operasional rutin, yang antara lain meliputi biaya pegawai, *property tax*, *plant insurance*, dan *life-cycle maintenance*. biaya *Variabel* O&M mencakup *consumables materials*. Biaya Variabel O&M juga terdiri dari biaya-biaya untuk pemeliharaan langsung unit pembangkit, pemeliharaan gedung pembangkit, dan pemeliharaan oleh outsourcing. Biaya *variabel* O&M dan *fixed* O&M merupakan biaya yang bergantung pada fungsi produksi dari PLTN. Diasumsikan biaya total O&M beserta rinciannya biaya *fixed* O&M sebesar 94,89 US\$/kWe dan biaya *variabel* O&M sebesar 3,36 mills\$/kWh [2]. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data untuk Tiga Model

No	Parameters	Data input Model NPP 1000 Mwe [15]
1.	<i>Net electric power (MWe)</i>	1115
2.	<i>Construction time (years)</i>	5
3.	<i>Lifetime of the plant (years)</i>	60
4.	<i>Average Load Factor (%)</i>	0.93
5.	<i>Decommissioning cost (mills/kWh)</i>	1.7
6.	<i>Overnight construction cost (\$/kWe)[16]</i>	3516
7.	<i>Contingency cost (\$/kWe) [16]</i>	703
8.	<i>Owners cost (\$/kWe) [16]</i>	114
9.	<i>Normalized capital investments schedule (share per year) during construction (w_i) [17]</i>	
10.	<i>Real discount rate [6]</i>	0.10
11.	<i>Fixed O&M cost (\$/kWe)</i>	94,89
12.	<i>Variable O&M cost (mills\$/kWh)</i>	3,36
13.	<i>Nuclear fuel backend cost (\$/kg) [16]</i>	840
14.	<i>Spent nuclear fuel average burnup (MWd/kg)</i>	60

15. <i>Net thermal efficiency of the plant</i>	0.3265
16. <i>Natural U purchase cost (\$/kg nat U₃O₈) [19]</i>	130
17. <i>U conversion cost (\$/kgHM) [19]</i>	11
18. <i>U enrichment cost (\$/SWU) [19]</i>	120
19. <i>Nuclear fuel fabrication cost (\$/kg) [19]</i>	240
20. <i>Time from U purchasing till fuel loading (t1-t0, years) [20]</i>	-2
21. <i>Time from U conversion till fuel loading (t2-t0, years) [20]</i>	-1.5
22. <i>Time from U enrichment till fuel loading (t3-t0, years) [20]</i>	-1
23. <i>Time from fuel fabrication till loading (t4-t0, years) [20]</i>	-0.5
24. <i>Losses at U purchasing [21]</i>	0
25. <i>Losses at U conversion [21]</i>	0.005
26. <i>Losses at U enrichment [21]</i>	0
27. <i>Losses at fuel fabrication [21]</i>	0.01

Hasil Pembahasan

Hasil perhitungan biaya pembangkitan listrik (*Levelized Unit Electricity Cost*) dengan menggunakan ketiga model/software tersebut dengan *discount rate* 10% per tahun dan dengan asumsi input data untuk ketiga model sama, dan dengan puncak waktu penggunaan beban tahunan 7884 jam (sesuai dengan load factor 90%), menunjukkan biaya pembangkitan listrik PLTN paling murah ditunjukkan model LEGECOST sebesar 86,82 mills\$/kWh kemudian berturut-turut model Mini G4ECONS dan model NEST masing-masing sebesar 90,16 mills\$/kWh dan 94,02 mills\$/kWh. Hasil perhitungan ketiga modul menunjukkan kesamaan pada biaya operasi dan perawatan yaitu sebesar 15,39 mills\$/kWh. Perbedaan hasil perhitungan terletak pada biaya investasinya, model LEGECOST lebih murah sebesar 65,02 mills\$/kWh dibandingkan dua model lainnya yaitu model NEST dan Mini G4Econs masing-masing sebesar 67,10 mills\$/kWh dan 68,35 mills\$/kWh. Secara rinci dapat dilihat pada Tabel 2.

Perbedaan biaya investasi ini terletak pada rumus dalam menghitung biaya *Interest During Construction Cost* (IDC). IDC model LEGECOST sebesar 1166 US\$/kWe, IDC model NEST sebesar 1467 US\$/kWe dan IDC model MiniG4Econs sebesar 1300 US\$/kWe. Sedangkan biaya bahan bakar pada model NEST lebih mahal yaitu sebesar 9,83 mills\$/kWh dibandingkan kedua model yang relatif sama yaitu sebesar 4,71 mills\$/kWh. Perbedaan biaya bahan bakar terletak pada input data pada masing-masing model, untuk model NEST input data lebih kompleks dan rinci dibandingkan dua model lainnya, akibatnya ada perbedaan dalam hasilnya. Dari perhitungan tiga model tersebut, selisih perbedaan biaya pembangkitan listrik dari ketiga model antara 4 sampai 8 mills\$/kWh, artinya dengan selisih tidak terlalu besar, maka pertimbangan jika menghitung biaya pembangkitan listrik dapat diambil salah satu model tersebut.

Tabel 2. Hasil Perhitungan LUEC Tiga Model

Keterangan	Model LEGECOST (mills\$/kWh)	Model NEST (mills\$/kWh)	Model Mini G4Econs (mills\$/kWh)
Biaya Investasi	65,02	67,10	68,35
Biaya O&M	15,39	15,39	15,39
Biaya Bahan Bakar	4,71	9,83	4,71
Biaya Decommissioning	1,70	1,70	1,70
Total Levelized Unit Electricity Cost (LUEC)	86,82	94,02	90,16

Kesimpulan

Hasil perhitungan biaya pembangkitan listrik PLTN paling murah ditunjukkan model LEGECOST sebesar 86,82 mills\$/kWh kemudian berturut-turut model Mini G4ECONS dan model NEST masing-masing sebesar 90,16 mills\$/kWh dan 94,02 mills\$/kWh. Perbedaan biaya terletak pada biaya investasi dan biaya bahan bakar. Perbedaan biaya investasi ini terletak pada rumus dalam menghitung biaya *Interest During Construction Cost* (IDC). Perbedaan biaya bahan bakar terletak pada input data pada masing-masing model, untuk model NEST input data lebih kompleks dan rinci dibandingkan dua model lainnya. Dari perhitungan tiga model tersebut, selisih perbedaan biaya pembangkitan listrik dari ketiga model antara 4 sampai 8 mills\$/kWh, artinya dengan selisih tidak terlalu besar, maka pertimbangan jika menghitung biaya pembangkitan listrik dapat diambil salah satu model tersebut. Meskipun tampilan model mempunyai kesamaan dalam menggunakan spreadsheet, namun masing-masing model mempunyai karakteristik khusus dalam pengoperasiannya. Tiga model ini bisa dijadikan *benchmark* untuk menghitung biaya pembangkitan listrik baik untuk PLTN maupun non PLTN di Indonesia.

Referensi

- [1] DEPARTEMEN ESDM, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional, Jakarta, 25 April 2005".
- [2] MOCHAMAD NASRULLAH, "Analisis Komparasi Ekonomi PLTN dan PLTU batubara untuk Bangka Belitung" Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV tanggal 21 Juni 2011, Jakarta, ISSN 1979-1208
- [3] MOCHAMAD NASRULLAH, "Studi Perbandingan Harga dan Tarif Listrik PLTN dari Berbagai Negara", Presentasi Ilmiah tanggal 1 Mei 2009
- [4] IAEA, Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems, IAEA-TECDOC-1575, Vol.2, Economics, Vienna: IAEA, 2008
- [5] IAEA, "NESA Support Package: INPRO area of Economics", IAEA 2010
- [6] IAEA, "Cost Estimating Guidelines For Generation IV Nuclear Energy System", The Economic Modeling Working Group Of the Generation IV International Forum, 2008
- [7] IAEA, "User's Manual for G4-ECONS Version 2.0 A Generic EXCEL-based Model for Computation of the Projected Levelized Unit Electricity Cost (LUEC) and/or Levelized non-Electricity Unit Product Cost (LUPC)", The Economic Modeling Working Group Of the Generation IV International Forum Generation IV Systems Maret 2008
- [8] IEA and NEA, 1998, Projected Costs of Generating Electricity: Update 1998, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France
- [9] Delene, J.G., and Hudson, C.R., 1993, Cost Estimate Guidelines for Advanced Nuclear Power Technologies, ORNL/TM-10071/R3, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, U.S.
- [10] ORNL, 1988, Nuclear Energy Cost Data Base: A Reference Data Base for Nuclear and Coal-Fired Power Plant Power Generation Cost Analysis (NECDB), DOE/NE-0095, prepared by Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, U.S
- [11] Coen, J. J., and Delene, J.G., 1989, User Instructions for Levelized Power Generation Cost Codes Using an IBM-Type PC, ORNL/TM-10997, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN, U.S
- [12] M. NASRULLAH DKK, "Studi Perbandingan Harga Listrik Reaktor Temperatur Tinggi Dengan Sistem Pembangkit Lainnya Menggunakan Program LEGECOST" Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 2, No.3 September 2000.. 105 -116
- [13] PLN-BATAN, " Laporan "Study Ekonomi, Pendanaan dan Struktur Owner Dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia" 2006
- [14] Batan & Korea Hydro Nuclear Power Co., Ltd (KHNP), Report on The Joint Study for Program Preparation & Planning of The NPP Development in Indonesia (phase1), December 2004)

- [15] WESTINGHOUSE, "AP1000 Advanced Nuclear Power Plant, Overview of Plant Description," 2011
- [16] PT Surveyor Indonesia and AF Consult, "Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project - Non-Site Aspect, Prepared for the National Nuclear Energy Agency of Indonesia(BATAN)," Jakarta, 2013 (BATAN)," Jakarta, 2013.
- [17] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "Mini G4ECONS Software," Vienna, 2008
- [18] PT PLN (STATE UTILITY)
"http://www.pln.co.id/dataweb/TTL2014/08_Tariff%20Adjusment%20Desember%202014.pdf," December 201
- [19] World Nuclear Association, "http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/," June 2013
- [20] "http://www.oecd-nea.org/ndd/reports/efc/EFC-complete.pdf."
- [21] NEA-OECD, "The Economics of the Nuclear Fuel Cycle," 1994
- [22] US NRC, "AP1000 Design Control Document," 2011
- [23] WNA," Economics of Nuclear Power,"(Updated 16 February 2015)
- [24] Japan National Association, Nuclear Power and Deregulation, dapat dilihat di website <http://www.japannuclear.org/nuclearpower/program/dereg.html>
- [25] Hasil perhitungan the Advisory Committee for Natural Resources and Energy pada bulan December 1999 yang dikutip oleh The Position of Nuclear Energy in Japan, dalam website <http://www.enecho.meti.go.jp/english/policy/nuclear/position.html>

Pemetaan Dan Penyiapan SDM PLTN Tahap Pengoperasian Dan Perawatan Di Indonesia Didasarkan Pada Kualifikasi *Soft Competency*

Moch. Djoko Birmano^{1, a)} dan Imam Bastori^{2, b)}

¹*Pusat Kajian Sistim Energi Nuklir (PKSEN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jakarta*

²*Pusat Kajian Sistim Energi Nuklir (PKSEN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Jakarta*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: birmano@batan.go.id*

^{b)}*imbast@gmail.com*

Abstrak

Penyiapan Sumber Daya Manusia (SDM) yang kompeten merupakan salah satu infrastruktur dasar pembangunan PLTN. International Atomic Energy Agency (IAEA) merekomendasikan bahwa pada kegiatan awal penyiapan SDM PLTN adalah melakukan pemetaan proses bisnis (*Business Process Mapping*) dengan mengidentifikasi pengetahuan, keterampilan dan kemampuan SDM yang dibutuhkan untuk melaksanakan pengoperasian dan perawatan (O&M) PLTN yang didasarkan pada kualifikasi *hard competency* maupun *soft competency*. Tujuan penelitian adalah untuk memetakan dan menyiapkan SDM di Indonesia untuk tahap O&M PLTN yang didasarkan pada kualifikasi *soft competency (SC)*. Fokus survei SDM dilakukan di internal BATAN dengan alasan bahwa saat ini pengembangan SDM nuklir terkait PLTN dilaksanakan oleh BATAN, dan institusi diluar BATAN hanya mengembangkan dalam porsi yang sangat kecil. Metode yang digunakan adalah memetakan proses bisnis pada tahap O&M PLTN, identifikasi jabatan, survei kuesioner, dan perhitungan & analisis. Analisis hasil survei menggunakan Metode Analisis Kesenjangan (*Gap Analysis Methods*) dengan Kriteria Standar Kompetensi SDM yang didasarkan pada kualifikasi *SC* dari *Spencer and Spencer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kesenjangan kualifikasi *SC* antara SDM yang dipersyaratkan dan SDM yang tersedia saat ini di BATAN. Untuk mengatasi kesenjangan ini, perlu adanya penyiapan SDM PLTN dengan menyusun program pengembangan SDM PLTN yang bertujuan untuk pembentukan karakter dengan membangun kecerdasan emosional dan spiritual (*Emotional and Spiritual Quotient, ESQ*).

Kata kunci: SDM, PLTN, kualifikasi *soft competency*, analisis kesenjangan, *ESQ*

Pendahuluan

Saat ini Indonesia sedang mempersiapkan pemanfaatan tenaga nuklir untuk listrik, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Banyak aspek yang harus disiapkan untuk introduksi PLTN, salah satunya adalah aspek sumber daya manusia (SDM)[1]. Penyiapan SDM yang kompeten merupakan salah satu infrastruktur dasar pembangunan PLTN [2]. SDM yang mempunyai kompetensi dan berkualitas sangat penting dalam O&M PLTN, khususnya untuk keselamatan dan keandalan [3]. Ada tiga (3) unsur keselamatan dalam industri, termasuk dalam industri nuklir atau PLTN, yaitu manusia, mesin dan lingkungan [4].

IAEA menekankan bahwa kegiatan awal dalam menyiapkan SDM PLTN adalah melakukan Pemetaan Proses Bisnis (*Business Process Mapping*) dengan mengidentifikasi pengetahuan,

keterampilan dan kemampuan SDM yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan proyek PLTN, khususnya dalam O&M PLTN [3] [5] [6] [7]. Makalah ini merupakan kelanjutan dari makalah berjudul "Pemetaan dan Penyiapan SDM Tahap Pengoperasian dan Perawatan PLTN di Indonesia", yang telah terbit di Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 15, Nomor 2, Desember 2013 [8]. Pada makalah tersebut, pemetaan dan penyiapan SDM didasarkan pada kualifikasi kompetensi teknis (*hard competency*), sedangkan untuk makalah ini pemetaan dan penyiapan SDM didasarkan pada kualifikasi *SC* dari *Spencer and Spencer*.

Selain kualifikasi kompetensi teknis seperti tingkat & bidang pendidikan, pelatihan serta pengalaman kerja, kualifikasi *SC* seperti karakter, sikap dan perilaku juga merupakan faktor penting yang wajib dipenuhi dalam proses pengembangan SDM PLTN [9]. Karakter, sikap dan perilaku yang mengandung motif, sifat, keyakinan dan nilai/norma seseorang berperan untuk meningkatkan kinerja dan meminimalisir kesalahan manusia (*human error*) [10]. Terjadinya kecelakaan di sektor industri selalu dapat dirunut kepada dua (2) hal, yaitu kegagalan alat ataupun kesalahan personil [4] [11]. Kedua hal tersebut terkait erat dengan rendahnya kompetensi personil, yang bermuara kepada terjadinya *human error* yang mengawali terjadinya kecelakaan. Kecelakaan PLTN terbesar di dunia, yaitu *Three Miles Island unit 2 (TMI-2)* tahun 1979 dan Fukushima Daiichi tahun 2011 pun menunjukkan bahwa kecelakaan disebabkan oleh *human error* [12] [13]. Mengingat pentingnya *SC* personil pengoperasian PLTN, maka dalam perekrutan personil, IAEA mengharuskan materi *soft skill* dalam ujian wawancara [14] [15]. Dalam industri nuklir di Indonesia, perlu penataan mendesak karena alasan yang berkaitan dengan masalah perilaku, tanggung jawab, komunikasi dan birokrasi administrasi [16]. Oleh karena itu, SDM PLTN harus memiliki karakteristik spesifik yang membedakan dengan SDM di institusi atau fasilitas lain. PLTN memerlukan personil yang mempunyai kualifikasi *SC* yang tinggi agar penerapan budaya keselamatan dalam pengoperasian PLTN dapat terlaksana dengan baik.

Makalah ini merupakan salah satu bagian studi yang perlu disiapkan karena merupakan salah satu bagian infrastruktur dasar pembangunan PLTN, yaitu SDM sesuai dengan petunjuk IAEA dalam dokumen IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.2 yang berjudul "*Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development*" [17].

Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan melalui empat (4) tahapan, yaitu melakukan 1) pemetaan proses bisnis pada tahap O&M PLTN, 2) identifikasi jabatan, 3) survei dengan kuesioner, dan 4) melakukan perhitungan, analisis dan pembahasan.

Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dengan melakukan survei dan pengisian kuesioner oleh responden SDM di internal BATAN, yang dilaksanakan pada tahun 2013. Pengisian kuesioner dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kualifikasi *SC* personil PLTN pada tahap O&M.

Penyusunan kuesioner berdasarkan pada beberapa asumsi sebagai berikut:

- Kuesioner ditujukan untuk jabatan supervisor ke atas (non-operator) di organisasi tahap O&M PLTN,
- SDM yang diperhitungkan hanya yang bekerja di pembangkit, tidak SDM yang bekerja di kantor pusat,
- PLTN diasumsikan beroperasi pada tahun 2027 [18],

- Jumlah PLTN yang akan beroperasi pada tahun 2027 adalah 2 unit (*twin*).

Sedangkan penentuan kriteria responden yang disurvei berdasarkan beberapa ketentuan sebagai berikut:

- Pegawai BATAN yang bekerja di unit kerja yang terkait dengan aktivitas O&M PLTN
- Latar belakang pendidikan dari Teknik (Nuklir, Fisika, Mesin, Elektro, Kimia dan Lingkungan) dan MIPA (Fisika, Kimia dan Instrumentasi)
- Pegawai berumur maksimal 50 tahun [19] pada saat mulai pengoperasian PLTN tahun 2027 atau berumur maksimal sekitar 36 tahun pada tahun 2013 (saat survei dilakukan).

Analisis Data Hasil Survei Kuesioner

Analisis hasil survei kuesioner menggunakan Metode Analisis Kesenjangan (*Gap Analysis Methods*), yaitu digunakan Kriteria Standar Kompetensi SDM yang didasarkan pada kualifikasi SC dari *Spencer and Spencer*.

Untuk menyiapkan SDM PLTN ke depan dilakukan dengan menyusun program pengembangan SDM PLTN berbasis SC yang merupakan hasil dari analisis kesenjangan antara profil kompetensi jabatan dengan profil kompetensi pegawai. Profil kompetensi jabatan untuk SC disusun berdasarkan tugas dan fungsi setiap jabatan/posisi pada organisasi tahap O&M PLTN dan *experts judgement* para peneliti, yang mengacu pada kamus kompetensi *Spencer and Spencer*. Sementara itu profil kompetensi pegawai disusun berdasarkan realitas kualifikasi SC pegawai yang ada di internal BATAN saat ini yang diperoleh dari survei kuesioner.

Kualifikasi SC Dari Spencer and Spencer [20]

Spencer, Lyle M. & Spencer, Signe M. atau lebih dikenal dengan *Spencer and Spencer* membagi 6 kelompok SC, yang dijabarkan menjadi 20 kriteria SC. Untuk penelitian ini dipilih hanya 6 kriteria SC yang mewakili karakter, sikap dan perilaku yang harus dimiliki oleh semua personil yang bekerja pada tahap O&M PLTN, yaitu:

1. Semangat Untuk Berprestasi (*Achievement Orientation, ACH*), yaitu kepedulian seseorang terhadap pekerjaannya sehingga ia berusaha untuk bekerja dengan baik atau di atas standar;
2. Perhatian terhadap tugas (*Concern for Order, CO*), yaitu dorongan dalam diri seseorang untuk mengurangi ketidakpastian di lingkungan sekitarnya, khususnya berkaitan dengan data dan informasi (kerapihan, kualitas dan ketelitian);
3. Inisiatif/Proaktif (*Initiative, INT*), yaitu keinginan untuk bertindak melebihi kebutuhan atau yang diharapkan pekerjaan – melakukan sesuatu tanpa menunggu perintah lebih dahulu, tindakan ini dilakukan untuk memperbaiki atau meningkatkan hasil pekerjaan atau menghindari timbulnya masalah atau menciptakan peluang baru;
4. Kerja kelompok dan kerjasama (*Team Work, TW*), yaitu keinginan dan kemampuan untuk bekerja sama dengan orang lain, menjadi bagian dari suatu kelompok;
5. Berfikir Analitik (*Analytic Thinking, AT*), yaitu kemampuan untuk memahami situasi dengan cara menguraikan masalah menjadi bagian-bagian yang lebih rinci atau mengamati implikasi suatu keadaan tahap demi tahap berdasarkan pengalaman masa lalu; dan
6. Keahlian Teknis / Profesional / Manajerial (*Expertise, EXP*), yaitu penguasaan pengetahuan eksplisit, berupa keahlian untuk menyelesaikan suatu pekerjaan serta motivasi untuk mengembangkan, menggunakan dan mendistribusikan pengetahuan yang berkaitan dengan pekerjaan pada orang lain.

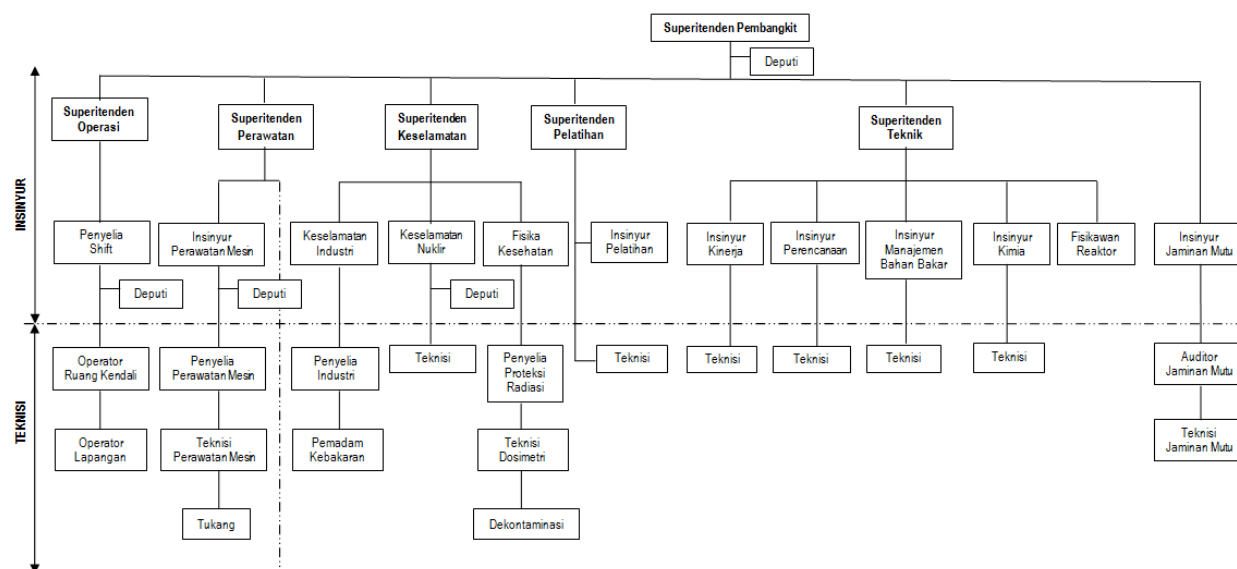
Sikap dan perilaku inti sebagaimana dijabarkan di atas perlu dirinci menjadi persyaratan kualifikasi SC yang lebih detil bagi setiap jabatan dalam organisasi tahap O&M PLTN seperti pada Tabel 2.

Hasil dan Diskusi

Pemetaan Proses Bisnis Pada Tahap Pengoperasian Dan Perawatan PLTN

Pemetaan proses bisnis pada tahap O&M PLTN menghasilkan struktur organisasi yang memunculkan berbagai macam jabatan dari level teratas (Superitenden Pembangkit) sampai dengan level terendah dalam pembangkit (Operator/Tukang), seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

Secara umum struktur organisasi tersebut mencakup lima bagian utama dari keseluruhan kegiatan pada tahap O&M PLTN, diantaranya adalah: pengoperasian, perawatan, keselamatan, pelatihan dan teknik.



Gambar 1. Struktur Organisasi Tahap O&M PLTN [3]

Setiap jabatan/posisi pada tahap O&M PLTN mempunyai tugas dan fungsi tertentu, seperti terlihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Tugas dan Fungsi Jabatan pada Tahap O&M PLTN [3]

No.	Nama Jabatan	Tugas dan Fungsi
1.	Superitenden Pembangkit	Bertanggung jawab keseluruhan untuk perencanaan, pengarahan dan koordinasi semua kegiatan yang terlibat dalam O&M pembangkit.
2.	Deputi Superitenden	Berbagi tugas dengan Superitenden Pembangkit, menggantikannya di ketidakhadirannya
3.	Superitenden Pengoperasian	Bertanggung jawab pengoperasian pembangkit sesuai dengan prosedur dan ketentuan yang ditetapkan. Hubungan dengan divisi perawatan pembangkit dan divisi teknis lainnya.
4.	Penyelia Shift	Bertanggung jawab untuk mengawasi staf pengoperasian pembangkit dan shift; bertanggung jawab untuk penilaian awal setiap kejadian yang tidak biasa dan tindakan berikutnya.
5.	Deputi Penyelia Shift	Berbagi tugas dengan Penyelia Shift, menggantikan di ketidakhadirannya.
6.	Superitenden	Bertanggung jawab untuk kegiatan perawatan pembangkit, perawatan preventif,

No.	Nama Jabatan	Tugas dan Fungsi
	Perawatan	perbaikan, modifikasi peralatan, komponen, sistem, suku cadang, bahan, alat, bengkel, perencanaan perawatan, penjadwalan, penganggaran; proteksi radiasi, prosedur dan pelaksanaan instruksi.
7.	Insinyur Perawatan	Bertanggung jawab untuk mengorganisir dan melaksanakan perawatan preventif dan kerusakan dan overhaull tahunan, diantaranya mesin/mekanis, listrik, instrumentasi & kontrol dan Sipil
8.	Superitenden Keselamatan	Bertanggungjawab thd keselamatan industri dan nuklir dan thd fisika kesehatan. Mengawasi kepatuhan dengan prosedur keselamatan, peraturan, panduan yang ditetapkan.
9.	Insinyur Keselamatan Industri	Bertanggungjawab thd keselamatan industri pembangkit, mengawasi kepatuhan dengan prosedur, aturan, peraturan, proteksi kebakaran, keamanan.
10.	Insinyur Keselamatan Nuklir	Bertanggungjawab untuk mengawasi kepatuhan thd prosedur, aturan, peraturan keselamatan nuklir selama aktivitas O&M normal. Membantu staf pengoperasian selama kejadian abnormal.
11.	Fisikawan Kesehatan	Bertanggung jawab untuk masalah proteksi radiasi, pemantauan, survei, pengelolaan limbah, pembuangan, manajemen record, perencanaan dan kinerja tindakan proteksi radiasi dalam kasus kejadian abnormal.
12.	Superitenden Pelatihan	Bertanggungjawab untuk mengembangkan dan melaksanakan program pelatihan dan pelatihan ulang; manajemen fasilitas pelatihan; menganalisis kinerja pembangkit dan personil untuk meningkatkan pelatihan. Pengawasan, pengendalian dan pemeriksaan pengikut pelatihan.
13.	Insinyur Pelatihan	Kinerja kegiatan pelatihan di bawah arahan Superitenden Pelatihan.
14.	Superitenden Teknik	Bertanggungjawab untuk menyediakan semua layanan pendukung teknis yang diperlukan untuk O&M yang aman dan efisien. Pengembangan dan analisis prosedur; perencanaan kegiatan secara keseluruhan; manajemen bahan bakar; aspek metalurgi dan kimia; fisika reaktor; tindakan korektif; perbaikan; inspeksi in-service, manajemen dokumentasi; kegiatan pengamanan.
15.	Staf Rekayasa Teknik	Arah dan kinerja kegiatan divisi teknis di bidang tertentu.
16.	Insinyur Jaminan Mutu	Bertanggungjawab dalam perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan prosedur dan pelaksanaan jaminan mutu selama O&M pembangkit.

Identifikasi Jabatan

Struktur organisasi pada Gambar 1 digunakan untuk mengidentifikasi jabatan/posisi, sehingga dapat ditentukan identitas jabatan yang terdiri dari jumlah kebutuhan personil PLTN dan kualifikasi SC jabatan (Profil Kompetensi Jabatan untuk SC) pada tahap O&M seperti terlihat pada Tabel 2. Profil Kompetensi Jabatan untuk SC pada Tabel 2 tersebut disusun berdasarkan tugas dan fungsi setiap jabatan/posisi pada tahap O&M PLTN (di Tabel 1) dan *experts judgement* para peneliti dalam penelitian ini, yang mengacu pada kamus kompetensi *Spencer and Spencer*.

Pada Tabel 2 tersebut terdapat 16 jabatan/posisi pada tahap O&M PLTN dengan total kebutuhan personil untuk 2 unit (*twin*) PLTN sebanyak 80 – 110 orang.

Tabel 2. Kebutuhan Personil dan Identitas Jabatan pada Tahap O&M PLTN (2 unit twin)

Nama Jabatan	Kebutuhan Personil	Level Kompetensi Inti									
		ACH		CO Perhatian thd Tugas	INT-A Dimensi Waktu	TW		AT-A Kompleksitas analisis	EXP		
		ACH-A Target	ACH-C Inovasi			TW-A Kerjasama	TW-B Keterlibatan		EXP-A Tingkat pengetahuan	EXP-C Akuisisi pengetahuan	EXP-D Penyebarluasan pengetahuan
Superintenden pembangkit	2	3	2	5	3	6	5	3	6	2	3
Deputi superintenden pembangkit	2	3	2	5	3	6	5	3	6	2	3
Superintenden operasi	2	2	1	4	3	6	4	2	6	2	3
Penyelia shift	10-12	1	1	4	2	3	3	2	5	1	2
Deputi penyelia shift	10-12	1	1	4	2	2	3	1	4	1	2
Superintenden perawatan	2	2	1	4	3	6	4	2	7	2	3
Insinyur perawatan	16-28	1	0	3	2	3	2	1	4	1	1
Superintenden keselamatan	2	4	1	4	5	6	6	6	7	3	3
Insinyur keselamatan industri	2	2	1	3	4	4	5	5	6	2	2
Insinyur keselamatan nuklir	4-8	2	1	3	4	4	6	5	7	2	2
Fisikawan kesehatan	2-4	2	1	2	4	4	6	4	5	2	2
Superintenden pelatihan	2	2	1	2	5	4	3	2	7	2	2
Insinyur pelatihan	4-6	1	1	2	2	3	2	1	4	1	1
Superintenden teknik	2	4	1	4	5	6	5	5	7	3	3
Staf rekayasa teknik	16-20	2	1	2	2	4	2	2	5	1	1
Insinyur jaminan mutu	2-4	4	2	6	5	0	6	3	7	3	3

Peta SDM PLTN Tahap Pengoperasian dan Perawatan Didasarkan Kompetensi Inti

Hasil survei yang dilakukan di beberapa unit kerja di internal BATAN terkait dengan aktivitas O&M PLTN telah terjaring 59 responden yang hasilnya disusun dalam bentuk Profil Kompetensi Pegawai untuk SC. Selanjutnya dengan menggunakan analisis kesenjangan, dibandingkan antara Profil Kompetensi Pegawai dan Profil Kompetensi Jabatan untuk SC, yang hasilnya adalah peta SDM PLTN tahap O&M pada Tabel 3.

Tabel 3. Peta SDM PLTN untuk Kualifikasi SC

Nama Jabatan	Jumlah SDM yang tersedia	Jumlah SDM yang dibutuhkan
Superitenden Pembangkit	3	2
Deputi Superitenden Pembangkit	-	2
Superitenden Operasi	2	2
Penyelia Shift	13	10 - 12
Deputi Penyelia Shift	7	10 - 12
Superitenden Perawatan	-	2
Insinyur Perawatan	3	16 - 28
Superitenden Keselamatan	1	2
Insinyur Keselamatan Industri	1	2
Insinyur Keselamatan Nuklir	-	4 - 8
Fisikawan Kesehatan	2	2 - 4
Superitenden Pelatihan	1	2
Insinyur Pelatihan	-	4 - 6
Superitenden Teknik	3	2
Staf Rekayasa Teknik	1	16 - 20
Insinyur Jaminan Mutu	2	2 - 4
Jumlah SDM yang memenuhi syarat sesuai kriteria jabatan	39	80 - 110

Tabel 3 menunjukkan peta SDM PLTN di internal BATAN yang menempati jabatan/posisi pada organisasi tahap O&M PLTN yang didasarkan pada SC yaitu karakter, sikap dan perilaku personal. Terlihat bahwa dari 59 pegawai di internal BATAN yang memenuhi kriteria untuk menempati jabatan/posisi dalam organisasi O&M PLTN, hanya 39 orang (35,45% - 48,75%) yang memenuhi syarat sesuai kriteria karakter, sikap dan perilaku personal pemegang jabatan/posisi yang ada di tahap O&M PLTN.

Hasil penelitian ini menunjukkan adanya kesenjangan kualifikasi SC antara SDM yang dipersyaratkan dan SDM yang tersedia saat ini di BATAN. Oleh sebab itu, perlu dilakukan usaha pengembangan SDM PLTN untuk meningkatkan kualifikasi SC bagi SDM BATAN agar bisa memenuhi persyaratan sebagai personil O&M PLTN yang diasumsikan akan mulai beroperasi tahun 2027.

Pengembangan SDM Berdasarkan SC

Personil yang mempunyai kualifikasi SC diperlukan dalam pengoperasian PLTN agar penerapan budaya keselamatan dapat terlaksana dengan baik. Budaya keselamatan adalah sifat dan sikap dalam organisasi dan individu yang menekankan pentingnya keselamatan [21].

Kecerdasan Emosional dan Spiritual (ESQ)

Dari perkembangan ilmu psikologi dan dalam mengelola SDM, diketahui bahwa kemampuan dan kesuksesan seseorang bekerja bukan semata-mata didasarkan pada keterampilan dan kecerdasan intelektual (*Intellectual Quotient, IQ*) yang tinggi, tetapi didasarkan juga pada kecerdasan emosional dan spiritual (*Emotional and Spiritual Quotient/ESQ*). Peran ESQ dalam mendukung keberhasilan di dunia kerja ternyata menempati posisi pertama sesudah IQ [22].

ESQ memiliki pengaruh yang sangat besar dalam meraih kesuksesan manusia baik secara individu maupun kelompok dalam menghadapi pekerjaan rumit seperti pengoperasian PLTN. ESQ memegang peranan penting dalam peningkatan kualitas SDM, karena seseorang yang memiliki ESQ tinggi akan memiliki pula daya semangat, kreativitas, perhatian, visi, komitmen, integritas dan kemampuan bersinergi dengan orang lain serta daya tahan mental untuk menghadapi tantangan. ESQ mampu mengintegrasikan kekuatan akal dan emosi manusia dalam membangun karakter dan

kepribadian yang tangguh, yang tidak hanya cerdas secara intelektual, namun juga diimbangi dengan kecerdasan emosi dan spiritual yang tinggi pula.

Secara praktis, Scott [23] menyatakan bahwa ESQ adalah kemampuan memecahkan masalah yang berhubungan dengan situasi sosial dan hubungan antara manusia. Dalam sebuah organisasi yang lebih banyak mengandalkan kerja kelompok atau tim seperti pengoperasian PLTN, ESQ mempunyai peran yang sangat besar dalam mendukung keberhasilan organisasi. Hasil studi menunjukkan bahwa sebuah tim akan lebih kreatif dan produktif ketika di dalam tim tersebut tercipta suatu partisipasi, kooperasi/kerjasama dan kolaborasi di antara anggotanya [24].

Pembentukan Karakter SDM PLTN dengan Metode ESQ

Program pengembangan SDM PLTN untuk aspek SC bertujuan untuk pembentukan karakter (*character building*) personil yang akan bekerja untuk aktivitas O&M PLTN. Program pembentukan karakter SDM dilakukan dengan membangun kecerdasan emosional dan spiritual (*ESQ*).

Salah satu pelatihan/training untuk pembentukan karakter SDM PLTN adalah program *ESQ training* [25] yaitu sebuah metode training khusus yang mengimplementasikan metode *Quantum Learning* dimana peserta menggunakan seluruh indera dalam menyimak materi training baik itu penglihatan, pendengaran maupun kinestetik. Selain itu, terdapat program *ESQ Outbond* yang secara umum berguna dalam pembentukan karakter pribadi yang tangguh dan berkualitas. Program pembentukan karakter dalam rangka pengembangan SDM tersebut dilakukan melalui teknik pelatihan yang sangat beragam mulai dari metode *role play*, *games* (permainan), *group discussion*, *case study*, *project* serta *lecturing*.

Pada umumnya dampak nyata sebuah pelatihan apa pun jenisnya adalah mereka hanya mendapatkan semangat baru. Namun hal itu hanya berlangsung sesaat, karena setelah itu biasanya para peserta pelatihan tersebut akan kembali pada kebiasaan semula saat sebelum pelatihan. Dan hasil yang paling umum dari suatu pelatihan adalah meningkatkan rasa percaya diri peserta, setidaknya untuk sementara waktu. Jadi, pemahaman saja tidaklah cukup, diperlukan suatu pelatihan yang berkelanjutan sehingga bisa menjadi suatu kebiasaan dan kemudian membentuk suatu karakter yang diharapkan, dan dengan sendirinya kebiasaan lama yang buruk akan menghilang.

Kesimpulan

Pemetaan dan penyiapan SDM PLTN di Indonesia untuk tahap O&M yang didasarkan pada kualifikasi *soft competency* telah dilakukan. Penelitian dilaksanakan dengan tahapan memetakan proses bisnis pada tahap O&M PLTN, identifikasi jabatan, survei kuesioner, dan perhitungan & analisis. Analisis hasil survei menggunakan Metode Analisis Kesenjangan (*Gap Analysis Methods*) dengan Kriteria Standar Kompetensi SDM yang didasarkan pada kualifikasi *soft competency* dari *Spencer and Spencer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat kesenjangan kualifikasi *soft competency* antara SDM yang dipersyaratkan dan SDM yang tersedia saat ini di BATAN. Untuk mengatasi kesenjangan ini, perlu adanya penyiapan SDM PLTN dengan menyusun program pengembangan SDM PLTN yang bertujuan untuk pembentukan karakter dengan membangun kecerdasan emosional dan spiritual (*Emotional and Spiritual Quotient, ESQ*).

Referensi

- [1] Bagiyono dan Basuki, F., "Penyiapan SDM Untuk PLTN di Indonesia: Penyusunan Standar Kompetensi Personil", Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, ISSN 1978-0176, Yogyakarta, 2010
- [2] IAEA, "Evaluation of The Status of National Nuclear Infrastructure Development", Nuclear

- Energy Series No. NG-T-3.2, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2008
- [3] IAEA, *“Manpower Development for Nuclear Power, A Guide Book”*, Technical Reports Series No. 200, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1980
- [4] Joyosukarto, P., *“Budaya keselamatan Total Dalam Bidang Industri”*, Prosiding Seminar tahunan Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, ISSN 1693-7902, Jakarta, 2003
- [5] IAEA, *“Qualification of Nuclear Power Plant Operations Personnel”*, Technical Reports Series No. 242, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1984
- [6] IAEA, *“Guide Book on Training to Establish and Maintain the Qualification and Competence of Nuclear Power Plant Personnel”*, Technical Document No. 525, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1989
- [7] IAEA, *“Recruitment, Qualification, and Training of Personnel for Nuclear Power Plant”*, Safety Standard Series No. NS-G-2.8, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002
- [8] Birmano, MD. dan Anggoro, YD., *“Pemetaan dan Penyiapan SDM Tahap Pengoperasian dan Perawatan PLTN di Indonesia”*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 15, Nomor 2, Desember 2013, Jakarta, 2013
- [9] Pusdiklat-BATAN, *“Konsep Pengembangan SDM Pengoperasian dan Pemeliharaan Bidang Pembangunan Pusat Listrik Tenaga Nuklir”*, Jakarta, 2010
- [10] Pusdiklat-BATAN, *“Naskah Akademis Pengembangan SDM PLTN di Indonesia 2012 – 2025”*, Jakarta, 2010
- [11] Rasmussen, J., *“Sahlin, N.E., and B. Brehner (Eds.): Future Risks and Risk Management”*, Dordrecht: Kluwer, In press, 1993
- [12] Pigford, T.H., *“The Management of Nuclear Safety Lessons Learned from the Accident at TMI”* in *“Nuclear Engineering for An Uncertainty Future”*, edited by Oshima, K., et al., University of Tokyo Press, Tokyo, 1981
- [13] Hendrajit, The Global Review, *“Laporan Utama: Sebaran Radioaktif Bencana Fukushima Berpotensi Menyebarkan ke Samudra Pasifik”*, Jakarta, 2013
- [14] IAEA, *Competency Assessment for Nuclear Industry Personnel*, Vienna, 2006
- [15] IAEA-TECDOC-1204, *“a systematic approach to human performance improvement in NPP”*, Vienna, 2001
- [16] Ridwan, M., *“Mengapa Pemanfaatan Tenaga Nuklir Perlu Diawasi”*, Seminar Keselamatan dan Keamanan Nuklir, Jakarta, 2001
- [17] IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.2., *“Evaluation of The Status of National Nuclear Infrastructure Development”*, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2008
- [18] Liun E. dkk, *“Laporan Teknis: Outlook Energi Nuklir Indonesia 2014”*, PKSEN-BATAN, Jakarta, 2014
- [19] Hasil diskusi dengan Pusdiklat-BATAN, Jakarta, 2013
- [20] Spencer, N.Lyle and Spencer, M. Signe., *“Competence at Work : Models for Superior Performance”*, John Wiley & Son, Inc., New York, 1993
- [21] REPUBLIK INDONESIA, *“Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran”*. Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, Jakarta 1997
- [22] Ali Harsojo, S.Pd., *“Membangun Kecerdasan Emosional – Spiritual (ESQ)”*, STKIP PGRI, Sumenep, 2013
- [23] Scott, A., *“IQ isn’t everything”*, *Des Moines Business Record*, October, IN: 9610281279, 1996
- [24] Druskat, Vanessa Urch and Steven B. Wolf., *“Building The Emotional Intelligence of Group”*, *Harvard Business Review*, March, 2001
- [25] Ginanjar, Ary, A., *‘Rahasia Sukses Membangun Kecerdasan Emosi dan Spiritual ESQ – Emotional Spiritual Quotient berdasarkan 6 Rukun Iman dan 5 Rukun Islam’*, Penerbit Arga, 2001

Pengaruh Skala Ekonomi pada Perhitungan Biaya Pembangkitan Listrik PLTN

Nuryanti^{1, a)}, Mochamad Nasrullah^{2, b)}, Suparman^{3, c)}

^{1,2,3)} Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp/Fax: (021) 5204243

^{a)}nuryanti@batan.go.id, ^{b)}nasr@batan.go.id, ^{c)}superman@batan.go.id

Abstrak

Skala ekonomi merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi keekonomian proyek Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Analisis keekonomian proyek pembangkitan listrik umumnya dilakukan melalui perhitungan biaya pembangkitan listrik teraras (*Levelized Unit Electricity Cost* – LUEC). Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh skala ekonomi terhadap LUEC PLTN. Metodologi hukum skala digunakan dalam penelitian ini. Biaya sesaat (*Overnight cost*) PLTN skala besar digunakan sebagai referensi dan selanjutnya dengan hukum skala dapat dihitung besarnya Overnight cost pada PLTN dengan skala yang lebih kecil. Pada penelitian ini diberikan tiga studi kasus, yaitu: 1 unit PLTN berdaya 1000 MWe (1 x 1000 MWe), 2 unit PLTN berdaya 500 MWe (2 x 500 MWe) dan 4 unit PLTN berdaya 250 MWe (4 x 250 MWe). Perhitungan LUEC pada ketiga studi kasus menghasilkan nilai LUEC masing-masing sebesar: 8,70 cents US\$/kWh pada PLTN 1 x 1000 MWe, 11,17 cents US\$/kWh pada PLTN 2 x 500 MWe dan 13,20 cents US\$/kWh pada PLTN 4 x 250 MWe. Hasil ini menunjukkan bahwa membangun satu unit PLTN skala besar dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan membangun beberapa unit PLTN skala kecil atau menengah.

Kata kunci: skala ekonomi, biaya pembangkitan listrik teraras, PLTN

Pendahuluan

Peraturan Pemerintah (PP) Republik Indonesia No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional menskenariokan bauran energi primer optimal yang memberi kesempatan kepada energi baru dan terbarukan (termasuk nuklir) untuk berkontribusi hingga sebesar 23% pada tahun 2025, 25% pada tahun 2030 dan 31% pada tahun 2050 [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) sebagai salah satu jenis teknologi pembangkitan listrik dapat menjadi salah satu opsi untuk mencapai bauran energi optimal sebagaimana diamanatkan oleh PP tersebut.

Proyek PLTN dicirikan sebagai mega proyek yang padat modal dan padat teknologi. Oleh karena itu, analisis keekonomian proyek menjadi hal yang mutlak untuk dijalankan sebelum diambilnya keputusan investasi. Analisis keekonomian proyek pembangkitan listrik umumnya dilakukan melalui perhitungan biaya pembangkitan listrik teraras (*Levelized Unit Electricity Cost* - LUEC). Salah satu parameter yang mempengaruhi keekonomian proyek adalah skala ekonomi (*economy of scale*). Skala ekonomi menjadi faktor yang sangat penting dalam industri nuklir yang padat modal [2]. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh skala ekonomi terhadap LUEC PLTN. Metodologi hukum skala digunakan dalam penelitian ini. Akan dibandingkan hasil perhitungan LUEC dari tiga studi kasus, yaitu: 1 unit PLTN berkapasitas 1.000 MWe, 2 unit PLTN berkapasitas 500 MWe

dan 4 unit PLTN berkapasitas 250 MWe. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi para pemangku kepentingan dalam pengambilan keputusan investasi pada proyek PLTN.

Metodologi

Hukum Skala (*Scaling-Law*)

Skala ekonomi merupakan konsep yang terkait dengan fungsi biaya dalam suatu proses produksi. Konsep ini menggambarkan perubahan total biaya produksi proporsional terhadap perubahan *output* produksi [3]. Skala ekonomi didefinisikan sebagai pengurangan biaya produksi per unit akibat dari peningkatan volume produksi [4].

Persamaan matematis yang menunjukkan konsep skala ekonomi adalah hukum skala (*scaling-law*) yang dinyatakan dalam persamaan 1)[5]. Persamaan ini memungkinkan seorang insinyur untuk mengestimasi biaya dari suatu peralatan dengan kapasitas yang berbeda jika ukuran kapasitas yang lain telah diketahui [6]. Dalam konteks PLTN, maka persamaan 1) menggambarkan efek perubahan kapasitas yaitu dari P_0 menjadi P_1 (desain sama namun dengan kapasitas berbeda) terhadap perubahan besarnya biaya pembangkitan listrik [7].

$$\text{Biaya } P_1 = \text{Biaya } P_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^n \quad 1)$$

Dimana:

Biaya (P_1) = Biaya pembangkit berkapasitas P_1

Biaya (P_2) = Biaya pembangkit berkapasitas P_0

n = Faktor skala

Most probable value faktor skala (n) diasumsikan berada pada interval 0,45 – 0,6 dengan nilai rata-rata $n = 0,51$ [5].

Terdapat beberapa ketentuan terkait dengan penggunaan hukum skala, antara lain [5]:

- Hukum skala hanya berlaku jika tidak ada perubahan desain yang signifikan dalam perubahan kapasitas pembangkit.
- Skala ekonomi dapat bersifat terbatas akibat dari keterbatasan secara fisik untuk meningkatkan ukuran beberapa sistem atau komponen.
- Penggunaan hukum skala untuk keseluruhan pembangkit hanya bersifat pendekatan (aproksimasi), karena komponen yang berbeda dimungkinkan memiliki skala eksponen yang berbeda.

Perhitungan Biaya Pembangkitan Listrik

LUEC atau *Levelized Generation Cost (LGC)* adalah biaya pembangkitan listrik yang *di-levelized* sehingga menjadi *cost/kWh*, yang terdiri dari biaya investasi atau kapital pembangunan pembangkit, biaya operasi & pemeliharaan (*operation & Maintenance – O&M cost*) dan biaya bahan bakar [8] [9].

Persamaan matematis untuk menghitung *LUEC* dinyatakan dengan persamaan 2) [10].

$$LUEC = \frac{t \left(\frac{Investment_t + O\&M_t + Fuel_t + Decommisioning_t}{(1+r)^t} \right)}{t \left(\frac{Electricity_t}{(1+r)^t} \right)} \quad 2)$$

Dimana:

- Electricity_t* : Total energi listrik yang diproduksi pada tahun “t”
LUEC : Biaya Pembangkitan teraras (*Levelized Unit Electricity Cost*)
Investment_t : Biaya investasi pada tahun “t”
O&M_t : Biaya operasi & pemeliharaan pada tahun “t”
Fuel_t : Biaya bahan bakar nuklir (BBN) pada tahun “t”
Decommisioning_t : Biaya dekomisioning pada tahun “t”

Secara konsep ekonomi teknik, persamaan 2) menunjukkan bahwa pada dasarnya LUEC merupakan hasil bagi antara nilai kini jumlahan biaya-biaya terdiskonto dengan nilai kini jumlahan produksi energi listrik terdiskonto [11]. Satu hal yang menjadi kekhususan PLTN dibandingkan jenis pembangkit yang lain adalah adanya biaya pengelolaan limbah radioaktif (*Decommisioning & Decontamination Cost – D&D Cost*). Pada beberapa literatur, biaya ini sering disebutkan tersendiri. Namun, dalam prakteknya biaya ini dapat pula menjadi bagian dari biaya operasi & pemeliharaan, dimana perusahaan PLTN akan menyisihkan sejumlah uang setiap tahun selama masa operasi PLTN sebagai cadangan untuk biaya dekomisioning.

Dalam penelitian ini, perhitungan LUEC dilakukan dengan menggunakan model *Levelized Cost* yang disampaikan oleh tenaga ahli (*expert*) dari Badan Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency-IAEA*) [12]. Model ini merupakan model *spreadsheet* berbasis arus kas (*cash flow*), dimana total biaya yang dikeluarkan tiap tahun (biaya investasi yang terjadi selama masa konstruksi, biaya O&M dan biaya BBN yang terjadi selama masa operasi) semuanya dirinci dalam arus kas tahunan. Demikian pula energi yang diproduksi tiap tahun (dimana energi listrik baru mulai diproduksi pada masa operasi) juga dirinci dalam nilai tahunan. Total biaya tahunan tersebut didiskonto ke tahun awal masa konstruksi sehingga hasil jumlahnya disebut sebagai total biaya tahunan terdiskonto. Demikian pula produksi energi tahunan juga didiskonto ke tahun awal konstruksi sehingga hasil jumlahnya disebut sebagai total produksi energi tahunan terdiskonto. LUEC merupakan rasio antara total biaya tahunan terdiskonto dengan total produksi energi tahunan terdiskonto.

Data dan Asumsi

Dalam penelitian ini diberikan tiga studi kasus perhitungan LUEC, yaitu:

- a. 1 unit PLTN berkapasitas 1000 MWe (1 x 1000 MWe)
- b. 2 unit PLTN berkapasitas 500 MWe (2 x 500 MWe)
- c. 4 unit PLTN berkapasitas 250 MWe (4 x 250 MWe)

Ketiga studi kasus tersebut menghasilkan total kapasitas yang sama yaitu 1000 MWe namun dengan jumlah unit yang berbeda, sehingga dalam penelitian ini akan diketahui mana opsi/pilihan yang lebih ekonomis antara opsi membangun satu unit PLTN skala besar dengan opsi membangun beberapa unit PLTN skala kecil dan menengah (250 MWe atau 500 MWe) dalam satu lokasi tapak. IAEA mendefinisikan bahwa pada intinya PLTN skala kecil & menengah (*Small & Medium Reactor – SMR*) merupakan kategori reaktor dengan kapasitas di bawah 700 MWe [13], namun tata letak dan konsep desain baru dimungkinkan untuk kapasitas yang lebih kecil (misalnya kapasitas 350 MWe ke bawah) [5] [14] [15].

Beberapa parameter teknis dari PLTN yang dikaji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Teknis PLTN yang Dikaji

No	Parameter	Unit	Nilai
1	Kapasitas Unit	MWe	(1 x 1000) Vs (2 x 500) Vs (4 x 250)
2	Faktor Kapasitas	%	93 [6]
3	Produksi Daya tahunan	MWh	8.146.800
4	<i>Burn Up</i>	MWd per metrik ton U ₂₃₅	60.000
5	Tahun Dasar (<i>Reference year</i>)		2012
6	Tingkat diskonto	%	10
7	Umur Proyek	Tahun	40
8	Nilai Tukar	Rp/ 1 US\$	12.000,- [16]

Biaya investasi

Biaya investasi PLTN terdiri atas: *EPC costs (Engineering Procurement Construction)*, *development costs* dan *other costs* [8], dan sering diistilahkan sebagai biaya sesaat (*Overnight Cost*). Tabel 2 menyatakan *Overnight cost* PLTN skala besar (1000 MWe) yang diambil dari nilai rata-rata beberapa referensi PLTN skala besar. Nilai-nilai *Overnight Cost* ini telah dikonversi dari tahun estimasi ke tahun dasar (*reference year*) dengan menggunakan *Power Capital Cost Index (PCCI)* [17].

Tabel 2. *Overnight Cost* PLTN Skala Besar (1000 MWe)

No	Tahun Estimasi	Referensi	Lokasi	<i>Overnight Cost (US\$/kWe)</i>	Keterangan
1	2007	Du & Parsons (2009) [18]	Jepang	5.261	Status: Operasi
2	2007	MIT (2009) [19]		4.149	perkiraan
3	2006	Schlissel & Biewald, 2008 [20]		5.186	perkiraan
4	2007	Schlissel and Biewald, 2008		4.550	Perkiraan
5	2009	EPRI (2009) [21]		4.214	Perkiraan
6	2009	DOE (2009) [21]		4.713	Perkiraan
7	2020	EIA (2010) [21]		5.481	Perkiraan
Rata-rata <i>Overnight Cost</i> PLTN skala besar (1000 Mwe)				4.793	

Waktu Konstruksi

Sebuah studi yang mengkaji tentang keekonomian SMR menyebutkan bahwa waktu konstruksi PLTN skala besar adalah 5 tahun, sedangkan PLTN SMR adalah 3 tahun [22]. Pengalaman waktu konstruksi beberapa PLTN skala besar di Korea dan China juga tercatat sekitar 5 tahun [23] [24]. Mengingat Indonesia belum punya pengalaman dalam membangun PLTN komersial, maka nilai ini dinilai terlalu optimis. Data dari PRIS diketahui bahwa median (nilai tengah) dari data waktu konstruksi PLTN di beberapa negara adalah sekitar 7 tahun [25]. Oleh karena itu dalam studi ini diasumsikan bahwa waktu konstruksi untuk PLTN skala besar adalah 7 tahun. Sedangkan waktu konstruksi PLTN 4 x 250 MWe diasumsikan selama 4 tahun per unit dan untuk PLTN 2 x 500 MWe diasumsikan selama 5 tahun per unit.

Biaya Operasi & Pemeliharaan (*O&M Cost*)

O&M Cost merupakan biaya yang diperlukan untuk menjalankan operasi rutin PLTN. *O&M Cost* dibedakan menjadi dua, yaitu *variable O&M Cost* dan *fixed O&M Cost*. *Fixed O&M Cost* PLTN yang dikaji dinyatakan dalam Tabel 3 [6] [8].

Tabel 3. Fixed O&M Cost PLTN yang dikaji

No	Rincian	Nilai (US\$)
1	General Affair & Management Cost	741.515
2	O&M technical staff	2.857.444
3	Pemeliharaan rutin	15.804.792
4	Pajak Properti	10.553
5	Asuransi pembangkit	488.808

Sedangkan *variable O&M Cost* merupakan *consumables material* yang besarnya bergantung pada jam operasi PLTN. Nilai *variable O&M cost* mengacu pada rata-rata dari data historis yaitu sekitar 0,6030 US\$/ MWh [26].

Biaya bahan bakar (fuel cost)

Terdapat 4 komponen yang berkontribusi pada komponen biaya bahan bakar nuklir (BBN), yaitu: harga uranium alam (U_3O_8), biaya konversi, biaya pengkayaan (*separative work unit/SWU*) dan biaya fabrikasi [27]. Rincian biaya BBN per kg U_{235} dinyatakan dalam Tabel 4 [28]. Tingkat eskalasi biaya BBN dari tahun dasar ke tahun operasi diasumsikan sebesar 0,5% per tahun [29].

Tabel 4. Rincian Biaya BBN (US\$) [28]

Komponen Biaya BBN	Harga pada <i>reference year</i> (US\$)	Harga pada tahun operasi (US\$)	Total Biaya BBN (US\$)
Harga U_3O_8	130	138,02	1.228
Biaya Konversi (U_3O_8 ke UF6)	11	11,68	88
Pengkayaan	120	127,40	930
Fabrikasi	240	254,80	255
Biaya BBN (US\$/kg U_{235})			2.501

Hasil dan Pembahasan

Hasil Perhitungan Biaya Investasi

Berdasar data pada Tabel 2 diketahui bahwa hasil perhitungan *Overnight Cost* PLTN skala besar yang diestimasi dari beberapa referensi adalah sebesar 4.793 US\$/kWe. Berdasar nilai *Overnight Cost* PLTN skala besar tersebut, selanjutnya dapat diestimasi *Overnight Cost* untuk PLTN skala kecil dan menengah (250 MWe dan 500 MWe) dengan menggunakan metodologi hukum skala yang dinyatakan dalam persamaan 1). Faktor skala (n) yang digunakan dalam perhitungan ini diasumsikan sebesar 0,51 mengacu pada nilai rata-rata dari interval nilai n (0,45 – 0,6)^[5]. Tabel 5 menyatakan hasil perhitungan *Overnight Cost* dan total biaya investasi pada ketiga studi kasus PLTN yang dikaji.

Tabel 5. Perhitungan Biaya Investasi Ketiga Studi Kasus PLTN

No	Keterangan	<i>Overnight Cost</i> (US\$/kWe)	Total Biaya Investasi (Juta US\$)
1	PLTN 1 x 1000 MWe	4.793	4.793
2	PLTN 2 x 500 MWe	6.732	6.732
3	PLTN 4 x 250 MWe	9.455	9.455

Berdasar Tabel 5 diketahui bahwa skala ekonomi berpengaruh cukup signifikan terhadap besarnya biaya investasi. Perubahan kapasitas dari satu unit skala besar (1000 MWe) menjadi beberapa unit skala kecil dan menengah (500 MWe dan 250 MWe) telah menyebabkan perubahan

Overnight Cost, meskipun total kapasitas PLTN yang dibangun sama yaitu sebesar 1000 MWe. Berdasar tabel tersebut diketahui bahwa makin kecil kapasitas unit reaktor maka akan makin tinggi nilai *Overnight Cost* yang terjadi. Perubahan kapasitas (dari satu unit PLTN skala 1000 MWe menjadi empat unit PLTN skala 250 MWe) telah menyebabkan total biaya investasi naik menjadi hampir dua kali lipat dari biaya semula. Hal ini disebabkan oleh keekonomian bahan baku dan optimasi yang dapat terealisasi ketika membangun PLTN skala besar [5]. Meskipun membangun empat unit PLTN skala 250 MWe telah membengkakkan biaya investasi menjadi hampir dua kali lipat dari biaya investasi yang diperlukan untuk membangun satu unit PLTN skala 1000 MWe, namun perlu dicatat bahwa membangun beberapa unit PLTN pada satu lokasi memiliki keuntungan yang disebut sebagai efek produktivitas. *Organisation of Economic Cooperation and Development – Nuclear Energy Agency* (OECD – NEA) menyebutkan bahwa efek produktivitas dapat terjadi mulai unit ke-3 dan seterusnya [5]. Jika dua pasang PLTN *twin-unit* (artinya 4 unit PLTN) dibangun pada satu lokasi tapak, maka akan terjadi pengurangan biaya *Overnight Cost* per unit sehingga menjadi sekitar 0,81 sampai 0,9 dari nilai *Overnight Cost* semula [5]. Kondisi ini diistilahkan sebagai *economy of subsequent*. Dalam studi ini diasumsikan bahwa efek produktivitas untuk PLTN 4 x 250 MWe adalah sebesar 0,9. Dengan mempertimbangkan nilai efek produktivitas ini maka total biaya investasi PLTN 4 x 250 MWe akan berubah dari 9.455 juta US\$ menjadi 8.509,5 juta US\$. Perubahan nilai biaya investasi akibat efek produktivitas ini cukup signifikan, namun tentu saja tidak dapat berkompetisi dengan perubahan yang terjadi akibat dari pengaruh skala ekonomi.

Hasil Perhitungan Nilai LUEC

Hasil perhitungan LUEC pada ketiga studi kasus dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan LUEC pada Ketiga Studi Kasus

No	Keterangan	Nilai LUEC (cents US\$/kWh)
1	PLTN 1 x 1000 Mwe	8,71
2	PLTN 2 x 500 Mwe	11,17
3	PLTN 4 x 250 Mwe	13,20

Berdasar Tabel 6 diketahui bahwa nilai LUEC dari satu unit PLTN skala 1000 MWe berbeda dengan LUEC dari dua unit PLTN skala 500 MWe maupun empat unit PLTN skala 250 MWe, yaitu masing-masing sebesar 8,71 cents US\$/kWh pada PLTN 1 x 1000 MWe, 11,17 cents US\$/kWh pada PLTN 2 x 500 MWe dan sebesar 13,20 cents US\$/kWh pada PLTN 4 x 250 MWe. Perbedaan ini tentu saja sangat dipengaruhi oleh skala ekonomi. Sebagaimana disebutkan dalam subbab 4.1. bahwa perubahan kapasitas telah menyebabkan perubahan yang sangat signifikan terhadap biaya investasi. Thomas (2010) telah mencatat pengalaman komposisi biaya pembangkitan listrik PLTN dengan teknologi dari Areva Perancis dimana porsi biaya investasi mencapai sebesar 70%, sedangkan porsi sisanya diisi oleh biaya O&M dan biaya bahan bakar [30]. Mengingat porsi biaya investasi yang cukup besar dalam komponen penyusun biaya pembangkitan listrik tersebut, maka sangat wajar jika perubahan biaya investasi ini pada akhirnya akan berpengaruh cukup signifikan terhadap nilai LUEC.

Hasil perhitungan LUEC pada Tabel 6 menunjukkan bahwa makin kecil kapasitas pembangkit per unit maka akan makin besar nilai LUEC yang terbentuk meskipun total kapasitasnya sama. Hasil ini menunjukkan bahwa membangun satu unit PLTN skala besar dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan membangun beberapa unit PLTN skala kecil atau menengah. Nilai LUEC yang tinggi tentu

saja akan berpengaruh pada tingginya harga jual listrik karena nilai LUEC inilah yang akan diacu dalam kontrak pembelian tenaga listrik oleh PLN (*power purchase agreement – PPA*).

Akan tetapi perlu diingat bahwa pilihan untuk membangun satu unit PLTN skala besar ataupun beberapa unit PLTN skala kecil atau menengah tentu saja disesuaikan dengan kebutuhan. Kadang-kadang membangun PLTN skala SMR tetap diperlukan pada kondisi-kondisi yang tak bisa diakomodasi oleh PLTN skala besar. Program pengembangan PLTN SMR diantaranya difokuskan pada wilayah-wilayah yang terpencil (*isolated area*) dimana jaringan listriknya belum terinterkoneksi. Selain itu PLTN SMR juga dikembangkan untuk tujuan kogenerasi seperti kopel produksi listrik dan energi panas, kopel produksi listrik dan desalinasi, dll [5]. Dalam istilah *marketing*, ini merupakan ceruk yang menjadi *market competitiveness* dari PLTN SMR yang tak terakomodasi oleh PLTN skala besar.

Kesimpulan

Skala ekonomi berpengaruh cukup signifikan terhadap biaya pembangkitan listrik PLTN. Perhitungan LUEC pada ketiga studi kasus PLTN yang dikaji telah menghasilkan nilai LUEC masing-masing sebesar: 8,71 *cents* US\$/kWh pada PLTN 1 x 1000 MWe, 11,17 *cents* US\$/kWh pada PLTN 2 x 500 MWe dan sebesar 13,20 *cents* US\$/kWh pada PLTN 4 x 250 MWe. Opsi untuk membangun satu unit PLTN skala besar dinilai lebih ekonomis dibandingkan dengan opsi membangun beberapa unit PLTN skala kecil atau menengah dalam satu lokasi tapak, namun pemilihan opsi ini tentu disesuaikan dengan kebutuhan.

Referensi

- [1] _____, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta, 2014.
- [2] S. Boarin dan M. E. Ricotti, "Research Article: An Evaluation of SMR Economic Attractiveness", Hindawi Publishing Corporation, Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2014, Article ID 803698
- [3] A. Johnston dan J. Ozment, "Economies of scale in the US airline industry", Elsevier, Transportation Research Part E 51 (2013) 95–108
- [4] _____, "Definition of Economies of Scale", <http://www.investopedia.com/terms/e/economiesofscale.asp> [Diakses 02 Maret 2015]
- [5] IEA/ NEA, "Current Status, Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors", OECD, Paris, Juni 2011
- [6] PT PLN (Persero), PT LAPI ITB & JAPC, "Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project – Non Site aspect", 2013
- [7] IEA/ NEA, "Reduction of Capital Cost of Nuclear Power Plants", OECD, Paris, 2000
- [8] PPEN-BATAN & Puslitbang PT PLN (Persero), "Studi Ekonomi, Pendanaan dan Struktur "owner" dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia", PLN, Jakarta, 2006
- [9] Zuhail, "Ketenagalistrakan Indonesia", PT Ganeca Prima, Jakarta, 1995
- [10] IEA/NEA, "Projected Cost of Generating Electricity (2010 Edition)", OECD, Paris, 2010
- [11] Blank & Tarquin, "Engineering Economy", 6th, Mc Graw Hill, Singapore, 2008
- [12] A. Das, "Levelized Cost", Training on Advance Energy Planning, Jakarta, 1-12 Oktober 2012
- [13] IAEA, "Approaches for Assessing the Economic Competitiveness of Small and Medium Sized Reactors", IAEA Nuclear Energy Series NP-T-3.7, IAEA, Vienna, Austria, 2013
- [14] B. Petrovic, M. Ricotti, S. Monti, N. Cavlina, dan H. Ninokata, "Pioneering Role of IRIS in the Resurgence of Small Modular Reactors", Nuclear Technology, Vol. 178, no. 2, pp. 126-152, 2012
- [15] J. Reyes and P. Lorenzini, "NuScale: A Modular, Scalable Approach to Commercial Nuclear Power", Nuclear News, 2010
- [16] BANK INDONESIA, "Foreign Exchange Rate in Year 2012", <http://www.bi.go.id/> [Diakses Juni 2014]

- [17] _____, "Power Capital Cost Index (PCCI) North America", <http://www.ihsccera.com/> [Diakses 05 Mei 2014]
- [18] Y. Du dan E. J. Parsons, "Update on The Cost of Nuclear Power", Center for Energy and Environmentally Research (CEEPR), 2009
- [19] MIT, "Update of the MIT 2003 Future of Nuclear Power Study", Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, United States, 2009
- [20] D. Schlissel dan B. Biewald, "Nuclear Power Plant Construction Costs", 2008, <http://www.synapse-energy.com/Downloads/SynapsePaper.2008-07.0.Nuclear-Plant-Construction-Costs.A0022.pdf> [Diakses 3 Februari 2015]
- [21] C. Welling, "SMR Financing and Economics, The Nuclear Option: Is Small Scale Nuclear Energy an Option for Alaska?", USDOE, Desember 2010
- [22] _____, "Study of Construction Technologies and Schedules, O&M Staffing and Cost, Decommissioning Costs and Funding Requirements for Advanced Reactor Designs", Dominion Energy, Bechtel Power Corporation and TLG Report, 2004
- [23] Korea Electric Power Corporation (KEPCO), "Experience on APR1400 construction", <http://www.kepco.co.id/> [Diakses 03 Februari 2012]
- [24] Westinghouse Electric Company, "AP1000 overview", Pittsburgh: Westinghouse, 2011
- [25] _____, "The Power Reactor Information System (PRIS) IAEA Database", www.iaea.org/pris/ [Diakses 05 Mei 2014]
- [26] G. Rothwell, "The Economics of Future Nuclear Power: An Update of The Economic Future of Nuclear Power (2004), a Study Conducted at the University of Chicago", Stanford University, 2011
- [27] M. D. Birmano, "Konsep dan Ciri Ekonomi Daur Bahan Bakar Nuklir", Coaching Perhitungan Ekonomi dan Pendanaan PLTN, PPEB-BATAN Jakarta, 3-21 September 2007
- [28] _____, "The Economics of Nuclear Power, Updated August 2013", <http://www.world-nuclear.org/info/inf02.html> [Diakses 15 Desember 2013]
- [29] G. Locatelli dan M. Mancini, "Small-medium Sized Nuclear, Coal and Gas power plant: A Probabilistic Analysis of Their Performances and Influence of CO₂ Cost", *Energy Policy*, 38, 6360-6374, 2010.
- [30] S. Thomas, "The economic of nuclear power: An update", Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung, March 2010, <http://www.psiu.org/> [Diakses 03 Februari 2012]

Pengaruh Kebijakan Import Listrik Sesco Terhadap Kedaulatan Energi Dan Keandalan Sistem Kelistrikan Kalbar

Rizki Firmansyah Setya Budi^{1, a)} dan Citra Candranurani^{1, b)}

¹*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: rizkifirmansyah@batan.go.id*

^{b)}*citra@batan.go.id*

Abstrak

Sistem kelistrikan berfungsi untuk menyediakan listrik secara andal. Indeks LOLP digunakan untuk menyatakan tingkat keandalan. PLN merencanakan impor energi listrik dari Sesco untuk mengatasi krisis listrik dan mengurangi ketergantungan terhadap PLTD di Kalimantan Barat (Kalbar). Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kebijakan impor listrik Sesco terhadap kedaulatan energi dan keandalan sistem kelistrikan Kalbar jika Sesco menghentikan pasokan listrik secara sepihak. Perhitungan nilai LOLP menggunakan program WASP IV dengan menggunakan dua skenario: skenario berdasarkan perencanaan PLN dan skenario impor Sesco dihentikan. Setelah mengolah data neraca daya, kurva beban, dan jenis pembangkit, di peroleh nilai LOLP untuk tahun 2013 hingga 2022. Nilai LOLP berdasarkan perencanaan PLN tidak melebihi 0,274% namun apabila sesco berhenti mensuplai maka pada tahun 2015 hingga 2020 nilai LOLP melebihi batas yang diijinkan yaitu >0,274%. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa impor listrik maka sistem kelistrikan menjadi tidak andal dan mengakibatkan kedaulatan energi sulit tercapai. Solusi untuk masalah ini adalah dengan memanfaatkan semua potensi energi seperti biomasa dan nuklir. Pembangkit biomassa terkendala bahan baku yang terbatas. Untuk jangka panjang, PLTN menjadi solusi yang menjanjikan untuk mewujudkan diversifikasi dan kedaulatan energi. Sebelum tahun 2035, PLTN yang dimungkinkan dibangun sebesar 100-200 Mwe.

Kata kunci: Kedaulatan, Keandalan, PLTN, Kalbar

Pendahuluan

Sistem tenaga listrik berfungsi untuk menyediakan dan menyalurkan energi listrik secara andal dan terus menerus [1]. Keandalan sistem tenaga listrik ditentukan oleh penilaian kecukupan (adequacy assesment) dan penilaian keamanan (security assesment). Hal itu berarti keandalan sistem tenaga listrik ditentukan oleh kemampuan sistem untuk memasok energi yang cukup ke pelanggan dengan cara yang memuaskan dan kemampuan sistem untuk tetap mampu bertahan akibat adanya gangguan mendadak seperti hilangnya elemen sistem yang tidak dapat diantisipasi [2] [3] [4] [5]. PT. PLN (Persero) sebagai sebuah perusahaan listrik bertugas merencanakan dan melaksanakan proyek-proyek kelistrikan dengan jangka waktu yang lama, sehingga PLN secara alamiah perlu mempunyai sebuah rencana pengembangan sistem kelistrikan yang berjangka panjang dan andal. Perlunya PLN mempunyai rencana pengembangan sistem kelistrikan jangka panjang juga didorong oleh keinginan PLN untuk mempunyai rencana investasi yang efisien. Untuk mencapai hal tersebut PLN menyusun

sebuah dokumen perencanaan sepuluh tahunan ke depan yang disebut Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) [6].

Selain mempertimbangkan faktor ekonomi, perencanaan sistem kelistrikan memertimbangkan juga faktor keandalan. Indeks LOLP (*Lost of Load Probability*) dapat digunakan untuk menyatakan tingkat keandalan sistem kelistrikan. Indeks LOLP adalah kemungkinan sistem kehilangan beban atau sistem tidak dapat melayani beban [7]. Indeks LOLP yang telah ditetapkan oleh PT. PLN sebagai standar keandalan sistem kelistrikan adalah kurang dari 0,274% ($LOLP < 0,274\%$) [8]. Indeks $LOLP < 0,274\%$ berarti sistem kelistrikan hanya diperbolehkan untuk tidak menyuplai beban maksimal 1 hari/tahun. Untuk mencapai hal tersebut diperlukan suplai listrik yang mencukupi dan berkelanjutan [9].

Sistem kelistrikan Kalbar dalam kondisi krisis karena jumlah beban listrik hampir mendekati kapasitas mampu pembangkit yang ada dan hampir 100% pembangkit yang ada berbahan bakar minyak [10]. Oleh karena itu, diperlukan sebuah perencanaan sistem kelistrikan yang cermat dengan memperhatikan berbagai macam kondisi di Kalbar. Perencanaan sistem kelistrikan Kalbar telah dilakukan oleh PT. PLN dan dituangkan ke dalam RUPTL 2013-2022. Salah satu rencana yang ada di dokumen tersebut adalah impor energi listrik dari Malaysia (Sesco) untuk menyuplai listrik di wilayah perbatasan Kalbar dengan Malaysia dan mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik berbahan bakar minyak. Tentu saja rencana tersebut telah diperhitungkan dengan seksama, tetapi tidak dapat dipungkiri bahwa impor listrik dari negara lain akan berpengaruh terhadap kedaulatan energi dan keandalan sistem kelistrikan.

Beberapa penelitian telah menghitung indeks LOLP dalam rangka mencari keandalan dan kecukupan daya [1] [5]. Perbedaan penelitian ini dengan sebelumnya adalah dalam penelitian ini dilakukan analisis pengaruh penghentian impor listrik Sesco terhadap kedaulatan dan keandalan sistem kelistrikan Kalbar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kebijakan impor listrik dari Sesco terhadap kedaulatan energi dan keandalan sistem kelistrikan Kalbar jika Sesco menghentikan pasokan listrik secara sepihak.

Model

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metodologi sebagai berikut: studi pustaka, pengolahan data, analisis, dan penarikan kesimpulan. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan kondisi kelistrikan Kalbar sesuai dengan yang telah direncanakan PLN (skenario 1) dengan kondisi kelistrikan Kalbar jika impor Sesco dihentikan (Skenario 2). Kondisi kelistrikan yang dianalisis adalah keandalan sistem kelistrikan yang direpresentasikan dengan nilai LOLP. Untuk mengetahui dampak penghentian pasokan listrik dari Sesco terhadap LOLP sistem kelistrikan Kalbar menggunakan program WASP IV (Wien Automatic System Planning Package). Sedangkan metode pembahasan dilakukan dengan gabungan antara deskriptif kualitatif dan kuantitatif.

Perhitungan Keandalan Sistem Kelistrikan

Keandalan sistem kelistrikan menggambarkan suatu ukuran tingkat ketersediaan/pelayanan penyediaan tenaga listrik dari sistem ke pemakai/pelanggan [11]. Ketersediaan tenaga listrik dari sistem tenaga listrik ditentukan oleh pertumbuhan beban, pola beban harian, kapasitas unit pembangkit, laju kegagalan unit pembangkit (FOR), penurunan kapasitas pembangkit karena umur, dan jadwal perawatan pembangkit [12,13,14]. Indeks keandalan merupakan suatu indikator keandalan yang dinyatakan dalam besaran probabilitas [15]. Indeks keandalan sistem yang banyak digunakan adalah *System Average Interruption Frequency Index (SAIFI)*, *System Average Interruption*

Duration Index (SAIDI), Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI), Average Service Unavailability Index (ASUI), Average Service Availability Index (ASAI), Average Energy Not Supplied (AENS), Energy Not Served (ENS), dan Lost of Load Probability (LOLP) [1] [16] [17]. Dari beberapa indeks di atas, indeks LOLP yang digunakan dalam studi ini untuk mengetahui tingkat keandalan sistem kelistrikan Kalbar.

Berdasarkan standar PLN, jika indeks nilai LOLP > 0,274% maka sistem kelistrikan tersebut tidak andal. Nilai LOLP tersebut akan berpengaruh terhadap perkembangan industri dan investasi usaha. Semakin besar nilai LOLP maka semakin banyak pengusaha yang enggan untuk berinvestasi karena tidak terjaminnya pasokan listrik dimana pasokan listrik tersebut merupakan kebutuhan dasar industri yang akan dikembangkan.

Program WASP IV (*Wien Automatic System Planning Package*) digunakan untuk mengetahui nilai indeks LOLP dalam sebuah sistem kelistrikan [18]. Pada dasarnya, program WASP IV digunakan untuk optimasi pengembangan sistem pembangkitan yang optimasinya dievaluasi berdasarkan biaya total minimum [9]. Nilai LOLP sistem kelistrikan akan muncul di hasil analisis program WASP IV ketika sudah tercapai pengembangan sistem kelistrikan yang optimum. Pada studi ini, optimasi pengembangan sistem kelistrikan tidak dijadikan topik pembahasan karena pengembangan sistem kelistrikan mengacu pada kebijakan PLN yang tertuang di RUPTL 2013 – 2022. Dengan kata lain, penggunaan program WASP IV dalam studi ini hanya untuk mengetahui nilai LOLP sistem kelistrikan pada kondisi yang telah ditentukan, yaitu: kondisi kelistrikan Kalbar sesuai dengan yang telah direncanakan PLN (Skenario 1) dan kondisi kelistrikan Kalbar jika impor SESCO dihentikan (Skenario 2).

Perhitungan nilai LOLP pada program WASP IV menggunakan persamaan 1 [19]. Persamaan 1 akan dikonvolusi sehingga akan diperoleh kemampuan pembangkit untuk membangkitkan energi listrik, ENS, dan LOLP. Proses operasi konvolusi dilakukan untuk semua kemungkinan kombinasi pembangkit sehingga didapatkan nilai total dalam sistem tenaga listrik tersebut [20] [21] [22].

$$\ln(x) = p_n \cdot \ln-1(x) + q_n \cdot \ln-1(x - C_n) \quad (1)$$

Keterangan:

$\ln(x)$ = Probabilitas beban lebih besar atau sama dengan pembangkitan

x = Daya yang dibangkitkan

q_n = Probabilitas unit n dalam forced outage (tidak beroperasi)

p_n = Probabilitas unit n beroperasi

C_n = Kapasitas pembangkit unit ke n

Selain menggunakan persamaan 1, Program WASP IV menggunakan persamaan 2 dan 3 untuk batasan dalam perhitungan keandalan [23]. Batasan tersebut berfungsi untuk mengurangi proses iterasi perhitungan dalam program sehingga iterasi hanya berada di dalam batasan yang telah ditetapkan saja.

$$(1 + A_t) \cdot D_t > P(K_t) > (1 + B_t) \cdot D_t \quad (2)$$

$$\text{LOLP}(K_t) < C_t \quad (3)$$

Keterangan:

A_t = *Reserve Margin* maksimum pada tahun ke- t

B_t = *Reserve Margin* minimum pada tahun ke- t

C_t = LOLP kritis (LOLP yang dijadikan referensi) pada tahun ke- t

D_t = Beban puncak pada tahun ke- t

$P(K_t)$ = Kapasitas pembangkit terpasang pada tahun ke- t

K_t = Konfigurasi sistem pada tahun ke- t

Reserve margin adalah cadangan daya terhadap beban puncak. Perhitungan *reserve margin* menggunakan persamaan 4. *Reserve margin* berfungsi untuk menghindari terjadinya pemadaman listrik yang disebabkan adanya pertumbuhan beban secara mendadak dan kerusakan pembangkit listrik. Nilai dari *reserve margin* bergantung pada jumlah dan ukuran unit pembangkit, pertumbuhan beban puncak, umur pembangkit dan target LOLP yang di inginkan. *Reserve margin* sistem kelistrikan Kalbar telah ditetapkan oleh PLN sebesar 40% [6,24,25].

$$Reserve\ Margin = \frac{Kapasitas\ Pembangkit - Beban\ Puncak}{Beban\ Puncak} \times 100\%$$

(4)

Persamaan 2 menunjukkan bahwa kapasitas pembangkit terpasang harus lebih besar dari beban ditambah cadangan minimum dan lebih kecil dari beban ditambah cadangan maksimum. Persamaan 3 menunjukkan bahwa LOLP yang akan dihitung dan ditampilkan dalam hasil adalah yang lebih kecil dari LOLP referensi. LOLP referensi ditentukan oleh pengguna (*user*).

Kondisi Kelistrikan

Sistem kelistrikan di Kalbar terdiri atas satu sistem interkoneksi 150 kV dan beberapa sistem isolated. Sistem interkoneksi meliputi sekitar Pontianak hingga Singkawang. Sistem isolated terdiri atas Sistem Sambas, Bengkayang, Ngabang, Sanggau, Sekadau, Sintang, Nanga Pinoh, Putussibau, Ketapang, dan sistem tersebar. Sistem interkoneksi merupakan yang terbesar dimana sekitar 67% produksi listrik di Kalbar berada di sistem ini. Pertumbuhan penjualan 5 tahun terakhir sangat tinggi, yaitu rata-rata 10% per tahun. Penjualan tenaga listrik diserap oleh konsumen rumah tangga dan sosial (62,9%), konsumen komersil (23,1%), konsumen industri (5,35%) dan konsumen publik (8,63%). Kecukupan keandalan pasokan listrik masih relatif rendah karena umur beberapa mesin diesel sudah tua dan cadangan pembangkitan tidak memadai [10]. Oleh karena itu, PLN melakukan perencanaan pengembangan sistem tenaga listrik yang tertuang dalam RUPTL 2013-2022. Pasokan listrik di Kalbar terdiri atas PLTD Sewa (56,1%), PLTD/PLTG Sendiri (42,6%), dan sisanya berasal dari PLTS, PLTMH serta pembelian listrik dari Excess Power dan Malaysia [6]. Sewa PLTD dilakukan untuk memenuhi kekurangan pasokan listrik dalam waktu cepat dan bersifat sementara, menggantikan pembangkit BBM *existing* yang tidak efisien, dan menaikkan rasio elektrifikasi secara cepat pada daerah yang elektrifikasinya tertinggal. Tabel 1 menunjukkan neraca daya sistem kelistrikan Kalbar dan Tabel 2 menunjukkan laju kegagalan unit pembangkit (FOR).

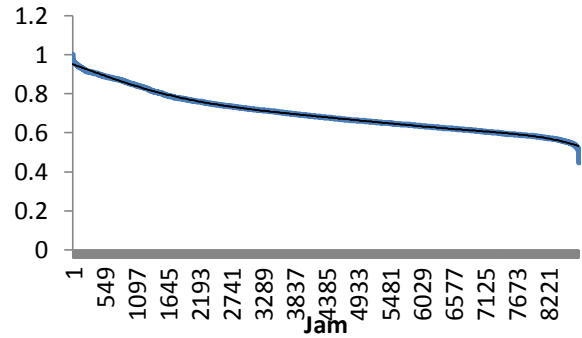
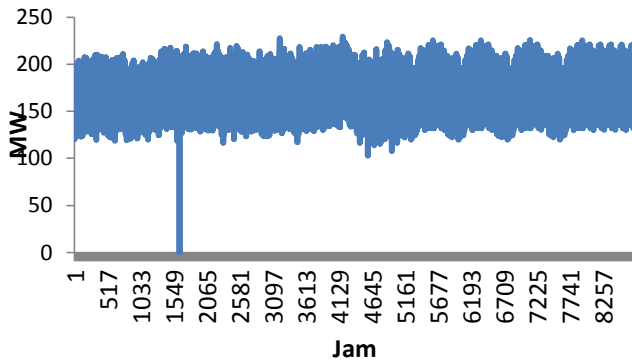
Tabel 1. Neraca Daya Sistem Kelistrikan Kalbar [6].

Proyek	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Beban Puncak (MW)	234	280	319	413	506	575	636	703	776	856
Kapasitas Terpasang	335	434	136	79	131	139	139	139	139	139
Daya Mampu	270	360	123	71	119	126	126	126	126	126
PLN	105	105	30	30	30	30	30	30	30	30
PLTG-HSD PLN (Siantan)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
PLTD-MFO PLN (Sei Raya, Siantan)	61	61	61	-	-	-	-	-	-	-
PLTD-MFO PLN (Sei Wie, Sudirman)	14	14	14	-	-	-	-	-	-	-
Interkoneksi sistem isolated	-	-	-	41	89	96	96	96	96	96
Sewa	164	254	93	-	-	-	-	-	-	-
Retired & Mothbaled (PLN)	-	-	75	-	-	-	-	-	-	-
Tambahan Kapasitas										
PLTU Pantai Kura-Kura (FTP 1)	-	-	55	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Parit Baru (FTP 1)	-	-	100	-	-	-	-	-	-	-
PLTU Parit Baru (FTP 2)	-	-	-	100	-	-	-	-	-	-
PLTU Kalbar 1	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-
PLTU Kalbar 2	-	-	-	-	-	-	-	200	200	-
PLTG/MG Peaker	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
PLTA Nanga Pinoh	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98
PLTA Pade Kembayung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30
Power Purchase SESCO (Baseload)	-	-	180	-	-	-	-	-	-	-
Power Purchase SESCO (Peaking)	-	-	50	-	-	-	-	-50	-	-
Total Kapasitas Sistem	335	434	471	514	766	874	874	1074	1274	1402
Total Daya Mampu Netto	270	360	508	556	804	911	911	1061	1261	1389

Tabel 2. Laju Kegagalan Unit Pembangkit (FOR) [26,27].

Pembangkit	FOR
PLTG	0,023
PLTD	0,090
PLTU	0,050
PLTA	0,030
PLTGU	0,023

Gambar 1 menunjukkan kurva beban harian Kalbar tahun 2013. Beban puncak sistem kelistrikan Kalbar tahun 2013 terjadi pada 24 Juni jam 19.00 dengan nilai 234 MW. Pada bulan Maret terjadi anomali karena terjadinya pemadaman sehingga beban pada waktu itu 0 MW sehingga data tersebut dapat diabaikan dalam pembuatan LDC (*Load Duration Curve*). LDC berfungsi untuk mengetahui struktur beban dari beban puncak sampai beban dasar. LDC dibutuhkan Program WASP IV untuk melakukan optimasi pengembangan sistem kelistrikan, menghitung LOLP, dan menghitung ENS. Gambar 2 menunjukkan LDC sistem kelistrikan Kalbar. Selain itu LDC juga dapat digunakan untuk mengetahui beban dasar dan laju perubahan beban sehingga dapat membantu penentuan pembangunan pembangkit yang akan memikul beban dasar, menengah, dan beban puncak [28] [29].



*data PLN Kalbar

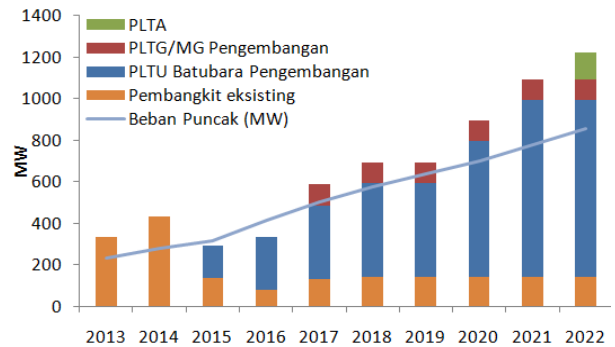
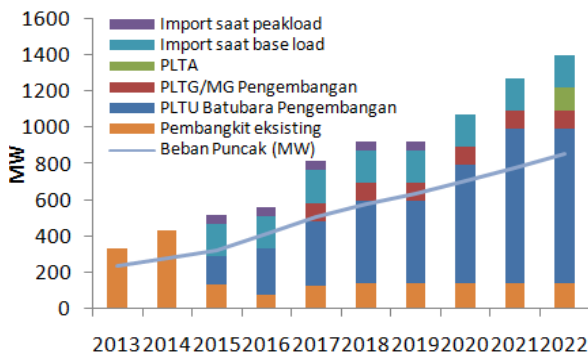
Gambar 1. Beban Harian Kalbar.

Gambar 2. LDC Kalbar.

Selain memperhatikan faktor kurva beban, penentuan jenis pembangkit yang akan dikembangkan harus memperhatikan juga potensi energi yang ada. Potensi sumber energi di Kalbar berupa tenaga air, biomassa, batubara, dan uranium. Tenaga air mempunyai potensi sebesar 98 MW. Potensi biomassa paling banyak didapat dari limbah perkebunan sawit. Potensi batubara sebesar 160.598.700 ton dengan kandungan kalori yang tinggi (4.795 – 7.800 kcal/kg). Potensi uranium terdapat di Kalbar sebesar 12.409 ton U_3O_8 [30].

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan kondisi kelistrikan, Kalbar merupakan daerah krisis sehingga diperlukan perencanaan yang matang untuk mengatasinya secara tepat dan cepat. Perencanaan tersebut sudah dilakukan oleh PT. PLN yang tertuang dalam RUPTL 2013-2022 [6]. Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan PLN, pembangkit yang dikembangkan untuk mengatasi kondisi krisis adalah PLTU Batubara, PLTG, dan PLTA. Selain itu PLN juga mengimpor listrik dari Sesco untuk menanggulangi krisis listrik secara cepat. Gambar 3 menunjukkan kondisi pembangkitan listrik di Kalbar berdasarkan perencanaan PLN.



Gambar 3. Pembangkitan Listrik Kalbar

Gambar 4. Pembangkitan Listrik Kalbar tanpa Impor

Penambahan pembangkit baru dilakukan mulai pada tahun 2015 disebabkan karena sebagian besar pembangkit yang sudah beroperasi saat ini sudah tua dan akan berhenti beroperasi pada tahun 2015. Selain itu untuk membangun pembangkit baru dibutuhkan waktu paling cepat 2 sampai 3 tahun dan adanya beberapa proyek PLTU Batubara (*fast track program*) yang terlambat dalam pelaksanaan pembangunannya, sehingga penambahan pembangkit baru hanya dimungkinkan paling cepat tahun 2015. Saat ini jika ada pembangkit yang rusak atau dalam masa perawatan maka solusi yang dapat dilakukan adalah menyewa pembangkit diesel atau melakukan pemadaman bergilir.

Kedua solusi tersebut akan memberikan kerugian baik dari segi biaya bahan bakar maupun tidak terlayannya pelanggan yang akan menyebabkan investor enggan untuk berinvestasi.

Selain membangun pembangkit baru, PLN juga melakukan impor listrik dari SESCO pada tahun 2015. Impor tersebut dilakukan untuk mengantisipasi kekurangan daya pada beban dasar dan beban puncak, menyuplai kebutuhan listrik di daerah perbatasan, dan mengantisipasi adanya keterlambatan pembangunan pembangkit-pembangkit baru. Tentu saja, PLN sudah melakukan studi mendalam untuk mengambil kebijakan impor listrik tersebut. Akan tetapi, tidak dapat dipungkiri bahwa kebijakan tersebut akan berpengaruh terhadap kedaulatan energi dan keandalan sistem kelistrikan Kalbar jika SESCO secara sepihak menghentikan pasokan listrik ke Kalbar. Kekhawatiran tersebut juga telah dipertimbangkan PLN sehingga pada tahun 2020, PLN menghentikan impor pada saat beban puncak dengan pertimbangan beban puncak telah dapat dipasok oleh PLTG/PLTMG. Sedangkan impor pada saat beban dasar masih belum dapat dihilangkan.

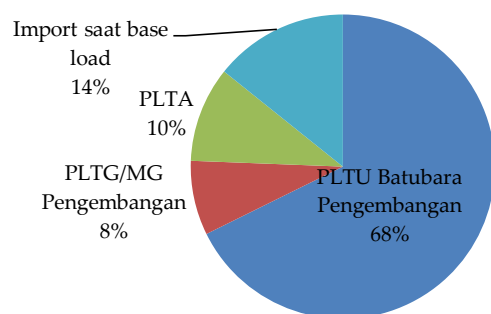
Gambar 4 menunjukkan kondisi pembangkitan listrik Kalbar tanpa impor listrik SESCO. Tahun 2015 dan 2016 akan terjadi krisis listrik karena kapasitas pembangkit kurang dari beban puncak sehingga dapat dipastikan banyak pelanggan yang tidak terlayani. Sedangkan dari tahun 2017 sampai dengan 2020, masih terjadi krisis listrik tetapi kondisinya jauh lebih baik dibanding tahun 2015 dan 2016. Krisis listrik tersebut terjadi karena *reserve margin* kurang dari 40% sehingga apabila ada pembangkit yang rusak maka akan terjadi kekurangan daya. Hal tersebut sesuai dengan standar PLN bahwa untuk wilayah Kalimantan *reserve margin* ditetapkan sekitar 40%^[6]. Krisis dapat diatasi tanpa impor listrik tahun 2021.

Tabel 2. Perbedaan Skenario Perencanaan PLN dengan Skenario Tanpa Impor Listrik

Tahun	Perencanaan PLN		Tanpa impor Listrik	
	Reserve margin	LOLP	Reserve margin	LOLP
2013	43%	<0,027 %	43%	<0,027 %
2014	55%	<0,027 %	55%	<0,027 %
2015	63%	<0,027 %	-9%	>78,75%
2016	37%	<0,027 %	-19%	>90,65 %
2017	61%	<0,027 %	16%	>4.26 %
2018	61%	<0,027 %	21%	>1,09 %
2019	45%	<0,027 %	9%	>14.32%
2020	53%	<0,027 %	27%	>0,21 %
2021	64%	<0,027 %	41%	<0,027 %
2022	64%	<0,027 %	43%	<0,027 %

Tabel 2 menunjukkan perbedaan reserve margin dan LOLP skenario perencanaan PLN dengan skenario tanpa impor listrik. Besarnya reserve margin akan berpengaruh terhadap nilai LOLP. Semakin besar nilai reserve margin akan semakin andal sistem tersebut tetapi akan berakibat biaya investasi pembangkit semakin besar. Sistem kelistrikan Kalbar yang ideal mempunyai reserve margin sekitar 40 % kapasitas terpasang. Pada skenario PLN, dapat dilihat bahwa reserve margin sangat besar dengan rata-rata 50%. Hal itu disebabkan karena adanya kebijakan PLN untuk menetapkan reserve margin yang besar di kawasan Kalimantan guna mengantisipasi keterlambatan proyek pembangunan pembangkit. Perencanaan yang dilakukan PLN yang tertuang dalam RUPTL dapat mengatasi krisis kelistrikan yang ditunjukkan dengan indeks LOLP yang masih dalam standar. Sedangkan untuk skenario tanpa impor listrik menunjukkan bahwa tanpa adanya impor listrik maka sistem kelistrikan Kalbar menjadi tidak andal. Hal tersebut ditunjukkan dengan indeks LOLP yang dibawah standar. Dengan kata lain sistem kelistrikan Kalbar sangat bergantung dengan pasokan

listrik dari negara lain (Sesco). Ketergantungan tersebut akan mengakibatkan kedaulatan energi sulit tercapai.



Gambar 5. Komposisi Pembangkit Baru pada Tahun 2022.

Gambar 5 menunjukkan komposisi pembangkit baru pada tahun 2022 skenario perencanaan PLN. Porsi impor listrik masih cukup besar, sebesar 14 %. Untuk mengurangi porsi tersebut diperlukan alternatif energi lain yang bisa digunakan di Kalbar . Kondisi ketergantungan terhadap impor listrik tersebut terjadi karena adanya keterlambatan dalam perencanaan, banyak pembangunan proyek pembangkit yang terhambat, dan belum dimanfaatkannya potensi energi di Kalbar. Potensi sumber energi di Kalbar yang belum dimanfaatkan adalah biomasa dan nuklir. Pemanfaatan biomasa untuk pembangkitan listrik tidak bisa dalam skala besar karena pengaruh ketersediaan bahan baku yang berupa sampah perkebunan sawit dan kurang ekonomis. Hal tersebut sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan ketersediaan bahan baku dan keekonomian pembangkit biomassa merupakan penghambat pembangunan dalam skala besar [31] [32]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, energi nuklir berpotensi dapat dikembangkan di Kalbar [30]. Akan tetapi penggunaan PLTN untuk mengatasi krisis kelistrikan Kalbar dalam jangka waktu dekat belum memungkinkan karena untuk membangun PLTN dibutuhkan paling tidak 10 tahun [33] [34] [35]. Untuk jangka panjang PLTN merupakan alternatif energi yang menjanjikan untuk mendukung diversifikasi energi. Diversifikasi energi berdampak langsung terhadap keamanan pasokan energi dan ketahanan energi yang merupakan faktor penting terwujudnya kedaulatan energi [32] [36].

Penambahan pembangkit baru perlu memperhatikan besar beban kelistrikan yang ada dan kemampuan sistem dalam menangani kehilangan daya secara tiba-tiba [37]. Berdasarkan data kelistrikan Kalbar, kapasitas terpasang pada tahun 2020 adalah sebesar 1402 MW dan pertumbuhan beban sebesar 11 % maka dapat diperoleh bahwa sebelum tahun 2035, PLTN yang dimungkinkan dibangun di Kalbar sebesar 100-200 MWe (dengan asumsi sistem kelistrikan kalimantan belum terhubung). Penentuan kapasitas tersebut memperhitungkan kemampuan sistem kelistrikan Kalimantan untuk merespon jika sistem kehilangan daya 200 MW dan sistem masih dalam keadaan stabil.

Kesimpulan

Kebijakan impor listrik Sesco berpengaruh terhadap keandalan kelistrikan Kalbar. Jika impor dihentikan, berakibat kelistrikan Kalbar menjadi krisis dan tidak andal. Ketidakandalan kelistrikan Kalbar tersebut dapat dilihat dari indeks LOLP yang diluar standar ($<0.0274\%$) dan reserve margin yang sangat kecil (dibawah 30%). Kondisi tersebut terjadi pada rentang tahun 2015 sampai dengan 2020.

Ketergantungan terhadap impor listrik terjadi karena banyak pembangunan proyek pembangkit yang terhambat dan belum dimanfaatkannya potensi energi di Kalbar. Untuk jangka panjang PLTN

merupakan alternatif energi yang menjanjikan untuk mendukung diversifikasi energi dan mewujudkan kedaulatan energi. Pembangunan PLTN membutuhkan paling tidak 10 tahun sehingga studi pembangunan PLTN dan penyiapan lokasi tapak PLTN di Kalbar harus segera dilakukan. Berdasarkan data kelistrikan Kalbar, kapasitas terpasang pada tahun 2020 adalah sebesar 1402 MW dan pertumbuhan beban sebesar 11 % maka dapat diperoleh bahwa sebelum tahun 2035, PLTN yang dimungkinkan dibangun di Kalbar sebesar 100-200 MWe.

Referensi

- [1] Wirapraja A. Y., dkk, "Studi Analisis Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Surabaya menggunakan Metode Latin Hypercube Sampling", Jurnal Teknik POMITS Vol. 1 No. 1 Hal. 1-5, 2012
- [2] Kim, Hyungchul, "Evaluation of Power System Security and Development of Transmission Price Method", Doctoral Dissertation, Texas A&M University, 2003
- [3] Pottonen, Liisa, "A Method for The Probabilistic Security Analysis of Transmission Grid", Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, 2005
- [4] Yeu, Rodney, "Post-Contingency Equilibrium Analysis", IEEE Toronto Centennial Forum on Reliable Power Grids, Canada, 2005
- [5] Hartoyo, "Perbaikan Keandalan (N-1) Sistem Tenaga Listrik PLN Jawa Tengah dan DIY", Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2008
- [6] _____, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2013- 2022", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2013
- [7] Budi, R. F. S., dan Suparman, "Analisis Kualitas Pelayanan Sistem Kelistrikan Bangka Belitung Opsi Nuklir", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 14 No. 1 Hal. 11 -22, 2011
- [8] _____, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2010- 2019", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2010
- [9] Budi, R. F. S., dan Suparman, "Studi Perencanaan Pengembangan Pembangkit Wilayah Bangka Belitung Dengan Opsi Nuklir", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir 2011 Hal. 267-277, Jakarta, 2011
- [10] Arsyad, M. I., "Analisis Krisis Energi Listrik di Kalbar", Jurnal ELKHA Vol. 1 No. 4 Hal. 37 – 44, 2009
- [11] Perdana, Wiwied Putra, "Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing", Jurnal EECCIS Vol. III No. 1, 2009
- [12] Solichan, Ahcmad, dkk., "Optimasi Jadwal Operasi dan Pemeliharaan Pembangkit Tenaga Listrik menggunakan Metode Algoritma Genetik", Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT), 2013
- [13] Zein, Hermagasantos, "Perkiraan Pasokan Daya Sistem Jawa-Madura-Bali Sampai Tahun 2016 Berdasarkan Indeks Lolp Satu Hari Per Tahun", Transmisi Jurnal Teknik Elektro Jilid 10 Nomor 1 Hal. 6-9, 2008
- [14] Boroujeni H. F., Et al, "Calculation of Generation System Reliability Index : Loss of Load Probability", Life Science Journal 2012;9(4), 2012
- [15] Sunanda, Wahri, "Evaluasi Pengaruh Cuaca terhadap Keandalan Sistem Distribusi", Jurnal Ilmiah Foristek Vol.3 No.1 Hal. 242-249, 2013
- [16] Doloksaribu, Parlindungan, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik", Jurnal Dielektrika Vol. 1 No. 1, 2010
- [17] Adzkiyak, Hikam, dkk., "Desain PLT Surya menggunakan Metode Loss of Load Probability (LOLP) untuk Anjungan Minyak dan Gas", Prosiding Seminar Tugas Akhir 2014 Hal. 1 – 6, 2014
- [18] Shinwari, M., F., dkk., "Optimization Model using WASP-IV for Pakistan's Power Plants Generation Expansion Plan", IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering Vol. 3 Issue 2 PP 39, 2012
- [19] Guziel, Karen, "Probabilistic Simulation", Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis (CEEESA), USA, 2002

- [20] Meliopoulos, S., Et al, "Comprehensive Power System Reliability Assessment", PSERC Publication 05-13, 2005
- [21] Prawira, "Studi Sekuriti Sistem Ketersediaan Daya DKI Jakarta dan Tangerang 2007 -2016", Skripsi Program Studi Teknik Elektro ITB, 2008
- [22] R. Arya, S.C. Choube, L.D. Arya, "Reliability Evaluation and Enhancement of Distribution Systems in The Presence of Distributed Generation Based on Standby Mode", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 43 PP 607-616, 2012
- [23] Guziel, Karen, "Overview of WASP IV Model", Center for Energy, Environmental, and Economic Systems Analysis (CEEESA), USA, 2002
- [24] Delgado, F., dkk., "Supply Security And The Reliability Of The Spanish Generator System In The Next Two Decades Based On The Costs Of Fossil Fuels And Nuclear Option", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'09), Valencia (Spain), 2009
- [25] Prasad, C., R., S., dkk., "To Study the Adequacy Assessment of Generation System", International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Vol. 3, Issue 1, 2014
- [26] Sjamsuddin, Ratnasari, "Analisis Pengembangan Pembangkit Sistem-Sistem Kelistrikan di Kalimantan Tahun 2008 – 2012", Tesis Program Studi Teknik Elektro Pasca Sarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia. Depok. 2008.
- [27] _____, "Evaluasi Operasi Sistem Jawa Bali 2009", PT. PLN P3B Jawa Bali, Jakarta, 2010
- [28] Kortuis, George, Et al, "An Overview Of Load Demand And Price Forecasting Methodologies", International Journal Of Energy And Environment Volume 2 Issue 1 pp.123-150, 2011
- [29] Islam, M., S., Et al, "A self sufficient energy model for poultry farms in Bangladesh to reduce greenhouse gas emission and increase energy efficiency", International Journal of Renewable and Sustainable Energy Vol. 2, No. 4 pp. 153-162, 2013
- [30] Budi, R. F. S., dkk., "Pengelolaan Sumber Daya Energi di Kalimantan untuk Mendukung Kemandirian Energi dan Pertumbuhan Industri", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 16, Nomor 1 Hal. 43 – 53, 2014
- [31] Sunarwan, B., dan Juhana, R., "Pemanfaatan Limbah Sawit untuk Bahan Bakar Energi Baru dan Terbarukan (EBT)", Jurnal Tekno Insentif Kopwil Vol. 7 No. 2 Hal. 1 - 4, 2013
- [32] Fery, Triatmojo, "Dinamika Kebijakan Diversifikasi Energi di Indonesia: Analisis Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia", Jurnal Ilmiah Administrasi Publik dan Pembangunan Vol. 4 No. 2, 2013.
- [33] Birmano, M., D., dan Bastori, I., "Perhitungan Ekonomi dan Pendanaan PLTN dan Pembangkit Konvensional menggunakan Spreadsheet Inovasi", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 10 No.2, Hal. 77 – 86, 2008
- [34] Utomo, "Manajemen Rencana Kegiatan Persiapan Pembangunan PLTN di Indonesia", Jurnal Prima Vol. 8 No. 2 Hal 81 – 88, 2011
- [35] Suhaemi, Tjipta, dkk., "Pengembangan PLTN di Korea Selatan: Pembelajaran untuk Peningkatan Kemampuan SDM Nuklir Indonesia", Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Hal 125 – 134, Yogyakarta, 2009.
- [36] Alfadh, M., F., "Kebijakan Ketahanan Energi Jepang di Abad 21: Fundamentalisme Negara dan Diversifikasi Sumber Energi", Jurnal Studi Hubungan Internasional Vol. 2 No.2 Hal. 142-153 , 2012.
- [37] Laksono, H., D., dan Suri, A., "Studi Kestabilan Peralihan dengan Metode Kriteria Sama Luas", Jurnal Teknik Vol. 19 No. 1 Hal. 1 – 9, 2012.

Konsep Islam dan Konsep “*Sustainable Architecture*” pada Rumoh Aceh: Sebuah Kearifan Lokal Arsitektur Vernakular Nusantara

Nurul Fakriah, M. Arch^{1,a}

¹Dosen Program Studi Arsitektur Fakultas Sains dan teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh

^apenulis yang berkorespondensi: nurl_f@yahoo.com

Abstrak

Konsep “*sustainable architecture*” pada dasarnya muncul karena kejenuhan terhadap arsitektur yang muncul setelah Revolusi Industri dimana penggunaan teknologi pada bangunan, baik material, teknologi konstruksi, teknologi utilitas dan teknologi *mechanical electrical* ternyata memberikan dampak yang buruk terhadap lingkungan. Kesadaran lingkungan yang muncul kemudian, mengarah pada munculnya arsitektur yang ramah lingkungan, *green architecture*, arsitektur bioklimatik, maupun istilah-istilah lainnya yang mengarah pada “*sustainable architecture*”. Meskipun gaung *sustainable architecture* baru terasa pada abad 21, namun masyarakat tradisional telah memiliki konsep ini berabad-abad yang lalu dan telah diturunkan dari generasi ke generasi. Masyarakat Aceh dikenal sebagai masyarakat yang dekat dengan nilai-nilai Islam dan menggunakannya sebagai asas dalam kehidupannya. Islam sebagai ajaran yang *rahmatan lil’alamin* tentunya memiliki konsep yang dapat menjawab segala tantangan zaman. Selain itu, Islam merupakan cara hidup bagi masyarakat muslim. Oleh karena itu, tulisan ini mengkaji konsep Islam dan konsep *sustainable architecture* yang terdapat pada arsitektur vernakular Aceh, yaitu Rumoh Aceh.

Kata kunci: konsep Islam, *sustainable architecture*, Rumoh Aceh, kearifan lokal

Pendahuluan

Sejak akhir abad ke-18, kegiatan manusia mengeksploitasi alam setelah dimulainya Revolusi Industri telah mengubah komposisi atmosfer yang menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Peningkatan suhu rata-rata per tahun berkisar 1,5 derajat Celcius dalam 50 tahun ke depan. Akibatnya *global warming* pun telah menjadi isu yang utama. Permasalahan-permasalahan yang muncul akibat kebijakan yang tidak berpihak pada keberlangsungan alam antara lain: polusi udara, hujan asam, pelubangan ozon, punahnya beberapa species, kerusakan hutan hujan. Permasalahan-permasalahan ini adalah akibat ulah manusia sendiri. Jika tidak ada tindakan untuk mengatasinya, maka hal yang lebih parah dapat terjadi di masa yang akan datang.

Oleh karena itu, muncullah usaha-usaha untuk mengembalikan keadaan alam, atau setidaknya berpihakan terhadap alam. Usaha awal yang muncul yaitu pada tahun 1898 dimana Ebenezer Howard mengajukan strategi untuk mengatasi masalah kota industri dengan konsep yang dikenal dengan *Garden City*. Kemudian Lewis Mumford juga melalui bukunya *The Culture of the Cities*,

mencoba memberikan pemahaman kesadaran lingkungan dengan pandangannya bahwa kota memainkan peran penting dalam memperkaya budaya manusia. Ia secara optimis menyarankan perubahan menuju era *restorative biotechnic*. Usaha selanjutnya pada tahun 1970-an ketika PBB mengadakan konferensi internasional yang bertajuk *Conference on the Human Environment* untuk pertama kalinya digelar. Saat itulah muncul agenda mengenai pembangunan yang berkelanjutan (*sustainable development*). Namun, istilah tersebut baru digunakan secara luas sejak the Brundlant Commission Report 1987. Isu-isu utama tentang “keberlanjutan” adalah energi, air, sumber daya alam, ekologi, habitat, dan species alam. Dan, karena bangunan dan aktivitas yang ada di dalam bangunan mengkonsumsi hampir setengah dari energi yang dihasilkan, maka arsitektur ikut bertanggung jawab atas hampir setengah dari emisi karbondioksida yang dihasilkan. Dengan pemikiran ini muncullah kritik-kritik terhadap arsitektur yang berkembang yang kemudian bermuara pada pendekatan arsitektur yang hemat energi, ramah lingkungan, *green architecture*, arsitektur yang berkelanjutan. Intinya adalah lebih memperhatikan dampak dari bangunan.

Pembangunan yang berkelanjutan, mengacu pada the Brundlant Commission Report, adalah pembangunan yang dapat memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengurangi kemampuan masa depan untuk memenuhi kebutuhannya [1]. Jika mengacu pada defenisi ini, *sustainable architecture* dapat didefenisikan sebagai arsitektur yang memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengurangi kemampuan masa depan untuk memenuhi kebutuhannya. Pendekatan *sustainable architecture*, tidak hanya pendekatan ekologi, tapi juga ekonomi dan sosial budaya. Karena pendekatan lingkungan (ekologi) tidak dapat terlepas dari segi ekonomi dan sosial budaya. Demikian juga berlaku sebaliknya.

Jika merujuk pada konsep-konsep Islam, maka sebenarnya hal ini telah diperingatkan kepada umat manusia. Di dalam Al-Qur’an, Allah SWT memperingatkan kita:

“Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (Q.S. Ar-Rum: 41)

Di dalam ayat tersebut, jelas bahwa pemanfaatan sumber daya alam harus dengan bijaksana agar tidak terjadi kerusakan akibat eksploitasi besar-besaran.

Jika kita kembali kepada ruang lingkup arsitektur, jelas bahwa pembicaraan mengenai *sustainable architecture* ataupun arsitektur yang ramah lingkungan baru muncul setelah ada permasalahan yang timbul akibat Revolusi Industri. Namun, jauh sebelum itu, berabad-abad sebelum masa Revolusi Industri nenek moyang kita telah menciptakan arsitektur yang dekat dengan alam, sesuai dengan iklim setempat, yang dibangun secara komunal, dan menggunakan material setempat sehingga ekonomis. Arsitektur inilah yang kita sebut arsitektur vernakular, yaitu arsitektur yang lahir dari masyarakat.

Rumoh Aceh, salah satu arsitektur vernakular yang tumbuh dalam masyarakat Aceh, memiliki nilai-nilai tertentu yang dengan nilai itu masyarakat membangun arsitektur vernakularnya. Nilai dan konsep-konsep ini yang akan dibahas dalam tulisan ini.

Teori

Geriya dalam Sartini [2] mengatakan, kearifan lokal dan keunggulan lokal merupakan kebijaksanaan manusia yang bersandar pada filosofi nilai-nilai, etika, cara-cara dan perilaku yang melembaga secara tradisional. Kearifan lokal adalah nilai yang dianggap baik dan benar sehingga dapat bertahan dalam waktu yang lama bahkan melembaga [2].

Dalam kaitannya dengan masyarakat Aceh, suatu nilai yang dianggap baik dan benar dan bertahan dalam waktu yang lama bahkan melembaga tersebut adalah nilai-nilai dan konsep-konsep

Islam. Demikian juga nilai-nilai dan konsep-konsep yang terdapat pada Rumoh Aceh. Baik itu berupa nilai filosofi tatanan ruang, maupun bagaimana ia dibentuk. Nilai dan konsep Islam ini telah menjadi bagian dari budaya masyarakat Aceh.

Menurut Rapoport [3], ada lima aspek utama dari budaya yang tercermin dalam organisasi ruang dalam hunian, yaitu 1) cara aktivitas dilakukan, 2) struktur keluarga, 3) peraturan gender, 4) sikap terhadap privasi, dan 5) proses dari hubungan sosial [3]. Kelima aspek tersebut menjelaskan bagaimana konsep ruang terbentuk dan dapat ditelaah dalam konsep ruang menurut Islam.

Yang pertama, cara aktivitas dilakukan, berhubungan dengan kegiatan yang dilakukan sehari-hari. Kegiatan tersebut mempengaruhi bagaimana terbentuknya ruang. Misalnya, kegiatan shalat. Shalat memerlukan konsep ruang yang berhubungan dengan orientasi. Orientasinya adalah menghadap kiblat. Oleh karena itu, meskipun hunian bukan rumah ibadah, namun hunian dalam konteks arsitektur vernakular Aceh menghadap kiblat, karena kegiatan shalat kaum wanita dilakukan di rumah.

Yang kedua, struktur keluarga, berhubungan dengan organisasi ruang. Misalnya jumlah anggota keluarga, mempengaruhi organisasi ruang yang terbentuk di dalam hunian tersebut.

Yang ketiga, peraturan gender, dalam konteks arsitektur vernakular Aceh, peraturan gender sangat jelas dengan adanya pemisahan ruang serambi depan dan serambi belakang. Serambi depan diperuntukkan bagi kaum laki-laki, sedangkan serambi belakang diperuntukkan bagi kaum wanita.

Yang keempat, sikap terhadap privasi, berhubungan dengan batasan visual dan batasan fisik. Pada dasarnya batasan fisik dibuat untuk membatasi ruang sebagai bentuk penandaan akan ruang. Namun, batasan visual dibuat untuk menghalangi pandangan terhadap sesuatu yang dianggap privasi.

Yang kelima, proses dari hubungan sosial, berhubungan dengan organisasi ruang dan pembentukan ruang-ruang sosial dalam hunian. Misalnya, dalam konteks arsitektur vernakular Aceh, terdapat ruang serambi depan yang digunakan untuk menerima tamu, berkumpul dengan anggota masyarakat yang lain, tempat diadakannya khanduri (kenduri) atau hajatan, tempat untuk bermusyawarah dengan anggota masyarakat, dan fungsi-fungsi sosial lainnya. Selain itu bagian bawah rumah (kolong rumah) juga digunakan sebagai ruang komunal untuk aktivitas sosial.

Kelima aspek tersebut membuktikan bahwa Islam telah menjadi bagian dari budaya masyarakat Aceh yang diterapkan dalam arsitektur vernakularnya, yaitu Rumoh Aceh.

Bagian ini juga dapat diberi judul Model atau Eksperimen. Dapat juga ditulis Teori dan Eksperimen sekaligus, bila diperlukan. Bagian ini dapat berisi ulasan teori yang digunakan dalam penelitian, model matematika, metode, dan desain eksperimen yang dilakukan.

Bagian ini juga dapat berisi kutipan dari suatu literatur yang dianggap penting untuk dibandingkan atau digunakan dalam bagian hasil dan diskusi. Setiap paragraf baru ditulis menjorok sejauh 0.75 cm, sedangkan paragraf lanjutan yang terpotong oleh tabel, persamaan, dan tabel tidak perlu ditulis menjorok. Keterangan tabel diletakkan di atas tabel, sedangkan keterangan gambar diletakkan di bawah tabel.

Hasil dan Diskusi

Nilai dan konsep dalam Rumoh Aceh, dalam kaitannya dengan konsep ruang dan perilaku antara lain,

1. Konsep pemisahan ruang menurut gender
Secara umum, ruang terbagi tiga, ruang serambi depan, untuk kaum laki-laki, serambi belakang, untuk kaum perempuan, dan ruang di bagian tengah, untuk ruang privat.
2. Konsep orientasi bangunan menghadap kiblat

Bangunan Rumoh Aceh umumnya berorientasi ke arah kiblat, sesuai dengan orientasi bangunan masjid yang berada di tengah-tengah komunitas masyarakat Aceh.

3. Konsep *privacy* ruang-ruang privat

Ruang-ruang privat yang memiliki *privacy* diletakkan di tengah-tengah sehingga tidak memudahkan akses, selain itu konsep *privacy* pada rumah Aceh terletak pada jendela yang ukurannya kecil dan terletak agak tinggi untuk ruang privat. Hal ini untuk menghindari *view* yang tidak diinginkan ke arah ruang privat.

4. Konsep memuliakan tamu

Ruang serambi berbentuk persegi panjang dan agak luas, hal ini karena secara sosial, masyarakat Aceh senang menjamu tamu, selain itu ruang ini juga dapat digunakan pada acara *khanduri*.

5. Konsep menghormati tuan rumah

Bentuk pintu yang agak kecil memaksa orang yang masuk ke dalam rumah untuk agak membungkukkan badan. Secara filosofis ini adalah bentuk penghormatan kepada tuan rumah.

6. Konsep mensucikan diri sebelum masuk rumah

Di bagian depan rumah umumnya terdapat sumur kecil atau kendi air yang gunanya adalah untuk mencuci kaki sebelum masuk rumah. Hal ini karena konsep suci rumah, karena rumah juga digunakan sebagai tempat shalat bagi wanita yang tidak melakukan shalat di masjid.



Gambar 1. Denah dan Potongan Tipologi Rumoh Aceh [4]

Sedangkan konsep Islam pada Rumoh Aceh, dalam kaitannya dengan konsep “sustainable architecture” adalah:

a. Aspek Ekologi

Rumoh Aceh, sebagai arsitektur vernakular, dibangun dengan proses yang lahir dari masyarakat telah melalui proses seleksi terhadap faktor-faktor iklim, sosial, budaya dan ekonomi masyarakat setempat. Proses seleksi tersebut terjadi dalam jangka waktu yang lama sehingga ditemukan bentuk dan pola yang paling sesuai. Bentuk dan pola ini yang kemudian diturunkan dari generasi ke generasi. Dalam kaitannya dengan lingkungan, Rumoh Aceh telah menyesuaikan dengan iklim setempat. Yaitu iklim tropis, dimana suhu tinggi dan curah hujan tinggi. Wilayah Aceh juga sering terjadi banjir, sehingga solusi arsitektur yang muncul adalah rumah panggung. Untuk kenyamanan termis di dalam bangunan, lantai umumnya terbuat dari kayu (papan) atau bambu yang memungkinkan aliran udara di bawah kolong rumah dapat masuk ke dalam rumah. Selain itu, bagian bawah atap digunakan kerawang (dengan motif tertentu) yang memungkinkan udara panas di bawah atap dialirkan melalui kerawang tersebut.



Gambar 1. Kerawang pada Rumoh Aceh [5]

Selanjutnya, untuk menghindari masuknya udara panas dari luar, maka bukaan dibuat dalam ukuran kecil (jika dibandingkan dengan ukuran bukaan pada umumnya). Material atap juga menggunakan bahan yang ada di alam dan tidak menyerap panas, yaitu daun rumbia.



Gambar 2. Material atap rumbia



Gambar 3. Ukuran bukaan (jendela) pada Rumoh Aceh yang relatif kecil

Dari segi ekologi, material yang digunakan adalah material lokal dan adaptif dengan alam serta memberikan kenyamanan termal pada bangunan.

b. Aspek Ekonomi

Bangunan Rumoh Aceh memanfaatkan material lokal yang mudah didapatkan sehingga terjangkau dari segi ekonomi. Umumnya material tersebut didapatkan dari lingkungan sekitar. Material atap umumnya rumbia. Material dinding umumnya kayu, bambu, atau pelepah rumbia. Material lantai umumnya kayu dan bambu.

c. Aspek Sosial

Penataan pola ruang pada bangunan Rumoh Aceh sesuai dengan aspek sosial masyarakat. Di mana tersedia ruang komunal untuk aktivitas sosial. Selain itu pembangunan Rumoh Aceh juga melibatkan masyarakat. Budaya gotong royong merupakan dasar dari pembangunan Rumoh Aceh.

Dengan demikian, konsep-konsep "*sustainable architecture*" yang terdapat pada Rumoh Aceh adalah sebagai berikut:

1. Konsep ruang komunal untuk aktivitas sosial
2. Konsep pemanfaatan material lokal secara hemat

3. Konsep adaptasi dengan alam (arsitektur yang sesuai dengan iklim setempat)

Konsep-konsep tersebut bagi masyarakat Aceh yang secara budaya dekat dengan Islam, merupakan pengejawahan dari nilai-nilai Islam yang dipahami masyarakat, antara lain:

1. Konsep efektif dan tidak mubazir (aspek ekonomi)
2. Konsep tidak merusak lingkungan (aspek ekologi)
3. Konsep hablumminannas (aspek sosial)

Kesimpulan

Rumoh Aceh sebagai salah satu arsitektur vernakular Aceh berbasis pada konsep dan pemikiran-pemikiran Islam. Pada masa dibangunnya Rumoh Aceh belum dikenal istilah “sustainable architecture”, akan tetapi konsep-konsep sustainable architecture telah ada pada Rumoh Aceh. Hal ini karena konsep-konsep tersebut telah ada pada konsep Islam secara umum.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Mustanir Yahya, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry, Bapak Dr. Muhammad Abdurrahman, Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry atas kesempatannya untuk mempublikasikan tulisan ini.

Referensi

- [1] The Brundtland Commission, “Towards Sustainable Development: From Our Common Future (1987)”, The Sustainable Urban Development Reader Second Edition, Stephen M. Wheeler dan Timothy Beatley (editor), Penerbit Routledge, New York, 2008, p.62
- [2] Sartini, “Menggali Kearifan lokal Nusantara sebagai Kajian Filsafati”, Jurnal Filsafat, 37:111-120, 2004
- [3] Amos Rapoport, “House Form and Culture”, Penerbit Prentice Hall, New Jersey, 1969
- [4] Farisa Sabila, Antariksa, dan Rinawati P. Handajani “Tipologi Tata Ruang Dalam Rumoh Aceh di kawasan Mukim Aceh Lhee Sagoe’, arsitektur e-Journal, Volume 7 Nomor 1, Juni 2014, p.3
- [5] Ananda, “Konservasi Arsitektur”, <http://sucirizkianandaaa.blogspot.com/2014/01/rumoh-aceh-lubuk-sukon.html> [diakses 17 April 2015]

Pengaruh Hibridisasi Area Hijau Alamiah Pertanian di Bangunan Perkotaan Guna Menunjang Ketahanan Pangan Terhadap Cara Pandang Ruang dalam Arsitektur

Aldrin Yusuf Firmansyah, MT ^{1a)}

¹Jurusan Teknik Arsitektur, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

^{a)}E-mail : aldrinfirmansyah@yahoo.co.id

Abstrak

Perkembangan kota dunia menunjukkan lingkungan kota semakin terdegradasi terutama pasca revolusi industri. Karenanya, muncul pemikiran untuk menemukan model perkotaan yang berimbang antara kepadatan bangunan dan Ruang Terbuka Hijau (RTH), diantaranya kota taman (*garden city*) dalam bentuk kota satelit, dan model pengembangan kepadatan secara vertikal pada gedung kota (*tower in garden*). Inovasi ini belum cukup menjawab tantangan kota-kota kontemporer saat ini untuk mampu menjadi kota ekologis (*eco city*) dengan lebih banyak menyediakan Ruang Terbuka Hijau di lahan kota yang semakin terbatas serta tanggap terhadap biodiversitas, termasuk pertanian di kota (*urban farming*). Sementara itu, lahan masih dipandang sebagai kontradiksi massa bangunan (*figure*) dan ruang terbuka (*ground*). Oleh karena itu perlu dikaji bagaimana perwujudan teknologi pertanian yang mampu berhibrida dengan bangunan untuk menambah kebutuhan ruang terbuka hijau kota, serta pengaruhnya terhadap cara pandang ruang dalam arsitektur. Kajian berupa deskriptif kualitatif. Tahapan pertama adalah kajian wujud hibridisasi teknologi pertanian terhadap bangunan. Analisis ditunjang teori tentang model kota yang berhibridisasi dengan pertanian. Tahapan kedua adalah kajian pengaruh perwujudan pertanian di bangunan terhadap cara pandang ruang dalam arsitektur. Analisis ditunjang oleh teori ruang dan konsep selubung bangunan yang dibentuk oleh aturan *Sky Exposure Plane* (SEP). Hasil penelitian membuktikan hibridisasi area hijau alamiah pertanian mampu sebagai pelebur massa bangunan dan ruang terbuka, sehingga juga berperan terhadap pengaturan bangunan secara 3 dimensi.

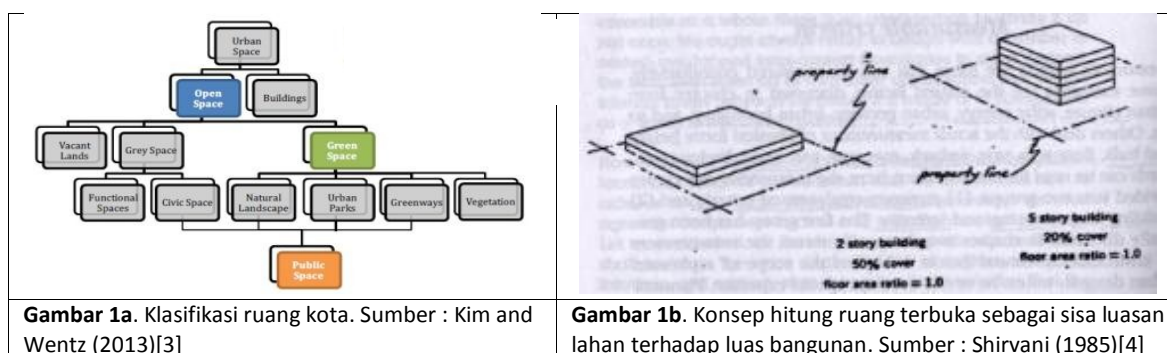
Kata kunci : hibridisasi Ruang Terbuka Hijau (RTH), teori ruang, pertanian di kota (*urban farming*)

Pendahuluan

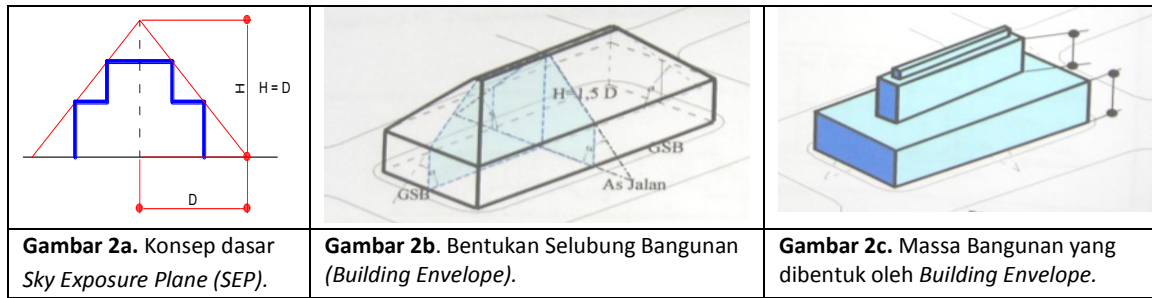
Kota adalah leburan bangunan dan manusia, karena kota sebagai pusat kegiatan yang tidak lagi bergantung pada sektor pertanian/alam sebagaimana orientasi kehidupan desa. Hal ini menjadikan kota semakin lepas terhadap lingkungan alamnya. Sejarah perkembangan kota dunia menunjukkan bahwa kota semakin mengalami degradasi lingkungan. Kesadaran menanggulangi masalah kota timbul setelah lahirnya kota-kota era revolusi industri, berupa munculnya gerakan pemikiran untuk menemukan model bentuk perkotaan yang memuat keseimbangan antara kepadatan bangunan dan Ruang Terbuka Hijau (RTH). Kota-kota kontemporer saat ini dituntut untuk mampu menjawab tantangan sebagai kota ekologis (*eco city*) yaitu kota harus mampu lebih banyak menyediakan ruang terbuka hijau di lahan kota yang semakin terbatas dan mahal serta tanggap terhadap ekosistem dan

biodiversitas, termasuk pertanian di kota (*urban farming*) guna menjawab permasalahan efek pemanasan global maupun ketahanan pangan, termasuk bagi Indonesia agar dapat kembali berswasembada pangan serta mampu bersaing dalam Masyarakat Ekonomi Asean (MEA). Arah ini termuat dalam *road map* strategi sektor pertanian Indonesia, diantaranya ditujukan juga agar siap dalam menghadapi perubahan iklim, selain agar dapat digantikannya konversi lahan pertanian produktif di Indonesia yang sudah menjadi salah satu ancaman serius bagi keberlanjutan ketahanan pangan. Dalam periode 1999-2013 konversi lahan pertanian produktif mencapai 424.000 Ha (106.000 Ha/tahun) [1]. Syariat Islam sendiri sangat memperhatikan usaha pelestarian alam sebagai *jihad fisabilillah*.

Sementara itu, lahan masih dipandang sebagai kontradiksi antara massa bangunan (*figure*) dan ruang terbuka (*ground*). Oleh karena itu perlu dikaji bagaimana perwujudan hibridisasi pertanian dengan bangunan untuk menambah kebutuhan ruang terbuka hijau kota, serta pengaruhnya terhadap cara pandang ruang dalam arsitektur. Bukti adanya kontradiksi antara massa bangunan dan ruang terbuka hijau tampak pada 3 hal. Pertama, terwujud pada klasifikasi ruang kota. Kedua, tampak pada konsep penghitungan Ruang Terbuka Hijau yang didasarkan perbandingan antara luasan halaman terhadap luasan bangunan yang mempunyai kaitan erat dengan istilah *Koefisien Dasar Bangunan* (KDB) dan *Koefisien Lantai Bangunan* (KLB). Ketiga, terwujud pada pengaturan selubung bangunan (*building envelope*) sebagai instrumen pengembangan bangunan secara 3 dimensi, berupa ruang imajiner yang dibentuk oleh kemiringan bidang terbuka langit (*Sky Exposure Plane/SEP*) yang diukur dari titik tertentu pada permukaan jalan yang mengelilinginya. Berdasarkan Perda Kota Surabaya no. 7, 23 Maret 1992, aturan ketinggian SEP untuk bangunan rendah (tinggi sampai 4 lantai) dan bangunan tinggi I (tinggi 5-8 lantai), maka ketinggian (H) dari SEP adalah $H=D$ atau tangens sudut pengukuran ($\text{tg}\alpha$) adalah 45° , sedangkan untuk bangunan tinggi II (tinggi 9 lantai ke atas) ketinggian SEP adalah $H=1,5 D$ atau tangens sudut pengukuran ($\text{tg}\alpha$) adalah 56° , dimana D (*distance*) adalah jarak as jalan terhadap kaveling [2]. Tujuan pengendalian massa bangunan kawasan kota melalui selubung bangunan adalah tercapainya keserasian ketinggian bangunan terhadap fungsi bangunan, kepadatan massa dan ruang bangunan, jangkauan pandang, pencahayaan maupun ventilasi bangunan serta pencegahan terhadap bahaya kebakaran (Shirvani, 1985).



Gambar 1. Kontradiksi bangunan dan Ruang Terbuka Hijau pada aspek klasifikasi ruang kota dan konsep penghitungannya.

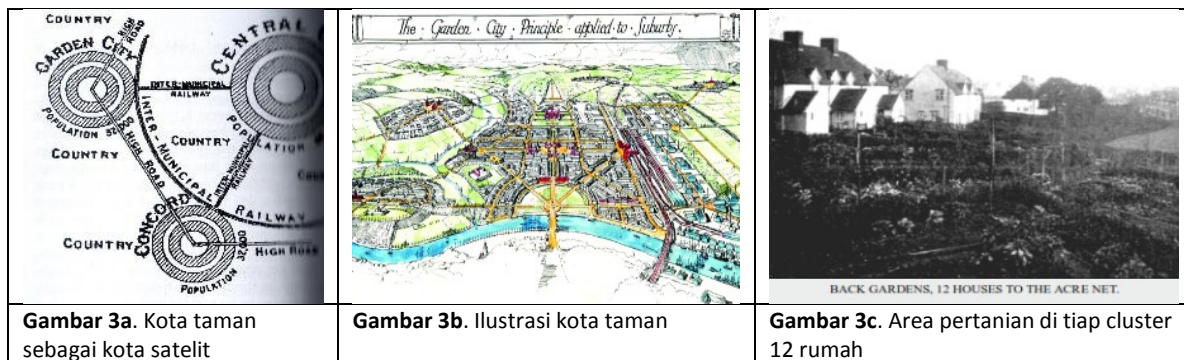


Gambar 2. Kontradiksi pemikiran antara massa bangunan dan Ruang Terbuka Hijau pada aspek selubung bangunan (*building envelope*). Sumber : Purwadio (1994)

Teori

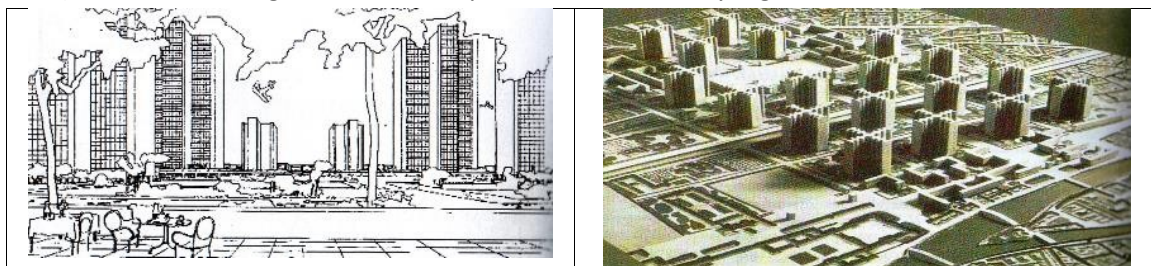
1. Kajian Wujud Hibridisasi Pertanian Terhadap Model Perkotaan.

Pencarian model hibridisasi struktur dan bentuk kota yang terintegrasi dengan lingkungan alam termasuk pertanian mulai berkembang sejak pertengahan abad ke-19 setelah dampak revolusi industri industri menyebar ke seluruh dunia, dan sangat mengubah wujud kehidupan kota. Sebelum abad ke-19, kebanyakan kota berfungsi secara stabil, perkembangan dan perubahan pembentukan kota berjalan lambat. Perubahan drastis akibat revolusi industri diikuti berbagai faktor yang mengakibatkan kehidupan di kota menjadi berbahaya dan kurang stabil, yaitu lingkungan kota mengalami degradasi dengan kondisi kotor dan kepadatan sangat tinggi. Upaya penemuan model perkotaan yang pertama kali adalah kota taman (*garden city*), berupa pengembangan secara horisontal di kawasan perkotaan di luar kota (kota satelit), dimana lahan terbuka masih banyak yang kosong dan lingkungannya segar.



Gambar 3. Model pengembangan kota taman (*garden city*). Sumber : TCPA (2012)[5]

Model selanjutnya berupa pengembangan secara vertikal pada gedung-gedung sehingga dengan kepadatan tinggi tetap dapat dicapai dasar bangunan yang lapang untuk ruang terbuka (*tower in garden*). Model ini sebagai kritik terhadap model kota taman yang boros lahan kota.



Gambar 4. Model pengembangan dengan gedung tinggi diantara ruang terbuka. Sumber : Soetomo (2009)[6]

Sementara itu, tuntutan kota kontemporer harus menemukan cara untuk mengkombinasikan kehidupan kota dengan Ruang Terbuka Hijau termasuk di bangunan, demi terciptanya kota ekologis (*eco-city*). Kota ekologis bukan lagi sebatas penyedia unsur hijau alamiah, namun memuat pendekatan menyeluruh dengan ekosistem dan biodiversitas, sehingga memunculkan pertanian kota/*urban farming* [7]. Secara global, inovasi model kota ekologis telah memunculkan upaya pertanian perkotaan (*urban farming*) pada gedung-gedung kota (*vertical farming*) dalam wujud vertikal, *multilevel* ataupun kebun atap (*roof garden*), sehingga tidak ada lagi perbedaan jelas antara Ruang Terbuka Hijau dan massa bangunan. Munculnya *vertical farming* tidak terlepas dari peran perkembangan teknologi pertanian secara vertikal (*verticultur*), baik menggunakan media tanah (*soilponic*), media air (*hydroponic*), maupun media gas (*aerophonc*). Perkembangan ini tidak dapat dipandang remeh, tetapi justru sebagai kritik perlunya pemikiran kembali cara pandang ruang dalam arsitektur yang masih terjebak pada pemisahan antara bangunan dan ruang terbuka.



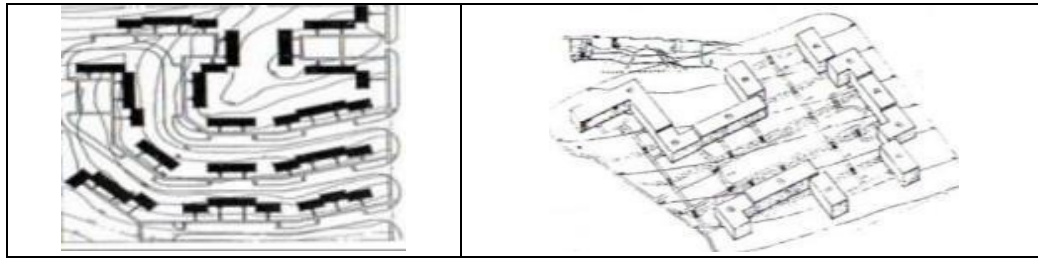
Gambar 5. Model pengembangan kota ekologis (*ecocity*).

2. Kajian Pengaruh Perwujudan Hibridisasi Pertanian di Bangunan Terhadap Cara Pandang Ruang dalam Arsitektur.

Arsitektur kota merupakan komposisi antara topografi tapak (*site*) dan ruang dikarenakan perwujudannya mampu menjadi media kreatifitas tersendiri untuk menghasilkan desain bagi tempat tersebut dan penggunaannya. Secara garis besar perspektif tinjauan tentang ruang mencakup tinjauan ruang dengan pendekatan teori ruang absolut, pendekatan teori ruang relasional dan teori ruang relatif [9]

a. Pemikiran Perancangan Arsitektur Kota dengan Pendekatan Teori Ruang Absolut.

Konsep pemikiran didasarkan teori ruang oleh Issac Newton, yaitu ruang sebagai pemisahan antara massa bangunan sebagai wadah/kontainer (*solid*) dan ruang terbuka sebagai ruang kosong (*void*). Ruang arsitektural hadir melalui keberadaan dinding dan menciptakan ruang baru didalamnya yang memisahkan dengan ruang alamiah sekitarnya. Hal ini berarti bahwa jalan, lapangan, taman dan segala berkenaan dengan ruang terbuka semuanya adalah kekosongan (*void*) yang muncul oleh pembatasan massa bangunan (*solid*). Setiap volume arsitektural, setiap struktur dinding menciptakan batas dan menghentikan kontinuitas ruang. Hal ini membuktikan secara jelas bahwa setiap fungsi bangunan berdampak pada munculnya dua ruang, yaitu ruang internal yang didefinisikan oleh massa bangunan itu sendiri (*solid*), dan ruang eksternal yang didefinisikan oleh bangunan tersebut terhadap ruang terbuka (*void*) [9].



Gambar 6. Tatanan massa secara *figure-ground* pada lahan berkontur. Sumber : De Chiara (1978)[10]

b. Pemikiran Perancangan Arsitektur Kota dengan Pendekatan Teori Ruang Relasional (*Relational Space Theory*).

Teori ruang relasional mempunyai kebalikan pemikiran dengan teori ruang absolut. Menurut pemikiran ruang relasional, ruang hanya masalah kualitas posisi. Apa yang dikenal sebagai bagian luar obyek tidak lebih hanya masalah representasi indera (sensibilitas) pengamat terhadap apa yang membentuk ruang tersebut. Dalam hal ini keberadaan jenis material turut berpengaruh terhadap pemahaman ruang. Oleh karenanya, melihat ruang sebagai klasifikasi sederhana material dan sebagai pemisahan antara ruang eksternal dan internal sebagaimana pemikiran ruang absolut merupakan sebuah keluguan [9]. Pendekatan teori ruang relasional dengan ditunjang perkembangan pesat teknologi konstruksi dan arsitektur lansekap, semakin memungkinkan perwujudan ruang hijau alamiah termasuk pertanian di bangunan (*vertical urban farming*). Bukan sekedar di bagian atap saja (*roof garden*), tetapi juga sudah berkembang dalam wujud dinding ataupun *multilevel* bangunan sebagai ruang hijau alamiah.



Gambar 7. Perwujudan ruang hijau di bangunan berdasar teori ruang relasional. Sumber : Byrne and Sipe (2010)[11].

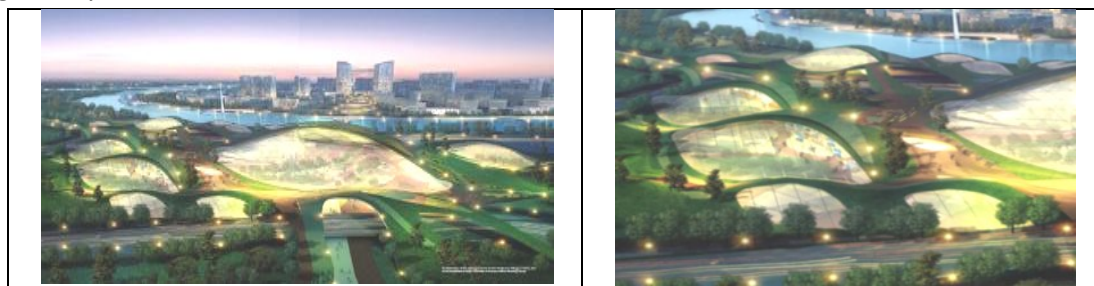
c. Pemikiran Perancangan Arsitektur Kota dengan Pendekatan Teori Ruang Relativitas (*Relativity Space Theory*)

Pemikiran perancangan dengan pendekatan teori ruang relativitas muncul seiring dengan pengembangan pemikiran Einstein dalam teori relativitas, bahwa waktu adalah ruang yang tidak kelihatan sehingga ruang-waktu di luar pengalaman subyektif menjadi kenyataan konseptual dengan waktu/tempo sebagai dimensi keempat. Dalam kaitan ini, seolah-olah tempo termanifestasikan dalam ruang seperti layaknya panjang, lebar dan tinggi. Hal ini berarti gagasan tempo berkembang dari penerapan waktu sebagai tempo kronologis dalam pengalaman ruang menjadi efek pengalaman ruang oleh tempo di dalam bentuk ruang. Gagasan kontemporer ini mencoba menantang hakikat produk arsitektur sebagai produk sebagai bentuk statik dengan tempo sebagai efek yang ditambahkan subyek yang mengalami ruangnya [12].



Gambar 8. Distorsi permukaan kontur dan permukaan artifisial, ruang dalam dan perspektif proyek kota budaya Parahyangan sebagai perwujudan tempo pada ruang. *Sumber* : Sutanto (2005).

Penerapan pendekatan perancangan dengan pendekatan ruang relativitas melalui gagasan kontemporer dari tempo dalam dunia arsitektur semakin terbuka melalui kemajuan teknologi arsitektur digital. Menurut [13] tentang arsitektur di era media elektronik, arsitektur digital justru mampu menjadi potensi untuk lebih ekspansif dalam menafsirkan ruang, menyatukan antara bentuk vertikal-horisontal, *figure-ground*, interior-eksterior dan segala yang menjadi ekspresi arsitektur klasik melalui gagasan *folding architecture*. Bentuk lipatan ini bukan melulu untuk pencapaian proyeksi planimetrik dalam bentuk kurvalinier, tetapi lebih sebagai sarana yang efektif menghadirkan sekaligus antara fungsi, pernaungan, rangka bangunan dan estetika. Hal ini berarti pula bahwa bentuk lipatan bukan berasosiasi sebagai ekspresi subyektif perancang, namun lebih sebagai upaya membongkar pemisahan fungsi dan makna dalam sebuah ruang tanpa penghilangan sensasi tapak bangunannya.

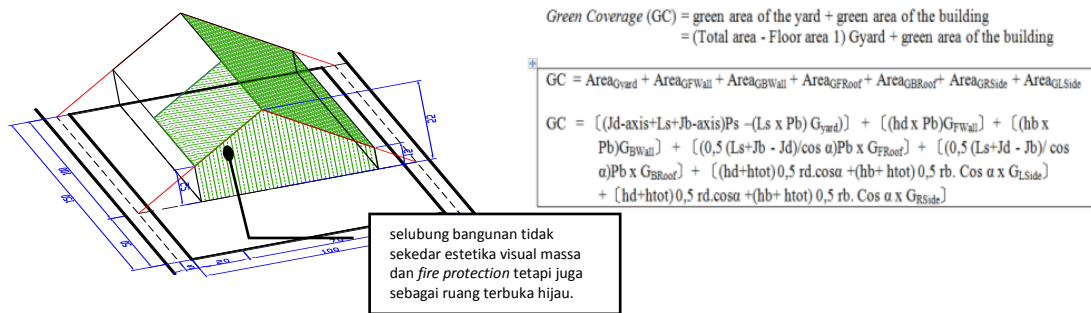


Gambar 9. *Tianjin Eco-Village* di China. Leburan *figure* dan *ground* sebagai perpaduan antara material atap dan Ruang Terbuka Hijau. *Sumber* : Byrne and Sipe (2010).

Hasil dan Diskusi

1. Wujud Hibridisasi Pertanian Terhadap Model Perkotaan.

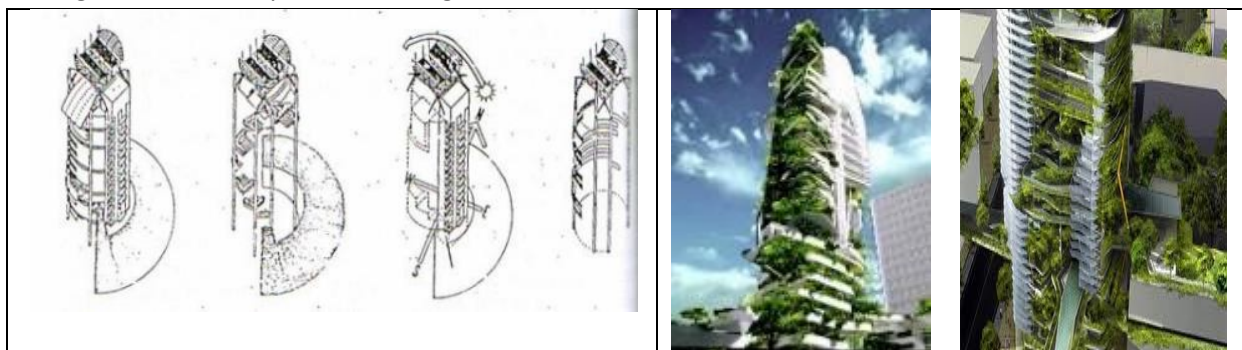
Perwujudan Ruang Terbuka Hijau alamiah termasuk hibridisasi pertanian di gedung-gedung kota sebagaimana tuntutan kota ekologis saat ini, menjadikan tumbangnya teori *figure-ground*, karena tidak ada lagi pemisahan antara massa bangunan dan ruang eksternal bangunan. Oleh karenanya, konsep pemahaman *urban farming* sebagai bagian ruang terbuka hijau pada tapak dan bangunan harus terpadu dengan selubung bangunan sebagai instrumen pengatur pengembangan bangunan secara 3 dimensi. Fungsi selubung bangunan yang dibentuk oleh aturan *Sky Exposure Plane* (SEP), tidak lagi sekedar berkaitan dengan estetika dan kenyamanan visual massa bangunan maupun masalah terhadap kebakaran, tetapi juga berkaitan sebagai media Ruang Terbuka Hijau, termasuk pula untuk fungsi *urban farming*. Hal ini juga berdampak pada konsep penghitungan Ruang Terbuka Hijau, yaitu terjadi pergeseran dari Ruang Terbuka Hijau hanya sebagai sisa area halaman setelah berkurang oleh luasan bangunan, menjadi konsep penghitungannya menyatu dengan aturan *Sky Exposure Plane* (SEP).



Gambar 10. Ruang terbuka hijau sebagai selubung bangunan prismatic yang dibentuk oleh SEP dari 2 jalur jalan sisi depan dan belakang. Sumber : Firmansyah (2014)[14]

2. Pengaruh Perwujudan Hibridisasi Pertanian di Bangunan Kota Terhadap Cara Pandang Ruang dalam Arsitektur.

Perwujudan elemen hijau alamiah dari semula dianggap sebagai pemutus kontinuitas ruang eksternal dan ruang internal sebagaimana diungkapkan teori ruang absolut, ternyata dapat terwujud sebagai elemen dinding, lantai dan atap yang mampu melebur antara bangunan dan tapaknya. Hal ini berarti bahwa perwujudan hibridisasi pertanian di bangunan kota menyebabkan tumbangya teori ruang absolut. Arsitektur kota pada dasarnya dibentuk oleh aspek-aspek pembentuk kota yang bersifat kompleks, maka dalam proses desain perkotaan perlu memandang tiap komponennya sebagai jaringan multi lapis, termasuk elemen hijau alamiah sebagai jaringan lantai, dinding dan atap. Pada bentuk bangunan kota kontemporer sebagai kota ekologis, maka tinjauan ruang pada perancangan kota relevan sebagai bentuk jaringan multi lapis, namun tidak lagi sekedar dalam bentuk horisontal tetapi juga dalam bentuk vertikal (3 dimensi atau 4 dimensional) dengan pendekatan teori ruang relasional maupun teori ruang relativitas.



Gambar 11. Pemikiran perancangan kota dengan elemen hijau alamiah sebagai multi lapis vertikal dan horisontal. Sumber : Jenks (1997).

Kesimpulan

Penelusuran cara pandang terhadap ruang dalam kegiatan perancangan arsitektur kota melalui pendekatan teori ruang absolut, relasional maupun relativitas menunjukkan bahwa keberadaan pertanian perkotaan (*urban farming*) sebagai bagian ruang hijau alamiah merupakan bagian penting dalam perwujudan desain kota yang ekologis. Melalui pendekatan teori ruang relasional maupun relativitas ditemukan bahwa ruang hijau alamiah dapat diperluas pada komponen bangunan secara horisontal maupun vertikal, baik melalui komponen lantai, dinding, atap atau dalam bentuk multi-level. Hal ini berarti terbukanya wawasan baru untuk melibatkan Ruang Terbuka Hijau pada bangunan melalui selubung bangunan sebagai instrumen untuk mengatur massa bangunan secara 3

dimensional. Oleh karenanya, tinjauan ruang pada perancangan kota relevan sebagai bentuk jaringan multi lapis, namun tidak lagi sekedar dalam bentuk horisontal tetapi juga dalam bentuk vertikal (3 dimensi atau 4 dimensional). Kondisi ini sangat menunjang terhadap bentuk kota kontemporer yang semakin mengalami keterbatasan ketersediaan lahan untuk ruang terbuka hijau maupun mengalami peningkatan kerusakan ekosistem.

Adanya fenomena kegiatan pertanian perkotaan, termasuk pada gedung-gedung kota (*vertical urban farming*), menunjukkan adanya fenomena/ kondisi keterbalikan definisi kota sebagaimana banyak dipakai oleh para ahli geografi perkotaan, melalui penetapan batasan desa identik dengan adanya kegiatan pertanian dan sebaliknya untuk kota. Meskipun kegiatan *urban farming* bukanlah kegiatan dominan perkotaan, namun keberadaannya tidak dapat dipandang remeh, namun justru sebagai kritik terhadap definisi perkotaan yang melibatkan atribut pertanian sebagai parameternya. Semodern apapun kondisi perkotaan, memerlukan keseimbangan ekologis dengan kondisi lingkungan alamiahnya, termasuk diantaranya adalah melalui *urban farming* demi menjaga keseimbangan biodiversitas kotanya.

Saran

Diperlukan penelitian lanjutan untuk mengkaji perancangan kota sebagai multi lapis vertikal, karena bentuk kegiatan kota secara vertikal masih dianggap hal baru, disamping tumpang-tindih antar lapis perancangan secara horisontal tentulah berbeda dengan tumpang-tindih antar lapis perancangan secara vertikal. Meskipun kegiatan *urban farming* sebagai salah satu upaya kota untuk memenuhi kebutuhan ruang terbuka hijaunya, namun dalam perancangannya juga perlu melibatkan penghitungan unsur-unsur konsumsi ekologis sebagai kesebandingan antara peningkatan jumlah pengguna (orang, kendaraan, peningkatan zat-zat pencemar lingkungan) terhadap ketersediaan oksigen dari ruang terbuka hijau.

Referensi

- [1] Kementerian Pertanian, " Road Map Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim". Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011. ISBN 978-602-9462-03-6. p.5
- [2] Purwadio, Heru. "Studi Penataan Bangunan Ditinjau dari Perancangan Kota, Studi Kasus Jl. Kertajaya, Surabaya". 1994.Laporan Penelitian, ITS, Surabaya
- [3] Kim, Won Kyung and Wentz, Elizabeth A. "Understanding Urban Open Space with a Green Index : How Urban Open Spaces Make A Desert City A Livable City." 2013.School of Geographical Sciences and Urban Planning Arizona State University. [Http://www.caplter.asu.edu/docs/symposia/symp2010/Kim Wentz.pdf](http://www.caplter.asu.edu/docs/symposia/symp2010/Kim%20Wentz.pdf). (Accessed on July 12, 2013).
- [4] Shirvani, Hamid."The Urban Design Process" 1985. Van Nostrand Reinhold Company, New York. ISBN 0-442-28064-5
- [5] Town and Country Planning Association (TCPA). "Nothing Gained by Overcrowding!. A Centenary Celebration and Re-exploration of Raymond Unwin's Pamphlet-'How th Garden City Type of Development May Benefit Both Owner and Occupier". 2012. Town and Country Planning Association. London.
- [6] Soetomo, Sugiono. "Urbanisasi dan Morfologi : Proses Perkembangan Peradaban dan Wadah Ruang Fisiknya Menuju Ruang Kehidupan yang Manusiawi". 2009. Graha Ilmu, Yogyakarta. ISBN: 978-979-756-485-8
- [7] Van Rooijen, Maurits. "Open Space, Urban Planning and The Evolution of The Green City". Editor : Robert Freestone, dalam Urban Planning in A Changing World : The Twentieth Century Experience. 20000.E&FN Spon, London. ISBN 0-419-24650-9

- [8] Prasetyo, Harry (2013). Unik! Ada Sawah Di Atap Gedung. [Http://Rumahku.com/unik-ada-sawah-di-atap-gedung-406397.htm](http://Rumahku.com/unik-ada-sawah-di-atap-gedung-406397.htm). (Diakses 3 Oktober 2014).
- [9] Madanipour, Ali. "Design of Urban Space : An Inquiry into a Socio-Spatial Process". 1996. John Wiley and Sons, Baffins Lane, Chicester, England. ISBN 0-471-96673-8.
- [10] De Chiara, Joseph dan Kopelman, Lee E. (1978). "Standar Perancangan Tapak". 1978. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [11] Byrne, Jason and Sipe, Neil. "Green And Open Space Planning For Urban Consolidation – A review of the literature and best practice". Urban Research Program Issues Paper 11 March 2010. Griffith University Brisbane. ISBN 978-1-921291-96-8
- [12] Sutanto, Yakob. "Arsitektur+Tempo". 2005. Harian Kompas, Jakarta, 15 April 2005
- [13] Jenks, Charles. "Theories And Manifestoes of Contemporary Architecture". 1997. Academy Editions, Baffins Lane, Chicester, England. ISBN 0-471-97687-3.
- [14] Firmansyah, Aldrin Yusuf. "The Theory of Space Concept Related to Greenery Open Space". 2014 International Conference on Empathic Architecture. Petra Christian University, Surabaya.

PERBANDINGAN ALGORITMA HEURISTIK DENGAN ALGORITMA KONVENSIONAL PADA TRAVELING SALESMAN PROBLEM

Eki Ahmad Zaki Hamidi^{1, a)}

¹Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
^{a)}ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id

Abstrak

Permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) dengan algoritma heuristik ini digunakan untuk permasalahan yang identik dengan permasalahan berikut: jika sebuah kendaraan yang melakukan perjalanan ke n kota, perjalanan dimulai dan diakhiri pada satu kota dan harus mengunjungi $n-1$ kota yang lain. Jaringan transportasi yang menghubungkan ke- n kota tersebut adalah *completely connected*, artinya dari tiap kota terdapat jalur transportasi langsung ke $n-1$ kota lainnya tanpa melalui kota perantara lainnya. Permasalahan ini cocok untuk perjalanan udara karena antar kota dapat terhubung langsung tanpa melalui kota antara. Permasalahan ini jika direpresentasikan dalam graph akan berupa *undirected weighted graph*. Beberapa metode telah dikembangkan untuk memecahkan persoalan ini. Salah satu algoritma yang muncul untuk menyelesaikan persoalan ini adalah Algoritma *Heuristik*.

Kata kunci: *Traveling Salesman Problem*, Algoritma *Heuristik*.

Pendahuluan

Sejarah TSP

Permasalahan matematika yang berkaitan dengan *Traveling Salesman Problem* mulai muncul sekitar tahun 1800-an. Masalah ini dikemukakan oleh dua orang ahli matematika, yaitu Sir William Rowan Hamilton yang berasal dari Irlandia dan Thomas Penyngton Kirkman yang berasal dari Inggris. Diskusi mengenai awal studi dari persoalan TSP ini dapat ditemukan di buku *Graph Theory 1736-1936* by N.L. Biggs, E.K. Lloyd, and R.J. Wilson, Clarendon Press, Oxford, 1976 [1].

Bentuk umum dari persoalan TSP pertama kali dipelajari oleh para matematikawan mulai tahun 1930-an oleh Karl Menger di Vienna dan Harvard. Persoalan tersebut kemudian dikembangkan oleh Hassler Whitney dan Merrill Flood di Princeton. Penelitian secara mendetail hubungan antara Menger dan Whitney, dan perkembangan persoalan TSP sebagai sebuah topik studi dapat ditemukan pada tulisan Alexander Schriver "*On the history of combinatorial optimization*" (1960).[1]

Latar Belakang Penelitian

Kebutuhan teknologi informasi rute perjalanan dari suatu lokasi ke lokasi lain secara efisien semakin meningkat seiring dengan pesatnya laju kinerja masyarakat.

Pemilihan rute jalan merupakan permasalahan yang dihadapi oleh para pedagang keliling (*Salesman*). Setiap hari Salesman harus menentukan pelanggan mana saja yang harus dikunjungi baik yang lokasinya dekat maupun jauh dari tempat lokasi Salesman berada. Penentuan lokasi pelanggan

yang akan dikunjungi tersebut, akan sangat berdampak pada biaya transportasi yang harus dikeluarkan maupun waktu yang dibutuhkan untuk sampai ke pelanggan hingga ke tempat Salesman semula berada.

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi, penentuan optimasi rute perjalanan bagi pedagang keliling akan dapat diselesaikan secara komputasi. Dengan teknologi komputasi, informasi rute perjalanan dari satu lokasi ke lokasi lain akan dapat diketahui dengan cepat dan mudah. Melalui sistem informasi berbasis teknologi informasi pekerjaan akan dapat diselesaikan dengan mudah, efektif dan efisien.

Dari penjelasan tersebut yang menjadi permasalahan adalah bagaimana menentukan optimasi rute terpendek. Optimasi rute bertujuan agar mendapatkan waktu dan jarak yang efisien. Sehingga bisa berjalan dengan cepat dan biaya transportasi yang rendah [2].

Penelitian ini bertujuan mencermati dan membandingkan algoritma Heuristik dengan algoritma konvensional (usulan) dalam menyelesaikan optimasi rute terpendek.

Teori

Algoritma

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam algoritma adalah mencari langkah-langkah yang paling sesuai untuk penyelesaian suatu masalah, karena setiap algoritma memiliki karakteristik tertentu yang memiliki kelebihan dan kekurangan (Zakaria, 2006). Beberapa hal yang harus dipahami dalam mencari algoritma antara lain:

1. Masalah seperti apa yang hendak diselesaikan.
2. Gagasan apa yang ada pada algoritma tersebut.
3. Berapa lama yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah.
4. Berapa jumlah data yang dapat ditangani oleh suatu algoritma [2].

Kompleksitas Waktu

Sebuah algoritma tidak saja harus menghasilkan keluaran yang benar, tetapi juga harus mangkus (efisien). Kebenaran suatu algoritma harus diuji dengan jumlah masukan tertentu untuk melihat kinerja algoritma berupa waktu yang diperlukan untuk menjalankan algoritmanya dan ruang memori yang diperlukan untuk struktur datanya (Munir, 2009).

Algoritma yang bagus adalah algoritma yang mangkus (efisien). Kemangkusan algoritma diukur dari berapa jumlah waktu dan ruang memori yang dibutuhkan untuk menjalankan algoritma tersebut. Algoritma yang mangkus adalah algoritma yang meminimumkan kebutuhan waktu dan ruang.

Kompleksitas waktu dari algoritma berisi ekspresi bilangan dan jumlah langkah yang dibutuhkan sebagai fungsi dari ukuran permasalahan. Kompleksitas ruang berkaitan dengan sistem memori yang dibutuhkan dalam eksekusi program [3]. Pada Tabel 1 diperlihatkan kelompok algoritma berdasarkan kompleksitas waktu asimptotiknya [2].

Tabel 1. Kelompok Algoritma

Kelompok Algoritma	Nama
$O(1)$	Konstan
$O(\log n)$	Logaritmik
$O(n)$	Linier
$O(n \log n)$	$n \log n$
$O(n^2)$	Kuadratik
$O(n^3)$	Kubik
$O(2^n)$	Eksponensial
$O(n!)$	Faktorial

Lintasan Terpendek (*Shortest Path*)

Suatu uraian pemecahan persoalan tentang graf berbobot $G = (V,E)$ dan sebuah simpul a . Penentuan lintasan terpendek dari a ke setiap simpul lainnya di G . Asumsi yang kita buat adalah bahwa semua sisi berbobot positif.

Algoritma Heuristik

Secara umum, penyelesaian masalah pencarian jalur terpendek dapat dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode konvensional dan metode heuristik. Metode konvensional diterapkan dengan perhitungan matematis biasa, sedangkan metode heuristik diterapkan dengan perhitungan kecerdasan buatan, dengan menentukan basis pengetahuan dan perhitungannya [4].

a. Metode konvensional

Metode konvensional adalah metode yang menggunakan perhitungan matematis biasa. Ada beberapa metode konvensional yang biasa digunakan untuk melakukan pencarian jalur terpendek, diantaranya: algoritma Dijkstra, algoritma Floyd-Warshall, algoritma Greedy dan algoritma Bellman-Ford.

b. Metode heuristik

Metode Heuristik adalah sub bidang dari kecerdasan buatan yang digunakan untuk melakukan pencarian dan optimasi. Ada beberapa algoritma pada metode heuristik yang biasa digunakan dalam permasalahan optimasi, diantaranya algoritma Genetika, algoritma Semut, Logika fuzzy, Jaringan syaraf tiruan, dan lain-lain [2].

c. Metode *Brute Force*

Dengan *Complete Enumeration* cara termudah untuk menyelesaikan TSP yaitu dengan menggunakan Algoritma *Bruto Force*. Hal yang dilakukan ialah dengan cara mengenumerasi seluruh kemungkinan rute yang akan ditempuh. Setelah itu, akan dibandingkan dari seluruh kemungkinan rute yang telah dienumerasi tersebut, rute mana yang memiliki lintasan/bobot yang paling minimum [1].

Untuk menyelesaikan permasalahan TSP, dengan algoritma heuristik adalah sebagai berikut:

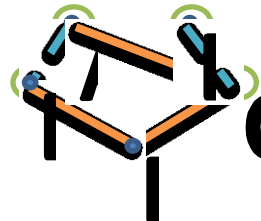
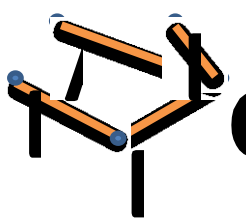
1. Cari *minimum spanning tree* yang menghubungkan tiap n simpul dari graph. Hasil pencarian *minimum spanning tree* ini dinamakan A.
2. Tentukan simpul graph yang berderajat ganjil, jika k merupakan jumlah simpul graph berderajat ganjil dari n simpul maka k pasti bilangan genap. Kita pasang k simpul sehingga panjang dari cabang yang menghubungkan simpul-simpul tersebut minimum. k simpul dengan tiap cabangnya yang diperoleh dari memasang masing-masing simpul dari k simpul tersebut membentuk jaringan yang dinamakan B. Jaringan A dan B yang sudah terbentuk kita gabungkan menjadi jaringan C.
3. Sekarang jaringan C tidak mempunyai simpul berderajat ganjil. Kita dapat menggambarkan sirkuit Euler pada jaringan C. Sirkuit Euler merupakan aproksimasi solusi dari Traveling Salesman Problem.
4. Periksa tiap nodes pada jaringan C yang dikunjungi lebih dari satu kali dan perbaiki solusi Traveling Salesman Problem dari langkah 3 dengan menerapkan ketidaksamaan dibawah ini [6] :

$$l(a,b) < l(a,c) + l(c,b)$$

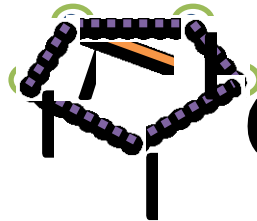
Contoh penggunaan algoritma heuristik adalah sebagai berikut: misalkan diberikan graph berbobot, lengkap tidak berarah dengan jumlah simpul 5 dan bobot dari tiap sisi adalah sebagai berikut:

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	0	0	42	53	119
C	0	0	0	44	80
D	0	0	0	0	18
E	0	0	0	0	0

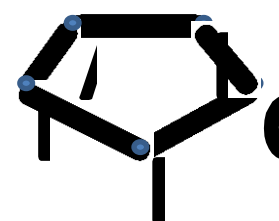
Minimum Spanning Tree (Network A)



Network C



Sirkuit Euler



Hasil Final = 179

Algoritma Usulan

1. Buat matrix simetris ($k \times k$). (i) adalah titik asal, (j) titik tujuan

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	51	0	42	53	119
C	22	42	0	44	80
D	56	53	44	0	18
E	24	119	80	18	0

2. Mulai dari baris $i=1$ hingga $(k-1)$, cari nilai minimum di baris tersebut

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	51	0	42	53	119
C	22	42	0	44	80
D	56	53	44	0	18
E	24	119	80	18	0

3. Cari index nilai minimum tersebut, lalu hapus kolom I

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	51	0	42	53	119
C	22	42	0	44	80
D	56	53	44	0	18
E	24	119	80	18	0

4. Misal $v(i,j)$ adalah hasil minimum, nilai (j) pada iterasi ke k digunakan sebagai acuan iterasi $k+1$

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	51	0	42	53	119
C	22	42	0	44	80
D	56	53	44	0	18
E	24	119	80	18	0

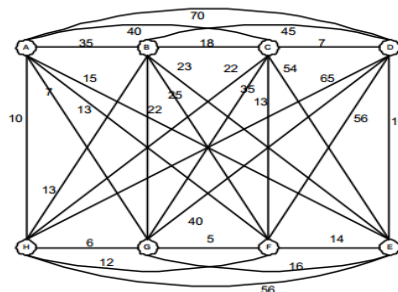
5. Untuk nilai k terakhir, nilai yang diambil adalah $(k,1)$

	A	B	C	D	E
A	0	51	22	56	24
B	51	0	42	53	119
C	22	42	0	44	80
D	56	53	44	0	18
E	24	119	80	18	0

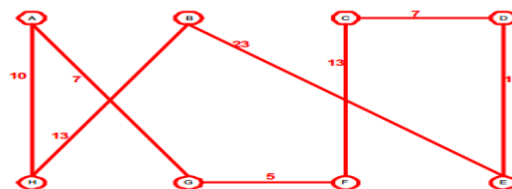
Contoh lain penggunaan algoritma heuristik adalah sebagai berikut: misalkan diberikan graph berbobot, lengkap tidak berarah dengan jumlah simpul 8 dan bobot dari tiap sisi adalah sebagai berikut:

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	35	40	70	15	13	7	10
B	35	0	18	45	23	25	22	13
C	40	18	0	7	54	13	35	22
D	70	45	7	0	10	56	40	65
E	15	23	54	10	0	14	16	56
F	13	25	13	56	14	0	5	12
G	7	22	35	40	16	5	0	6
H	10	13	22	65	56	12	6	0

Apabila digambarkan dalam bidang dua dimensi, maka graph tersebut adalah:

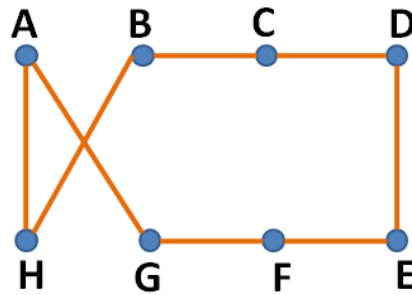


Akhirnya diperoleh perjalanan dalam traveling salesman problem menjadi seperti gambar dibawah ini:



Maka nilai yang di dapat 88

Dengan menggunakan algoritma usulan didapat nilai 84 dengan perjalanan dalam traveling salesman problem seperti gambar dibawah ini:



Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini di dapatkan bahwa dengan menggunakan algoritma heuristik, algoritma brute force dan algoritma usulan diperoleh perjalanan dalam traveling salesman problem, untuk 4 node, 5 node dan 6 node sebagai berikut:

1. Algoritma Heuristik 4 node dengan nilai 173, 5 node nilai 159 dan 6 node nilai 169.
2. Algoritma Brute Force 4 node dengan nilai 170, 5 node nilai 159 dan 6 node nilai 169.
3. Algoritma Usulan 4 node nilai 173, 5 node nilai 159 dan 6 node nilai 169.

Dengan demikian maka dengan menggunakan berbagai macam algoritma untuk menentukan rute terpendek pada traveling salesman problem mendapatkan nilai yang sama atau mendekati sama, ini menunjukkan bahwa berbagai macam algoritma dapat digunakan untuk menentukan rute terpendek namun menentukan algoritma tergantung dari problem rute tersebut sehingga bisa digunakan algoritma yang cocok untuk menghitungnya.

Ucapan Terima Kasih

Dalam penelitian ini penulis ucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak Jurusan Teknik Elektro yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk ikut serta dalam kegiatan Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015.

Referensi

- [1] Mohamad Irvan Faradian, "Perbandingan Penggunaan Algoritma Genetika dengan Algoritma Konvensional pada Traveling Salesman Problem", Program Studi Teknik Informatika, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung.
- [2] Hardianto, "Implementasi Algoritma Heuristik untuk Optimasi Rute Terpendek", Sekolah Tinggi Teknologi Bontang, Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi, ISSN:2087-0868, Volume 4 Nomor 2 Agustus 2013.
- [3] Purwanto, E. B., 2008, "Perancangan Dan Analisis Algoritma", Edisi 1, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [4] Mutakhiroh.I,2007, "Pemanfaatan Metode Heuristik Dalam Pencarian Rute Terpendek Dengan Algoritma Semut Dan Algoritma Genetika", SNATI, Yogyakarta, hal B33-B39.
- [5] Zainal Azis, "Algoritma Heuristik untuk Menyelesaikan Masalah Lintasan Terpendek Stokastik". Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan 2008.
- [6] "Algoritma Heuristik untuk Traveling Salesman Problem". http://kur2013.if.itb.ac.id/file/TSP_heuristic_.pdf [diakses 20 April 2015 : 09.55 WIB]

Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Lampu Menggunakan Metode Pengenalan Suara Berbasis Arduino

Adam Faroqi , M.T. ^{1a)}, Riyan Nugraha ^{1b)},
Mada Sanjaya WS.,M.Si.,Ph.D^{1c)}

¹Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jln. A.H.Nasution 105 Bandung 40614

^{a)}adamfaroqi@yahoo.com; ^{b)}riyannugraha4991@gmail.com,
^{c)}madasws@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi saat ini sangat bermanfaat bagi kehidupan banyak orang. Semua aspek kehidupan dapat memanfaatkan teknologi sesuai dengan bidang yang dibutuhkan, termasuk kendali rumah. Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa sinyal suara dapat juga digunakan untuk berinteraksi dengan komputer, sehingga interaksi tersebut dapat berjalan lebih alami. Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan data sinyal suara ini umumnya disebut dengan pemrosesan sinyal suara (speech processing). Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang dapat mengenali suara dalam bentuk kalimat agar kedepannya bisa digunakan dalam teknologi listrik. Proses pengolahan suara pun perlu melawati beberapa proses seperti: sampling, ekstraksi dan pembelajaran. Dengan proses ekstraksi suatu sinyal suara dapat diketahui karakteristiknya. Terdapat beberapa macam metode ekstraksi ciri yang biasa digunakan, tetapi pada penelitian kali ini menggunakan metode Linear Predictive Coding (LPC). LPC digunakan karena sistem ekstraksinya yang mengadopsi sistem pendengaran manusia sebagai filter pengambilan informasi. Kemudian proses pembelajaran dan pengenalan suara sendiri akan dilakukan oleh Adaptive Neuro Fuzzy Interference System (ANFIS) karena kemampuannya yang bisa melakukan analisis probabilitas dan kemudian menghasilkan respon sesuai dengan parameter. Proses pengenalan suara untuk mengenali kalimat diawali dengan proses perekaman yang akan dijadikan data latih sebanyak 20 buah. Dari hasil uji coba, hasil ekstraksi dengan 4 ciri mempunyai akurasi paling kecil dengan 60% - 70% , sedangkan dengan 5 ciri akurasinya 60% - 80% dan 6 ciri menghasilkan akurasi yang sama yaitu 70% - 80%. Hasil identifikasi secara secara real time dengan 2 orang sebagai pengujianya menghasilkan akurasi 60% pada pengujian orang pertama dan 70% pada orang kedua untuk pengujian dengan 4 ciri. Analisa waktu respon dengan ciri adalah ciri lebih sedikit akan mempercepat respon matlab dan analisi dengan banyak ciri akan melambatkan waktu respon.

Kata kunci: Kontrol Otomatis Lampu, Pengenalan Suara , Ekstraksi, LPC, ANFIS

Pendahuluan

Keberadaan teknologi adalah untuk mempermudah pekerjaan manusia dengan adanya teknologi pekerjaan yang manusia sebelumnya dikerjakan dalam waktu lama dan membutuhkan banyak tenaga, maka pekerjaan ataupun aktivitas kita menjadi lebih cepat dan dapat menghemat tenaga kita. Semuanya dapat diselesaikan dengan lebih *effisien*. Salah satunya dengan berkembangnya teknologi elektronika. Dengan elektronika maka dapat dibuat peralatan yang dapat digunakan untuk membantu pekerjaan sesuai yang kebutuhan kita.

Di dalam dunia modern yang meng-edepankan kenyamanan dan kecepatan, sistem yang bekerja secara otomatis akan semakin banyak. Otomatis sering kali diartikan sebagai tidak menggunakan tenaga manusia. Pengertian otomatis dapat disimpulkan seperti, teknik dan peralatan yang digunakan untuk melakukan operasi atau kontrol ataupun kondisi dikendalikan atau dioperasikan secara otomatis. Di dunia industri, sistem otomatis juga sangat diminati karena dapat menjamin kualitas produk yang dihasilkan, memperpendek waktu produksi dan mengurangi biaya untuk tenaga kerja manusia.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka penulis bermaksud merancang sistem kontrol lampu dengan memanfaatkan pengenalan suara diberi judul "*Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Lampu Menggunakan Metode Pengenalan Suara Berbasis Arduino*".

Teori

Teknologi Nirkabel

Wireless Technology atau teknologi nirkabel, atau lebih sering disingkat *wireless* adalah teknologi elektronika yang beroperasi tanpa kabel. *Wireless technology* dapat dimanfaatkan untuk komunikasi, dan pengontrolan misalnya. Untuk komunikasi, dikenal *wireless communication* yaitu transfer informasi, berupa apapun, secara jarak jauh tanpa menggunakan kabel misalnya ponsel, jaringan komputer nirkabel dan satelit.

Pengontrolan secara jarak jauh tanpa kabel adalah salah satu contoh teknologi nirkabel. Misalnya penggunaan Remot TV, mobil kontrol, dan Remot untuk membuka pintu garasi mobil. Masyarakat sudah akrab dengan teknologi nirkabel. Baik karena masyarakat menggunakan ponsel ataupun karena mulai banyak yang mengakses Internet melalui layanan *hotspot*.

Prinsip Pengontrolan Proses

Ada 3 parameter yang harus diperhatikan sebagai tinjauan pada suatu sistem kontrol proses yaitu:

- a. Cara kerja sistem kontrol
- b. Keterbatasan pengetahuan operator dalam pengontrolan proses
- c. Peran instrumentasi dalam membantu operator pada pengontrolan proses

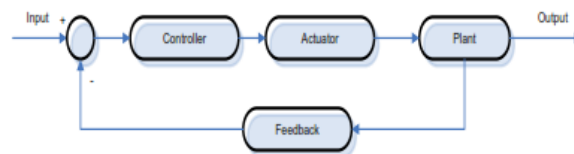
Empat langkah yang harus dikerjakan operator yaitu mengukur, membandingkan, menghitung, mengkoreksi. Pada waktu operator mengamati ketinggian *level*, yang dikerjakan sebenarnya adalah mengukur *process variable* (besaran parameter proses yang dikendalikan). Contohnya proses pengontrolan temperatur *line fuel gas* secara manual, *proses variabelnya* adalah suhu. Lalu operator membandingkan apakah hasil pengukuran tersebut sesuai dengan apa yang diinginkan. Besar proses variabel yang diinginkan tadi disebut *desired set point*. Perbedaan antara *process variabel* dan *desired set point* disebut *error*. Dalam sistem kontrol suhu di atas dapat dirumuskan secara matematis:

$$\text{Error} = \text{Set Point} - \text{Process Variabel}$$

Process variabel bisa lebih besar atau bisa juga lebih kecil daripada *desired set point*. Oleh karena itu *error* bisa diartikan negatif dan juga bisa positif.

Sistem Kontrol Otomatis

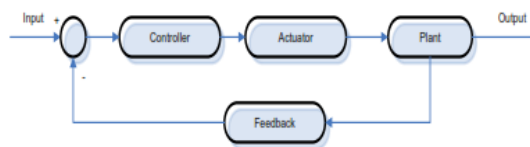
Suatu sistem kontrol otomatis dalam suatu proses kerja berfungsi mengendalikan proses tanpa adanya campur tangan manusia (otomatis). Ada dua sistem kontrol pada sistem kendali/kontrol otomatis yaitu Open Loop yaitu suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolan. Dengan demikian pada sistem kontrol ini, nilai keluaran tidak di umpan-balikkan ke parameter pengendalian.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pengendalian Loop Terbuka

Close Loop merupakan suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Sinyal *error* yang merupakan selisih dari sinyal masukan dan sinyal umpan balik (*feedback*), lalu diumpankan pada komponen pengendalian (*controller*) untuk memperkecil kesalahan sehingga nilai keluaran.

Sistem semakin mendekati harga yang diinginkan. Keuntungan sistem loop tertutup adalah adanya pemanfaatan nilai umpan balik yang dapat membuat respon sistem kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem. Kerugiannya adalah tidak dapat mengambil aksi perbaikan terhadap suatu gangguan sebelum gangguan tersebut mempengaruhi nilai prosesnya.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Kontrol Tertutup

Pengenalan Suara

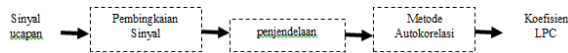
Pengenalan suara (*voice recognition* atau dikenal juga sebagai *speech recognition*, *computer speech recognition*) adalah suatu proses mengubah sinyal suara ke kalimat text[14]. Teknik tersebut dikembangkan sebagai sistem memungkinkan komputer untuk menerima masukan berupa kata yang diucapkan. Teknologi ini memungkinkan suatu perangkat untuk mengenali dan memahami kata – kata yang diucapkan dengan cara digitalisasi kata dan mencocokkan sinyal tersebut dengan suatu pola tertentu yang tersimpan dalam suatu perangkat.

Linear Predictive Coding (LPC)

Ciri sinyal ucapan sangat berguna untuk sistem pengenalan suara. Salah satu metode yang digunakan untuk prose ekstraksi ciri adalah *Linear Predictive Coding* (LPC). Metode tersebut adalah pemodelan suara yang didasarkan pada teori bahwa suara manusia dibentuk dari getaran sinyal sederhana, yang dihasilkan oleh bergetarnya laring pada rongga tenggorokan.

Teknik ini didasarkan pada fakta bahwa karakteristik suara manusia dapat direpresentasikan dengan menggunakan beberapa parameter matematika sederhana. Ide dasar *Linear Predictive Coding* adalah sinyal, yang mana pada waktu n dan $s(n)$ dapat diperkirakan sebagai kombinasi linear dari p sinyal sebelumnya. Hal ini dapat direpresentasikan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$s_n \approx a_1 s_{n-1} + a_2 s_{n-2} + \dots + a_p s_{n-p} \quad (2.1)$$



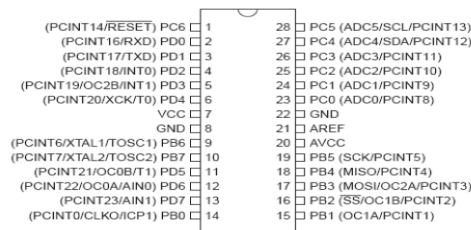
Gambar 3. Blok diagram analisis LPC

Logika Fuzzy

Logika Fuzzy merupakan suatu *logika* yang memiliki nilai keaburan atau kesamaran (*fuzzyness*) antara benar atau salah. Dalam teori *logika fuzzy* suatu nilai bias bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya. *Logika fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Berbeda dengan logika tegas yang hanya memiliki dua nilai 1 atau 0. *Logika fuzzy* digunakan untuk menterjemahkan suatu besaran yang diekspresikan menggunakan bahasa (*linguistic*), misalkan besaran kecepatan laju kendaraan yang diekspresikan dengan pelan, agak cepat, cepat, dan sangat cepat.

Microcontroller Arduino UNO

ATMega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computer) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (Completed Instruction Set Computer. Pada gambar di bawah ini merupakan konfigurasi pin pada Atmega328.



Gambar 4. Konfigurasi PIN Atmega 328

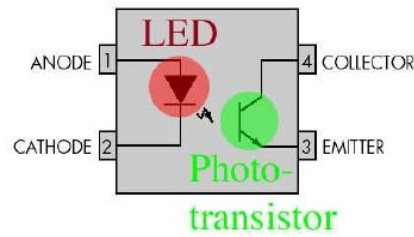
Sensor Optocoupler

Optocoupler adalah suatu piranti yang terdiri dari 2 bagian yaitu transmitter dan receiver, yaitu antara bagian cahaya dengan bagian deteksi sumber cahaya terpisah. Biasanya *Optocoupler* digunakan sebagai saklar elektrik, yang bekerja secara otomatis. Pada dasarnya *Optocoupler* adalah suatu komponen penghubung (*coupling*)

yang bekerja berdasarkan picu cahaya optic. *Optocoupler* terdiri dari dua bagian yaitu:

1. Pada transmitter dibangun dari sebuah LED (*Light Emitting Diode*) infra merah. Jika dibandingkan dengan menggunakan LED (*Light Emitting Diode*) biasa, LED (*Light Emitting Diode*) infra merah memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap sinyal tampak. Cahaya yang dipancarkan oleh LED (*Light Emitting Diode*) infra merah tidak terlihat oleh mata telanjang.
2. Pada bagian receiver dibangun dengan dasar komponen Photodiode. Photodiode merupakan suatu transistor yang peka terhadap tenaga cahaya. Suatu sumber cahaya menghasilkan energi

panas, begitu pula dengan spektrum infra merah. Karena spektrum inframerah mempunyai efek panas yang lebih besar dari cahaya tampak, maka Photodiode lebih peka untuk menangkap radiasi dari sinar infra merah.



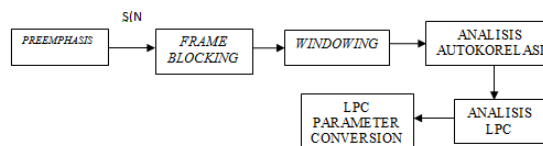
Gambar 5. Optocoupler

Pembahasan

Perancangan dan Implementasi

Ekstraksi Ciri *Linear Predictive Coding (LPC)*

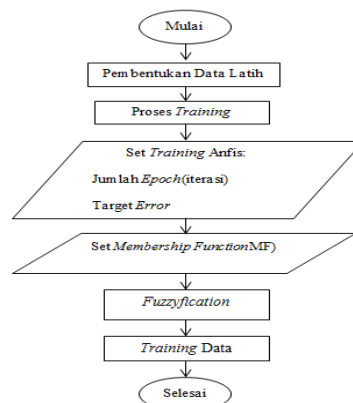
Ekstraksi ciri merupakan proses untuk mendapatkan ciri tertentu dari suatu sample suara. Ciri tersebut direpresentasikan untuk dijadikan sebagai model *input*-an pada metode pemodelan. Dari hasil dari proses suara kemudian diproses menggunakan metode LPC untuk mendapatkan *koefisien cepstral* yang merupakan *feature* yang ingin didapatkan. Langkah – langkah untuk mendapatkan *feature* tersebut menggunakan LPC dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8 Blok Diagram Ekstraksi Ciri LPC

Struktur dan Pemodelan ANFIS

Pemodelan ANFIS yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ANFIS yang diprogram menggunakan Matlab. Adapun tahapan yang digunakan seperti pada gambar dibawah ini :

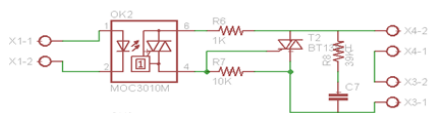


Gambar 9 Pemodelan ANFIS

Perancangan Hardware Rangkaian Optocoupler

Rangkaian *optocoupler* ini sangat sederhana. Tetapi fungsinya sangat sentral pada penelitian ini. Rangkaian *optocoupler* terdiri beberapa komponen, yaitu : IC MOC dan Juga Optotriac. Fungsi MOC

ini adalah sebagai isolator dengan bagian DC dari rangkaian kendali utama agar tidak terhubung secara langsung ke jaringan AC. Selain sebagai isolator MOC tersebut sebagai antarmuka antara bagian kendali (rangkaiannya DC) agar dapat berkomunikasi dengan jaringan AC. Sementara Optotriac berfungsi untuk memisahkan antara bagian arus DC (mikrokontroler) dengan bagian arus AC beban. TRIAC berfungsi sebagai penguat arus pada beban AC. Dalam pembuatan rangkaian optocoupler menggunakan *software Eagle 6.5.0*. Rangkaian *optocoupler* dapat dilihat pada gambar 10



Gambar 10 Skematik Rangkaian Rangkaian *Optocoupler*

Hasil dan Analisa Simulasi Sistem

Seluruh data suara terdiri dari 30 suara yang didapatkan dari 3 orang. Matriks sampel yang sebelumnya dijadikan data latih dijadikan data uji. Maksudnya agar diketahui kemampuan dan akurasi dari sistem dalam menganalisa data yang telah dipelajari dan juga untuk mencari spesifikasi yang paling akurat dari sistem ini.. Berikut merupakan 2 buah sampel kalimat yang dijadikan sampel:

1. Hidup
2. Mati

Untuk input “number MF” yang digunakan adalah 3 3 3 3, sesuai dengan *member function* yang ada. Lalu untuk tipe MF yang digunakan yaitu *gaussmf*. Sedangkan untuk output, tipe MF yang digunakan adalah *linear*. *Train FIS optim method* dipilih *hybrid*, *error tolerance* adalah 0 dan Epochs yang digunakan adalah 10.

Hasil Pengujian dengan 4 ciri

Spesifikasi simulasi untuk pengujian adalah sebagai berikut:

1. Data latih yang juga merupakan data uji sebanyak 20 buah
2. MF yang diujikan yaitu *gauss*
3. Banyak ciri yang diambil berjumlah 4 buah setiap data
4. Pengujian alat di lakukan dalam keadaan sepi

Pada tabel 1 Dapat dilihat bahwa “hidup” mempunyai akurasi paling kecil dengan 60%. Sedangkan “mati” mempunyai akurasi yang paling besar yaitu 70%. Dengan spesifikasi seperti diatas tadi sistem ini secara keseluruhan mempunyai akurasi sebesar 65%.

Tabel 1 Hasil Pengujian dengan 4 Ciri Tipe *Gauss*

Kata Perintah	Benar	Salah	Akurasi
Hidup	6	4	60%
Mati	7	3	70%
Total	13	7	65%

Hasil Pengujian dengan 5 ciri

Spesifikasi simulasi untuk pengujian adalah sebagai berikut:

1. Data latih yang juga merupakan data uji sebanyak 20 buah
2. MF yang diujikan yaitu *gauss*
3. Banyak ciri yang diambil berjumlah 5 buah setiap data

4. Pengujian alat di lakukan dalam keadaan sepi

Pada tabel 2 Dapat dilihat “hidup” mempunyai akurasi paling kecil dengan 60%. Sedangkan “mati” mempunyai akurasi yang lebih besar yaitu 80%. Dengan spesifikasi seperti diatas tadi sistem ini secara keseluruhan mempunyai akurasi sebesar 70%.

Tabel 2 Hasil Pengujian dengan 5 Ciri Tipe *Gauss*

Kata Perintah	Benar	Salah	Akurasi
Hidup	6	4	60%
Mati	8	2	80%
Total	14	6	70%

Hasil Pengujian dengan 6 ciri

Spesifikasi simulasi untuk pengujian adalah sebagai berikut:

- 1.Data latih yang juga merupakan data uji sebanyak 20 buah
- 2.MF yang diujikan yaitu *gauss*
- 3.Banyak ciri yang diambil berjumlah 6 buah setiap data
- 4.Pengujian alat di lakukan dalam keadaan sepi

Dengan spesifikasi seperti diatas hasilnya dapat dilihat pada table 3 Dapat dilihat “Hidup” mempunyai akurasi paling besar dengan 70%. Sedangkan “Mati “mempunyai akurasi yang sama yaitu 80%. Dengan spesifikasi seperti diatas tadi sistem ini secara keseluruhan mempunyai akurasi sebesar 75%.

Tabel 3 Hasil pengujian dengan 6 ciri tipe *Gauss*

Kata Perintah	Benar	Salah	Akurasi
Hidup	7	3	70%
Mati	8	2	80%
Total	15	5	75%

Analisa Perbandingan Ciri

Dari tabel di bawah ini dapat dilihat bahwa akurasi terlihat stabil pada posisi 5 ciri. Dan terlihat bahwa pada keadaan dengan 4 ciri akurasi cenderung menurun sedangkan pada posisi 6 ciri hasilnya tidak jauh berbeda dengan 5 ciri. Dari keadaan tersebut dapat disimpulkan bahwa banyaknya ciri MFFCC yang dihasilkan akan mempengaruhi akurasi, namun tidak selamanya karena terlalu banyak jumlah ciri akan membuat sistem kebingungan karena banyaknya titik ciri yang serupa dari tiap sampel suara.

Selain itu juga jumlah ciri pun terpengaruhi oleh lebar frame yang telah dipilih, hal itu dikarenakan pengambilan ciri akan lebih baik apabila dengan ciri yang sedikit akan tetapi tetap bisa mengenali tiap ucapan dengan akurasi yang besar.

Tabel 4 Analisa Perbandingan Ciri

Kata Perintah	4 Ciri	5 Ciri	6 Ciri
Hidup	60%	60%	70%
Mati	70%	80%	80%
Total	65%	70%	75%

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan perancangan pada setiap rangkaian yang dibuat, mulai dari rangkain optocopler, rangkaian atmega328, setelah rangkaian tersebut diujikan dapat disimpulkan bahwa alat-alat tersebut dapat bekerja.
2. Sistem dengan ANFIS dapat digunakan untuk pengenalan suara. Terbukti dengan keakurasian sistem ini antara 60%-80% dari 20 buah data latih.
3. Hasil analisa performa sistem:
 - a. Hasil ekstraksi dengan 4 ciri mempunyai akurasi paling kecil dengan 60% - 70% . Sedangkan dengan 5 ciri akurasinya 60% - 80% dan 6 ciri menghasilkan akurasi yang sama yaitu 70% - 80%.
 - b. Kombinasi terbaik antara sistem ini yaitu pada 4 ciri ekstraksinya yang digunakan yaitu tipe *Gauss*.
 - c. Pengujian secara real time dengan 2 orang sebagai pengujiannya menghasilkan akurasi 60% pada pengujian orang pertama dan 70% pada orang kedua.
 - d. Analisa waktu respon dengan ciri yaitu ciri lebih sedikit akan mempercepat respon matlab dan ciri lebih banyak akan melambatkan waktu respon.

Referensi

- [1] Fachrudin AN., 2004 "*Pengenalan Pengucap Tak Bergantung Teks dengan Metode Vector Quantization (VQ) Melalui Ekstraksi Linear Predictive Coding (LPC)*", <http://eprints.undip.ac.id/25626/1/ML2F099604.pdf>.
- [2] Hermawan, AB. , 2011 , "*Analisis Karakteristik Lampu Led Sebagai Lampu Penerang*", Skripsi, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [3] Muh. Widyanto Tri Saksono, Achmad Hidayatno, Ajub Ajulian Z, 2011 , "*Aplikasi Pengenalan Ucapan Sebagai Pengatur Mobil Dengan Pengendali Jarak Jauh*" , <http://eprints.undip.ac.id/25361/1/ML2F003519.pdf>
- [4] Fajar Timang Patiung, Arie.S.M. Lumenta, Sherwin R.U.A. Sompie, 2014 , "*Rancang Bangun Robot Beroda dengan Pengendali Suara*" , <http://www.e-jurnal.com/2014/10/rancang-bangun-robot-beroda-dengan.html>.
- [5] Hisni Zainul Milah. Burhanuddin. Gelar Budiman, 2014 , "*Desain Dan Implementasi Sistem Kendali Pintu Menggunakan Suara Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Dan Tms320c6455*", http://digilib.tes.telkomuniversity.ac.id/index.php?option=com_repo&Itemid=34&task=detail&nim=111071094.
- [6] A.Winoto, 2010, "*Mikrontroler AVR ATmega8/16/32/8535 dan Pemrogramannya dengan Bahasa C*", <adln.lib.unair.ac.id/.../gdlhub-gdl-s1-2013-fannanyzai-26849-15.-daft-a.pdf>.
- [7] Saputra, FA., 2013, "*Tentang Pembuatan Robot Sumo*", <http://fandi.students.uui.ac.id/2013/04/25/>

Rancang Bangun Sistem Keamanan Kendaraan Roda Empat Menggunakan Keylock Password Berbasis Mikronkontroler Atmega16

Alfi Sahri^{1, a)}, Rina Mardiaty^{1, b)}, Ferlin Ashadi^{1, c)}

¹*Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*

^{a)} *alfisahriaviw@gmail.com*

^{b)} *r_mardiaty@uinsgd.ac.id*

^{c)} *fe_ash@yahoo.com*

Abstrak

Di era sekarang tindakan pencurian saat ini marak sekali terjadi pada kendaraan roda empat, untuk itu diperlukan suatu pemanfaatan dan pengoptimalan peralatan yang dapat memberikan tingkat keamanan yang baik termasuk kemudahan dalam penggunaannya. Alat yang dapat menjadi suatu alternatif pengaman baru adalah berupa keypad menggunakan password dengan kode yang ditetapkan merupakan salah satu solusi yang tepat, sistem keseluruhan pada *keylock* sepenuhnya dikendalikan oleh *mikrokontroler* atmega16, dengan sistem pengkodean menggunakan bahasa C dibuat dengan software CAVR. Perancangan rangkaian terdiri dari: Pembuatan rangkaian *mikrokontroler*, rangkaian *switch* pada rangkaian *mikrokontroler*, rangkaian *keypad* 4x4 digit angka, rangkaian catudaya, dan rangkaian LCD *Character*16x2. Perancangan program alat ini terdiri dari: pembuatan program pada rangkaian *mikrokontroler*, *relay* dan *keypad* 4x4. Berdasarkan hasil pengujian apabila *password* yang diketikan salah, maka relay akan aktif dan klakson mobil akan berbunyi terus menerus sebelum *di restart* kembali, LCD akan menampilkan untuk masukan *password* kembali. Jika ingin mengubah *password* maka sebelum memasukkan *password* ada pada tampilan pilihan *change password* kemudian tekan 1, setelah itu ketikkan password yang ingin diganti. Apabila tidak tekan 0 dengan tingkat keberhasilan 100% dari 10 kali pengujian.

Kata kunci: Sistem keamanan kendaraan roda empat, *keylock password*, *keypad*, IC Atmega 16, LCD.

Pendahuluan

Di era yang modern sekarang kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mendorong manusia untuk mengatasi berbagai permasalahan yang timbul disekitarnya. Salah satu teknologi yang berkembang saat ini adalah mikrokontroler.

Mikrokontroler adalah keluarga *mikroprosesor* yaitu sebuah chip yang dapat melakukan pemrosesan data secara digital sesuai dengan perintah bahasa pemrograman yang diberikan dengan memanfaatkan *mikrokontroler* ini dapat diciptakan alat cerdas komputer tetapi dengan biaya yang lebih relatif murah dari pada komputer.

Pada saat ini sering terjadi pencurian kendaraan yang sering di parkir, sebagai contoh pencurian kendaraan di tempat parkir supermarket, rumah sakit, sekolah atau bahkan di area parkir tempat ibadah. Data kasus pencurian kendaraan bermotor roda empat di POLDA Jawa Barat tahun 2012

menunjukkan angka 810 kasus dan tahun 2013 menunjukkan angka 565 kasus pencurian kendaraan bermotor di wilayah POLDA Jawa Barat [1].

Sebab terjadinya pencurian kendaraan bermotor tersebut terjadi karena beberapa faktor antara lain kelalaian pemilik kendaraan bermotor memarkirkan kendaraannya ditempat yang tidak aman, lupa mencabut kunci kontak pada saat kendaraan ditinggal pergi, pemilik lupa mengunci setir kendaraan pada saat ditinggal.

Banyaknya kasus pencurian kendaraan bermotor mendorong semakin berkembangnya sistem keamanan untuk mengurangi tingkat pencurian kendaraan tersebut, diantaranya alarm mobil, kunci ganda stir, kunci khusus menggunakan magnet dan kunci *window*, namun semua alat keamanan ini masih belum efektif untuk mencegah terjadinya aksi pencurian. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah alternatif alat keamanan kendaraan yang memiliki kelebihan dibandingkan dengan alat keamanan kendaraan yang telah ada [2].

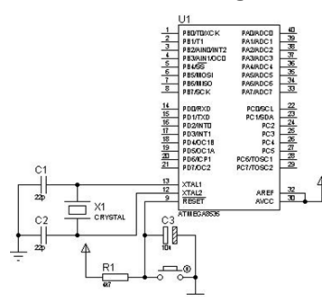
Teori

Keypad 4x4 digit angka

Keypad adalah bagian penting dari suatu perangkat elektronika yang membutuhkan interaksi manusia. *Keypad* berfungsi sebagai *interface* antara perangkat (mesin) elektronik dengan manusia atau dikenal dengan istilah HMI (*Human Machine Interface*). Konstruksi *Matrix Keypad 4x4 8 line* yang terdiri dari 4 baris dan 4 kolom tersebut dihubungkan dengan port mikrokontroler 8 bit. Sisi baris dari *matrix keypad* ditandai dengan nama Row1, Row2, Row3 dan Row4 kemudian sisi kolom ditandai dengan nama Col1, Col2, Col3 dan Col4 [2].

Sistem minimum

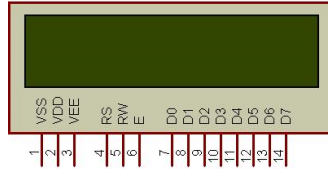
Sistem minimum (sismin) mikrokontroler adalah rangkaian elektronik minimum yang diperlukan untuk beroperasinya IC mikrokontroler. Sismin ini kemudian bisa dihubungkan dengan rangkaian lain untuk menjalankan fungsi tertentu. Rangkaian sistem minimum ini sudah siap untuk menerima sinyal analog (fasilitas ADC) di port A. Pada dasarnya sistem minimum keluaran AVR/Atmega itu sama, seperti halnya Atmega8, Atmega16 dan Atmega32 memiliki system minimum yang sama. Berikut adalah *system minimum* untuk Atmega8,16 dan 32 dalam gambar 1 [3].



Gambar 1. Rangkaian sistem minimum mikrokontroler^[1]

LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) sebagai tampilan kristal cair adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD bisa memunculkan gambar atau tulisan dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (*pixel*) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai sebuah titik cahaya atau disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri. Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD adalah lampu neon berwarna putih di bagian belakang susunan kristal cair [4].



Gambar 2. Diagram pin LCD tipe HD44780^[3]

Code Vision AVR C Compiler (CVAVR)

Code Vision AVR C Compiler (CVAVR) merupakan kompiler bahasa C untuk AVR. Kompiler ini cukup memadai untuk belajar AVR, karena selain mudah penggunaannya juga mendukung berbagai fitur yang sangat membantu dalam pembuatan *software* untuk keperluan pemrograman AVR. Mikrokontroler tanpa program sesungguhnya tidak dapat berbuat apa-apa, program merupakan salah satu bagian penting yang mengatur mikrokontroler agar melakukan aksi sesuai dengan yang dikehendaki oleh pembuatnya (*programmer*). CVAVR ini dapat mengimplementasikan hampir semua intruksi bahasa C yang sesuai dengan arsitektur AVR, bahkan terdapat beberapa keunggulan tambahan untuk memenuhi keunggulan spesifik AVR [5].

Pembahasan

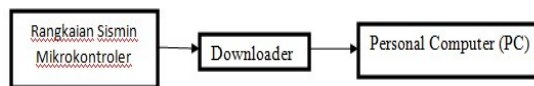
Pengujian dan Analisis Sistem

1. Pengujian dan analisis pada Rangkaian *Mikrokontroler*

Rangkaian sistem minimum *mikrokontroler* di uji terlebih dahulu untuk mengetahui semua rangkaian yang telah dibuat sudah berfungsi dan dapat bekerja dengan sesuai yang diharapkan bahwa rangkaian benar dan telah layak untuk digunakan atau masih terjadi kesalahan atau *error*. Pengujian ini dilakukan dengan cara mencocokkan rangkaian yang dibuat dengan rangkaian yang ada di data sheet atmega16.

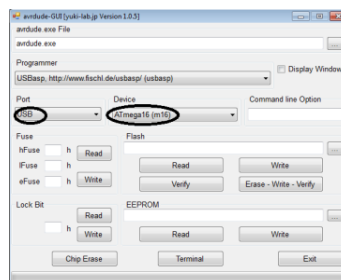
Berikut langkah-langkah pengujian rangkaian istem minimum *mikrokontroler* menggunakan *software* avrdude-GUI:

- a. Rangkaian sistem minimum *mikrokontroler* dihubungkan dengan *Personal Computer (PC)* menggunakan *downloader*.

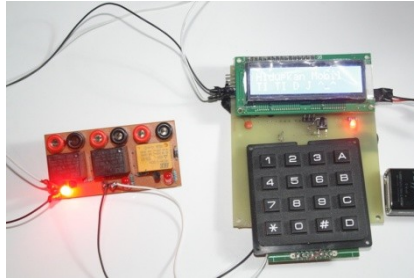


Gambar 3. Rangkaian Sismin *Mikrokontroler* dengan *Personal Computer (PC)*

- b. Buka *software* *avrdude*-GUI kemudian pada kolom *Port* pilih USB dan kolom *Device* pilih atmega16 karena *c mikrokontroler* yang digunakan adalah seri atmega 16.



Gambar 4. Setting ic Atmega pada *software* *avrdude*-GUI



Gambar 7. Tampilan Program Pada LCD

Pada gambar 7 menampilkan relay dan LCD yang terkoneksi satu sama lain dan berfungsi dengan baik setelah diberi program.

Analisis pada Sinyal EKG setelah direduksi

1. Pengujian dan Analisis pada Rangkaian Keypad 4x4

Pengujian dan analisis pada rangkaian tombol ini dilakukan dengan menghubungkan rangkaian ini dengan mikrokontroler atmega16, kemudian memberikan program sederhana untuk mengetahui baik atau tidaknya rangkaian ini. Rangkaian ini dihubungkan ke port D untuk mengecek penekanan pada tombol paling atas. Dengan demikian maka pin D4 akan mendapat logika high (1), dan yang lainnya mendapat logika low (0).

Tabel 1. Hasil pengujian dan analisis

PORT D	PIN	ANGKA PADA KEYPAD															
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	-	#
D4	11111110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11111101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11111011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11110111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
D5	11111110	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11111101	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	11111011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	11110111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D6	11111110	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11111101	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11111011	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	11110111	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D7	11111110	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	11111101	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	11111011	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	11110111	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

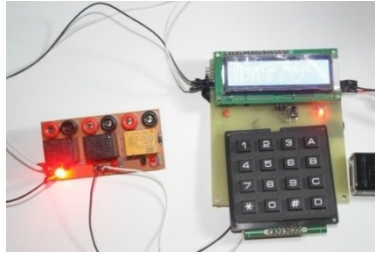
Tabel 1 menunjukkan bahwa keypad 4x4 ini digunakan sebagai input dari port D4,D5,D6, dan D7, sehingga ketika keypad ditekan member tegangan masukan ke LCD dan menampilkan huruf atau angka dari keypad yang ditekan.

2. Uji Konektivitas

Pengujian konektivitas dilakukan untuk mengetahui konektivitas apakah setiap module sudah terkoneksi dengan yang baik. Point-point pengujian konektivitas yaitu:

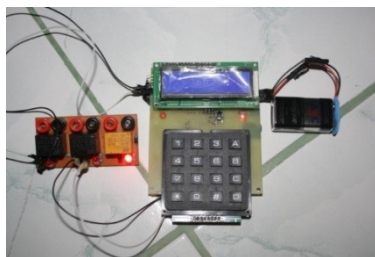
a. Uji Koneksi Antara Mikrokontroler dengan Rangkaian Relay

Tahapan pengujian pada rangkaian relay dengan mikrokontroler dikatakan berhasil jika mikrokontroler yang telah diberikan program dapat menjalankan fungsi konektivitas yang dibuktikan dengan menyalnya lampu indicator pada relay setelah diberikan password yang benar maka relay yang akan menyala yaitu relay sebelah kiri dan kendaraan bisa dinyalakan. Dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Relay Dalam Keadaan *Password* benar

Pada gambar 8 menunjukkan rangkaian relay dengan *mikrokontroler* berhasil dan dapat menjaankan fungsi konektifitas yang dibuktikan dengan menyalnya lampu indikator pada *relay*. Setelah diberikan *password* yang benar, maka *relay* yang akan menyala yaitu *relay* sebelah kiri dan kendaraan bisa dinyalakan. Sedangkan pada saat *password* salah dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 9. Relay Dalam Keadaan *Password* Salah

Pada gambar 9 menunjukkan rangkaian *relay* pada saat keadaan *password* salah . Letak *relay* yang menyala berada disebelah kanan maka kendaraan secara otomatis tidak bisa dinyalakan.

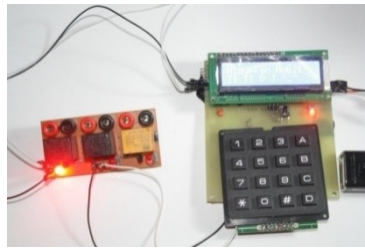
- b. Uji Koneksi Antara *Mikrokontroler* dengan *Keypad* 4x4
Keadaan pada saat keypad ditekan dapat dilihat pada gambar 10



Gambar 10. Keadaan *Keypad* Pada Saat Ditekan

Pada gambar 10 menunjukkan keadaan *keypad* saat ditekan angka 1,2,3,4 maka akan tampil pada LCD angka 1,2,3, dan 4.

- c. Uji Koneksi Antara *Mikrokontroler* dengan Rangkaian LCD
LCD dikatakan berhasil dikatakan terkoneksi apabila LCD menyala dan ketika keypad ditekan akan muncul angka sesuai dengan keypad yang ditekan. Keadaan pada saat LCD menyala dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Keadaan LCD pada Saat Menyala

Pada gambar 11 menunjukkan LCD menyala apabila diberi tegangan 9v dan terkoneksi dengan rangkaian sistem minimum *mikrokontroler*.

d. Uji Validitas

Pengujian pada rangkaian yang telah dibuat dan diuji keseluruhan untuk mengetahui apakah data yang input pada *password* salah dan *password* benar. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Hasil Uji Validitas

Percobaan	Inputan Password	Output	Kondisi	Keterangan
1	Benar	Mesin Hidup Alarm	Ok	Berhasil
2	salah	Menyala	ok	Berhasil
3	Benar	Mesin Hidup Alarm	Ok	Berhasil
4	salah	Menyala	Ok	Berhasil
5	Benar	Mesin Hidup Alarm	Ok	Berhasil
6	salah	Menyala	Ok	Berhasil
7	Benar	Mesin Hidup Alarm	Ok	Berhasil
8	salah	Menyala	Ok	Berhasil
9	Benar	Mesin Hidup Alarm	Ok	Berhasil
10	salah	Menyala	Ok	Berhasil

Dari data hasil percobaan pada Tabel 2 tersebut, semua kondisi pada saat inputan *password* benar dan *password* salah sudah sesuai dengan yang diharapkan atau sudah pada kondisi yang ideal. Dari 10 kali percobaan yang dilakukan, semua percobaan berhasil sehingga dapat disimpulkan alat 100% bekerja sesuai dengan fungsinya.

e. Tingkat Keberhasilan Alat

Dari hasil uji alat yang dicoba dan dilakukan pada kendaraan roda empat dengan melihat hasil Pada Tabel 2 dapat disimpulkan tingkat keberhasilan alat sebesar 100% dan tidak terjadi *error* selama pengujian alat tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada tugas akhir ini telah dibuat alat sitem keamanan menggunakan *keylock password* berbasis *mikrokontroler* Atmega16 sebagai pusat pengontrol dan pusat pengolahan data *password* untuk menyalakan switch *on/off* pada kendaraan roda empat.
2. Sistem keamanan menggunakan *keylock password* ini terdapat sistem pengujian yang meliputi pengujian rangkaian *relay*, pengujian rangkaian *keypad*, pengujian rangkaian *mikrokontroler*, dan pengujian rangkaian LCD dapat dinyatakan berhasil 100% setelah diuji pada kendaraan roda empat sebanyak 10 kali pengujian dan tidak terjadi *error*

Beberapa saran untuk kedepannya adalah sebagai berikut:

1. Untuk efisiensi daya sebaiknya menggunakan sebuah suplay daya diluar dari mobil, seperti batre hal ini untuk mengantisipasi apabila aki mobil tidak kuat dalam mensuplay daya.
2. Untuk mengefisiensikan tempat maka disarankan fungsi LCD dapat digantikan oleh layar TV yang telah disediakan oleh pabrikan di mobil-mobil keluaran terbaru.

Referensi

- [1] Direktorat reserse kriminal umum 2013, data jumlah tindak pidana dan jumlah penyelesaian tindak pidana kepolisian Negara repulik Indonesia daerah Jawa Barat. (5)
- [2] Munkhanif, Muhammad. *Ic mikrokontroler atmega 16*. <http://kanipfismador.com/2013/03/03ic-mikrokontroller-atmega16>. di akses pada 8 juni 2013.(8)
- [3] Anonimous. _____. *Rangkaian system minimum atmega 85353216* <http://usingmicrocontroller.com/2011/09/01/rangkaian-sistem-minimum-atmega-85353216/>. Diakses pada 8 juni 2013 (1)
- [4] Bekoy. *Pemrograman LCD karakter 2x16 menggunakan CV AVR*. [http://bekoy.com/2012/04/Pemrograman-LCD-Karakter-\(2x16\)-mengggunakan-CV-AVR](http://bekoy.com/2012/04/Pemrograman-LCD-Karakter-(2x16)-mengggunakan-CV-AVR). diakses pada 17 juni 2013. (3)
- [5] Suryanto, Agus. 2013. *Perancangan Dan Implementasi Robot Line Follower Dengan Kendali Pid Berbasis Mikrokontroler Atmega16 Untuk Lintasan Persimpangan Kompleks*. Tugas Akhir UIN Bandung. (10)
- [6] Anonimous. _____. *Datasheet ATMega16SMD*. Terdapat di <http://www.atmel.com/images/7766s.pdf>, diakses pada tanggal 01 Mei 2013.
- [7] Dian. *Fungsi saklar dan macam-macam saklar*. <http://dien-elcom.com/2011/08/02/fungsi-saklar-dan-macam-macam-saklar/> diakses pada 8 juni 2013.
- [8] Guntoro, Helmi dkk. 2013. *rancang bangun magnetic door lock menggunakan keypad dan solenoid berbasis mikrokontroler arduino uno*. Tugas akhir UPI
- [9] Kadir Abdul, 1991 *Pemrograman dasar turbo c untuk IBM PC* Yogyakarta:Andi offset
- [10] Rahman. *Standar keamanan mengendarai kendaraan bermotor*. <http://rahman.staff.ipb.ac.id/2013/04/30/standar-keamanan-mengendarai-kendaraan-bermotor/> di akses pada 10 juni 2013.

Desain dan Aplikasi Lampu Cerdas Berbasis Sensor Gerak dan Android

Lia Kamelia^{1, a)} Firmansyah Pratama¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: liafandi79@gmail.com

Abstrak

Penghematan energi listrik merupakan hal yang sangat diperlukan. Dampak dari kota metropolitan salah satunya adalah kebutuhan listrik yang kian meningkat akibat banyaknya kaum urban untuk menuntut ilmu dan mencari nafkah. Untuk itu perlu adanya solusi alternatif peralatan listrik yang dapat menghemat energi. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu sistem yang dapat mengendalikan lampu serta intensitas cahaya dengan menggunakan *smartphone* android berbasis koneksi *bluetooth*. Setelah dilakukan perancangan pada rangkaian yang dibuat, mulai dari rangkain lampu, kerja *bluetooth*, sensor gerak, dan pengaplikasian android. Rangkaian dan alat pendukung tersebut dapat disimpulkan bahwa alat-alat tersebut dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan perancangan awal. Koneksi *bluetooth* dan sensor gerak dapat berjalan dengan semestinya, android dapat melakukan tugas menghidupkan, mematikan, dan mengatur intensitas cahaya via koneksi *bluetooth* dan sensor gerak hanya dapat menghidupkan lampu tanpa dapat mematikan lampu kembali. Titik maksimal pengiriman koneksi modul *bluetooth* dapat mengontrol hingga 14 meter dan sensor gerak 6 meter, dengan kondisi tanpa halangan. Sedangkan jika ada halangan koneksi modul *bluetooth* dapat mengontrol hingga 14 meter dan sensor gerak tidak ada koneksi jika ada halangan, karena sistem kerja sensor gerak menggunakan inframerah yang tidak bisa menembus tembok..

Kata kunci: Android, Bluetooth, Lampu, Sensor Gerak.

Pendahuluan

Penerangan ruangan diperlukan oleh manusia untuk melakukan aktifitasnya sehari-hari. Pengaturan penerangan yang umum dilakukan yaitu dengan menyalakan dan mematikan lampu menggunakan saklar. Ruangan yang digunakan untuk berbagai kegiatan perlu mendapatkan pencahayaan berbeda untuk keperluan yang berbeda. Oleh karena itu, pengaturan penerangan hidup-mati lampu kurang efektif diterapkan, sehingga perlu diterapkan pengaturan pencahayaan (intensitas) lampu yang digunakan

Smartphone merupakan salah satu jenis perangkat komunikasi pintar yang perkembangannya sangat pesat saat ini, dimana pada *smartphone* tersebut tertanam *operating system* yang canggih diantaranya Android, Ios, Simbian, Java, BB, Windows Mobile. Salah satu *operating system* yang paling mendominasi pada pasar *smartphone* di Indonesia adalah Android OS, dimana *operating sistem* ini bersifat *open source* atau aplikasi dapat dikembangkan oleh siapapun,

tanpa harus meminta izin dari pihak pembuat. *Smartphone* android dapat memungkinkan penggunanya untuk mendownload berbagai aplikasi gratis.

Melihat dari semakin banyaknya penggunaan *smartphone* android dikalangan masyarakat Indonesia baik kalangan menengah bawah, hingga ke kelas eksekutif, maka harus dimanfaatkan untuk mengembangkan perangkat komunikasi tersebut agar lebih berguna untuk mendukung aktifitas sehari-hari.

Sensor gerak sering dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Misalnya ketika hendak memasuki pintu mall, bank, atau gedung perkantoran yang pintunya akan membuka dengan sendirinya. Komponen yang dipakai dalam sensor gerak ini dinamakan *Passive Infrared Sensors* atau disingkat PIR, merupakan sebuah sensor yang biasa digunakan untuk mendeteksi keberadaan manusia. Proses kerja sensor ini dilakukan dengan mendeteksi adanya radiasi panas tubuh manusia yang diubah menjadi perubahan tegangan.

Perkembangan mikrokontroler yang semakin pesat membuat beberapa pengembang membuat suatu proyek arduino sebagai design sistem minimum mikrokontroler yang dibuka secara bebas dengan modul yang menggunakan mikrokontroler AVR dan menggunakan seri yang lebih canggih, sehingga dapat digunakan untuk membangun sistem elektronika berukuran minimalis namun handal dan cepat.

Dalam penelitian ini akan diancang suatu *remote* kontrol yang dapat mengendalikan serta mengatur intensitas cahaya pada lampu menggunakan *smartphone* android. Media yang akan dikontrol adalah lampu rumah yang menggunakan listrik.

Penggunaan komunikasi *bluetooth* sebagai media koneksi antara lampu dan *smartphone* android yang telah terintegrasi dengan aplikasi *remote* kontrol dan mikrokontroler arduino, serta sensor gerak diharapkan mampu mengatasi pemasalah tersebut..

Dengan penelitian ini diharapkan dapat mengontrol peralatan listrik dirumah melalui android dalam area jangkauan sinyal *bluetooth* pada *smartphone* android.

Teori

Teknologi *wireless* (tanpa kabel/nirkabel) saat ini berkembang sangat pesat terutama dengan hadirnya perangkat teknologi informasi dan komunikasi. komputer, *notebook*, PDA, telepon seluler (*Smartphone*) mendominasi pemakaian teknologi *wireless*. Penggunaan teknologi *wireless* yang diimplementasikan dalam suatu jaringan local sering dinamakan WLAN (*Wireless Local Area Network*). Namun perkembangan teknologi *wireless* yang terus berkembang sehingga terdapat istilah yang mendampingi WLAN seperti WMAN (Metropolitan), WWAN (*Wide*), dan WPAN (*Personal/Private*).

Dengan adanya teknologi *wireless* seseorang dapat bergerak atau beraktifitas kemana dan dimanapun untuk melakukan komunikasi data maupun suara. Jaringan *wireless* merupakan teknologi jaringan komputer tanpa kabel, yaitu menggunakan gelombang berfrekuensi tinggi. Sehingga komputer- komputer itu bisa saling terhubung tanpa menggunakan kabel. Data ditransmisikan di frekuensi 2.4Ghz (for 802.11b) atau 5Ghz (for 802.11a). Kecepatan maksimumnya 11Mbps (untuk 802.11b) and 54Mbps (untuk 802.11a).

Secara umum, teknologi *wireless* dapat dibagi menjadi dua:

- Berbasis seluler (*cellular-based*), yaitu solusi yang menggunakan saluran komunikasi selular atau *pager* yang sudah ada untuk mengirimkan data. Jangkauan dari *cellular-based* biasanya cukup jauh. Contoh teknologinya GSM, CDMA, TDMA, CDPD, GPRS/EDGE, 2G, 2.5G, 3G, UMTS
- *Wireless LAN* (WLAN): yaitu komunikasi *wireless* dalam lingkup area yang terbatas, biasanya antara 10 sampai dengan 100 meter dari *base station* ke *Access Point* (AP). keluarga IEEE 802.11

(seperti 802.11b, 802.11a, 802.11g), *HomeRF*, 802.15 (*Personal Area Network*) yang berbasis *Bluetooth*, 802.16 (*Wireless Metropolitan Area Network*).

Android adalah sistem operasi bergerak (*Mobile Operating System*) yang mengadopsi sistem operasi linux namun telah dimodifikasi. Android diambil alih oleh Google pada tahun 2005 dari Android sebagai bagian strategi untuk mengisi pasar sistem operasi bergerak. Google mengambil alih seluruh hasil kerja Android termasuk tim yang mengembangkan Android.

Google menginginkan agar Android bersifat *Open Source* atau terbuka (gratis). Oleh karena itu hampir setiap kode program Android diluncurkan berdasarkan lisensi *Open Source Apache* yang berarti bahwa semua orang yang ingin menggunakan Android dapat men-download penuh *source code*-nya.

Disamping itu produsen perangkat keras juga dapat menambahkan *extension* sendiri ke dalam Android sesuai kebutuhan produk mereka. Model pengembangannya yang sederhana membuat Android menarik bagi vendor-vendor perangkat keras.

Bluetooth adalah spesifikasi industri untuk jaringan kawasan pribadi (*personal area networks* atau *PAN*) tanpa kabel. *Bluetooth* menghubungkan dan dapat dipakai untuk melakukan tukar-menukar informasi di antara peralatan- peralatan. Spesifikasi dari peralatan *Bluetooth* ini dikembangkan dan didistribusikan oleh kelompok *Bluetooth Special Interest Group*. *Bluetooth* beroperasi dalam pita frekuensi 2,4 Ghz dengan menggunakan sebuah *frequency hopping traceiver* yang mampu menyediakan layanan komunikasi data dan suara secara real time antara *host-host* bluetooth dengan jarak terbatas. Kelemahan teknologi ini adalah jangkauannya yang pendek dan kemampuan transfer data yang rendah.

Sistem *bluetooth* terdiri dari sebuah *radio transceiver*, *baseband link Management dan Control*, *Baseband (processor core, SRAM, UART, PCM USB Interface)*, *flash* dan *voice codec*. *Baseband link controller* menghubungkan perangkat keras radio ke *baseband processing* dan layer protokol fisik. Link manager melakukan aktivitas-aktivitas protokol tingkat tinggi seperti melakukan link setup, autentikasi dan konfigurasi.

Mikrokontroler (sering disingkat MCU atau μC) adalah computer mini yang terletak dalam sebuah IC yang terusun dari CPU, Jam, timer, Port I/O dan memori. Seperti computer pada umumnya, mikrokontroler memiliki media penyimpanan program (*Flash Memory*) dan data (EEPROM). Bila dianalogikan secara bebas maka harddisk pada PC bisa disamakan (fungsinya) dengan *flash memory* pada mikrokontroler, sedangkan USB Flashdisk bisa disamakan dengan EEPROM, seperti pada PC mikrokontroler juga memiliki RAM (*Random Access Memory*) meskipun ukurannya jauh lebih kecil.

ATMega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*).

Implementasi

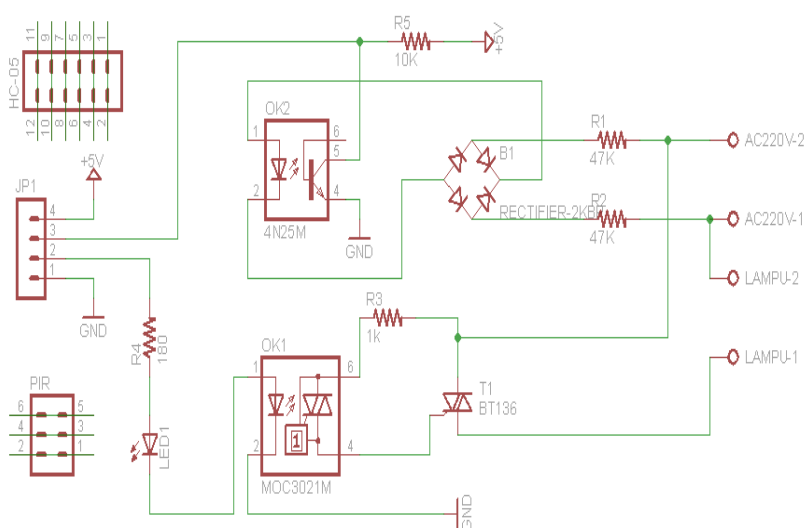
Dalam pembuatan desain rangkaian ini digunakan *software Eagle 7.2.0* yang telah diinstall pada PC yang hasilnya dapat dilihat pada gambar 1.

Setelah melakukan perancangan rangkaian dengan menggunakan *software Eagle 7.2.0*. Selanjutnya sebelum perakitan komponen terhadap rangkain, terlebih dahulu *board* rangkaian dicetak. *Board* rangkaian yang sudah dipasang komponen dapat dilihat pada gambar 2.

Pada perancangan aplikasi android ini, semua pengendalian lampu bisa dilakukan menggunakan android mulai dari mematikan dan menghidupkan lampu hingga mengatur intensitas

kecerahan pada lampu. Setelah desain rangkaian dicetak kemudian dilakukan pemasangan komponen-komponen pada rangkaian tersebut. Setelah rangkaian selesai dicetak dan dipasangkan komponen-komponen, proses selanjutnya melakukan pengolahan *coding* pada arduino agar dapat memerintahkan sistem kerja dari alat ini dan dapat dikendalikan melalui android. Setelah rangkaian selesai dicetak dan dipasangkan komponen-komponen, proses selanjutnya melakukan pengolahan *coding* pada arduino agar dapat memerintahkan sistem kerja dari alat ini dan dapat dikendalikan melalui android. Sebelum penulisan perintah-perintah pada arduino terlebih dahulu harus menghubungkan arduino dengan laptop dengan kabel USB yang biasanya sudah ada pada arduino tersebut hingga lampu pada arduino menyala.

Setelah selesai membuat program untuk mengendalikan cahaya menggunakan android via *bluetooth* pada IDE Arduino, langkah selanjutnya adalah mengupload program tersebut pada arduino dengan cara menekan tombol "upload" yang sudah disediakan pada *software* dan tunggu hingga proses *uploading* selesai



Gambar 1. Desain Rangkaian Lampu AC 220V

Pengujian

Pada pengujian pada *bluetooth* dapat dipastikan bahwa modul *bluetooth* HC-05 sudah terkoneksi dengan baik dengan android yang memberi perintah-perintah atau mengontrol lampu tersebut hidup, mati, atau mengatur intensitas cahaya sesuai dengan perintah-perintah yang diberikan pada android.

Setelah melakukan pengujian terhadap sensor gerak (PIR), sensor memberikan perintah yang sesuai diinginkan, yaitu apabila terdeteksi gerakan lampu akan menyala dengan catatan lampu dalam keadaan mati, dan lampu tidak akan mati apabila ada gerakan disekitar sensor jika lampu dalam keadaan menyala. Karena kontrol penuh dari lampu dipegang oleh android, sedangkan sensor gerak hanya menyalakan saja.

Setelah melakukan beberapa pengujian terhadap rangkaian, modul *bluetooth*, lampu, sensor gerak, dan pengujian jarak maksimal modul *bluetooth* serta sensor gerak dapat dianalisis bahwa jika pengaturan intensitas kecerahan pada lampu dikurangi maka tegangan pada lampu tersebut akan berkurang. Sehingga hal ini memungkinkan untuk melakukan penghematan penggunaan listrik. Hal ini dapat dibuktikan dengan melakukan pengukuran tegangan menggunakan avometer.

Setelah melakukan pengujian terhadap rangkaian lampu, *bluetooth*, dan sensor gerak. Selanjutnya dilakukan pengujian seberapa jauh jarak yang dapat dijangkau oleh modul *bluetooth* dan sensor gerak tersebut bila terdapat halangan atau gangguan.

Setelah melakukan pengujian untuk mencari titik jarak maksimal pengiriman dan seberapa kuat koneksi jika ada halangan. Dapat disimpulkan bahwa titik error atau titik maksimal pengiriman koneksi modul *bluetooth* dapat mengontrol hingga 14 meter dan sensor gerak 6 meter, dengan kondisi tanpa halangan. Sedangkan jika ada halangan koneksi modul *bluetooth* dapat mengontrol hingga 14 meter dan sensor gerak tidak ada koneksi jika ada halangan, karena sistem kerja sensor gerak menggunakan inframerah yang tidak bisa menembus tembok.



Gambar 2. Rangkaian yang telah dipasang komponen

Kesimpulan

1. Setelah dilakukan perancangan pada rangkaian yang dibuat, mulai dari rangkain lampu, kerja *bluetooth*, sensor gerak, dan pengaplikasian android. Rangkaian dan alat pendukung tersebut dapat disimpulkan bahwa alat-alat tersebut dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan perancangan awal.
2. Setelah memasukan program ke arduino, koneksi *bluetooth* dan sensor gerak dapat berjalan dengan semestinya, android dapat melakukan tugas menhidupkan, mematikan, dan mengatur intensitas cahaya via koneksi *bluetooth* dan sensor gerak hanya dapat menhidupkan lampu tanpa dapat mematikan lampu kembali.
3. Setelah melakukan pengukuran tegangan pada lampu menggunakan avometer, tegangan pada lampu akan berkurang jika intensitas kecerahan pada lampu dikurangi. Oleh karena itu hal ini memungkinkan untuk melakukan penghematan listrik dengan cara mengurangi intensitas kecerahan pada lampu.

Referensi

- [1]. Pratama, Zastra Alfarezi. Agustus 2013, "Rancang Bangun Kendali Listrik Rumah Dengan Smartphone Android via Bluetooth Berbasis Mikrokontroler" <http://digilib.polsri.ac.id/files/disk1/145/ssptpolsri-gdl-zastraalfa-7245.htm>.

- [2]. Reva, Erin Yuni. November 2012, "Makalah Peran Sistem Android"
http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/32627163/MAKALAH_ANDROID_ERIN_YUNI_REVA_G1A012040-libre.pdf
- [3]. Kruisdiarti, Hanny dan Putri Deryati. Maret 2012, "Aplikasi Gelombang Radio Pada Bluetooth",
<http://s3.amazonaws.com/ppt-download/cover-120316111213-phpapp02.docx>
- [4]. S, Rico Wijaya. September 2009, "Pintu Geser Otomastis Menggunakan Sensor Gerak (Passive Infra Red) Sebagai Pendeteksi Gerak Pada Suatu Ruang",
<http://digilib.polsri.ac.id/files/disk1/56/ssptpolsri-gdl-ricowijaya-2790.htm>
- [5]. Adriansyah, Andi, M.Eng. April 2013, "Dasar Sistem Kontrol", <http://dosen.narotama.ac.id/wp-content/uploads/2012/12/modul-1-PENGANTAR-SISTEM-KONTROL.doc>
- [6]. Supriyanto, Aji. Januari 2006, "Analisis Kelemahan pada Jaringan Wireless" Volume XI, No. 1: 38-46. <http://journal.uui.ac.id/index.php/Snati/article/viewFile/3059/2818>
- [7]. _____ Sensor Gerak (PIR HC-05), <http://www.iseerobot.com/produk-1052-sensor-gerak-pir.html>
- [8]. Setiawan, Agung Budi. 2013. "Sistem Android Kitkat 4.4",
https://www.academia.edu/7522796/Sistem_Operasi_Android_Kitkat_4.4
- [9]. Nagy, Anton. D, 5 Febuari 2014. "Android 4.4 KitKat slow distribution revealed three months after its release"
[10]. <http://pocketnow.com/2014/02/05/android-4-4-kitkat-slow-distribution>
- [11]. Joy, Hardcodec, 20 November 2014. "RoboRemo"
- [12]. <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.hardcodedjoy.robofree>
- [13]. _____ DataSheet Atmega328
- [14]. http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Summary.pdf

Analisis Penerapan Integrated Service QoS Model Untuk Paket Data Suara Berbasis Skema Layanan Blackberry Messenger

Nanang Ismail,^{1, a)} Irfan Nurhardiansyah,^{2, b)} Innel Lindra^{3, b)}

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}nanang.is@fst.uinsgd.ac.id; ^{b)}diansyahirfan.13@gmail.com; ^{c)}innel.lindra@gmail.com

Abstrak

Blackberry menggunakan teknologi *wireless* yang beroperasi melalui jaringan data wireless *high-speed* dan seperti juga pada telepon selular perangkat tersebut dapat diset untuk dipergunakan diluar negeri dengan teknologi *roaming*. Makalah ini memberikan gambaran simulasi untuk menghitung parameter *Quality of Service* (QoS) yang meliputi *throughput*, *delay*, *jitter* dan *packet loss* dengan menerapkan Integrated Service QoS Model menggunakan protokolnya yaitu signaling *Resource Reservation Protocol* (RSVP) di model skema layanan *Blackberry Messenger* (BBM) khususnya pada saat transfer paket data *voice*. Simulasi ini memakai software OPNET (*Optimize Networking Engineering Tools*) Modeler 14.5 untuk dianalisa hasilnya. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan coverage 100 m, 500 m dan 1 km serta *codec* yang berbeda yaitu *codec* G.711, GSM FR dan G.729.A, dapat dilihat analisa trafik perbandingan nilai QoS dengan menggunakan RSVP dan tanpa RSVP. Dari rata-rata nilai perbandingan parameter QoS dengan 3 jenis *codec* yang berbeda dan coverage yang berbeda pula didapatkan nilai *codec* yang paling baik yaitu *codec* G.729. Pada jarak 100 m, 500 m dan 1 km berturut-turut dengan menerapkan RSVP menghasilkan nilai *throughput* (12,13 bps, 11,83 bps, 5,96 bps), *packet loss* (0,393 %, 0,406 %, 0,585 %), *delay* (139 ms, 171 ms, 198 ms) dan *jitter* (21,2 ms, 21,6 ms, 21,94 ms).

Kata kunci: Integrated Service QoS Model, Paket Data Suara, BBM, RSVP, OPNET 14.5.

Pendahuluan

Dengan semakin banyaknya konsumen yang mempunyai handheld blackberry harus menjamin kepuasan para konsumen tersebut agar terhindar dari gangguan-gangguan seperti trafik yang padat sehingga menyebabkan delay khususnya pada saat transfer *voice* kepada tujuan. *Voice* (suara) adalah sensitif akan *delay*, oleh karena itu solusi *Quality of Service* (QoS) atau kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menyediakan bandwidth, mengatasi jitter dan delay dengan tujuan memberikan prioritas yang berbeda untuk berbagai aplikasi, pengguna, atau aliran data, atau untuk menjamin tingkat kinerja ke aliran data sangat diperlukan.

Salahsatu model layanan QoS yaitu *integrated service*. Model layanan ini menyediakan aplikasi dengan tingkat jaminan layanan melalui negosiasi parameter-parameter jaringan secara *end-to-end*. Aplikasi-aplikasi akan meminta tingkat layanan yang dibutuhkan untuk dapat beroperasi dan

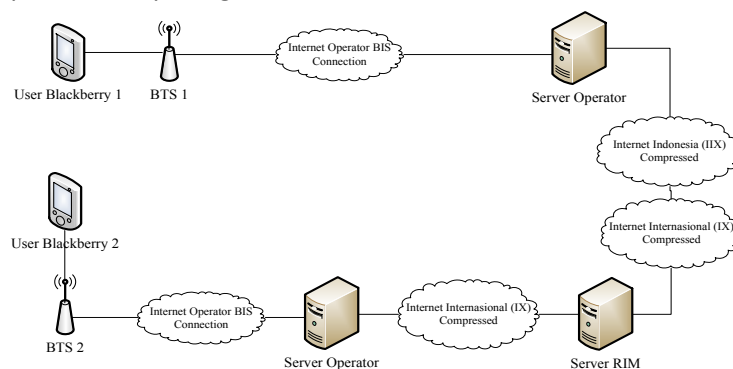
bergantung pada mekanisme QoS untuk menyediakan sumber daya jaringan yang dimulai sejak permulaan transmisi dari aplikasi-aplikasi tersebut. Aplikasi tidak akan mengirimkan trafik sebelum menerima tanda bahwa jaringan mampu menerima beban yang akan dikirimkan aplikasi dan juga mampu menyediakan QoS yang diminta secara *end-to-end* [1]. Protokol dari integrated service yaitu Resource Reservation Protocol (RSVP). RSVP adalah signaling protocol pada layer network melakukan reservasi pada sumber daya jaringan untuk suatu aplikasi.

Seiring dengan didapatkannya berita pada akhir-akhir ini tentang gangguan pada jaringan BBM dengan tidak bisa mengakses fitur-fitur layanan yang ada di handheld blackberry, karena penuhnya lalu lintas trafik di server yang menghubungkan langsung ke server pusat di RIM maka semakin menguatkan tentang riset ini.

Pada makalah ini akan dibahas tentang simulasi penerapan *Integrated Service QoS Model* di jaringan BBM khususnya pada saat transfer suara, melalui protokolnya yaitu RSVP (*Resource Reservation Protocol*) dengan mengujicoba 3 jenis codec yang sering dipakai dalam transfer voice yaitu codec G.711, GSM FR dan G.729A dengan menggunakan simulator OPNET 14.5.

Teori

Dari studi literatur yang telah dipelajari, ditemukan bahwa cara kerja dan sistem operasi jaringan *blackberry* diperlihatkan pada gambar 1 di bawah ini [2]:



Gambar 1. Skema dari jaringan Blackberry [5]

Gambar diatas menunjukkan jalur blackberry berdasarkan studi literatur yang dipelajari. Blackberry mengompres seluruh datanya, sehingga lebih hemat bandwidth.

Dari blackberry pengguna melakukan permintaan melewati operator seluler atau bisa dikatakan sebagai ISP, seluruh koneksi data dalam keadaan di kompresi dan di enkripsi, dari operator menuju server RIM masih keadaan di kompres, server RIM akan mengambil permintaan anda di server tujuan (misalnya: google, facebook, ataupun server blackberry messenger) lalu mengkompresnya dan mengirimkan kembali ke blackberry pengguna.

Jadi dari blackberry pengguna yang mengirimkan atau mengkoneksikan data, itu sudah dalam keadaan di kompres sampai ke server RIM dan dikirimkan kembali ke penerima begitupun sebaliknya, ini dilakukan untuk menghemat bandwidth.

Internet di Indonesia di bagi 2, Internet Lokal Indonesia (IIX) dan Internet Internasional (IX). Internet lokal lebih murah ketimbang internet internasional karena itu biasanya kalo sewa internet untuk perusahaan data lebih detail, berapa kapasitas di lokal dan berapa kapasitas internasional. Jadi ISP di Indonesia sekarang ini adalah sebagai internet lokal dan sebagai gerbang masuknya koneksi menuju server RIM.

QoS adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menyediakan bandwidth, mengatasi jitter dan delay untuk memberikan prioritas yang berbeda untuk berbagai aplikasi, pengguna, atau aliran data, atau untuk menjamin tingkat kinerja ke aliran data. Terdapat beberapa faktor yang dapat menurunkan nilai QoS seperti redaman, distorsi dan noise [3] [4]. Performansi mengacu ke tingkat kecepatan dan kehandalan penyampaian berbagai jenis beban data di dalam suatu komunikasi. Performansi merupakan kumpulan dari beberapa parameter besaran teknis, berikut parameter-parameter dari QoS yaitu [5]:

Throughput

Throughput merupakan jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada destination selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval waktu tersebut. Throughput merupakan rate transfer data efektif, yang diukur dalam bit per second (bps). Misalkan tp adalah throughput, dz adalah ukuran data (KB/KiloBytes) yang dikirim dan t adalah waktu yang dibutuhkan, maka rumus untuk menentukan throughput jaringan komputer sebagai berikut [6]:

$$tp=dz/t \dots\dots\dots(1)$$

Delay

Waktu tunda (delay) merupakan akumulasi berbagai waktu tunda dari ujung ke ujung pada jaringan internet. Waktu tunda mempengaruhi kualitas layanan (QoS) karena waktu tunda menyebabkan suatu paket lebih lama mencapai tujuan. Berikut Rekomendasi delay dari ITU G.114 ditunjukkan Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Rekomendasi *Delay* (Sumber ITU G.114)

Kategori Kualitas	Besar <i>Delay</i> (ms)
Baik	0-150 ms
Cukup, masih dapat diterima	150 s/d 400 ms
Tidak dapat diterima	> 400 ms

Jitter

Jitter atau variasi waktu tunda merupakan perbedaan selang waktu kedatangan antar paket di terminal tujuan. Tabel 2 di bawah ini menunjukkan standar nilai variasi waktu tunda berdasarkan ITU G.114 yang mempengaruhi kualitas layanan multimedia streaming. Nilai jitter ditunjukkan pada Tabel 2 [7].

Tabel 2. Standar nilai variasi waktu tunda berdasarkan ITU G.114 (Sumber ITU G.114)

Kategori Kualitas	Variasi Waktu Tunda (ms)
Baik	0-20
Dapat diterima	20-50
Tidak dapat diterima	> 50

Packet Loss

Paket hilang (*packet loss*) merupakan penyebab utama pelemahan audio dan video pada multimedia streaming. Paket hilang dapat disebabkan oleh pembuangan paket di jaringan (network loss) atau pembuangan paket di gateway/terminal sampai kedatangan terakhir (*late loss*). Tabel 3 menunjukkan rekomendasi nilai paket hilang yang mempengaruhi QoS menurut ITU G 114 [7].

Tabel 3. *Packet Loss* (Sumber ITU G.114)

Kategori Kualitas	<i>Packet Loss (%)</i>
Baik	0-1
Dapat diterima	1-5
Tidak dapat diterima	> 10

Misalkan PL adalah packet loss, PT adalah paket yang dikirim dan PR adalah paket yang diterima, maka rumus untuk menghitung packet loss, adalah sebagai berikut [8].

$$PL = (PT - PR) / PT \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

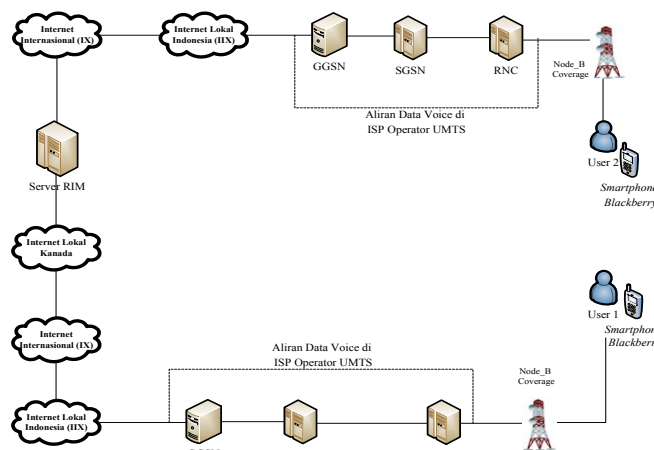
Integrated service merupakan model pelayanan yang terintegrasi untuk menangani kebutuhan beragam QoS. Sebelum mengirimkan paket data, model pelayanan ini akan mengaplikasikan layanan khusus ke dalam jaringan yang ditangani dengan proses signaling.

Model *integrated service* menyediakan aplikasi dengan tingkat jaminan layanan melalui negosiasi parameter-parameter jaringan secara end-to-end. Aplikasi-aplikasi akan meminta tingkat layanan yang dibutuhkan untuk dapat beroperasi dan bergantung pada mekanisme QoS untuk menyediakan sumber daya jaringan yang dimulai sejak permulaan transmisi dari aplikasi-aplikasi tersebut.

Salah satu protokol dari metoda jaminan *Integrated Service QoS* yang sering digunakan adalah RSVP (*Resource Reservation Protocol*). RSVP adalah *signaling protocol* pada layer *network* melakukan reservasi pada sumber daya jaringan untuk suatu aplikasi. Protokol ini digunakan ketika suatu trafik yang dihasilkan sensitif terhadap delay seperti pada di sistem layanan BBM ketika mengirimkan voice karena RSVP akan mereservasi sumber daya yang ada sehingga menyebabkan delay yang dihasilkan lebih rendah.

Implementasi

Pada skenario yang pertama, *user 1* melakukan komunikasi BBM mengirimkan data suara kepada *user 2* dengan variasi *bandwidth* yang berbeda tanpa menggunakan protokol *signaling* RSVP pada jaringan, sedangkan pada skenario yang kedua, *user 1* melakukan hal yang sama mengirimkan data suara dengan menggunakan protokol *signaling* RSVP yang dijalankan dalam jaringan UMTS dengan variasi *bandwidth* yang sama. Gambar 2 berikut merupakan topologi yang akan digunakan pada simulasi ini menggunakan simulator OPNET 14.5.



Gambar 2. Topologi Jaringan Blackberry

Sedangkan skenario pengujian yang akan dilakukan untuk melakukan pengujian terhadap kinerja metode jaminan RSVP terhadap QoS BBM dan performa jaringan ISP dan *user* BBM:

➤ Skenario pertama:

Pada skenario pertama akan dijalankan aplikasi BBM dengan transfer data suara dari *user blackberry* di Bandung ke *user blackberry* di Garut. Ketika simulasi dijalankan maka OPNET akan mengambil data sesuai dengan statistik dan parameter yang diinginkan oleh pengguna. Setelah selesai dilakukan simulasi, data-data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik. Dari grafik tersebut, dapat dianalisa bagaimana QoS dan performa dari jaringan tersebut.

➤ Skenario kedua:

Skenario kedua pada dasarnya hampir sama dengan apa yang dilakukan di skenario yang pertama. Disini akan dijalankan aplikasi BBM dengan transfer data suara dari *user blackberry* di Bandung ke *user blackberry* di Garut. Namun yang membedakan dari skenario pertama adalah penggunaan protokol RSVP pada jaringan untuk meningkatkan QoS jaringan. Hal ini dapat diketahui setelah menganalisa *delay*, *packet loss jitter* dan *throughput*. Setelah didapatkan data tersebut, akan dianalisa bagaimana informasinya untuk mencapai optimal.

Setelah ditentukan bentuk dan skenario jaringan yang akan dibuat, langkah kedua adalah membangun rancangan yang telah dibuat ke dalam simulator yang akan digunakan. Pembangunan topologi jaringan pada OPNET adalah memilih objek-objek yang ingin digunakan lalu menghubungkan satu sama lain dan mengatur semua parameternya dengan topolgi jaringan yang ingin dicapai.

Pada simulasi ini akan digunakan *node-node* dengan topologi sebagai berikut:

- 2 buah *subnet* yang mengibaratkan 2 tempat yang mengalirkan trafik data yaitu dari trafik *voice* BBM dari Indonesia ke *server* RIM yang berada di Kanada.
- 2 buah *User Equipment_UMTS_Mobile* yang diibaratkan sebagai *user Blackberry Messenger* yang ada di Bandung dan *user* yang ada di Garut.
- 2 buah *UMTS_nodeB* yang berperan sebagai *BTS coverage* yang ada di Bandung dan di Garut.
- 1 buah *umts_rnc_ethernet2_atm2_slip2_adv* sebagai RNC atau umumnya bisa dikatakan BSC (*Base Station Center*) atau sebagai pengontrol 2 *BTS area coverage* yang ada di jaringan.
- 1 buah *umts_sgsn_ethernet9_atm_slip* sebagai SGSN yang bertugas untuk mengirimkan paket ke *Mobile Station* (MS) dalam satu area. Disini pula semua akses dan *database* disimpan terlebih dahulu sebelum dikirimkan.
- 1 buah *ethernet4_slip8_gtwy_adv* sebagai *router* yang berfungsi untuk meneruskan paket data ke dari *subnet* 1 dan untuk meneruskan trafik data yang dialirkan menuju *server_RIM* di *subnet* 2.
- 1 buah *umts_ggsn_slip8_adv_node* sebagai GGSN bertugas sebagai *interface* ke jaringan IP *external* seperti *public internet* atau *mobile service provider*. Lalu GGSN memutakhirkan informasi *routing* dari PDU (*Protokol Data Units*) ke SGSN yang akan meneruskan semua akses *database* ke *internet local Indonesia*.
- 1 buah *ethernet_server_adv* sebagai *server* RIM *Blackberry* yang ada di Kanada.
- Untuk *link* atau kabel penghubung, di *subnet* 1 diantaranya *atm_SONET_OC3* dengan *data rate* 148,608,000 bps sebagai penghubung BTS dengan BSC, *link PPP_DS3* dengan *data rate* 44.736 Mbps sebagai penghubung antara BSC dengan SSGN, SSGN dengan *router_ISP*, *router_ISP* dengan GGSN dan GGSN dengan *ip_cloud32* sebagai *internet local* Indonesia, serta di *subnet* 2 diantaranya *PPP_DS3* yang menghubungkan *ip_clouth32* sebagai *internet local* Kanada dengan *router_server_RIM* dan *10BaseT* yang menghubungkan *router_server_RIM* dengan *server* RIM. Semua *link* yang digunakan dalam jaringan adalah *duplex*.

- *Application Config*
Untuk memasukkan parameter-parameter yang akan disimulasikan termasuk parameter *voice* yang disimulasikan di layanan BBM ini.
- *Profile Config*
Untuk mendefinisikan aplikasi-aplikasi yang telah dimasukkan parameternya di bagian *application config*. *Profile config* dapat mendefinisikan satu atau lebih aplikasi apa saja yang ingin dijalankan.
- *IP QoS Config*
Untuk mendefinisikan protokol yang akan dimasukkan khususnya pada nilai-nilai QoS. Pada simulasi ini akan didefinisikan protokol RSVP.

Pengujian

Berikut adalah tabel dan analisa perbandingan dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan mengujicoba 3 jenis *codec* yaitu G.711, GSM FR dan G.729.A serta mengujicoba *coverage* antara *NodeB* dan UE yang berbeda pula yaitu dengan jarak ± 100 m, ± 500 m dan ± 1 km.

Berikut adalah analisa dan tabel perbandingan nilai *throughput* untuk 2 skenario yang telah dihasilkan dengan *codec* yang berbeda dan *coverage* yang berbeda pula.

Tabel 4. *Throughput* untuk skenario Not RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
27,34 bps	13,67 bps	10,28 bps	24,5 bps	13,13 bps	11,97 bps	10,015 bps	8,96 bps	5,831 bps

Tabel 5. *Throughput* untuk skenario Used RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
28,2 bps	27,6 bps	13,75 bps	24,75 bps	24,261 bps	12,17 bps	12,13 bps	11,83 bps	5,96 bps

Dari pengamatan yang dilakukan, untuk *codec* G.711, GSM FR dan G.729.A dengan skenario Not RSVP pada *coverage* area *NodeB* dan UE masing-masing berjarak 100 m, 500 m dan 1 km nilai *throughput* semakin jauh jarak semakin kecil nilai *throughput* tetapi pada saat penerapan RSVP nilai *throughput* lebih besar daripada sebelum diterapkannya RSVP. Terjadi penurunan kualitas trafik dikirim maupun diterima pada *coverage* yang berbeda di 2 skenario. Ini disebabkan karena *coverage NodeB* dan UE mempengaruhi sinyal yang dikirim maupun yang diterima dari pengirim ke tujuan pada saat pengiriman transfer data *voice* BBM.

Hal ini dikarenakan pada saat paket data suara dikirimkan, mereservasi terlebih dahulu sehingga paket data *voice* ini lebih diutamakan dan akan melalui jalur yang sama karena *router* di *server* sudah melakukan pemesanan pada jaringan untuk mengirimkan paket pada jalur yang sama sampai paket diterima. Sehingga pada saat transfer suara dilakukan jaringan akan lebih mengutamakan (*connection oriented*).

Berikut adalah analisa dan tabel perbandingan nilai *delay* untuk 2 skenario yang telah dihasilkan dengan *codec* yang berbeda dan *coverage* yang berbeda pula.

Tabel 6. Delay untuk skenario Not RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
121,7 ms	174,3 ms	193,3 ms	166,68 ms	172,3 ms	205 ms	152 ms	174 ms	213 ms

Tabel 7. Delay untuk skenario Used RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
100,09 ms	161,2 ms	166,7 ms	163,1 ms	167,7 ms	194 ms	139 ms	171 ms	198 ms

Dari pengamatan yang dilakukan, untuk *codec* G.711, GSM FR dan G.729.A dengan skenario *Not RSVP* pada *coverage area NodeB* dan UE masing-masing berjarak 100 m, 500 m dan 1 km nilai *delay* semakin jauh jarak semakin besar nilai *delay* tetapi pada saat penerapan RSVP nilai *delay* relatif lebih kecil daripada sebelum diterapkannya RSVP. Terjadi penurunan kualitas trafik dikirim maupun diterima pada *coverage* yang berbeda di 2 skenario. Ini disebabkan karena *coverage NodeB* dan UE mempengaruhi sinyal yang dikirim maupun yang diterima dari pengirim ke tujuan pada saat pengiriman transfer data *voice* BBM.

Semakin jauh jarak maka distorsi (*noise*) atau redaman akan semakin besar karena jarak mempengaruhi kualitas sinyal yang dikirimkan dalam hal ini dari *server RIM* ke *user blackberry*.

Secara keseluruhan nilai *delay* dalam kategori cukup, masih dapat diterima menurut ITU G.114 (150 - 400 ms). Kecuali nilai *delay* pada jarak 100 m untuk *codec* G.729.A yaitu 139 ms dalam kategori baik menurut ITU G.114 (0 - 150 ms). Dalam hal ini secara rata-rata *codec* G.729.A merupakan *codec* yang paling baik dalam simulasi jaringan di sistem layanan *blackberry* ini.

Berikut adalah analisa dan tabel perbandingan nilai *packet loss* untuk 2 skenario yang telah dihasilkan dengan *codec* yang berbeda dan *coverage* yang berbeda pula.

Tabel 8. Packet Loss untuk skenario Not RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
0,822 %	0,884 %	0,906 %	0,272 %	0,470 %	0,511 %	0,482 %	0,505 %	0,602 %

Tabel 9. Packet Loss untuk skenario Used RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
0,815 %	0,821 %	0,885 %	0,257 %	0,263 %	0,507 %	0,393%	0,406 %	0,585 %

Dari pengamatan yang dilakukan, untuk *codec* G.711, GSM FR dan G.729.A dengan skenario *Not RSVP* pada *coverage area NodeB* dan UE masing-masing berjarak 100 m, 500 m dan 1 km nilai *packet loss* semakin jauh jarak semakin besar nilai *packet loss* tetapi pada saat penerapan RSVP nilai *packet loss* relatif lebih kecil daripada sebelum diterapkannya RSVP.

Hal ini dikarenakan *packet loss* secara normal disebabkan kemacetan (*router buffer overflow*), perubahan *route* secara seketika, kegagalan *link* dan *lossy link* seperti saluran nirkabel dalam sistem jaringan layanan *blackberry* ini. Secara keseluruhan nilai *packet loss* masih dalam keadaan baik (< 1 %).

Berikut adalah analisa dan tabel perbandingan nilai *jitter* untuk 2 skenario yang telah dihasilkan dengan *codec* yang berbeda dan *coverage* yang berbeda pula.

Tabel 10. *Jitter* untuk skenario Not RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
82,257 ms	84,78 ms	94,4 ms	29,137 ms	31,5 ms	32,6 ms	21,7 ms	21,9 ms	22,2 ms

Tabel 11. *Jitter* untuk skenario Used RSVP

Codec G.711			Codec GSM FR			Codec G.729A		
± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km	± 100 m	± 500 m	± 1 km
80,472 ms	81,79 ms	84,7 ms	28,7 ms	29,1 ms	29,907 ms	21,2 ms	21,6 ms	21,94 ms

Dari pengamatan yang dilakukan, untuk *codec* G.711, GSM FR dan G.729.A dengan skenario Not RSVP pada *coverage* area *NodeB* dan UE masing-masing berjarak 100 m, 500 m dan 1 km nilai *jitter* semakin jauh jarak semakin besar nilai *jitter* tetapi pada saat penerapan RSVP nilai *jitter* relatif lebih kecil daripada sebelum diterapkannya RSVP.

Variasi waktu tunda dapat disebabkan oleh terjadinya kongesti, kurangnya kapasitas jaringan, variasi ukuran paket serta ketidakteraturan paket. Nilai *jitter* di jarak 1km sedikit lebih baik pada saat diterapkannya RSVP dan dalam kategori cukup, masih dapat diterima menurut ITU G.114 (20-50 ms) kecuali pada *codec* G.711 nilai *jitter* tidak dapat diterima karena >50 ms menurut ITU G.114. Dalam hal ini *codec* G.729 merupakan *codec* yang paling baik dalam simulasi jaringan di sistem layanan *blackberry* ini.

Referensi

- [1]. W.Hennanda, "Pembangunan Simulasi dan Analisa Kinerja Optimalisasi VoIP-SIP dengan Resource Reservation Protocol (RSVP)", Skripsi-Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Juni 2010.(7)
- [2]. Wayan, <http://wayannariana.blogspot.com/2012/05/penjelasan-singkat-blackberry-messenger.html>, diakses tanggal 16 Desember 2012 pukul 19.56.(5)
- [3]. _____, "Skema QoS dan Protokol Pendukung", diakses tanggal 29 Agustus 2012 pukul 14.22 (10)
- [4]. Slide Kuliah, "Sistem Telekomunikasi", Politeknik Telkom-Buku-TK/Semester 3/TE-112, diakses tanggal 29 Agustus 2012 pukul 14.57. (6)
- [5]. Dinas Komunikasi dan Informatika Provinsi Jawa Barat, "Penerapan Metode Quality of Service (QoS) Pada Jaringan Telekomunikasi XL di Indonesia", diakses tanggal 30 Juli 2012 pukul 08.36. (3)
- [6]. A.Hafiz Kamarullah "Penerapan Metode Quality Of Service (QoS) Pada Jaringan Traffic yang Padat", Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya, diakses tanggal 23 Oktober 2012 pukul 9.45. (2)
- [7]. Y.Bryan, B.Yoanes, Z.Armein, "Analisis Kualitas Layanan (QoS) Audio-Video Layanan Kelas Virtual di Jaringan Digital Learning Pedesaan", DSP Research and Technology-Group KK Teknologi Informasi – Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung. (8)
- [8]. Fatoni, "Analisis Kualitas Layanan Jaringan Intranet (Studi Kasus Universitas Bina Darma)", Universitas Bina Darma, Palembang, diakses tanggal 20 Oktober 2012 pukul 9.35. (4)
- [9]. D.Erristhya , P.Indra , I.R.M.Tomy , S.W.I Wayan, "Bandwidth Manajemen Queue Tree Vs Simple Queue", Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Gunadarma-3Jl. KH. Noer Ali, Kalimalang, Bekasi 17113, diakses tanggal 21 Oktober 2012 pukul 21.40.
- [10]. _____, lecturer.eepis-its.edu/~prima/jaringan.../VoIP.pdf, diakses pada tanggal 5 Januari pukul 08.15.

I_bM Pembinaan Penangkaran Benih Bawang Putih

Erni Suminar^{1,a)}, Rani Andriani Budi Kusumo^{2,b)}, Anni Yuniarti^{3,c)}

¹ Laboratorium Teknologi Benih Program Studi Agroteknologi Faperta Unpad

² Program Studi Agribisnis Faperta Unpad

³ Laboratorium Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanah Program Studi Agroteknologi Faperta Unpad

^{a)} *penulis yang berkorespondensi:* suminarerni@yahoo.com

^{b)} anni_yuniarti@yahoo.com;

^{c)} raniandriani081@gmail.com;

Abstrak

Kebutuhan bawang putih terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, namun hal ini tidak sejalan dengan peningkatan produktivitas sehingga untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri masih harus mengimpor dari negara lain. Salah satu upaya yang dapat ditempuh untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan perluasan lahan pertanaman terutama untuk penangkaran benih serta sosialisasi penggunaan benih unggul bermutu bebas virus sehingga masyarakat dapat dengan mudah mendapatkan benih dengan harga murah. Kegiatan ini merupakan serangkaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat tahun 2014 yang telah dilaksanakan di Desa Pamulihan Kecamatan Pamulihan Kabupaten Sumedang dengan ketinggian 900 m dpl dan suhu udara 27-30°C. Tujuan kegiatan ini adalah untuk menambah wawasan dan keterampilan khususnya para pemuda tani dalam mengembangkan perbenihan bawang putih baik secara konvensional maupun kultur jaringan, pengendalian hama dan penyakit serta praktek pembuatan kascing. Metode yang dilakukan pada kegiatan ini meliputi : (1) Pembuatan demplot percontohan pertanaman bawang putih untuk produksi benih di lapangan, (2) Penyuluhan berbagai materi yang berkaitan dengan bawang putih, (3) Praktek di lapangan dan di laboratorium. Hasil kegiatan ini adalah benih unggul bawang putih berupa plantlet (tanaman mini dalam botol) dan umbi hasil pertanaman di lapangan.

Kata kunci : Bawang putih, *In Vitro*, Produksi Benih

Pendahuluan

Tanaman bawang putih merupakan tanaman hortikultura genus *allium* yang diperbanyak secara vegetatif. Manfaat bawang putih banyak digunakan sebagai bumbu masak juga sebagai bahan obat-obatan, sehingga kebutuhan bawang putih terus mengalami peningkatan setiap tahunnya, namun hal ini tidak sejalan dengan peningkatan produktivitas sehingga untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri masih harus mengimpor dari negara lain. Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat sepanjang tahun 2012, Indonesia mengimpor 415.000 ton bawang putih dari beberapa negara dengan nilai US\$ 242,3 juta atau senilai Rp 2,3 triliun bawang putih, mayoritas bawang putih impor datang dari China yaitu sebanyak 410.100 ton dengan nilai US\$ 239,4 juta atau Rp 2,27 triliun untuk periode Januari hingga Desember 2012 [1].

Penanaman bawang putih di Jawa sekitar 66% dilakukan di dataran tinggi (> 700 meter dpl) dan varietas yang diusahakan diantaranya Lumbu Hijau, Tawangmangu, Lumbu Kuning, Gombloh dan Tes dengan produktivitas hasil masih rendah [2]. Faktor penyebab rendahnya produksi bawang putih

diantaranya adalah kualitas benih yang rendah, serangan penyakit terutama jamur dan virus, lingkungan tumbuh yang kurang optimum serta tingginya kehilangan hasil, akibat teknik penyimpanan umbi yang kurang memadai di tingkat petani (Kasiyadi 1981 & Hilman dkk. 1991 dikutip Hilman dkk. 1997), selain itu penurunan produksi juga terjadi akibat virus serta kendala di dalam budidaya bawang putih adalah masih tingginya kebutuhan bibit per hektar sekitar 1600 kg (jika berat siung bibit 3 gram) atau 670 kg (jika berat siung bibit 1 gram) (Puslitbang Hortikultura, 2013) [3]

Salah satu upaya yang dapat ditempuh untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan melakukan perluasan lahan pertanaman terutama untuk penangkaran benih serta sosialisasi penggunaan benih unggul bermutu bebas virus sehingga masyarakat tani dapat dengan mudah mendapatkan benih dan harga yang murah.

Berdasarkan data monografi desa tercatat bahwa Desa Pamulihan, Kecamatan Pamulihan, Kabupaten Sumedang merupakan yang paling selatan dan berbatasan langsung dengan Kecamatan Tanjungsari dengan luas wilayah sekitar 481.25 ha serta terbagi kedalam tiga dusun, yaitu Dusun I (Dusun Cigelang, Dusun Cibeureum, Dusun Lembang, Dusun Cimasuk II), Dusun II (Dusun boma, Dusun Karang Sari, Dusun Citatah, Dusun Sari Mulya, Dusun Babakan, Perum Ciptasari Kencana Asri), dan Dusun III (Dusun Gamblung, Dusun Sawahbuah, Dusun Cimasuk I). dengan luas lahan pertanian sawah 131 125 ha dan luas darat 260.17 ha, pemukiman 42.14 ha, kawasan perkantoran 0.35 ha, kawasan pendidikan 1.7 ha, dan kawasan pemakaman 3.5 ha. Masyarakatnya sebagian besar bermata pencaharian sebagai petani dan perajin.

Penangkaran perbenihan secara konvensional dapat diawali dengan pembukaan lahan baru khususnya di daerah yang memiliki kesesuaian iklim untuk pertumbuhan bawang putih. Kawasan Sumedang Desa Pamulihan Kecamatan Pamulihan yang memiliki topografi dengan kemiringan lahan dataran perbukitan 30°C, ketinggian diatas permukaan laut rata-rata 900 m, dengan suhu 27-30°C dijadikan sebagai tempat untuk demplot percontohan pertanaman bawang putih. Keberhasilan dari kegiatan ini dapat dijadikan sebagai contoh bagi masyarakat sekitar.

Tujuan dari kegiatan ini adalah : (1) Menambah wawasan mitra tentang prospek pengembangan benih bawang putih, (2) Menambah wawasan dan keterampilan mitra untuk dapat memproduksi benih bawang putih baik secara konvensional di lapangan maupun di laboratorium sebagai upaya menghasilkan benih bawang putih bebas virus, (3). Meningkatkan pengetahuan tentang cara mengidentifikasi gejala-gejala serangan organisme pengganggu tanaman dan cara mengendalikannya, (4) Meningkatkan peluang kerjasama dengan stakeholder dalam pemasaran benih bawang putih, (5) Menambah pengetahuan tentang prosedur Sertifikasi Benih Bawang Putih. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat dijadikan sebagai percontohan kondisi pertumbuhan bawang putih di wilayah Kabupaten Sumedang sehingga dapat dijadikan sebagai komoditas alternatif.

Metode kegiatan terdiri dari : (1) Kegiatan pembuatan demplot percontohan pertanaman bawang putih untuk produksi benih di lapangan (2) Kegiatan penyuluhan berbagai materi yang berkaitan dengan bawang putih, (3) Kegiatan praktek di lapangan dan di laboratorium, (4) Pembinaan dan kerjasama.

Hasil kegiatan diharapkan masyarakat desa khususnya yang menjadi mitra kegiatan I₆M dapat memperoleh: (i) pengetahuan mengenai peluang usaha pengembangan bawang putih, (ii) pengetahuan tentang budidaya bawang putih untuk produksi benih, (iii) pengetahuan dan pengalaman teknis dalam produksi benih bawang putih berupa umbi baik di lapangan maupun di laboratorium.

Metode Pelaksanaan

Metode kegiatan terdiri dari : (1) Kegiatan pembuatan demplot percontohan pertanaman bawang putih untuk produksi benih di lapangan (2) Kegiatan penyuluhan berbagai materi yang berkaitan dengan bawang putih, (3) Kegiatan praktek di lapangan dan di laboratorium, (4) Pembinaan dan kerjasama.

Tujuan dari kegiatan ini adalah : (1) Menambah wawasan mitra tentang prospek pengembangan benih bawang putih, (2) Menambah wawasan dan keterampilan mitra untuk dapat memproduksi benih bawang putih baik secara konvensional di lapangan maupun di laboratorium sebagai upaya menghasilkan benih bawang putih bebas virus, (3). Meningkatkan pengetahuan tentang cara mengidentifikasi gejala-gejala serangan organisme pengganggu tanaman dan cara mengendalikannya, (4) Meningkatkan peluang kerjasama dengan stakholder dalam pemasaran benih bawang putih, (5) Menambah pengetahuan tentang prosedur Sertifikasi Benih Bawang Putih. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat dijadikan sebagai percontohan kondisi pertumbuhan bawang putih di wilayah Kabupaten Sumedang sehingga dapat dijadikan sebagai komoditas alternatif.

Hasil dan Diskusi

Kegiatan Pembuatan Demplot Percontohan Pertanaman Bawang Putih untuk Produksi Benih di Lapangan

Pembuatan demplot percontohan dilakukan di lahan milik mitra seluas 40 bata. Pembuatan demplot ini bertujuan untuk menguji respon pertumbuhan dua kultivar bawang putih (Kultivar Lumbu Hijau dan Kultivar Lumbu Kuning) di lokasi mitra. Diharapkan dari demplot tersebut dapat meningkatkan minat masyarakat untuk membudidayakan bawang putih sebagai sumber pendapatan tambahan selain dari mata pencaharian yang saat ini sudah dijalani. Tahapan kegiatan dapat dilihat pada Gambar 1.



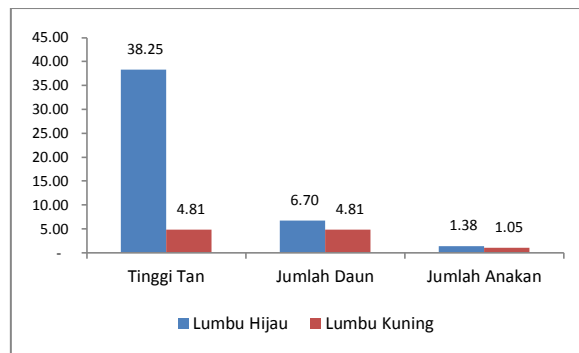
Gambar 1. Pertanaman Demplot Percontohan Bawang Putih

Tingkat keberhasilan dan daya tumbuh benih dua kultivar bawang putih yang telah ditanam di lokasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Benih Bawang Putih yang Tumbuh di Lahan Demplot Percontohan

Plot	Jumlah benih Ditanam	Jumlah benih Tumbuh	%
Lumbu Kuning			
1	422	272	64.45
2	422	285	67.54
3	422	278	65.88
Rata-rata			65.96
Lumbu Hijau			
1	422	164	38.86
2	422	311	73.70
3	422	278	65.88
Rata-rata			59.48

Berdasarkan Tabel 1. terlihat bahwa daya tumbuh benih bawang putih masih berada pada kisaran masih < 80%. Pertumbuhan Kultivar Lumbu Kuning memiliki daya tumbuh yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan Kultivar Lumbu Hijau. Pertumbuhan vegetatif kedua kultivar menunjukkan pertumbuhan yang cukup baik dan data hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pertumbuhan dan Perkembangan Awal Dua Varietas Bawang Putih yang Ditanam Mitra di Lapangan

Berdasarkan Gambar 2. terlihat bahwa pertumbuhan varietas Lumbu Hijau relatif lebih baik daripada Lumbu Kuning. Pemeliharaan lahan demplot dilakukan oleh mitra kegiatan (Gambar 3.), sedangkan monitoring dilakukan oleh Tim pelaksana kegiatan I_bM .





Gambar 3. Partisipasi Mitra Di Demplot Percontohan

Pt

ng

Putih dan Analisis Usahatani Bawang Putih”

Kegiatan penyuluhan I, dihadiri oleh 20 orang peserta yang terdiri dari mitra dan perwakilan dari kelompok tani lainnya (Gambar 4).



Gambar 4. Dokumentasi Kegiatan Penyuluhan I

Tabel 2. Menunjukkan bahwa informasi mengenai bawang putih masih sangat minim bahkan masyarakat setempat belum ada yang pernah melakukan penanaman bawang putih. Kegiatan ini diharapkan dapat dijadikan sebagai gambaran pertumbuhan dan potensi hasil bawang putih di daerah tersebut, selain itu kegiatan perbanyakan benih secara kultur jaringan yang dihasilkan dari kerjasama dengan mitra pemuda tani dapat dijadikan sebagai alternatif produksi benih yang tidak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat dan dihasilkan secara aseptik dan bebas virus.

Pada kesempatan ini peserta diberikan beberapa contoh tanaman termasuk bawang putih yang penyediaan benihnya dilakukan secara kultur *in vitro* dengan menggunakan peralatan yang modern dan yang sederhana, sehingga untuk tujuan jangka panjang mitra dapat melakukan sendiri produksi benih kultur jaringan dengan menggunakan peralatan yang sederhana tetapi untuk rencana jangka pendek perbanyakan benih kultur jaringan masih dilakukan di kampus dengan mitra yang berminat bergabung untuk memproduksi masal dan pemasarannya dilakukan oleh mitra yang akan bekerjasama dengan Unpad, stakeholder dan Balai Pengembangan Benih Hortikultura dan Aneka Tanaman Dinas Pertanian Provinsi Jawa Barat.

Berdasarkan hasil evaluasi peserta sebelum kegiatan penyuluhan berlangsung, dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Evaluasi Awal Peserta

No.	Pertanyaan	Jumlah Peserta (%)	
		Pernah	Tidak
1.	Membudidayakan bawang putih	0	100
2.	Mengenal istilah kultur jaringan perbanyak benih bawang putih	20	80
3.	Mengetahui cara produksi dan sertifikasi benih bawang putih	0	100
4.	Mengikuti kegiatan pelatihan sejenisnya sebelumnya	0	100
5.	Mengetahui cara analisis perhitungan usahatani produksi benih bawang putih	5	100

Penyuluhan “Budidaya Bawang Putih Untuk Produksi Benih dan Prosedur Produksi dan Sertifikasi Benih Bawang Putih”



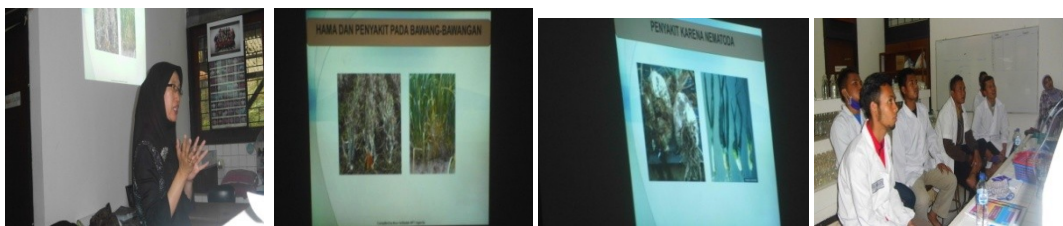
Gambar 5. Dokumentasi Kegiatan Penyuluhan II

Pada kegiatan ini mitra dipertemukan dengan stakeholder yaitu seorang wirausaha muda di bidang pertanian yang telah memiliki pengalaman dan akses dalam bidang usahatani hortikultura serta jaringan pemasarannya. Di dalam kegiatan kultur *in vitro* tidak terlepas dari peran zat pengatur tumbuh dalam menunjang pertumbuhan dan perkembangan eksplan (bahan tanam). Pada kegiatan ini diperkenalkan berbagai jenis zat pengatur tumbuh yang sering digunakan dalam kultur *in vitro* beserta cara perhitungan dan pengaplikasiannya (Gambar 6.)



Gambar 6. Kegiatan Penyuluhan Materi Aplikasi Zat Pengatur Tumbuh

Untuk menambah wawasan mitra mengenai jenis hama dan penyakit yang menyerang tanaman bawang serta teknik pengendaliannya di lapangan, maka dilakukan juga pemaparan oleh staf ahli dari Laboratorium Hama dan Penyakit tanaman (Gambar 7.).

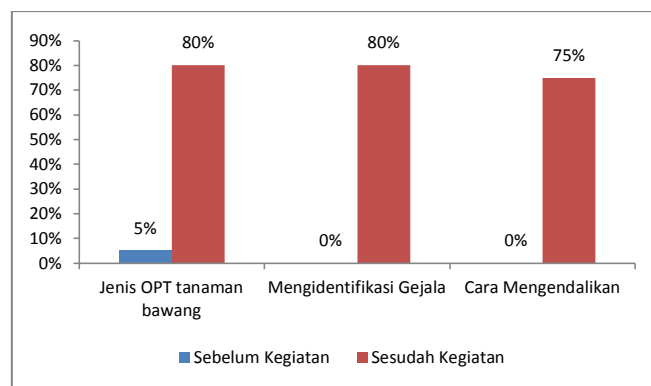


Gambar 7. Dokumentasi Penyuluhan Materi Hama & Penyakit

Materi yang diberikan pada kegiatan ini meliputi :

1. Pengenalan berbagai jenis hama dan penyakit yang menyerang pada tanaman 2. Cara mengidentifikasi gejala yang timbul akibat serangan hama dan penyakit, 3. Cara pengendalian hama dan penyakit

Hasil kegiatan menunjukkan telah terjadi peningkatan wawasan bagi mitra khususnya untuk menangani pengendalian hama dan penyakit tanaman bawang di lapangan, hal ini dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Evaluasi Peningkatan Wawasan Mitra

Kegiatan Praktek Produksi Benih dengan Teknik Kultur Jaringan

Kegiatan ini dilaksanakan di Laboratorium Kultur Jaringan Teknologi Benih Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Materi yang diberikan meliputi : (1) Teknik Kultur Meristem, (2) Tujuan dan

Manfaat Teknik Kultur Meristem, (3) Cara pembuatan media tanam *in vitro*, (4) Cara pemberian zat pengatur tumbuh kedalam media kultur.

Media merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman *in vitro*, sehingga perlu dipahami mengenai komposisi maupun tahapan penyediaannya. Pada kegiatan ini mitra diperkenalkan berbagai jenis media yang dapat digunakan serta cara pembuatannya (Gambar 9).



Gambar 9. Dokumentasi Praktek Pembuatan Media Kultur Jaringan

Setelah praktek pembuatan media kemudian dilanjutkan dengan kegiatan penanaman untuk mengisolasi meristem bawang putih. Praktek kultur meristem bawang putih langsung dilakukan oleh mitra di Laboratorium (Gambar 10.).

Meskipun teknik ini merupakan hal yang baru dan masih sulit dilakukan oleh mitra, namun mitra antusias untuk mengikuti kegiatan ini dan menarik minat mitra untuk dapat melanjutkan kegiatan produksi benih secara kultur jaringan dengan skala rumah tangga yang menggunakan peralatan sederhana.



Gambar 10. Praktek Produksi Benih secara Kultur Jaringan

Praktek Aklimatisasi Tanaman Mini Bawang Putih *In Vitro*

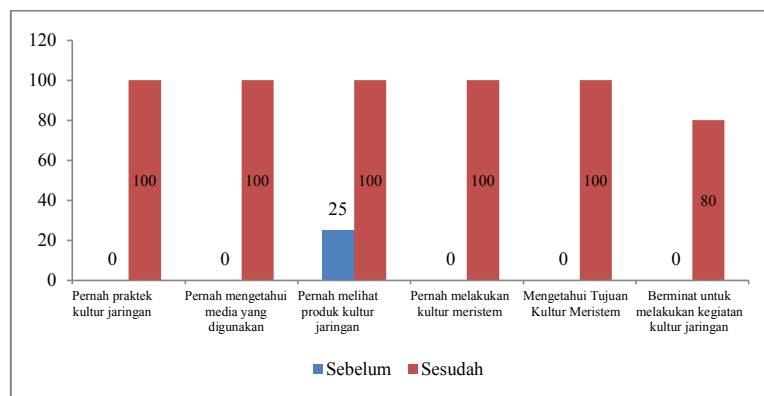
Aklimatisasi merupakan tahapan penting setelah benih *in vitro* berupa tanaman mini dihasilkan. Pada tahap ini, tanaman *in vitro* sangat rentan terhadap kondisi lingkungan ketika dikeluarkan dari botol dan sering kali menyebabkan kematian tanaman. Melalui kegiatan ini mitra mencoba bagaimana cara melakukan aklimatisasi pada tanaman *in vitro* sebelum ditanam di lapangan (Gambar 11.).



Gambar 11. Dokumentasi Kegiatan Aklimatisasi

Hasil kegiatan ini dapat meningkatkan wawasan dan minat mitra untuk melakukan upaya perbanyakan dengan sistem kultur *in vitro*. Teknologi ini merupakan perbanyakan benih unggul yang dapat dilakukan sebagai alternatif kegiatan produksi benih di lapangan. Kegiatan di lapangan masih banyak menghadapi kendala kondisi lingkungan yang tidak sesuai, serangan hama dan penyakit di lapangan yang dapat menyebabkan kegagalan jika terlambat penanggulangannya, maka dengan teknik ini dapat menghasilkan benih tanaman unggul dalam jumlah banyak, waktu singkat serta bebas penyakit serta tidak bergantung musim.

Berdasarkan Gambar 12. terlihat bahwa dengan pelaksanaan praktek kultur jaringan dapat menambah wawasan dan keterampilan mitra terhadap salah satu teknologi perbanyakan cepat secara kultur jaringan.



Gambar 12. Hasil Capaian Kegiatan Praktek Produksi Benih Secara Kultur *in vitro*

Kegiatan Pemanenan Hasil Umbi Bawang Putih di Lapangan untuk Sumber Benih

Penanaman bawang putih di lokasi mitra menunjukkan hasil yang cukup baik, hal ini terlihat dari kemampuannya membentuk umbi mencapai 90% pada varietas Lumbu Hijau maupun Lumbu Kuning. Dengan pertumbuhan dan perkembangan yang baik di lapangan, dapat dijadikan acuan bahwa desa mitra cukup potensial untuk pengembangan bawang putih sebagai komoditas alternatif yang dapat diusahakan oleh masyarakat setempat. Berdasarkan hasil pengamatan secara visual, varietas Lumbu Hijau relatif lebih cepat menghasilkan umbi dibandingkan dengan varietas Lumbu Kuning. Adapun kegiatan panen yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Pemanenan Hasil Pertanaman Demplot Percontohan

Kegiatan Pembinaan dan Kerjasama

Kegiatan ini dilakukan dengan melakukan diskusi dan evaluasi kegiatan yang telah dilakukan. Hasil evaluasi terdiri dari :

1. Walaupun pembentukan umbi dapat terbentuk namun kuantitas dan kualitasnya masih harus ditingkatkan
2. Setelah dilakukan penanaman, tidak ada hujan sehingga ketersediaan air menjadi terbatas menyebabkan ada beberapa tanaman yang mengalami kekurangan air, sehingga untuk kegiatan berikutnya perlu adanya upaya penyediaan air cadangan untuk penyiraman jika penanaman dilakukan menjelang musim kemarau
3. Perlu adanya kerjasama antar mitra untuk saling mendukung kegiatan selanjutnya agar dapat berproduksi optimal sehingga hasil yang diperoleh dapat ditingkatkan

Kesimpulan

1. Mitra turut mendukung dan antusias dalam mengikuti serangkaian kegiatan yang dilaksanakan
2. Target luaran produksi benih bawang putih berupa umbi dari lapangan sudah tercapai namun perlu pemeliharaan yang lebih intensif termasuk penyediaan cadangan air agar tidak mengalami kekeringan sehingga kualitas dan kuantitas benih bawang dapat ditingkatkan
3. Untuk produksi benih kultur jaringan di laboratorium selanjutnya dapat dilakukan oleh mitra dengan peralatan yang lebih murah dan sederhana.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan dana bagi kegiatan ini dalam Program Pengabdian Ipteks bagi Masyarakat Tahun 2014.

Referensi

- [1] R.R. Dhany. <http://finance.detik.com/read/2013/02/28/175329/2182570/4/90-bawang-putih-impor-wamentan-tanaman-ini-sulit-tumbuh-di-indonesia>. Diakses tanggal 10 September 2014, 2013.
- [2] Y. Hilman, A. Hidayat, Suwandi. Budidaya Bawang Putih di Dataran Tinggi. Monograf No. 7. Balai Penelitian Tanaman Sayuran. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura Baddan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 1997.
- [3] Puslitbang Hortikultura . 2013. Budidaya Bawang Putih. http://hortikultura.litbang.deptan.go.id/index.php?bawaan=berita/fullteks_berita&id=305. Diakses tanggal 10 September 2014.

Pengaruh Konsentrasi Zat Pengatur Tumbuh BAP (6-Benzyl Amino Purine) dan NAA (1-Naphtalen Acetid Acid) Terhadap Perbanyakkan Tanaman *Stevia rebaudiana* Bertoni Secara *In Vitro*.

Agung Rahmadi^{1a)}, Suryaman Birnadi¹⁾, Windhy Chandria¹⁾

¹⁾Jurusan Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Jl. AH. Nasution 105
Bandung 40614

^{a)}E-mail: agungrahmadiningrat@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh interaksi antara konsentrasi zat pengatur tumbuh BAP dan NAA terhadap tanaman *Stevia rebaudiana* Bertoni secara *in vitro* pada media MS (Murashige and Skoog). Metode yang digunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan dua faktor perlakuan dan tiga kali ulangan. Faktor pertama yaitu zat pengatur tumbuh BAP dengan 4 taraf konsentrasi yaitu b_0 = tanpa konsentrasi 0 mg L^{-1} , b_1 = Konsentrasi BAP 1 mg L^{-1} , b_2 = Konsentrasi BAP 2 mg L^{-1} , b_3 = Konsentrasi BAP 3 mg L^{-1} . Faktor kedua yaitu zat pengatur tumbuh NAA dengan 4 taraf konsentrasi yaitu: n_0 = tanpa konsentrasi 0 mg/l , n_1 = Konsentrasi NAA $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, n_2 = Konsentrasi NAA $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, n_3 = Konsentrasi NAA $0,5 \text{ mg L}^{-1}$. Pengujian lanjut dilakukan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi interaksi antara 6-Benzyl Amino Purine (BAP) dan 1-Naphtalen Acetic Acid (NAA) pada pertumbuhan tanaman *Stevia rebaudiana* Bertoni terhadap jumlah daun dan tinggi tanaman. Kombinasi taraf perlakuan yang optimum BAP 1 mg L^{-1} + NAA $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ berpengaruh terhadap pengamatan jumlah daun stevia sedangkan Kombinasi taraf perlakuan yang optimum BAP 3 mg L^{-1} + NAA $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ berpengaruh terhadap pengamatan tinggi tanaman stevia.

Kata Kunci: BAP, Kultur Jaringan, NAA, Stevia, Zat Pengatur Tumbuh.

Pendahuluan

Perkembangan produksi gula tebu di Indonesia selama tiga tahun terakhir dari tahun 2010-2012 terus mengalami penurunan. Perkembangan impor gula tebu Indonesia mengalami peningkatan selama periode 2010-2012 [1]. Selama ini kekurangan produksi gula di Indonesia diatasi dengan melakukan impor gula dan bahan pemanis sintetis.

Stevia rebaudiana Bertoni termasuk tanaman famili *Asteraceae* merupakan tanaman tahunan yang dapat digunakan sebagai pemanis atau sebagai daun pemanis. Daun tanaman stevia ini diperkirakan 300 kali lebih manis dari gula (sukrosa) dan manisnya ini dikarenakan senyawa glikosida yang mengandung steviosida. Ekstrak halus dari daun tanaman stevia ini digunakan sebagai potensi yang tinggi untuk sumber alami yang rendah kalori (non sukrosa) pemanis ini digunakan dalam makanan olahan, obat-obatan dan untuk diet. Sehingga aman bagi penderita diabetes dan obesitas [2]. Stevia mengandung glikosida dalam daun stevia terdiri dari steviosida, beberapa rebaudiosida termasuk rebaudiosida A (reb-A), dulkosida, dan beberapa senyawa lainnya [3] [4].

Di Indonesia tanaman stevia ini telah dibudidayakan di beberapa daerah dataran tinggi, namun tanaman stevia ini belum optimal pemanfaatannya sebagai salah satu komoditas sumber pemanis pengganti gula tebu dan gula sintetis dikarenakan kurang komersial dan belum diketahui oleh orang

banyak. Padahal di beberapa negara, tanaman ini telah dimanfaatkan sebagai bahan pemanis pengganti gula.

Tanaman stevia dapat diperbanyak secara generatif dan vegetatif. Perbanyak stevia dengan biji (generatif) kurang efektif karena rendahnya persentase perkecambahan biji pada tanaman stevia dan terjadinya inkompatibilitas sendiri sehingga keragaman genetik turunannya sangat tinggi [5]. Perbanyak tanaman stevia paling umum adalah dengan stek batang (vegetatif) yang menghasilkan benih yang seragam tetapi jumlahnya terbatas. Teknik perbanyak secara *in vitro* diperlukan untuk menghasilkan bibit unggul stevia klonal secara massal dan cepat, terutama pada tahap awal pembibitan [6].

Perbanyak *in vitro* stevia dilakukan melalui multiplikasi tunas, organogenesis dan embriogenesis somatik. Bahan eksplan bagi multiplikasi tunas adalah tunas pucuk dan tunas samping [6].

BAP banyak digunakan dalam perbanyak secara *in vitro* untuk merangsang terbentuknya tunas, berpengaruh dalam metabolisme sel dan merangsang sel dorman serta aktivitas utamanya mendorong pembelahan sel. Sedangkan NAA banyak digunakan dalam perbanyak secara *in vitro* untuk perpanjangan sel, pembentukan akar adventif dan menghambat pembentukan tunas adventif dan tunas ketiak [7]. Medium dasar MS (Murashige and Skoog) merupakan medium perbanyak *in vitro* yang paling populer digunakan untuk semua macam tanaman, terutama tanaman *herbaceous*. Medium ini paling banyak digunakan untuk kultur kalus dan tunas, mempunyai konsentrasi garam-garam mineral yang tinggi, dan senyawa N dalam bentuk ammonium dan nitrat [8].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menetapkan konsentrasi BAP dan NAA yang optimum untuk perbanyak tanaman *stevia rebaudiana* Bertoni secara *In Vitro*.

Bahan dan Metode

Metode yang digunakan adalah metode eksperimental (percobaan). Sedangkan rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial dengan dua faktor perlakuan dan tiga kali ulangan.

Faktor pertama yaitu zat pengatur tumbuh BAP dengan 4 taraf konsentrasi yaitu b_0 = tanpa konsentrasi 0 mg L^{-1} , b_1 = Konsentrasi BAP 1 mg L^{-1} , b_2 = Konsentrasi BAP 2 mg L^{-1} , b_3 = Konsentrasi BAP 3 mg L^{-1} . Faktor kedua yaitu zat pengatur tumbuh NAA dengan 4 taraf konsentrasi yaitu: n_0 = tanpa konsentrasi 0 mg L^{-1} , n_1 = Konsentrasi NAA $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, n_2 = Konsentrasi NAA $0,3 \text{ mg L}^{-1}$, n_3 = Konsentrasi NAA $0,5 \text{ mg L}^{-1}$.

Pengujian lanjut dilakukan dengan uji Duncan Multiple Range Test (DMRT) 5%. Pelaksanaan percobaan ini terdiri dari :

Sterilisasi alat, media dan ruangan

Sterilisasi alat-alat dilakukan dengan membersihkan atau mencuci alat-alat yang akan dipakai kemudian semua alat tersebut dioven pada suhu 100°C atau lebih, sebelum dioven untuk botol-botol kultur sebelumnya disterilisasi dengan autoklaf dengan temperatur 121°C dan tekanan $1,75 \text{ Psi}$ (kg/cm^2) selama 45 menit sedangkan untuk media disterilisasi dalam autoklaf selama 15 menit. Untuk sterilisasi ruangan dilakukan dengan cara membersihkan ruangan laboratorium.

Pembuatan larutan stok zpt dan media tanam

Pembuatan larutan zat pengatur tumbuh dilakukan dengan cara menimbang, BAP dan NAA dengan masing-masing konsentrasi dilarutkan dalam 100 ml. Media tanam yang digunakan dalam

perbanyak tanaman stevia secara *in vitro* adalah media MS (Murashige and Skooge) yang telah dikombinasikan dengan zat pengatur tumbuh BAP dan NAA berdasarkan konsentrasi masing-masing perlakuan yang telah ditentukan.

Sterilisasi Eksplan

Eksplan tanaman stevia dibersihkan dalam air mengalir 10 menit, kemudian dibilas dengan aquadest steril hingga bersih setelah itu direndam dengan deterjen 1 % selama 3 menit dan dibilas dengan aquadest steril. Kemudian eksplan tersebut direndam dalam larutan HgCl₂ 1 % atau alkohol 70 % selama 3 menit kemudian dibilas dengan aquadest steril. Selanjutnya eksplan tanaman stevia direndam dengan bakterisida dan fungisida masing-masing selama 10 menit kemudian dibilas dengan aquadest steril setelah itu eksplan dibawa ke LAF (*laminar air flow*) eksplan dicelupkan kedalam bayclin 1% kemudian dibilas dengan aquadest steril setelah itu dikeringkan dalam petridish yang didalamnya terdapat kertas saring dan eksplan siap ditanam.

Penanaman

Setelah eksplan disterilisasi lalu eksplan stevia ditanam didalam media MS (Murashige and Skoog) yang telah diberi macam-macam perlakuan. penanaman dilakukan diruangan LAF (*laminar air flow*), eksplan stevia yang steril diambil dari tunas apikal lalu dipotong kecil-kecil hingga 1 cm lalu ditanam dalam botol-botol steril yang berisi medium setelah itu botol ditutup dengan aluminium foil dan diikat dengan karet gelang lalu disimpan di rak-rak kultur.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis ragam pengaruh zat pengatur tumbuh BAP dan NAA terhadap jumlah daun menunjukkan bahwa terjadi interaksi berpengaruh nyata antara zat pengatur tumbuh BAP dan NAA terhadap rata-rata jumlah daun pada tanaman stevia. Rata-rata jumlah daun tanaman stevia pada umur 8 MST. Hasil analisis selanjutnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh Interaksi BAP dan NAA terhadap Jumlah Daun stevia.

BAP	NAA			
	n ₀	n ₁	n ₂	n ₃
b ₀	1,16 a A	1,14 b A	1,15 a A	0,96 a A
b ₁	1,35 a AB	1,62 b B	1,23 a AB	1,01 a A
b ₂	1,29 a A	1,19 b A	1,14 a A	1,32 a A
b ₃	1,26 a B	0,53 a A	1,31 a B	1,46 a B

Keterangan: Angka rata-rata diikuti huruf yang sama (huruf kecil arah vertikal dan huruf besar arah horizontal) menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan pada taraf 5 %.



Gambar 1. Jumlah daun terbanyak pada perlakuan BAP 1 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹

Tabel 1 menunjukkan bahwa jumlah daun yang terbanyak pada perlakuan ini adalah perlakuan b1n1 yaitu 1,62 daun per 8 MST. Hasil ini memperlihatkan bahwa bahwa BAP 1 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹ pada Gambar 1 dapat memperoleh jumlah daun terbanyak, perlakuan BAP 1 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹ menghasilkan ruas eksplan tunas yang banyak menghasilkan daun yang banyak pula seperti yang dilaporkan oleh Sumaryono dan Sinta [6], perlakuan BA 1,13 mg L⁻¹ + IAA 0,35 mg L⁻¹ jumlah tunas per eksplan 4,5 maka total ruas yang dapat disubkultur mencapai 11,1 ruas per eksplan setelah empat minggu. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa interaksi BAP dan NAA yang seimbang dapat meningkatkan tinggi tanaman.

Sitokinin BAP lebih baik dibandingkan jenis sitokinin lain yaitu kinetin dalam pembentukan tunas dan daun stevia [9]. Pada penelitian ini pembentukan daun terbanyak pada taraf perlakuan BAP 1 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹ sedangkan yang terendah pada taraf perlakuan BAP 3 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹. jika konsentrasi BAP lebih tinggi maka jumlah daun menurun ini sesuai menurut Pierik [10], bahwa zat pengatur tumbuh BAP adalah salah satu jenis sitokinin yang aktif merangsang pembentukan tunas, tetapi menghambat dominansi apikal sehingga pertumbuhan dan perkembangan daun terhambat. Auksin umumnya menghambat pembentukan tunas, sedangkan kombinasi konsentrasi sitokinin tinggi dengan auksin rendah, penting dalam pembentukan tunas dan daun. Di dalam kultur jaringan tanaman kedua zat pengatur tumbuh tersebut terbukti berperan dalam menunjang pertumbuhan jaringan apabila digunakan pada konsentrasi yang tepat [11].

Pengaruh sitokinin (BAP) dan auksin (NAA) terhadap jumlah daun memiliki peranan yang sama yaitu berfungsi untuk pembentukan tunas, dimana pembentukan daun ditentukan oleh jumlah tunas yang terbentuk selanjutnya akan membentuk daun. Semakin banyak jumlah daun semakin banyak proses fotosintesis didalamnya.

Hasil analisis ragam pengaruh zat pengatur tumbuh BAP dan NAA terhadap tinggi tanaman menunjukkan bahwa terjadi interaksi berpengaruh nyata antara zat pengatur tumbuh BAP dan NAA terhadap rata-rata tinggi tanaman pada tanaman stevia. Rata-rata jumlah tunas tanaman stevia pada umur 8 MST. Hasil analisis selanjutnya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh interaksi BAP dan NAA terhadap tinggi tanaman stevia.

BAP	NAA (cm)			
	n ₀	n ₁	n ₂	n ₃
b ₀	4,27 a A	4,63 ab A	4,23 a A	4,2 b A
b ₁	3,83 a A	3,93 b A	3,0 a A	2,17 a A
b ₂	3,83 a A	3,33 b A	3,03 a A	3,87 ab A
b ₃	3,43 a AB	1,67 a A	3,10 a A	5,27 b B

Keterangan: Angka rata-rata diikuti huruf yang sama (huruf kecil arah horizontal dan huruf besar arah vertikal) menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji jarak berganda Duncan pada taraf 5 %.



Gambar 2. Tinggi tanaman pada perlakuan BAP 3 mg L⁻¹ + NAA 0,5 mg L⁻¹

Tabel 2 menunjukkan bahwa interaksi BAP dan NAA pada perlakuan BAP 3 mg L⁻¹ dan NAA 0,5 mg L⁻¹ paling tinggi mencapai 5,27 cm pada Gambar 2. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penambahan BAP dan NAA dapat memperoleh tingkat tanaman yang tinggi yaitu pada perlakuan perlakuan BAP 3 mg L⁻¹ dan NAA 0,5 mg L⁻¹ bahwa dengan konsentrasi sitokinin yang tinggi (BAP) dapat meningkatkan tinggi tanaman. BAP adalah salah satu zat pengatur tumbuh yang banyak digunakan untuk memacu pembentukan tunas dengan daya aktivitas yang kuat mendorong proses pembelahan sel [8]. Menurut Pierik [11], menyatakan bahwa BAP adalah salah satu jenis sitokinin yang aktif memacu pertumbuhan tunas, tetapi dapat menekan pertumbuhan akar.

Menurut Hendaryono dan Wijayani [12], di samping itu sifat NAA mempunyai sifat-sifat yang tidak baik untuk pertumbuhan karena mempunyai kisaran kepekatannya yang sempit, batas kepatan yang dapat meracuni dari zat ini sangat mendekati kepekatan optimum untuk perakaran. Dengan demikian perlu waspada agar kepekatan optimum NAA tidak terlampaui.

Perbedaan konsentrasi BAP dan NAA dapat memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada setiap tanaman, nampaknya perlu ada keseimbangan antara sitokinin (BAP) dan auksin (NAA) untuk meningkatkan laju tinggi tanaman selanjutnya dan dilakukan penelitian yang lebih lanjut untuk perbanyak tanaman stevia.

Kesimpulan

1. Terjadi interaksi antara *6-Benzyl Amino Purine* (BAP) dan *1-Naphtalen Acetic Acid* (NAA) terhadap pertumbuhan tanaman *Stevia rebaudiana* Bertoni terhadap jumlah daun dan tinggi tanaman.
2. Kombinasi taraf perlakuan yang optimum BAP 1 mg L⁻¹ + NAA 0,1 mg L⁻¹ berpengaruh terhadap pengamatan jumlah daun stevia sedangkan Kombinasi taraf perlakuan yang optimum BAP 3 mg L⁻¹ + NAA 0,5 mg L⁻¹ berpengaruh terhadap pengamatan tinggi tanaman stevia.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik, tidak lupa mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada kedua orang tua, saudara dan teman yang telah memberikan dukungannya. Kepada para dosen terutama Pak Suryaman Birnadi, Bu Liberty Chaidir dan Bu Windhy Chandria yang telah memberikan masukan kepada penulis.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik. 2012. Statistik Tebu Indonesia 2012. melalui www.bps.go.id (diakses tanggal 16 September 2013)
- [2] Mizutani, K. O. and Tanaka. 2002. Use of *Stevia rebaudiana* sweeteners in Japan. In: *Stevia, the Genus Stevia. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles*. Taylor and Francis: London and New York, Vol. 19: 178-195.
- [3] Kennelly EJ. 2002. Sweet and non-sweet constituents of *Stevia rebaudiana*. In: AD Kinghorn (ed.) *The genus Stevia*. Taylor & Francis, London, p. 68-85.
- [4] Geuns JMC. 2003. Molecules of interest - stevioside. *Phytochem* 64, 913-921.
- [5] Goettmoeller J & A Ching. 1999. Seed germination in *Stevia rebaudiana*. In: J Janick (ed.) *Perspective on New Crops and New Uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, p. 510-511.
- [6] Sumaryono dan Sinta Masna Maya. 2011. Peningkatan laju multiplikasi tunas dan keragaan planlet *Stevia rebaudiana* pada kultur *in vitro*. *Menara Perkebunan* 2011, 79(2), 49-56.
- [7] Karjadi, A.K dan Buchory A. 2008. Pengaruh Auksin dan Sitokinin terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Jaringan Meristem Kentang Kultivar Granola. *J. Hort.* 18(4):380-384, 2008.
- [8] George, E. F. and P. D. Sherrington. 1984. *Plant Propagation by Tissue Culture*. Eastern Press. England.
- [9] Anbazhagan M, M Kalpana, R Rajandran, V Natarajan & D Danavel. 2010. *In vitro* production of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Emir J Food Agric* 22(3), 216-222.
- [10] Pierik, R.L.M. 1987. *In vitro* Culture of Higher Martinus Nijhoff Publisher. Dordrecht. Netherlands. P. 344.
- [11] Fereol, L., Chovleon, V., Causse, S. Michaux-Ferrierre, N and Kahane, R. 2002. Evidence of a Somatic Embryogenesis Process for Plant Regeneration In Garlic (*Allium sativum* L). *Plant cell Rep.* 21:197-203
- [12] Hendaryono, D.P.S dan Wijayani, A. 1994. Teknik Perbanyakkan secara *in vitro*. Pengenalan dan Petunjuk Perbanyakkan Tanaman Secara Vegetatif Modern. Kanisius. Yogyakarta.

I_bM Kelompok Tani Stroberi

Rani Andriani Budi Kusumo¹, Erni Suminar^{2,b)}, Murgayanti^{2,c)}, Syariful Mubarak^{2,d)}

¹ Program Studi Agribisnis Faperta Unpad

² Program Studi Agroteknologi Faperta Unpad

^{a)} penulis yang berkorespondensi: raniandriani081@gmail.com

^{b)} suminarerni@yahoo.com

^{c)} murgayanti@yahoo.com

^{d)} mubarak_hort@yahoo.com

Abstrak

Permasalahan yang dihadapi petani stroberi saat ini adalah terjadinya penurunan produktivitas hingga mencapai 70%, masih rendahnya ketersediaan benih varietas unggul, belum adanya informasi dan deskripsi yang jelas dari pertanaman stroberi yang dibudidayakan dan masih terjadi pemberian nama yang berbeda walaupun morfologi tanaman serupa, serangan hama dan penyakit, kerusakan buah selama penyimpanan, terbatasnya ketersediaan pupuk organik. Upaya untuk mendatangkan benih stroberi impor saat ini masih mengalami hambatan sehingga hanya mengandalkan tanaman yang sudah diperbanyak beberapa generasi. Kegiatan ini merupakan serangkaian kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang bekerjasama dengan mitra Kelompok Tani Stroberi “Mitra Organik” dan “Karya Sejahtera” pada Tahun 2012. Tujuan kegiatan ini merupakan upaya untuk meningkatkan kembali produksi stroberi khususnya di Jawa Barat. Metode yang digunakan adalah melalui penyuluhan, pelatihan serta pembuatan demplot percontohan. Hasil kegiatan ini diantaranya : 1) Diperolehnya informasi kejelasan varietas-varietas stroberi yang tersebar di masyarakat, 2) Bertambahnya wawasan mitra mengenai teknologi perbanyak bibit stroberi secara *in vitro*; 3) Meningkatnya keterampilan mitra dalam melakukan pemuliaan tanaman stroberi secara konvensional; 4) Terwujudnya demplot percontohan pertanaman stroberi secara organik; 5) Menambah keterampilan mitra dalam pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk organik; 6) Tersosialisasinya pembuatan dan penggunaan pestisida alami; 7) Aplikasi 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) untuk penanganan pasca panen.

Kata kunci : demplot percontohan, *in vitro*, pelatihan, penyuluhan, organik, stroberi

Pendahuluan

Salah satu komoditas buah-buahan yang kaya akan gizi dan bermanfaat bagi kesehatan adalah stroberi. Stroberi (*Fragaria x ananassa* Duch.) merupakan tanaman buah yang berasal dari negara subtropis yang kini dapat dikembangkan di daerah tropis [1]. Skala usaha budidaya tanaman stroberi di Indonesia masih tergolong skala kecil dibandingkan dengan negara penghasil stroberi lainnya, rata-rata sampai 2-10 ha dan produksi yang dihasilkan 100–120 ton per ha dalam jangka waktu 28 bulan dengan populasi 50–60 ribu tanaman per ha [2]. Sentra produksi stroberi di Indonesia saat ini masih didominasi pada lahan dataran tinggi yang mempunyai temperatur rendah seperti Lembang,

Sukabumi, Cianjur, Garut, dan Ciwidey (Jawa Barat), Malang serta Bali. Petani masih menggunakan pola tanam yang sifatnya konvensional. Kelemahan atas pengelolaan yang tidak terpadu dapat menimbulkan kerentanan tanaman terhadap hama dan penyakit serta dapat mengurangi kuantitas dan kualitas produksi [3].

Prospek pengembangan stroberi saat ini cukup cerah karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi, umur tanaman yang relatif panjang mencapai dua tahun atau lebih [4]. Permintaan buah stroberi terutama di kota-kota besar dewasa ini semakin meningkat, dilain pihak produksi stroberi yang diusahakan hingga saat ini belum mampu memenuhi permintaan pasar sehingga masih harus mengimpornya dari luar negeri. Rendahnya produksi stroberi disebabkan oleh ketersediaan benih unggul masih terbatas, teknik budidaya yang belum optimal, faktor lingkungan, dan area penanamannya yang masih terbatas di dataran tinggi dengan ketinggian lebih dari 1000 m di atas permukaan laut.

Berdasarkan hasil survey yang telah dilakukan, diperoleh beberapa informasi diantaranya :

1. Pertanaman stroberi banyak mengalami penyakit seperti serangan virus yang hingga saat ini belum diketahui penyebabnya,
2. Benih yang digunakan tidak ada kejelasan jenis kultivar sebenarnya dan benih yang digunakan berasal dari hasil perbanyakan secara vegetatif yang sudah turun temurun serta kesulitan dalam mendapatkan benih unggul
3. Belum adanya penangkar benih stroberi berkualitas
4. Kehilangan hasil yang tinggi pada pasca panen sehingga merupakan kendala yang dihadapi pada saat pemasaran terutama ke pasar super market, tradisional, dan pedagang eceran

Beberapa varietas stroberi yang pernah dikembangkan di Desa Alamendah diantaranya jenis Santung, Nyoho, Earlybrite, Festival, dan California, namun saat ini sebagian besar masyarakat menanam jenis kultivar Early brite, California dan Festival yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Produksi stroberi yang dihasilkan mengalami penurunan yang cukup drastis, pemberian pestisida kimia secara terus menerus tidak memberikan hasil yang signifikan dalam pengendalian hama penyakit, kualitas buah yang dihasilkan menjadi rendah karena penanganan pasca panen yang belum tepat sehingga seringkali pemanenan dilakukan pada buah yang muda.

Tujuan dari kegiatan ini adalah sebagai upaya memberikan informasi yang dapat menambah wawasan dan keterampilan masyarakat dalam menanggulangi berbagai permasalahan yang dihadapi.

Teori dan Metode

Dalam rangka peningkatan produktivitas stroberi dapat dilakukan dengan beberapa upaya diantaranya dengan penggunaan kultivar-kultivar unggul yang bebas penyakit, sistem penanaman dengan memperhatikan aspek fisiologis setiap kultivar yang digunakan, serta teknik budidaya yang tepat melalui usaha dan penelitian intensif dan berkesinambungan selama 60-70 tahun meliputi aspek genetika, fisiologi, agronomi, hama dan penyakit, pasca panen, pengolahan, serta tata niaga (Gunawan 2000)[2].

Kegiatan yang dilakukan melalui metode penyuluhan dan praktek secara langsung meliputi materi : 1) Pengamatan morfologi dan molekular varietas-varietas stroberi yang tersebar di masyarakat, 2) Penyuluhan mengenai teknologi perbanyakan bibit stroberi secara *in vitro*; 3) Pelatihan dan praktek melakukan pemuliaan tanaman stroberi secara konvensional; 4) Pembuatan demplot percontohan pertanaman stroberi secara organik; 5) Pelatihan pengolahan limbah pertanian menjadi pupuk organik; 6) Teknologi aplikasi pestisida alami; 7) Aplikasi 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) untuk penanganan pasca panen.

Hasil dan Diskusi

A. Deskripsi Morfologi Beberapa Varietas Stroberi di Lapangan dan Deteksi Genetik Berdasarkan Marka Molekular *Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD)*

Kegiatan pendeskripsian dimulai dengan pengumpulan plasma nutfah stroberi dari berbagai daerah sentra produksi stroberi diantaranya: Desa Alamendah, Ciwidey, Cianjur, Malangbong dan selanjutnya dilakukan deskripsi terhadap karakter morfologinya dan pengujian genetika secara molekular dilakukan di Laboratorium Biologi Molekular Pusat Kajian Buah Tropika Institut Pertanian Bogor dengan menggunakan Analisis Molekular *Randomly Amplified Polymorphic DNA (RAPD)*.

Keragaman genetik suatu populasi dapat diketahui dengan mengevaluasi beberapa sifat pertumbuhan dan hasil. Berdasarkan pengamatan terhadap beberapa karakter morfologi tanaman stroberi di lapangan diperoleh data seperti terlihat pada Tabel 1. Hasil pengamatan secara morfologi menunjukkan bahwa terjadi variasi diantara beberapa karakter tanaman stroberi yang telah berhasil dikumpulkan dari berbagai daerah sentra produksi stroberi di Jawa Barat, namun hasil pengamatan secara morfologi masih memungkinkan adanya faktor lingkungan yang turut mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Gambar 1.)

Tabel 1. Data Hasil Pengamatan Karakter Morfologi Tanaman Stroberi

No.	Jenis Varietas	Karakter Daun		Karakter Buah					UKURAN
		Luas Daun (cm ²)	Panjang Petiole (cm)	Warna Buah	Ukuran Buah	Bobot Buah (g)	Bentuk Buah	Kadar Gula (°brix)	BUNGA
1	Lokal Cianjur	140.20	10.00-11.00	Merah gelap	Sedang	9.09	Conical	11.00	2 cm (medium)
2	Sweet Charlie	111.86	11.50-16.00	Merah	Sedang	7.63	Avoid	6.00	2 cm (medium)
3	Festival	142.30	10.50	Merah	Sedang	8.48	Wedged	8.00	2.2 cm (medium)
4	Santung	118.57	16.00	Merah gelap	Sedang	5.51	Wedged	20.00	1.5 cm (Kecil)
5	California	148.43	18.00	Merah jingga	Besar	5-10	Avoid	9.50	2.2 cm (medium)
6	Earlybrite Malangbong	69.54	8.00	Merah muda pucat	Kecil	3.83	Set above fruit	5.00	2.2 cm (medium)
7	Nyoho	136.46	11.00	Merah	Kecil	4.35	Conical	8.00	Kecil

Hasil uji laboratorium di Laboratorium Teknologi Pangan Universitas Padjadjaran terhadap dua jenis varietas yang saat ini dibudidayakan oleh petani mitra untuk demplot percontohan yaitu California dan Earlybrite maka diperoleh data seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Kualitas Buah

No	Parameter Analisis	Hasil Analisis	
		California	Earlybrite
1	Kadar air (% b/b)	90.53	91.20
2	Kadar asam (% b/b)	2.91	0.50
3	Kadar vitamin C (mg/100 g)	65.25	67.92
4	Kadar serat (% b/b)	2.10	2.36
5	Kekerasan buah (g Force)	359.39	800.63

Karakter Morfologi Daun



Karakter Morfologi Buah



Lokal Cianjur

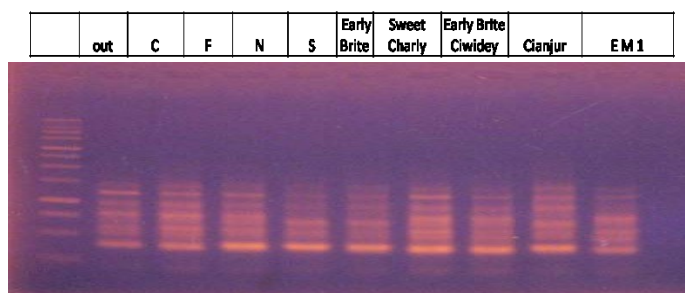
Earlybrite asal malangbong



Nyoho

Gambar 1. Pendeskripsian secara morfologi

Keragaman genetik dapat dianalisis secara morfologi, kandungan protein dalam benih, isozim maupun marka molekular [5]. Keragaman morfologi dilakukan dengan menggunakan data hasil pengamatan atau pengukuran karakter morfologi tertentu [6]. Analisis keragaman genetik menggunakan penanda morfologi sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, memperlihatkan penurunan sifat dominan-resesif, dan memiliki tingkat keragaman atau polimorfisme yang rendah [7].

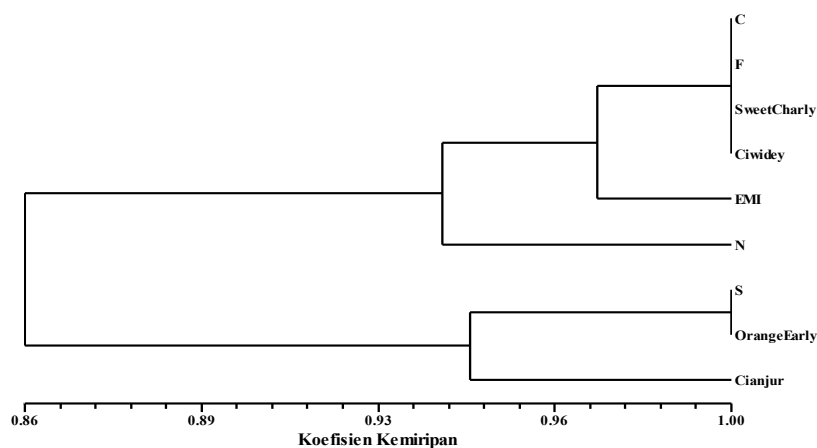


Gambar 2. Hasil Analisis DNA Stroberi

Untuk membuktikan keragaman beberapa varietas stroberi yang dibudidayakan, maka pada kegiatan ini juga dilakukan uji molekular dengan analisis molekular RAPD dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 2.

Marka molekular telah digunakan untuk karakterisasi plasma nutfah, penanda genetik, analisis genetik dan pemuliaan molekular. Dalam melakukan evaluasi keragaman genetik perlu digunakan kombinasi beberapa penanda misalnya karakter morfologi dan marka molekular RAPD karena jika pengaruh lingkungan sangat besar terhadap induksi keragaman, maka penilaian keragaman berdasarkan data karakter morfologi tidak mencerminkan tingkat keragaman genetik yang sebenarnya [8]. RAPD telah digunakan untuk mengidentifikasi keragaman genetik pada stroberi [9].

Hasil dari reaksi isolasi DNA kemudian dielektroforesis pada agarose gel pada konsentrasi 1,5%. Gel kemudian diwarnai dengan *Ethidium bromide* dan diamati di bawah UV transiluminator untuk melihat pola pita yang dihasilkan. Berdasarkan pada muncul tidaknya pola pita yang diperoleh pada tahap ini, kemudian dihitung matrik kesamaan antar galur mutan yang dihitung berdasarkan *Dice algoritme* yang terdapat dalam paket program NTSYSpc (*Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System*) versus 2.02 (Rohlf 1998)[10] maka diperoleh dendrogram seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dendrogram Kemiripan Tanaman Stroberi

Berdasarkan Gambar 3. terlihat bahwa antara varietas stroberi yang ditanam masyarakat Desa Alamendah Kecamatan Rancabali Kabupaten Bandung dengan yang ditanam di Cianjur dan Malangbong secara keseluruhan memiliki tingkat kemiripan genetik sebesar 86% yang artinya keragaman genetik cukup rendah hanya 14%, namun terlihat bahwa pemberian nama varietas yang diberikan penjual bibit/petani yang berbeda setelah dilakukan uji genetik ternyata terdapat kesamaan genetik seperti pada jenis C (California asal Desa Alamendah), F (Festival asal Desa Alamendah), S (Sweetcharlie asal Cianjur), Earlybrite Ciwidey (Earlybrite asal Ciwidey), demikian juga dengan varietas S (santung) dan Earlybrite asal Cianjur) memiliki pola pita DNA yang sama. Untuk Lokal Cianjur (Cianjur), N (Nyoho) dan EM1 (Earlybrite asal Malangbong Garut) memiliki pola pita yang berbeda dengan varietas lainnya meskipun secara genetik tingkat kemiripannya cukup tinggi. Hasil menunjukkan bahwa keragaman genetik stroberi di lapangan masih rendah, hal ini menyebabkan kurangnya plasma nutfah yang merupakan bahan dasar untuk melakukan pemuliaan tanaman.

B. Pelatihan Dasar Teknik Pemuliaan Stroberi

Hasil dari kegiatan ini menunjukkan bahwa telah terjadi peningkatan wawasan dan keterampilan bagi petani yang semula 0% mengalami peningkatan hingga 100% namun tidak semua dapat mengaplikasikannya tetapi setelah teknik sekitar 25% dari peserta yang hadir sangat antusias untuk melakukan teknik persilangan stroberi secara mandiri agar diperoleh varietas stroberi yang memiliki sifat/karakter sesuai dengan keinginan konsumen yaitu buah besar, warna merah, rasa manis, tahan penyakit dan memiliki daya simpan yang cukup lama. Kegiatan praktek persilangan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Kegiatan Pelatihan Persilangan Stroberi

C. Produksi benih stroberi dengan metode *in vitro*

Setelah pemaparan materi melalui kegiatan penyuluhan maka peserta mendapatkan informasi mengenai teknologi yang telah dilakukan oleh Suminar dkk. (2005; 2010)[11] sehingga diterapkan untuk pengembangan benih unggul stroberi berbasis bioteknologi salah satunya dengan teknologi *in vitro*.

Sebelum kegiatan dilaksanakan peserta sekitar 50% sudah mengenal istilah *in vitro* tetapi lebih dikenal dengan teknik kultur jaringan, namun mengenai teknologinya 0% peserta yang pernah mengetahui bagaimana pelaksanaan teknologi ini dan setelah kegiatan dilaksanakan peserta 100% dapat memahaminya walaupun aplikasinya belum dapat diterapkan di masyarakat. Petani mengharapkan ke depannya bibit *in vitro* dapat tersedia setiap saat. Produksi benih stroberi *in vitro* yang telah dilakukan di Laboratorium Kultur Jaringan Teknologi Benih Faperta Unpad, dapat dilihat pada Gambar 5.



Pasca Aklimatisasi



Benih *In Vitro*



Gambar 5. Tahapan Teknologi In Vitro pada Stroberi

D. Pembuatan demplot percontohan tanaman stroberi yang dibudidayakan secara organik

Sebelum kegiatan dilaksanakan 0% peserta yang membudidayakan stroberi secara organik, hal ini disebabkan banyaknya serangan hama dan penyakit pada pertanaman stroberi sehingga tidak memungkinkan jika dibudidayakan secara organik (tanpa penggunaan pestisida bahan kimia), namun setelah kegiatan dilaksanakan dengan memberikan materi penanganan hama dan penyakit berbahan baku alami membuat peserta tertarik untuk mencoba mengaplikasikannya apalagi saat ini sudah ada penawaran buah stroberi akan dibeli dengan harga sekitar Rp. 60.000,00 per kg nya, oleh karena itu setelah kegiatan ini dilaksanakan baru sekitar 20% yang mencoba bertani stroberi organik di lahan pertanaman sebagai percontohan. Hasil pertanaman organik di Mitra Tani Organik dan Karya Sejahtera sudah mulai dipanen (Gambar 6).

Hasil panen budidaya organik secara visual kualitas buah cukup baik seperti halnya yang konvensional, namun masih adanya serangan hama penyakit yang menyerang buah namun tingkat serangan yang terjadi masih sangat rendah. Pemanenan pertama diperoleh dua jenis varietas dengan perincian data hasil analisis sebagai berikut varietas earlybrite yang ditanam di Karya Sejahtera

diperoleh sekitar 33 buah dengan bobot buah berkisar 9.9 g – 18.6 g sedangkan hasil panen pertanaman buah stroberi di Mitra Tani Organik jenis California diperoleh buah sekitar 48 buah dengan bobot buah berkisar 9.2 – 19.3 gram.



Gambar 6. Kegiatan Penanaman & Pemanenan

Pertanaman Stroberi Organik

Demplot Percontohan

D. Pembuatan Pupuk Organik dengan Memanfaatkan Bahan-bahan Limbah Pertanian yang Ada di Sekitarnya

Pembuatan pupuk organik yang berasal dari limbah pertanian dan peternakan belum banyak dilakukan oleh petani mitra hanya sekitar 20% telah mengetahui cara pembuatannya, namun belum diaplikasikan. Setelah dilakukan kegiatan praktek secara langsung (Gambar 7.), khususnya petani mitra ada sekitar 10% mencoba untuk melakukan pembuatan pupuk organik ini dan rencananya akan digunakan sebagai pupuk organik stroberi.



Gambar 7. Kegiatan Pembuatan Pupuk Organik

E. Penanganan Pasca Panen Buah Stroberi dengan Aplikasi 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*)

Hasil komunikasi dengan peserta sebelum kegiatan maka diperoleh data 0% peserta yang pernah mendengar istilah 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) beserta kegunaan dan aplikasinya, maka setelah kegiatan berlangsung terjadi peningkatan wawasan sekitar 80% bagi petani mengenai penanganan pasca panen dengan zat tersebut. Saat ini untuk mengantisipasi penurunan kualitas buah saat transportasi maka sering dilakukan pemanenan pada buah muda dan juga para pengumpul menerima buah dari petani yang belum matang karena buah yang matang dapat mengalami kerusakan dalam waktu yang cepat.



Gambar 8. Kegiatan Aplikasi 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) untuk Penanganan Pasca Panen Buah Stroberi

Jika kegiatan ini berhasil diaplikasikan maka untuk memperpanjang masa simpan buah stroberi pada waktu yang akan datang dapat menggunakan bahan ini. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) dapat memperpanjang masa simpan buah stroberi selama tiga hari lebih lama dibandingkan dengan kontrol (Gambar 8.).

F. Identifikasi Hama dan Penyakit Penting Stroberi serta Pembuatan Ramuan Alami untuk Penanggulangannya

Berdasarkan hasil wawancara dengan peserta bahwa sebagian besar petani (100%) telah mengenal jenis hama dan penyakit yang menyerang pertanaman stroberi, namun sifat biologi masing-masing jenis hama serta mekanisme serangan hama maupun penyakit tersebut belum dipahami secara maksimal, dengan adanya kegiatan ini diharapkan dapat menambah wawasan petani hingga minimal 80% dapat memahaminya dan pada kegiatan ini pula diberikan modul panduan yang dapat dipelajari masing-masing. Mengenai materi pengenalan bahan alami dan pestisida alami sekitar 10% peserta sudah memahami namun masih dirasakan sulit untuk penyediaannya, hal ini perlu adanya pembinaan dan pendampingan yang berkesinambungan agar metode yang telah disosialisasikan dapat diterapkan hingga petani mudah mengaplikasikannya.



Gambar 9. Praktek Pembuatan Ramuan Pengendalian Hama Penyakit dari Bahan Alami

Pada kegiatan ini 100% peserta melakukan praktek pembuatan secara langsung (Gambar 9.) dan diberikan bahan yang sudah siap dibuat larutan untuk kemudian diaplikasikan di lahan pertanaman masing-masing.

G. Analisis Perbandingan Pendapatan Petani Stroberi Non Organik dan Organik (Studi Kasus pada Demplot di Kelompok Tani Mitra Organik dan Kelompok Tani Karya Sejahtera Desa Alamendah Kecamatan Rancabali Tahun 2012

Dalam usahatani stroberi ini, yang termasuk biaya tetap adalah biaya sewa lahan, biaya PBB (Pajak Bumi dan Bangunan), serta penyusutan alat pertanian. Biaya tetap yang dikeluarkan petani stroberi, baik dengan sistem pertanian organik maupun organik adalah Rp. 12.863.333,- / Ha / Tahun (Tabel 4.)

Pada usahatani ini yang termasuk biaya variabel adalah biaya sarana produksi, yang meliputi media tanam, bibit, pupuk, pestisida, serta biaya tenaga kerja. Pada sistem pertanian non organik

biaya yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 229.450.000,- / Ha / Tahun, sedangkan pada sistem pertanian organik biaya variabel yang dikeluarkan adalah sebesar Rp. 275.600.000,- /Ha/Tahun (Tabel. 4). Pada sistem usahatani non organik, biaya untuk pengadaan pupuk dan pestisida sintesis lebih besar dibandingkan pada sistem pertanian organik. Hal ini dikarenakan pada sistem usahatani organik petani dapat memproduksi sendiri pupuk dan pestisida nabati dari bahan-bahan alami yang ada di sekitar lingkungan tempat tinggal atau tempat usaha petani. Sebaliknya, biaya tenaga kerja pada sistem pertanian organik lebih besar dibandingkan pada sistem pertanian non organik, karena pada sistem pertanian organik memerlukan pemeliharaan yang lebih intensif (Tabel 4.)

Tabel 3. Perbandingan Biaya Total Usahatani Stroberi Non Organik dan Organik (Rp/Ha/Tahun)

No	Jenis Biaya	Besarnya Biaya (Rp/Ha/Tahun)	
		Non Organik	Organik
1	Biaya Tetap		
	a.Sewa lahan	12.000.000	12.000.000
	a.Pajak	400.000	400.000
	b.Penyusutan	463.333	463.333
	Sub Total Biaya Tetap	12.863.333	12.863.333
2	Biaya Variabel		
	a.Sarana Produksi	91.450.000	82.100.000
	b.Tenaga kerja	138.000.000	193.500.000
	Sub Total Biaya Variabel	229.450.000	275.600.000
	Total	242.313.333	288.463.333

Salah satu tujuan dari jalannya usaha adalah diperolehnya keuntungan atau pendapatan. Pendapatan merupakan hasil pengurangan antara total penerimaan dengan total biaya yang dikeluarkan, sedangkan penerimaan merupakan hasil kali antara jumlah produk yang dihasilkan dengan harga jual produk.

Tabel 4. Perbandingan Pendapatan Usahatani Stroberi Non Organik dan Organik (Rp/Ha/Tahun)

No	Keterangan	Sistem Pertanian	
		Non Organik	Organik
1	Produksi (Kg/Ha/Tahun)	33.000,00	14.700,00
2	Harga (Rp/Kg)	10.000,00	50.000,00
3	Penerimaan (Rp/Ha/Thn)	330.000.000,00	735.000.000,00
4	Pendapatan (Rp/Ha/Thn)	87.686.667,00	446.536.667,00

Pada saat pengamatan, demplot budidaya stroberi dengan sistem organik, baru satu kali menghasilkan buah (panen). Berdasarkan pengalaman petani dan data dari berbagai penelitian, biasanya pada saat awal penanaman dengan sistem pertanian organik, hasil panen akan jauh menurun dibandingkan dengan budidaya dengan sistem non organik, oleh karena itu dalam pengamatan ini, diasumsikan hasil produksi stroberi organik pada awal-awal panen akan berkurang 50% dibandingkan tanaman stroberi non organik.

Tabel 5. Perbedaan Pendapatan dan Nilai R/C Usahatani Stroberi Non Organik dan Stroberi Organik

Keterangan	Sistem Pertanian	
	Non Organik	Organik
Total biaya (Rp/Ha/tahun)	242.313.333	288.463.333
Penerimaan (Rp/Ha/Thn)	330.000.000	735.000.000
Pendapatan (Rp/Ha/Thn)	87.686.667	446.536.667
R/C	1,36	2,55
Perbedaan Pendapatan (Rp/Ha/Tahun)	358.850.000	

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai R/C untuk usahatani stroberi non organik adalah sebesar 1,36 artinya bahwa setiap pengeluaran Rp. 1,00 akan mendapatkan penerimaan sebesar Rp. 1,36. Sedangkan untuk usahatani stroberi organik diketahui nilai R/C adalah sebesar 2,55 artinya bahwa setiap pengeluaran Rp. 1,00 akan mendapatkan penerimaan sebesar Rp. 2,55.

Dari penjelasan tersebut, terlihat bahwa kedua sistem usahatani stroberi memiliki nilai R/C > 1, yang artinya kedua sistem usahatani tersebut layak untuk diusahakan. Namun jika dibandingkan, nilai R/C stroberi organik lebih besar dari stroberi non organik. Dapat disimpulkan bahwa usahatani stroberi organik lebih menguntungkan secara ekonomis dibandingkan stroberi non organik. Hal tersebut dapat dilihat pula dari selisih pendapatan yang cukup besar diantara kedua sistem usahatani tersebut (Tabel 4).

Meskipun demikian, harga jual buah stroberi organik jauh lebih tinggi daripada stroberi non organik. Pedagang pengumpul biasanya membeli buah stroberi non organik dari petani seharga Rp. 10.000,-/Kg dengan sistem *abresan*, tidak dipilah-pilah berdasarkan *grade* tertentu. Sedangkan stroberi organik biasanya langsung dipasarkan ke supermarket atau restoran dengan harga Rp. 50.000,-/Kg pada tingkat petani. Harga stroberi organik yang cukup tinggi mengakibatkan pendapatan yang diterima petani pun berlipat dibandingkan dengan stroberi non organik, meskipun hasil produksinya diasumsikan jauh berkurang. Hal ini menyebabkan banyak petani yang tertarik untuk mencoba membudidayakan stroberi organik.

Rata-rata perbedaan pendapatan diperoleh dari selisih antara usahatani organik dan non organik. Untuk mengetahui kelayakan usahatani, salah satunya dapat dilihat dari nilai R/C. R/C merupakan perbandingan antara penerimaan (*revenue*) dan biaya usahatani yang dikeluarkan (*cost*).

Kesimpulan

1. Sumber benih stroberi yang digunakan oleh petani di beberapa sentra produksi Jawa Barat memiliki kemiripan genetik sekitar 86% atau keragaman genetik sebesar 14% berdasarkan analisis molekular dengan menggunakan marka RAPD.
2. Pemberian nama varietas stroberi yang beredar di sejumlah sentra produksi Jawa Barat masih ditemukan beberapa dengan penamaan yang berbeda namun setelah diuji DNA dengan marka molekular RAPD ternyata memiliki kesamaan secara genetik.
3. Pertumbuhan benih stroberi *in vitro* masih memiliki resiko kematian yang tinggi akibat kontaminasi dalam tahap *in vitro* maupun pada saat aklimatisasi
4. Pembuatan pupuk organik, demplot pertanaman stroberi telah berhasil dilaksanakan oleh mitra kelompok tani secara mandiri, namun pembuatan ramuan pestisida alami masih perlu pembinaan berkelanjutan

5. Penggunaan 1-MCP (*1-Methylcyclopropene*) dapat memperpanjang masa simpan buah stroberi
6. Nilai R/C stroberi organik lebih besar dari stroberi non organik sehingga dapat disimpulkan bahwa usahatani stroberi organik lebih menguntungkan secara ekonomis dibandingkan stroberi non organik.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih diberikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan dana bagi kegiatan ini dengan Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Program Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor : 007/SP2H/KPM/DIT.LITABMAS/III/2012 Tanggal 6 Maret 2012

Referensi

- [1] MK. Biswas, Islam R., Hossain M. Micropropagation and Field Evaluation of Strawberry in Bangladesh. *Journal of Agric. Tech.* 4(1): 167-182, 2008
- [2] LW. Gunawan. Stroberi. Penebar Swadaya. Jakarta, 2000.
- [3] S. Budiman, dan D. Saraswati. Berkebun Stroberi secara Komersial. Penebar Swadaya. Jakarta, 2006.
- [4] S. Susanto. Pertumbuhan 11 aksesi stroberi yang dibudidayakan secara hidroponik. *Bul. Agron.* 31(2): 68-70, 2003.
- [5] AB Dongre, Bahndarkar M, Banerjee S. Genetic diversity in tetraploid and diploid cotton (*Gossypium spp.*) using ISSR and microsatellite DNA markers. *Indian J. Biotech.* 6 : 349-353, 2007.
- [6] DS Falconer. Introduction to Quantitative Genetic. Edenburg: Oliver and Boys, 1970.
- [7] R. Asiedu, Ter Kuile N, Mujeeb AK. Diagnostic Marker in Wheat Wide Crosses. In : A Muzeeb-Kaze and LA Stich Editor. Review of Advance in Plant Biotechnology, 1985-1988. 2nd International Symposium on Genetic Manipulation in Crops. CYMMIT. Mexico. p.293-299, 1989.
- [8] Yee E., Kidwell KK, Silis GR, Lumpkin TA. Diversity Among Selected *Vigna angularis* (Azuki) Accessions on the Basis of RAPD and AFLP Marker. *Crop Sci.* 39: 268-275, 1999.
- [9] JI. Zebrowska, Tyrka M. 2003. The use of RAPD markers for strawberry identification and genetic diversity studies. *Food, Agriculture & Environment.* Vol. 1(1): 115-117, 2003.
- [10] FJ. Rohlf. Ntsys-pc: Numerical Taxonomic and Multivariate Analysis System. Version 2.0. User Guide, Exeter Software. Exeter Publishing Co.Ltd, 1998.
- [11] E. Suminar, Murgayanti, Sobardini D. 2005. Mikropropagasi Tanaman Stroberi (*Fragaria x ananassa* Duch.) dalam Menunjang Program Pembenihan dengan Perlakuan Auksin dan Sitokinin. Laporan Penelitian DIPA Unpad.
- 12 E. Suminar, Harminianingrum A., Pitaloka G.G. Multiplikasi Tunas Stroberi Varietas Dorit secara *In Vitro*. Laporan Penelitian. Dana Mandiri, 2010.

APLIKASI KOMPOS DAUN GAMAL (*Gliricidia sepium*) DAN JENIS MULSA TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN SAWI HIJAU (*Brassica juncea* L.) VARIETAS TOSAKAN

Yati Setiati^{1, a)}, Ahmad Taofik^{1, b)} dan Fidril Syamsudin²⁾

¹Jurusan Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

² Alumni Jurusan Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung

^{a)}penulis yang berkorespondensi: yati.setiati@ymail.com

^{b)}taofikuin@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan aplikasi kompos daun gamal (*Gliricidia sepium*) dan jenis mulsa terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi hijau (*Brassica juncea* L.) varietas toskan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola Faktorial dengan empat kali ulangan yang terdiri atas dua faktor. Faktor pertama adalah berbagai dosis kompos daun gamal (k) terdiri atas tiga taraf ($k_0 = 0 \text{ t ha}^{-1}$, $k_1 = 10 \text{ t ha}^{-1}$ dan $k_2 = 20 \text{ t ha}^{-1}$). Faktor kedua adalah jenis mulsa (m) terdiri atas dua taraf ($m_1 =$ mulsa plastik hitam perak (MPHP) dan $m_2 =$ mulsa jerami). Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi 20 t ha^{-1} kompos gamal memberikan hasil paling baik pada tinggi tanaman, bobot segar, dan bobot kering tanaman sawi hijau.

Kata kunci: Kompos daun gamal, Jenis mulsa, pertumbuhan, sawi hijau.

Pendahuluan

Sawi hijau (*Brassica juncea* L.) merupakan sejenis sayuran yang mempunyai nilai ekonomis dan mampu dijangkau oleh semua kalangan masyarakat. Permintaan terhadap komoditas sawi hijau di Indonesia terus meningkat. Produksi tanaman sawi hijau di Jawa Barat mencapai 233,030 ton [1]. Pemanfaatan pupuk buatan dalam meningkatkan produksi sawi sudah biasa dilakukan oleh petani. Namun penggunaan pupuk buatan secara terus menerus dapat menyebabkan terjadi kerusakan tanah yang dapat menurunkan produksi tanaman. Salah satu solusi untuk mengurangi terjadinya kerusakan tanah dapat memanfaatkan bahan organik.

Penambahan bahan organik menggunakan kompos yang diaplikasikan ke tanah mampu memenuhi memperbaiki sifat tanah dan hasil produktivitas tanaman. Selain itu kompos juga mampu menyediakan unsur hara yang dapat diserap oleh tanaman, seperti kompos daun gamal. Tanaman gamal bisa dijadikan pupuk karena mampu mengikat nitrogen [2]. Potensi gamal sebagai sumber hara juga didukung oleh pertumbuhannya yang cepat dan mampu menekan pertumbuhan alang-alang yang merupakan saingan bagi tanaman [3]. Tanaman gamal segar mempunyai unsur C/N rendah yaitu 12,3, 15% N, 0,22% P, 2,65% K, 1,35% Ca dan 0,41% Mg yang menyebabkan mudahnya lapuk dalam proses pengomposan [4]. Produksi tanaman Sawi tidak hanya ditunjang oleh pemupukan saja, namun sawi dalam proses pertumbuhannya membutuhkan air yang cukup banyak

sehingga ketersediaan air disekitar tanaman harus selalu ada. Salah satu upaya dalam menjaga ketersediaan air dan kelembaban tanah pada produksi tanaman sawi dengan menggunakan mulsa.

Pemulsaan sangat berdampak positif dalam mempertahankan kondisi lingkungan tanah yang mampu menjamin pertumbuhan dan produksi tanaman yang optimal. Adanya mulsa di permukaan tanah mampu mengubah iklim mikroklimat disekitar tanaman sehingga mampu memperbaiki perkembangan tanaman. Mulsa mampu menekan pertumbuhan gulma, mereduksi penguapan, dan kecepatan air permukaan, sehingga kelembaban tanah dan persediaan air dapat terjaga [5]. Bahan mulsa yang dapat digunakan bisa berupa Mulsa Plastik Hitam Perak (MPHP) dan mulsa jerami.

Eksperimen

Penelitian ini dilakukan pada bulan September 2014–Oktober 2014 di Desa Cipetir, Kecamatan Kadudampit Kabupaten Sukabumi, Provinsi Jawa Barat, dengan ketinggian 700 m dpl. Prosedur pelaksanaan penelitian ini adalah: pengolahan lahan dilakukan dengan mencangkul dan memutar balikan tanah, kemudian dibuat bedengan 1m x 1m luas lahan 55 m². Pembuatan kompos yaitu dengan cara mencampurkan daun gamal, pupuk kandang kambing, dedak, gula, EM-4 di aduk sampai tercampur, kemudian tutup menggunakan terpal dan di bulak-balik selama 4 hari, kematangan kompos yaitu selama 21 hari, kemudian kompos di ayak dan di aplikasikan 2 minggu sebelum tanam dan 2 minggu setelah aplikasi pupuk dasar. Benih sawi disemai, kemudian dipindahkan lahan dengan jarak tanam 20x25 cm. pemasangan dan pembolongan mulsa diaplikasikan berbarengan dengan aplikasi kompos.

Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial dengan empat kali ulangan dan dua faktor perlakuan yaitu kompos (k) terdiri dari 3 taraf (k_0 = tanpa kompos, k_1 = 10 t ha⁻¹, k_2 = 20 t ha⁻¹) dan faktor mulsa (m) terdiri dari 2 taraf (m_1 = mulsa plastik hitam perak (MPHP), m_2 = mulsa jerami 5 t ha⁻¹). Parameter yang dimati adalah tinggi tanaman, bobot segar brangkas tanaman, dan bobot kering brangkas.

Hasil dan Diskusi

Tinggi Tanaman

Hasil analisis ragam menunjukkan tidak terjadi interaksi terhadap penggunaan kompos daun gamal dan jenis mulsa, namun jenis mulsa memberikan pengaruh mandiri terhadap tinggi tanaman umur 1 MST. Perlakuan kompos daun gamal memberikan pengaruh mandiri terhadap tinggi tanaman umur 2 dan 4 MST, sedangkan tanaman umur 3 MST tidak terdapat pengaruh dari kompos daun gamal dengan pakan kambing maupun jenis mulsa (Tabel 1).

Umur 2 MST dan 4 MST perlakuan kompos daun gamal dengan pakan kambing 20 t ha⁻¹ memberikan pengaruh paling baik (Tabel 1), perlakuan kompos 20 t ha⁻¹ memberikan suplai hara lebih optimal terhadap tinggi tanaman. Pertumbuhan tanaman akan ditentukan antara lain oleh unsur hara yang diserap oleh tanaman [6]. Keberadaan N mampu meningkatkan jumlah klorofil dan meningkatkan kegiatan fotosintesis tanaman, sehingga organ vegetatif tanaman menjadi lebih baik seperti meningkatnya tinggi tanaman [7].

Tabel 1. Pengaruh aplikasi kompos daun gamal dan mulsa terhadap rata-rata tinggi tanaman (cm) pada umur 2 dan 4 MST.

Perlakuan	Rata-rata tinggi tanaman (cm)	
	2 MST	4 MST
<i>Kompos</i>		
k_0	14,98 a	32,89 a
k_1	15,93 a	34,13 ab
k_2	18,93 b	35,61 b
<i>Mulsa</i>		
m_1	15,88 a	34,44 a
m_2	17,34 a	33,98 a

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Lanjut Duncan pada taraf nyata 5 %.

Bobot Segar Brangkas Tanaman

hasil tersebut diketahui bahwa tidak terjadi pengaruh interaksi antara dosis kompos dan jenis mulsa, tetapi perlakuan kompos daun gamal dengan pukan kambing memberikan pengaruh mandiri terhadap bobot brangkas tanaman pertanaman (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh aplikasi kompos daun gamal dan mulsa terhadap rata-rata bobot segar brangkas tanaman.

Perlakuan	Bobot Segar Brangkas Tanaman (g)
<i>kompos</i>	
k_0	99,90 a
k_1	141,10 b
k_2	175,71 c
<i>Mulsa</i>	
m_1	137,51 a
m_2	140,30 a

Keterangan : Angka rata-rata yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Lanjut Duncan pada taraf nyata 5 %.

Bobot segar brangkas tanaman dengan perlakuan dosis 20 t ha⁻¹ (k_2) Menghasilkan 175,71 g berbeda nyata dengan 10 t ha⁻¹ (k_1) dan tanpa kompos (k_0) (Tabel 6). Tanaman sawi hijau varietas toसान memiliki potensi produksi 150-200 g/tanaman sedangkan hasil penelitian [8] melaporkan bahwa berat segar tanaman sawi menghasilkan 130,55 g sampai 178,33 g. Bobot segar brangkas tanaman dapat menunjukkan aktivitas metabolisme tanaman dan nilai bobot segar brangkas tanaman dipengaruhi oleh kandungan air jaringan, unsur hara dan hasil tanaman [9].

Kompos daun gamal memiliki kandungan unsur N yang dapat mempengaruhi bobot segar tanaman sawi. Unsur N erat kaitannya dengan sintesis klorofil dan sintesis protein maupun enzim, berperan sebagai katalisator daun, dan fiksasi CO₂ yang dibutuhkan tanaman untuk fotosintesis [7].

Bobot segar tanaman menunjukkan kemampuan tanaman menyerap sinar matahari lebih banyak, maka akan meningkatkan proses fotosintesis yang menyebabkan meningkatnya bagian pertumbuhan tanaman dan ke bagian penyimpanan [10].

Bobot Kering per Tanaman

Berdasarkan hasil analisis ragam dapat diketahui bahwa tidak terjadi interaksi, tetapi menunjukkan mandiri terhadap perlakuan kompos daun gamal berpengaruh terhadap berat kering per tanaman (tabel 3).

Tabel 3. Pengaruh aplikasi kompos daun gamal dan mulsa terhadap rata-rata bobot Kering per tanaman.

Perlakuan	Berat Kering per Tanaman (g)
Kompos	
k ₀	6,11 a
k ₁	7,20 b
k ₂	8,13 b
Mulsa	
m ₁	7,10 a
m ₂	7,20 a

Keterangan : Nilai rata-rata pada tiap kolom yang ditandai dengan huruf yangsamamenunjukkan tidak berbeda nyata berdasarkan Uji Lanjut Duncan pada taraf nyata 5 %.

Berat kering menjadi taksiran yang konstan untuk menentukan pertumbuhannya, pertumbuhan tanaman ditunjukkan oleh bertambahnya ukuran dan berat kering yang diartikan dengan bertambahnya protoplasma yang terjadi karena bertambahnya ukuran sel, penimbunan hasil bersih dari proses fotosintesis atau asimilasi CO₂ sepanjang pertumbuhan tanaman yang berupa timbunan karbohidrat, timbunan lemak, timbunan protein, dan timbunan nutrisi lainnya.pertumbuhan dan hasil tanaman. Hal ini berarti tidak hanya daun yang berperan sebagai fotosintat, tetapi juga keseluruhan tubuh tanaman bekerjasama untuk menghasilkan bahan baru tanaman [7].

Kesimpulan

1. Tidak terjadi interaksi antara kompos daun gamal dan jenis mulsa terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman sawi hijau varietas tosan.
2. Kompos daun gamal 20 t ha⁻¹ (k₂) memberikan hasil yang paling baik terhadap tinggi tanaman, bobot segar, dan bobot kering tanaman Sawi varitas Tosakan. Namun tidak terdapat pengaruh mandiri pada mulsa.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Wakil dekan 1 fakultas sains dan teknologi, ketua jurusan, dan Sekretaris jurusan Agroteknologi atas dorongan dan motivasi yang diberikan kepada penulis. Serta Fidril Syamsudin sebagai alumni yang telah memberikan sumbangsih penelitiannya.

Referensi

- [1] Badan Pusat Statistik. 2013. [Diunggah pada 15 Mei 2014. Pukul 19.35 WIB].
- [2] Stewart, J.L., G.E. Allison dan A.J. Simons. 1996. *Gliricidia sepium*. Genetic resources forfarmers.Tropical Forest Paper. Oxford ForestInstitute, Department of Plant Science,University of Oxford.No. 33.
- [3] Anoka, U.A, I.O. Akobundu, and S.N.C. Okonkwo. 1991. Effects of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* on growth and deve-lopment of Imperata cylindrica. *Agroforestry System* 16: 1 – 12.
- [4] Ibrahim, B. 2001.Integrasi Jenis Tanaman Pohon Leguminosa Dalam SistemBudidaya Pangan Lahan Kering dan Pengaruhnya Terhadap Sifat Tanah.
- [5] Wardjito.2001. Pengaruh Penggunaan Mulsa Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Zucchini (*Cucurbitae pepo* L.). Jurnal Hortikultur. Vol. 11 No. 4:244, 2001.
- [6] Haryanto, S, Suhartini dan Rahaya. 2003. Sawi dan Selada. Penebar Swadaya. Jakarta.
- [7] Salisbury, F. B dan C. W. Ross. 1995. Fisiologi Tumbuhan. Institut Teknologi Bandung. Bandung
- [8] Samiati, Andi Bahrn dan La Ode Safuan. 2012. Pengaruh Takaran Mulsa Terhadap Pertumbuhan

- dan Produksi sawi (*Brassica juncea L.*). Unhalu.
- [9] Sitompul S.M dan Bambang Guritno. 1995. Analisis Pertumbuhan Tanaman. Gajah mada University Press.Yogyakarta.
- [10] Ainun M Multazam, Agus Suryanto dan Ninuk Herlina. 2014. Pengaruh Macam Pupuk Organik dan Mulsa Pada Tanaman Brokoli (*Brassica oleracea L. var. Italica*). Jawa Timur.

Efek Penambahan *Whey Protein Concentrate* Terhadap Beberapa Karakteristik Fisik dan Organoleptik Yogurt Susu Skim

Syamsul Huda^{1, a)}

¹*Mahasiswa Magister Program Studi Teknologi Agroindustri, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran*

^{a)}*penulis yang berkorespondensi: syamsulhuda304@gmail.com*

Abstrak

Diversifikasi produk olahan susu merupakan salah satu upaya meningkatkan konsumsi susu masyarakat Indonesia. Yogurt meningkat popularitasnya secara global dalam beberapa tahun terakhir karena alasan kesehatan. Gaya hidup yang lebih sehat memunculkan pandangan untuk mengurangi konsumsi lemak dalam konsumsi harian. Yogurt susu skim merupakan yogurt yang terbuat dari susu skim dan memiliki kandungan lemak yang rendah. Kandungan lemak yang rendah, mengakibatkan yogurt susu skim memiliki tekstur yang kurang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efek penambahan *whey protein concentrate* (WPC) pada yogurt susu skim terhadap beberapa karakteristik fisik meliputi *firmness* dan konsistensi yang dianalisis menggunakan uji t serta karakteristik organoleptik menggunakan uji hedonik meliputi warna, rasa, aroma, kekentalan, dan kenampakan keseluruhan. Perlakuan yang diujikan terdiri dari 5 sampel yaitu yogurt kontrol yang terbuat dari susu segar dan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 0,75%, 1%, 1,25%, dan 1,5%. Penambahan WPC mulai dari konsentrasi 1% memberikan *firmness* yang nyata lebih tinggi dibandingkan yogurt kontrol. Konsistensi yogurt dengan penambahan WPC mulai dari konsentrasi 0,75% memberikan nilai yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan yogurt kontrol. Persentase penerimaan panelis tertinggi pada warna, aroma, dan kenampakan keseluruhan ditunjukkan oleh perlakuan penambahan WPC 1%, sedangkan pada rasa dan kekentalan ditunjukkan oleh perlakuan yogurt kontrol dan penambahan WPC 1,25%.

Kata kunci: yogurt susu skim, *whey protein concentrate*, *firmness*, konsistensi, organoleptik.

Pendahuluan

Konsumsi susu masyarakat Indonesia tergolong rendah dibandingkan negara Asean lainnya [1]. Diversifikasi produk olahan susu merupakan salah satu upaya meningkatkan konsumsi susu masyarakat Indonesia. Yogurt merupakan salah satu produk olahan susu yang meningkat popularitasnya di mata konsumen secara global dalam beberapa tahun terakhir karena alasan kesehatan. Kesadaran untuk menjalankan gaya hidup yang lebih sehat memunculkan pandangan untuk mengurangi konsumsi lemak, garam, dan gula dalam konsumsi harian. Yogurt susu skim merupakan yogurt yang terbuat dari susu skim dan memiliki kandungan lemak yang rendah. Kandungan lemak yang rendah berpengaruh terhadap berkurangnya jumlah total padatan pada

yogurt sehingga mengakibatkan yogurt susu skim memiliki tekstur yang kurang baik. Kandungan total padatan bukan lemak minimal pada yogurt menurut SNI 2981: 2009 adalah 8,2%.

Usaha untuk mengganti lemak yang hilang tersebut umumnya dilakukan dengan menambahkan *skim milk powder* (SMP). Penambahan SMP hingga mencapai total padatan yang hampir sama dengan yogurt lemak penuh memberikan tekstur yang kasar dan pengembangan asam yang berlebih dari fermentasi laktosa (Gonzalez dkk dalam [2]). Upaya potensial untuk memperbaiki karakteristik yogurt susu skim adalah dengan menggunakan bahan tambahan berbasah baku susu seperti whey protein concentrate (WPC). Menurut Smith [3] WPC dihasilkan dari pengeringan cairan whey segar dimana whey merupakan produk samping (*by-product*) dari proses pengolahan keju yang telah dipasteurisasi dan telah dilakukan pemurnian konstituen non-protein serta produk akhirnya mengandung minimal 25% protein. Fungsi utama WPC adalah gelasi, pengikat air, meningkatkan viskositas, dan emulsifikasi [4]. Penggunaan WPC pada yogurt dengan lemak penuh memiliki aplikasi terbatas pada kisaran 1-2%. Hal ini disebabkan karena pada level penambahan yang tinggi memunculkan *flavor* whey yang kurang disukai, menimbulkan penerimaan sensori tekstur yang kasar, dan mengurangi tingkat kecerahan pada yogurt [5] (Tomaschunas dkk, 2012 dalam [6]). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi efek penambahan *whey protein concentrate* (WPC) pada yogurt susu skim terhadap beberapa karakteristik fisik meliputi *firmness* dan konsistensi serta karakteristik organoleptik.

Eksperimen

Percobaan dilakukan menggunakan metode eksperimen deskriptif terhadap 5 sampel yaitu: Yogurt kontrol dari susu segar (YS); Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 0,75% (YWPC_{0,75}); Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1% (YWPC₁); Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1,25% (YWPC_{1,25}) dan; Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1,5% (YWPC_{1,5}). Karakteristik fisik meliputi *firmness* dan konsistensi diuji sebanyak 3 kali. Setelah diperoleh data, dilanjutkan dengan melakukan uji t untuk melihat perbedaan tiap sampel yang dijelaskan secara deskriptif. Uji organoleptik yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji hedonik menggunakan 5 skala hedonik.

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah: susu sapi segar yang berasal dari Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran, WPC 80% produksi Saputo Cheese USA, dan starter yoghurt *Lactobacillus bulgaricus* dan *Streptococcus thermophilus* hasil propagasi starter kering beku produksi Lactina Ltd Bulgaria.

Prosedur pembuatan yogurt susu skim dijelaskan sebagai berikut: Susu sapi segar dipisahkan bagian krimnya menggunakan *cream separator* sehingga didapatkan susu skim. Selanjutnya, dilakukan penambahan *skim milk powder* (3%) pada suhu 45°C dan kemudian dibagi ke dalam 4 bagian untuk ditambahkan WPC sesuai perlakuan yaitu 0,75%, 1%, 1,25%, dan 1,5%, sedangkan 1 perlakuan lainnya yaitu berasal dari susu segar langsung. Setelah dilakukan pengadukan sampai homogen, susu kemudian dipasteurisasi pada suhu 85°C selama 30 menit. Selanjutnya, susu diturunkan suhunya sampai 45°C, inokulasi starter yogurt (4%) menggunakan 2 bakteri yaitu *S. thermophilus* dan *L. bulgaricus* dilakukan pada suhu 42°C dalam cup plastik dan dilakukan inkubasi pada suhu 42°C selama 4 jam. Setelah inkubasi selesai, sampel kemudian disimpan dalam *refrigerator* untuk menghentikan proses fermentasi dan disimpan melewati satu malam pada suhu 4±1°C, selanjutnya pengujian sampel dapat dimulai.

Analisis tekstur yogurt dengan Texture Analyzer TAXT Express [7]

Tekstur sampel diukur dengan alat Texture Analyzer TAXT (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK) menggunakan *profile* yogurt *back-extrusion*. Pengujian dilakukan melalui penetrasi probe silinder berdiameter 1 cm ke dalam sampel cup yogurt. Seluruh pengukuran dilakukan segera setelah sampel keluar dari *refrigerator*. Kecepatan probe pada saat pengujian diatur 1 mm/s, gaya pemicu 0,01 N dan masuk ke dalam sampel dengan kedalaman 10 mm. Setelah probe mencapai kedalaman maksimum, probe akan bergerak keluar dari sampel sehingga respon yang diberikan sampel akan terbaca melalui grafik yang terbentuk. Parameter yang diukur dari pengujian ini yaitu *firmness* dan konsistensi.

Uji Organoleptik dengan uji Hedonik [8]

Pengujian organoleptik dengan uji hedonik adalah cara pengujian dengan menggunakan indera manusia sebagai alat untuk mengukur tingkat kesukaan terhadap makanan. Tujuannya untuk menentukan nilai kesukaan panelis terhadap produk yang dihasilkan. Metode pengujian yang digunakan adalah uji hedonik oleh 15 panelis mahasiswa jurusan Teknologi Industri Pangan, Universitas Padjadjaran. Parameter yang diuji meliputi warna, rasa, aroma, kekentalan, dan kenampakan keseluruhan. Sampel disajikan secara acak dan panelis diminta pendapatnya tentang sampel yang diuji sesuai dengan skala hedonik yang ditentukan yaitu suka (5), agak suka (4), biasa (3), kurang suka (2), dan tidak suka (1). Persentase penerimaan panelis dihitung berdasarkan persentase panelis yang memberikan kriteria agak suka (4) dan suka (5)

Hasil dan Diskusi

Karakteristik Fisik

Firmness merupakan salah satu faktor utama dalam penilaian karakteristik fisik yogurt, *firmness* digunakan untuk mengukur gaya maksimum bahan pada deformasi tertentu (Li dan Yang, 2010 dalam [7]). Efek penambahan WPC terhadap *firmness* yogurt susu skim disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Firmness Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Perlakuan	<i>Firmness</i> (g)
YS	16,395 ^c
YWPC _{0,75}	18,377 ^{bc}
YWPC ₁	19,349 ^b
YWPC _{1,25}	21,852 ^a
YWPC _{1,5}	20,301 ^{ab}

Ket: YS: Yogurt dari susu segar; YWPC_{0,75}: susu skim + SMP 3% +WPC 0,75% ; YWPC₁: susu skim + SMP 3% + WPC 1% ; YWPC_{1,25}: susu skim + SMP 3% + WPC 1,25%; YWPC_{1,5}: susu skim + SMP 3% + WPC 1,5%.

*Angka yang ditandai huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji t pada taraf 5%.

Penambahan WPC sebanyak 0,75% belum mampu memberikan *firmness* yang berbeda nyata dengan yogurt kontrol yang terbuat dari susu segar. Konsentrasi penambahan WPC mulai dari 1% mampu memberikan *firmness* yang nyata lebih tinggi dibandingkan yogurt kontrol. Yogurt dengan penambahan WPC 1,25% memiliki *firmness* tertinggi dan tidak berbeda nyata dengan perlakuan penambahan WPC 1,50%.

Proses evaporasi dan penambahan *skim milk powder* (SMP) akan meningkatkan kandungan kasein dalam bahan baku susu dan turut meningkatkan jumlah total padatan yang dapat memengaruhi tekstur yogurt [10]. Matriks pada yogurt tersusun dari partikel kasein sehingga

peningkatan kandungan kasein berpengaruh secara langsung pada perbaikan tekstur yogurt. Peningkatan kandungan whey protein melalui penambahan WPC dan penurunan rasio kasein terhadap whey protein dapat meningkatkan *firmness* yogurt jika dilakukan perlakuan pemanasan dimana diperlukan untuk mendenaturasi whey protein agar terjadi ikatan dengan misel kasein (Lucey dan Singh, 1997 dalam [9]). Pemanasan susu pada suhu 85°C selama 30 menit memberi kecukupan denaturasi whey protein yang menyebabkan perubahan utama pada karakteristik pembentukan gel. Whey protein yang terdenaturasi dapat meningkatkan fraksi volume protein yang teragregasi. Pemanasan juga dapat mengubah jumlah dan jenis ikatan antara partikel protein sehingga dapat meningkatkan tekstur yogurt [11].

Konsistensi yogurt susu skim dengan penambahan WPC disajikan pada Tabel 2. Penambahan WPC pada yogurt susu skim mulai dari konsentrasi 0,75% memberikan nilai yang nyata lebih tinggi dibandingkan yogurt kontrol yang terbuat dari susu segar. Sampel yogurt kontrol memiliki konsistensi terendah, sedangkan konsistensi tertinggi dimiliki sampel yogurt dengan penambahan WPC 1,25%.

Tabel 2. Konsistensi Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Perlakuan	Consistency (g/sec)
YS	133,113 ^e
YWPC0,75%	138.095 ^d
YWPC1,00%	154.912 ^{cd}
YWPC1,25%	171.773 ^a
YWPC1,50%	158.755 ^{bc}

Ket: YS: Yogurt dari susu segar; YWPC_{0,75}: susu skim + SMP 3% +WPC 0,75% ; YWPC₁: susu skim + SMP 3% + WPC 1% ; YWPC_{1,25}: susu skim + SMP 3% + WPC 1,25%; YWPC_{1,5}: susu skim + SMP 3% + WPC 1,5%.

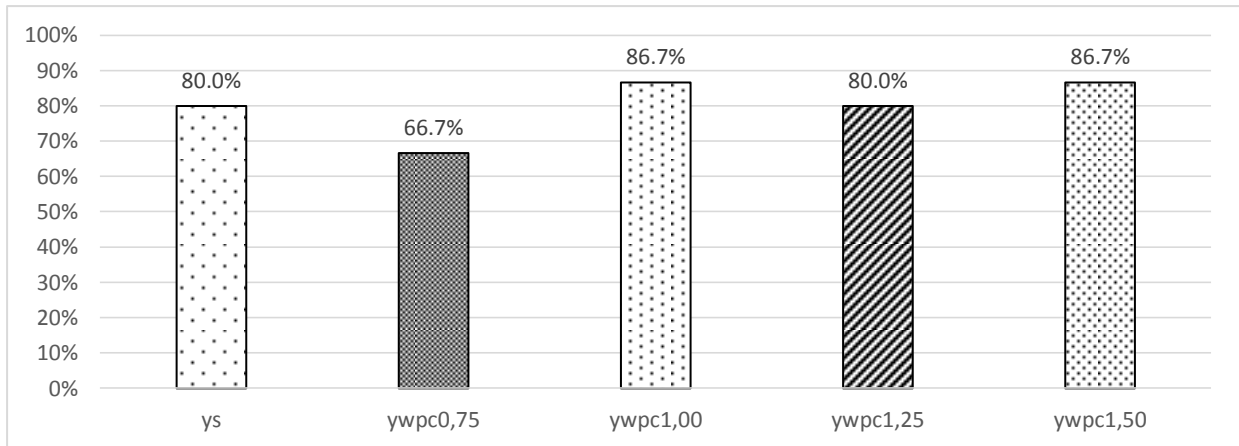
*Angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata menurut uji t pada taraf 5%.

Penambahan protein termasuk di dalamnya jenis protein dan perlakuan pemanasan adalah faktor utama yang dapat menentukan karakteristik tekstural yogurt [12]. Berdasarkan tabel di atas, peningkatan kandungan protein melalui penambahan SMP dan WPC mampu memperbaiki konsistensi yogurt susu skim. Hal ini sejalan dengan Lucey [11] yang menyatakan bahwa penambahan konsentrasi protein yang lebih tinggi menghasilkan kemampuan pembentukan struktur yogurt yang lebih baik sehingga dapat diketahui bahwa protein memiliki peran penting dalam pembentukan koagulum yogurt. Rasic dan Kurman [13] menjelaskan bahwa penambahan SMP dan pemekatan susu lewat evaporasi sebanyak 10-15% mampu memperbaiki konsistensi yogurt. Pada proses pasteurisasi terjadi evaporasi (penguapan) air sehingga dapat meningkatkan kandungan padatan dari komponen susu dan berdampak terhadap perbaikan konsistensi yogurt yang dihasilkan [11]. Menurut Akalin dkk [12] WPC lebih efektif dalam meningkatkan konsistensi yogurt dibandingkan SMP dalam total padatan yogurt yang sama.

Karakteristik Organoleptik

A. Warna

Penentuan mutu bahan makanan pada umumnya sangat bergantung pada beberapa faktor diantaranya citarasa, warna, tekstur, dan nilai gizinya, Namun, warna biasanya menjadi faktor pertama yang dilihat konsumen dalam memilih suatu produk pangan [14]. Persentase penerimaan panelis terhadap warna yogurt yang dihasilkan disajikan pada Gambar 1.

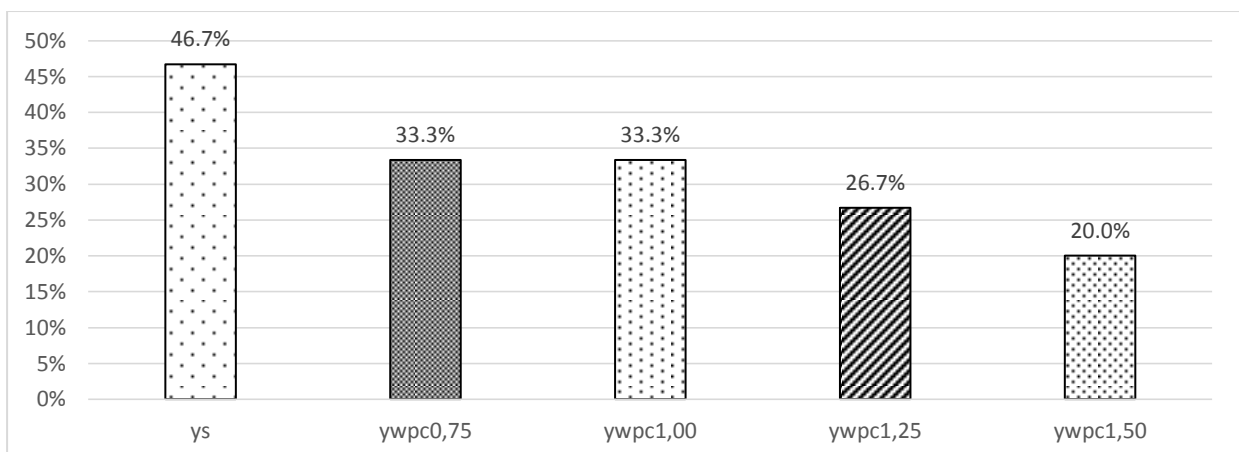


Gambar 1. Persentase Penerimaan Panelis Terhadap Warna Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Hasil uji hedonik menunjukkan warna yogurt yang terbuat dari susu segar memiliki modus 4 (agak suka), sedangkan semua sampel yogurt susu skim dengan penambahan WPC memiliki modus 5 (suka). Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1% dan 1,5% mendapatkan persentase penerimaan panelis terhadap warna yogurt tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Yogurt dengan konsentrasi lemak yang lebih tinggi akan lebih berwarna kekuningan akibat adanya pigment karoten dan xantofil yang larut dalam lemak [5], sedangkan pada yogurt susu skim memiliki kandungan lemak yang rendah sehingga menghasilkan warna yang lebih putih yaitu putih susu. Warna putih susu merupakan warna yogurt yang umumnya dijumpai di pasaran, hal ini yang menyebabkan yogurt susu skim dengan penambahan WPC1% dan 1,5% lebih diterima oleh panelis.

B. Rasa

Rasa merupakan campuran dari tanggapan cicip dan bau. Menurut Winarno [14] rasa dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu senyawa kimia, suhu, konsentrasi, dan interaksi dengan komponen rasa yang lain. Persentase penerimaan panelis terhadap rasa yogurt yang dihasilkan disajikan pada Gambar 2.

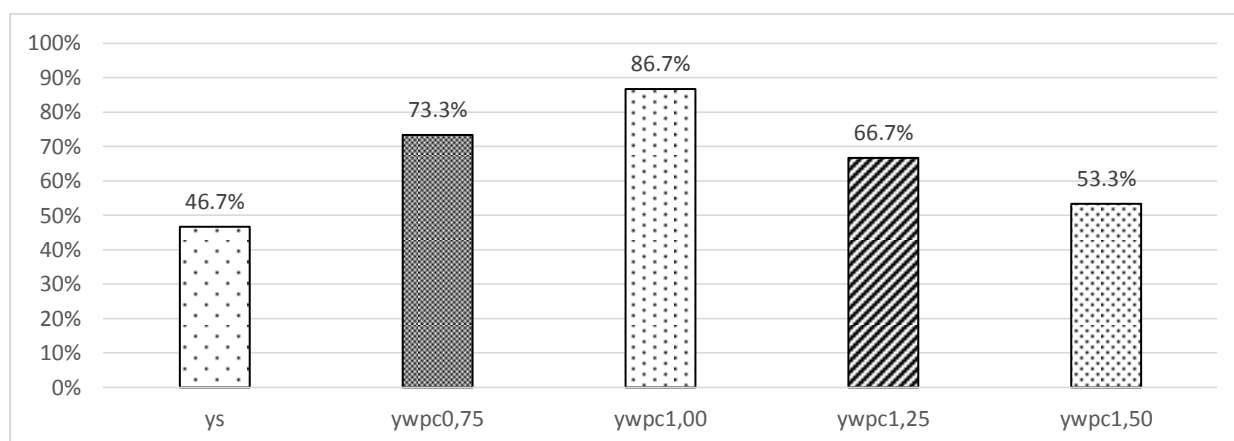


Gambar 2. Persentase Penerimaan Panelis Terhadap Rasa Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Hasil uji hedonik menunjukkan rasa yogurt yang terbuat dari susu segar memiliki modus 4 (agak suka), sedangkan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 0,75%, 1%, dan 1,25% memiliki modus 2 (kurang suka) dan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1,5% memiliki modus 1 (tidak suka). Yogurt yang terbuat dari susu segar memiliki persentase penerimaan panelis terhadap rasa yogurt lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yogurt susu skim yang ditambahkan WPC. Penambahan WPC sebanyak 1,5% mendapatkan penerimaan panelis terendah dibandingkan perlakuan lainnya. Pada pengujian organoleptik ini, sampel yang disajikan adalah yogurt *plain* (tawar) tanpa penambahan pemanis lainnya. Menurut Chandan [5] rasa asam pada yogurt dapat sedikit tertutupi dengan kehadiran lemak sehingga dapat memengaruhi tingkat kesukaan panelis.

C. Aroma

Citarasa bahan makanan terdiri dari tiga komponen yaitu bau, rasa, dan rangsangan mulut. Aroma atau bau suatu makanan banyak menentukan kelezatan makanan tersebut. Pada umumnya bau yang diterima oleh hidung dan otak lebih banyak merupakan berbagai ramuan atau campuran empat bau utama yaitu harum, asam, tengik, dan hangus [14]. Persentase penerimaan panelis terhadap aroma yogurt yang dihasilkan disajikan pada Gambar 3.

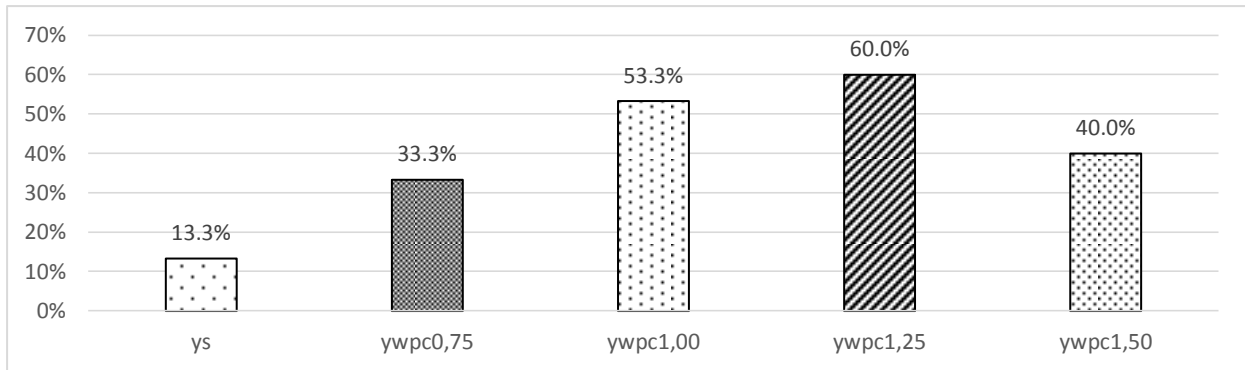


Gambar 3. Persentase Penerimaan Panelis Terhadap Aroma Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Hasil uji hedonik menunjukkan aroma semua sampel yogurt yang diujikan memiliki modus 4 (agak suka). Persentase penerimaan panelis tertinggi terhadap aroma yogurt yang dihasilkan dimiliki sampel yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1%. Komponen *flavor* (aroma) pada yogurt terdiri dari 4 kategori utama, yaitu: asam-asam non-volatil (asam laktat, asam piruvat), asam-asam volatil (asam asetat, asam propionat atau butirrat, dan asam format), komponen-komponen karbonil (aseton, asetaldehid, asetoin, dan diasetil) dan komponen lainnya seperti asam amino [15].

D. Kekentalan

Tingkat kekentalan yogurt akan memengaruhi tekstur yogurt yang dihasilkan dan tentunya akan memengaruhi daya penerimaan konsumen terhadap produk. Persentase penerimaan panelis terhadap kekentalan yogurt yang dihasilkan disajikan pada Gambar 4.

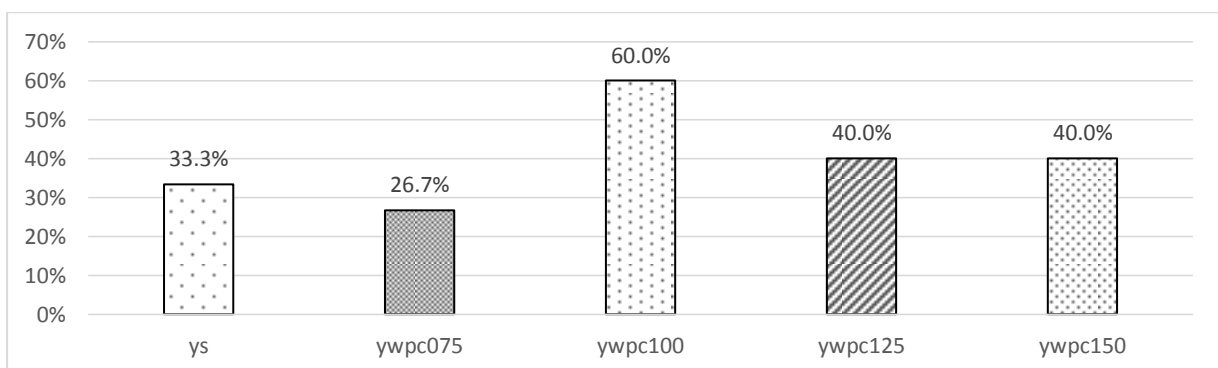


Gambar 4. Persentase Penerimaan Panelis Terhadap Kekentalan Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Hasil uji hedonik menunjukkan kekentalan yogurt yang terbuat dari susu segar dan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 0,75% memiliki modus yang sama yaitu 3 (biasa), sedangkan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1%, dan 1,25% memiliki modus 4 (agak suka) dan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1,5% memiliki dua modus yaitu 3 (biasa) dan 4 (agak suka). Persentase penerimaan panelis tertinggi terhadap kekentalan yogurt yang dihasilkan dimiliki sampel yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1%, sedangkan yang terendah dimiliki sampel yogurt yang terbuat dari susu segar. Penambahan WPC pada yogurt susu skim mendorong lebih banyak pembentukan jaringan protein yang tersusun terutama oleh ikatan misel kasein sehingga memiliki struktur yang lebih kuat dibandingkan dengan yogurt yang terbuat dari susu segar dimana misel kasein banyak yang terikat dengan globula lemak yang kemudian berperan sebagai penguat struktur jaringan protein dalam yogurt (Sandoval Castilla, 2004).

E. Kenampakan Keseluruhan

Nilai kenampakan keseluruhan merupakan penilaian panelis secara visual terhadap sampel yogurt yang disajikan termasuk warna dan kekentalan. Persentase penerimaan panelis terhadap kenampakan keseluruhan yogurt yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Persentase Penerimaan Panelis Terhadap Kenampakan Keseluruhan Yogurt Susu Skim dengan Penambahan Konsentrasi WPC yang Berbeda

Hasil uji hedonik menunjukkan kenampakan keseluruhan semua sampel yogurt yang diujikan memiliki modus 3 (biasa). Persentase penerimaan panelis tertinggi terhadap kenampakan keseluruhan yogurt yang dihasilkan dimiliki sampel yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1%, sedangkan yang terendah dimiliki sampel yogurt susu skim dengan penambahan WPC 0,75%. Yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1% memiliki warna yang lebih putih dibandingkan yogurt dari

susu segar karena kandungan lemaknya yang rendah dan memiliki kekentalan yang baik sehingga mendapat penerimaan panelis tertinggi. Penambahan WPC dalam pembuatan yogurt dapat meningkatkan kapasitas pengikatan air dan fraksi volume protein yang teragregasi, agregat protein terbentuk dari interaksi antara misel kasein dan whey protein yang terdenaturasi melalui ikatan disulfida intermolekular yang hadir selama tahap awal koagulasi [9].

Kesimpulan

Penambahan WPC pada yogurt susu skim mulai dari konsentrasi 1% memberikan *firmness* yang nyata lebih tinggi dibandingkan yogurt kontrol yang terbuat dari susu segar. Konsistensi yogurt susu skim dengan penambahan WPC mulai dari konsentrasi 0,75% memberikan nilai yang nyata lebih tinggi dibandingkan dengan yogurt kontrol yang terbuat dari susu segar. Persentase penerimaan panelis tertinggi pada warna, aroma, dan kenampakan keseluruhan ditunjukkan oleh perlakuan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1%, sedangkan pada rasa dan kekentalan masing-masing ditunjukkan oleh perlakuan yogurt kontrol dan yogurt susu skim dengan penambahan WPC 1,25%.

Referensi

- [1] Wright. T dan Meylinah. S, "Dairy and Products Annual: Indonesia Dairy Annual 2013. Global Agricultural Information Network, USDA Foreign Agricultural Service. 2013
- [2] Sandoval-Castilla. O, C. Lobato-Calleros. E, Aguieree-Mandujano, dan E. K. Vernon-Carter. "Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers", *Int. Dairy J.* 14:151-159, 2004
- [3] Smith, "Dried Dairy Ingredient", Wisconsin Center for Dairy Research, Madison, 2008
- [4] Jonson. B.R, "Whey protein concentrates in low-fat applications", U.S. Dairy Export Council, 2002
- [5] Chandan, "Manufacturing Yogurt and Fermented Milks", Blackwell Publishing, USA, 2006
- [6] Krzeminski. A, Prell. K, Stockfisch. M., Weiss. J, Hinrichs. J, "Whey protein-pectin complexes as new texturising elements in fat-reduced yoghurt systems", *International Dairy Journal* 36 (2014) 118-127, 2014.
- [7] Karaca. O. B, Saydam I. B, Kahyaoglu. T, Unal. E, Erginkaya. Z, Guven. M, "Textural Properties and survival of *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* of probiotic set yogurts produced by prebiotic stabilizers and different molasses types", 2013
- [8] Soekarto. S.T, "Penilaian Organoleptik untuk Industri Pangan dan Hasil Pertanian", Penerbit Bharata karya Aksara, Jakarta, 1985.
- [9] Lucey. J.A, Munro. P.A, dan Singh, H. "Effects of heat treatment and whey protein addition on the rheological properties and structure of acid skim gels", *International Dairy Journal*, 9(4), 275-279, 1999.
- [10] Walstra. P, "Dairy Science and Technology", Taylor and Francis USA, 2006
- [11] Lucey. J.A, "Cultured dairy products: an overview of their gelation and texture properties", *International Journal of Dairy Technology*, Vol 57, No 2/3. 2004
- [12] Akalin. S, G. Unai, N. Dinkci, dan A. Hayaloglut. "Microstructural, textural, and sensory characteristic of probiotic yogurts fortified with sodium calcium caseinate or whey protein concentrate", *Journal of Dairy Science* Vol. 95 No 7, 2012.
- [13] Rasic dan Kurman, "Yoghurt: Scientific Grounds, Technology, Manufacture, and Preparations", Technical Dairy Publishing House, Denmark, 1978
- [14] Winarno. F.G, "Kimia Pangan dan Gizi", PT Gramedia, Jakarta, 2002
- [15] Tamime. A.Y, dan R.K. Robinson, "Yoghurt: Science and Technology. 2nd edition", CRC Press, Boca Raton, FL. 2000

Penampilan Hasil 30 Genotip Harapan Kacang Bambara (*Vigna subterranea* L.) Asal Jawa Barat

Enceng Sobari^{1, a)}, Meddy Rachmadi^{2, b)} dan Noladhi Wicaksana^{2, c)}

¹Program Studi Magister Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor Sumedang 45363

²Laboratorium Pemuliaan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jl. Raya Bandung-Sumedang Km. 21 Jatinangor Sumedang 45363

^{a)}penulis yang berkorespondensi: ncesobari@gmail.com

^{b)} meddyrachmadi@yahoo.com ^{c)} noladhi@yahoo.com

Abstrak

Potensi tanaman lokal di Indonesia sebagai bahan konsumsi pangan berbasis sumber daya lokal memiliki peranan penting, khususnya pada komoditas kacang-kacangan yang merupakan sumber protein yang dibutuhkan masyarakat. Kacang bambara (*Vigna subterranea* L.), merupakan salah satu tanaman liar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan alternatif dan memiliki kandungan protein cukup tinggi. Laboratorium Pemuliaan Tanaman Unpad memiliki koleksi lebih dari 300 aksesi kacang bambara lokal hasil eksplorasi di wilayah Jawa Barat. Beragamnya galur lokal tersebut mempunyai potensi untuk dikembangkan. Tujuan penelitian ialah untuk mengetahui penampilan tanaman yang memiliki daya hasil tinggi pada kacang bambara lokal Jawa Barat. Percobaan dilakukan di kebun percobaan Fakultas Pertanian Unpad di Ciparanje di Jatinangor, dimulai bulan september 2014 sampai dengan bulan Februari 2015 menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) dengan dua kali ulangan. Genotip yang ditanam sebanyak 30 genotip yang merupakan varietas lokal asal dari Bandung, Tasikmalaya, Garut, Sumedang, Bogor, dan Majalengka. Karakter yang diamati adalah bobot basah polong per tanaman, dan bobot kering polong per tanaman, bobot per plot. Hasil penelitian menunjukkan terdapat genotip yang memiliki potensi hasil yang tinggi.

Kata kunci : kacang bambara, penampilan, daya hasil

Pendahuluan

Diversifikasi pangan merupakan strategi pemerintah dalam menghadapi kerawanan pangan saat ini. Hal tersebut dinyatakan dalam Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 22 dan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 43 tahun 2009 tentang gerakan percepatan penganekaragaman konsumsi pangan berbasis sumber daya lokal. Salah satunya adalah dengan meningkatkan potensi tanaman lokal di Indonesia sebagai bahan pangan konsumsi berbasis sumber daya lokal khususnya pada komoditas kacang-kacangan yang merupakan sumber protein yang dibutuhkan masyarakat.

Kacang bambara (*Vigna subterranea*), merupakan salah satu tanaman liar yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pangan alternatif dan memiliki kandungan protein cukup tinggi berkisar 16-21% [1]. Tanaman ini berasal dari Afrika yang menyebar luas ke kawasan Amerika, Asia, dan Australia [2]. Penanaman kacang bambara banyak ditemukan di Jawa Barat, Banten, dan Pesisir

utara Jawa Timur serta budidaya kacang bambara di kota Bogor yang menyebabkan tanaman ini sering disebut kacang Bogor [3].

Selain itu kacang bambara dapat tumbuh dilahan marginal, terutama lahan dengan ketersediaan air dan unsur hara yang sedikit sehingga tanaman ini memiliki adaptasi dan keragaman yang tinggi, serta salah satu varietas lokal yang memegang peranan penting sebagai sumber plasma nutfah [4]. Masalah utama yang dihadapi dari kacang bambara saat ini adalah umurnya yang panjang, sehingga kurang diminati oleh petani dan kurang dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai salah satu bahan pangan [2]. Hal ini berdampak pada kurangnya penelitian mengenai kacang bambara, karena dinilai kurang komersial [1].

Menurut [5] galur lokal kacang bambara memiliki potensi untuk dikembangkan karena mempunyai peranan penting dalam program pemuliaan tanaman. Diantaranya untuk perbaikan varietas unggul yang memiliki penampilan sesuai harapan dan daya hasil yang tinggi [6]. Laboratorium Pemuliaan Tanaman Unpad sudah mengkoleksi lebih dari 300 aksesori kacang bambara lokal hasil eksplorasi di beberapa wilayah di Jawa Barat. Galur lokal tersebut memiliki banyak keragaman dan berpotensi untuk dikembangkan secara luas. Mengetahui karakteristik penampilan hasil kacang bambara asal Jawa Barat merupakan studi yang penting dilakukan untuk mengetahui karakter-karakter penampilan suatu tanaman yang berpotensi terhadap hasil. Adapun karakter yang diamati diantaranya adalah bobot basah polong per tanaman, dan bobot kering polong per tanaman, dan bobot per plot.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui daya hasil kacang bambara asal Jawa Barat berdasarkan karakter penampilan hasil.

Teori dan Eksperimen

Penelitian dilakukan di Universitas Padjadjaran di kebun percobaan Ciparanje, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat, pada bulan September 2014 sampai dengan Februari 2015. Lokasi tersebut berada pada ketinggian 753 m di atas permukaan laut (dpl), memiliki tipe iklim C menurut Schmidt-Fergusson (1951). Percobaan ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK), dengan dua kali ulangan. Perlakuan terdiri dari 30 Genotip kacang bambara asal Jawa Barat yang masing-masing genotip di tanam pada plot persegi empat berukuran 4 x 4 meter, jarak antar plot 60 cm. Jarak tanam yang digunakan dalam barisan 30 cm dan antar barisan di dalam plot 40 cm. Penanaman menggunakan satu benih untuk setiap lubang tanam, sehingga pada tiap plot terdapat 50 tanaman.

Karakter pengamatan pada percobaan ini terdiri dari bobot basah polong per tanaman, dan bobot kering polong per tanaman, dan bobot per plot. Analisis data model matematika yang tepat untuk rancangan acak kelompok menurut Gaspersz [7] adalah :

$$Y_{ij} = \mu + g_i + r_j + \sigma_{ij}$$

dimana:

- Y_{ij} = Nilai pengamatan pada genotip ke-i dan ulangan ke-j
- μ = Nilai tengah pengamatan karakter yang diamati
- g_i = Pengaruh dari perlakuan genotip ke-i
- r_j = Pengaruh dari ulangan ke-j
- σ_{ij} = Pengaruh galat percobaan dari genotip ke-i pada ulangan ke-j
- i = Genotip (1,2,3,...,30)
- j = Ulangan (1,2)

Berdasarkan model linier tersebut analisis varians pada uji taraf 5 % adalah sebagai berikut [8] :

Tabel 1. Analisis Varian

Sumber Ragam	DB	JK	KT	F hitung	F. Tabel
Ulangan	r-1	JKu	Ktu	KTu/KTgalat	
Genotip	g-1	JKg	KTg	KTg/KTgalat	
Galat	(r-1)(g-1)	JKgalat	KTgalat		
Total	r(g-1)				

Keterangan : r = ulangan, g = perlakuan, db = derajat bebas, KT= kuadrat tengah

Berdasarkan tabel analisis varian, selanjutnya lakukan uji hipotesis untuk membandingkan F Hitung dengan F Tabel. Kaidah keputusan yang diambil adalah Jika F Hitung > F Tabel pada taraf 1% ($\alpha = 0,01$), perbedaan diantara nilai tengah perlakuan, maka dikatakan berbeda sangat nyata. Jika F Hitung > F Tabel pada taraf 5% ($\alpha = 0,05$) tetapi lebih kecil daripada F Tabel pada taraf 1%, dikatakan berbeda nyata. Dan jika F Hitung \leq F Tabel pada taraf 5% ($\alpha = 0,05$), sehingga perbedaan diantara nilai tengah perlakuan dikatakan tidak nyata. Apabila terdapat perbedaan yang nyata, untuk menentukan genotip yang berpenampilan lebih baik dari pembanding, maka pengujian dilanjutkan dengan uji *Least Significant Increase* (LSI) (Petersen, 1994) yaitu ;

$$LSI = t_{\alpha} \frac{\sqrt{2MSE}}{n}$$

Dimana ; t_{α} = Nilai t-tabel satu arah pada taraf 5% untuk db galat yang ditampilkan pada analisis ragam

n = Banyaknya Ulangan

MSE = Varians error dari tabel anova/ kuadrat tengah galat

Jika nilai rata-rata varietas genotip \bar{Y}_c lebih besar dari $\bar{Y}_c + LSI$ maka dinyatakan berbeda nyata dengan cek.

Hasil dan Diskusi

Ringkasan penelitian setelah tanaman dipanen pada umur 5 bulan setelah tanam. Maka dari hasil penelitian karakter yang berkaitan dengan bobot polong per tanaman, bobot kering per tanaman dan bobot per plot tidak menunjukkan adanya perbedaan penampilan hasil pada 30 kacang bambara berdasarkan analisis varians pada Tabel 1.

Tabel 1. Analisis Varians Karakter Penampilan Hasil Kacang Bambara

Sumber ragam	db	Bobot Basah Polong (grm)	Bobot Kering Polong (grm)	Bobot Per Plot (grm)
Ulangan	1	29.336 *	3.147 *	12.489 *
Genotip	29	1.097 ^{tn}	0.964 ^{tn}	1.205 ^{tn}
Error	29	2145.931	333.362	213853.103

Keterangan : * berbeda nyata dan ^{tn} tidak berbeda nyata pada uji F 5%

Hal tersebut dapat dikatakan bahwa, suatu penampilan khusus pada genotip tertentu pada kacang bambara belum tentu menunjukkan tanaman tersebut memiliki hasil yang tinggi maupun hasil yang rendah, sebab pengaruh tinggi dan rendahnya suatu hasil tergantung pada faktor lingkungan yang mempengaruhi. Menurut Baihaki [9] menyatakan bahwa genotip tanaman akan berinteraksi

dengan lingkungan tumbuhnya, besar kecilnya interaksi tersebut tergantung pada genotip tanaman itu sendiri dan karakteristik lingkungannya. Potensi hasil merupakan termasuk kedalam karakter kuantitatif, ciri khas karakter tersebut yaitu sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti pemupukan, kelembaban tanah, cahaya, temperatur, dan faktor lainnya. Hal tersebut terlihat dari data analisis varians pada ulangan yang menunjukkan berbeda nyata untuk setiap karakternya pada (Tabel 1).

Karena pengaruh lingkungan yang tinggi itu, pada (Tabel 2) dapat dilihat hasil keragaman fenotip itu bersumber dari pengaruh keragaman genotip. Hal ini sesuai dengan nilai heritabilitas yang rendah disebabkan pengaruh lingkungan yang besar. Keadaan ini memperlihatkan bahwa penampilan hasil pada kacang bambaara asal Jawa Barat begitu bervariasi antara karakter hasil yang diamati, terbukti pada nilai koefisien variasi (CV) yang berkisar antara 0.451 - 0.487.

Tabel 2. Nilai Rata-rata, Varians Fenotip (σ^2p), Varians Genotip (σ^2g), Heritabilitas (H), dan Koefisien Variasi (CV)

Karakter	Rata-rata	σ^2p	σ^2g	H	CV
Bobot Basah Polong	100.547	2355.044	209.112	0.298	0.461
Bobot Kering Polong	40.505	321.517	-11.844	0.0	0.451
Bobot Per Plot	949.000	257670.345	43817.241	0.412	0.487

Berdasarkan teori nilai varians akan selalu menunjukkan nilai positif. karena varians merupakan hasil pangkat dua suatu nilai. Pada penelitian ini diperoleh nilai duga varians genetik yang negatif (Tabel 2). Hal ini bisa terjadi karena hasil analisis varians tidak nyata dan nilai varians galat lebih besar dibandingkan dengan varians perlakuan. Karena tidak nyata maka keragaman dan nilai heritabilitasnya tidak nyata bahkan dianggap nol. Keragaman yang terjadi disebabkan karena banyak dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Variasi lingkungan yang besar tidak akan efektif untuk dilakukan seleksi daya hasil karena akan menghambat penampilan genetiknya.

Potensi daya hasil merupakan suatu hal yang terpenting untuk mengukur produktivitas suatu tanaman. Karena itu untuk mengetahui tingkat potensi yang dihasilkan tanaman harus membandingkan dengan varietas atau kultivar standar, sebagai salah satu tolak ukur suatu genotip baru memiliki hasil produksi yang lebih tinggi dari varietas yang telah ada sebelumnya. Kacang bambaara belum memiliki varietas unggul atau genotip unggul yang dapat dijadikan sebagai pembanding, oleh sebab itu seluruh karakter yang diamati terkait bobot basah polong per tanaman, bobot kering per tanaman, dan bobot per plot dibandingkan dengan nilai rata-rata keseluruhan genotip harapan (\bar{Y}_c).

Data analisis uji *Least Significant Incerace* (LSI) pada Tabel 4 menunjukkan bahwa, dari hasil pengujian 30 genotip kacang bambaara, pada karakter bobot per plot (BP) terdapat genotip yang memiliki daya hasil paling tinggi berdasarkan nilai rata-rata keseluruhan perlakuan, yaitu berkisar antara 1300.000 grm – 1800.000 grm. Sedangkan pada karakter bobot basah polong per tanaman (BBP) dan bobot kering per tanaman (BKP), berdasarkan uji LSI masih dibawah nilai pembanding atau cek, tetapi dari karakter keduanya memiliki beberapa genotip yang mendekati nilai pembanding atau cek yang diberi tanda (*) pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji *Least Significant Incerace* (LSI)

No	Genotip	Nilai rata-rata genotip (grm)		
		BBP	BKP	BP
1	KB-28(6)2	*121.002	43.163	1075.000
2	KB-25(3)2	*115.437	39.658	390.000
3	KB-23(3)2	63.308	30.357	500.000
4	KB-21(2)	43.933	20.925	1000.000
5	KB-12(2)	70.157	26.667	480.000
6	KB-7(3)	*153.885	*54.882	*1300.000
7	KB-7(2)	*134.473	53.150	950.000
8	KB-4(3)	*146.597	51.953	*1650.000
9	KB-4(4)	79.020	33.090	755.000
10	KB-4(2)	98.498	32.115	720.000
11	KB-29(4)	71.133	29.537	800.000
12	KB-29(2)	*120.572	48.205	980.000
13	KB-29(10)2	*141.512	*55.638	1100.000
14	KB-29(7)1	91.742	28.502	550.000
15	KB-29(3)1	78.810	37.395	*1300.000
16	KB-29(1)1	*133.657	53.288	1225.000
17	KB-31(3)	*165.415	*57.093	1125.000
18	KB-32(3)	79.713	31.055	635.000
19	KB-54(1)	*119.683	51.927	1100.000
20	KB-55(2)2	88.230	32.467	1000.000
21	KB-51(1)1	53.695	21.432	525.000
22	KB-52(3)2	63.412	30.040	1125.000
23	KB-40(1)1	76.982	35.482	725.000
24	KB-41(3)	52.085	24.605	620.000
25	KB-46(5)	*125.975	53.450	1150.000
26	KB-46(2)	56.265	25.508	600.000
27	KB-2(1)	93.292	41.617	595.000
28	KB-2(4)	*106.427	50.390	1245.000
29	KB-2(5)	*134.005	*61.708	*1450.000
30	KB-8(9)	*137.507	*59.887	**1800.000
Ȳc + LSI		179.252	71.527	1734.69

1). BBP = Bobot Basah polong per Tanaman; BKP = Bobot Kering Polong per Tanaman;
 BP = Bobot per Plot; Ȳc = Rata-rata keseluruhan Genotip. 2). tanda (**) = Genotip dengan daya hasil tinggi; tanda (*) = Genotip yang memiliki potensi hasil tinggi

Genotip harapan yang diberi tanda (*) dapat dikatakan memiliki potensi daya hasil yang tinggi dan memiliki variasi yang luas. Melihat nilai Keragaman genotip yang luas, dan nilai heritabilitas untuk karakter bobot per plot pada Tabel 2, diindikasikan bahwa karakter hasil pada genotip yang diberitanda (**) pada Tabel 4 memiliki sifat yang lebih baik dari pada genotip-genotip yang lainnya. Keragaman karakter hasil diatas menunjukkan bahwa beberapa genotip Kacang bambara asal Jawa Barat memiliki potensi untuk dikembangkan dan dapat digunakan sebagai salah satu sumber genetik genotip lain dalam menciptakan variets unggul. Diantara genotip-genotip harapan tersebut ada satu genotip yang lebih baik daripada pembanding atau cek yaitu KB-8(9) asal Majalengka.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa 1). Genotip kacang bambara asal Jawa Barat memiliki keragaman penampilan hasil yang bervariasi, hal itu terlihat pada semua karakter hasil yang menunjukkan hasil yang berbeda-beda setiap genotipnya. 2). Analisis uji *Least Significant Incerace* (LSI) menunjukkan bahwa terdapat genotip yang memiliki daya hasil tinggi, terdiri dari genotip KB-8(9) asal Majalengka dan genotip harapan yaitu KB-2(5), KB-46(5), KB-54(1), KB-31(3), KB-29(1)1, KB-29(3)1, KB-29(2), KB-29(10)2, KB-4(3), KB-7(2), KB-7(3), KB-25(3)2, KB-28(6)2 merupakan genotip yang baik untuk dikembangkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan Terimakasih kepada Bapak Nolahdi Wicaksana, Ph.D yang telah banyak menyumbangkan waktu, biaya, dan pemikirannya. Juga Bapak Dr. Ir. Meddy Rachmadi, MS atas saran dan masukannya selama penelitian ini berlangsung.

Referensi

- [1] Wicaksana. N., Hindun, Waluyo, B., Rachmadi, M., Karuniawan, A., Kurniawan, H., 2013. Karakterisasi Morfo-Agronomis Kacang Bambara (*Vigna Subterranea* L. verdc.) Asal Jawa Barat. Seminar Nasional 3 in 1 Peran Nyata Produk Hortikultura dan Agronomi Serta Program Pemuliaan Tanaman Terhadap Kontinyuitas Ketahanan Pangan Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya-Peripi-Perhorti-Peragi. Malang
- [2] Alercia, A., 2015. Nutritious Underutilized Species. Brief Introduction to The Species. Bioversity International. [Http://www.bioversityinternational.org/nutritious-underutilized-species-bambara-groundnut](http://www.bioversityinternational.org/nutritious-underutilized-species-bambara-groundnut). Diakses Februari 2015.
- [3] Kuswanto, Waluyo, B., Pramantasari, R. A., Canda, S., 2012. Koleksi Dan Evaluasi Galur-Galur Lokal Kacang Bogor (*Vigna subterranea*). Seminar Nasional Perhimpunan Ilmu Pemuliaan Indonesia (PERIPI). Bogor.
- [4] Jambormias, E., Madubun, E.L., Hitijahubessy, F.J.D. 2003. Daya Hasil, Keragaman Genetik Alami dan Heritabilitas Sifat-Sifat Kuantitatif Kacang Hijau (*Vigna radiata* L. Wilczek) Varietas Lokal Jamdena. Jurnal Pertanian Kepulauan, Vol.2. No. 2, Oktober 2003 : (100 - 105).
- [5] Massawe, F.J., Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Roberts, J.A. 2005. Breeding in Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.): Strategic Considerations. African Journal of Biotechnology Vol. 4 (6), pp. 463-471. <http://www.academicjournals.org/AJB>
- [6] Poespodarsono, S. 1988. Diktat Dasar-dasar Ilmu Pemuliaan Tanaman. Pusat Antar Universitas, Institut Pertanian Bogor Bekerjasama dengan Lembaga Sumberdaya Informasi- IPB.
- [7] Gaspersz V. 1995. Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan. Edisi Pertama. Tarsito: Bandung. Hlm. 124-148.
- [8] Peterson. R.G., 1994. Agricultural field Experiments Design and Analysis. Oregon State University. Marcel Dekker, Inc. 48-53 p.
- [9] Baihaki, A. 2000. Diktat Kuliah Teknik Perancangan dan Analisis Penelitian Pemuliaan. 1-89 p.

Peranan FMA dan Mychorriza Helper Bacteria (MHB) dengan Pupuk Organik terhadap C-organik Tanah dan Diameter Tunas Tanaman Buah Naga (*Hylocereus costaricensis* L.) pada Tanah Pasir Bekas Tambang

Kiki Zakiah

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Garut

kiki.alzakia@gmail.com

Abstrak

Penambangan pasir dapat merusak sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Upaya untuk memperbaiki tanah tersebut dapat dilakukan melalui reklamasi lahan. Pemberian pembenah tanah serta revegetasi dapat meningkatkan produktivitas tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dan *Mychorriza Helper Bacteria* (MHB) dengan pupuk organik terhadap C-organik dan diameter tunas tanaman buah naga pada tanah pasir bekas galian tambang di Kabupaten Sumedang, Indonesia. Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran, dari bulan Desember sampai Juni 2013. Penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial, terdiri atas dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama yaitu pupuk hayati yang terdiri dari: tanpa pupuk hayati, FMA dan FMA + MHB serta faktor kedua yaitu pupuk organik yang terdiri dari: tanpa pupuk organik, pupuk kandang ayam, pupuk kandang kambing, pupuk kandang sapi, pupuk kandang kelinci, kompos *cocopeat* dan POG (masing-masing 5 kg / polibag). Hasil penelitian menunjukkan terdapat interaksi antara pupuk hayati dengan pupuk organik terhadap C-organik tanah dan diameter tunas tanaman buah naga.

Kata kunci : tanah pasir, Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA), *Mychorriza Helper Bacteria* (MHB), pupuk organik, buah naga.

Pendahuluan

Kegiatan penambangan merupakan kegiatan mengekstraksi bahan tambang terencana dengan menggunakan berbagai metode sesuai dengan karakteristik bahan tambang tersebut [1]. Salah satu daerah penambangan pasir terdapat di kaki Gunung Tampomas Desa Cibeureum Wetan Kecamatan Cimalaka Kabupaten Sumedang. Pertambangan di daerah ini termasuk ke dalam golongan C. Dampak dari kegiatan pertambangan ini dapat menyebabkan terjadinya degradasi lahan.

Reklamasi lahan diperlukan untuk memperbaiki dan mengoptimalkan penggunaan tanah bekas galian tersebut. Pemanfaatan tanah pasir bekas tambang sebagai media pertanaman merupakan salah satu upaya pemanfaatan tanah itu sendiri sekaligus sebagai usaha reklamasi lahan. Reklamasi merupakan upaya terencana untuk mengembalikan fungsi dan daya dukung lingkungan pada lahan bekas tambang menjadi lebih baik dari sebelumnya [2].

Kegiatan reklamasi lahan bekas tambang dapat meliputi beberapa kegiatan, satu di antaranya adalah revegetasi. Revegetasi merupakan penanaman kembali lahan bekas tambang agar lebih

produktif [3]. Revegetasi dalam penelitian ini adalah dengan cara menanam tanaman yang mampu beradaptasi pada tanah pasir tersebut, dalam hal ini tanaman yang cocok dibudidayakan adalah tanaman buah naga. Buah naga termasuk ke dalam kategori tanaman sekulen yang sesuai apabila ditanam pada lingkungan yang kering. Buah naga (*Hylocereus* sp.) merupakan tanaman kaktus tropis yang berasal dari Amerika Selatan [4]. Namun saat ini tanaman buah naga telah banyak dibudidayakan secara komersial di Asia Tenggara. Tanaman ini sesuai bila ditanam pada daerah tropis atau iklim kering dengan curah hujan 30-40 inci dan segala jenis tanah asalkan dengan bahan organik.

Pembenah tanah berfungsi untuk memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah pasir yang miskin unsur hara tersebut. Pembenh tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah pupuk hayati dan pupuk organik, dalam hal ini pupuk hayati yang digunakan berupa fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB), sedangkan pupuk organik yang digunakan berupa berbagai jenis pupuk kandang, cocopeat dan pupuk organik granul (POG). Pemberian pupuk organik dapat meningkatkan C-organik tana [5]. Pupuk organik yang diberikan ke dalam tanah digunakan oleh bakteri dekomposer sebagai sumber energi untuk mendekomposisi bahan organik sehingga dapat menyumbangkan C-organik dalam bentuk asam-asam organik seperti asam humat dan asam fulvat ke dalam tanah [6].

Mikoriza merupakan asosiasi antara tumbuhan dan jamur yang hidup dalam tanah [7]. Jenis mikoriza yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungi mikoriza arbuskula (FMA). Arbuskula merupakan tempat pertukaran metabolit antara jamur dan tanaman. Adanya arbuskula sangat penting untuk mengidentifikasi bahwa telah terjadi infeksi pada akar tanaman, sedangkan vesikula merupakan organ penyimpanan makanan dan berfungsi sebagai propagul (organ reproduktif) [8]. Prinsip dari simbiosis FMA dengan tanaman adalah jamur mensuplai nutrisi sedangkan tanaman mensuplai karbohidrat untuk pertumbuhan jamur tersebut [9]. Pemilihan pupuk hayati berupa FMA didasarkan pada kemampuan hifanya untuk menginfeksi daerah perakaran sehingga memungkinkan perakaran tanaman mampu menjangkau air dan nutrisi lebih banyak. Asosiasi antara tanaman dengan FMA pada tanah pasir ini diharapkan dapat meningkatkan stabilitas agregat serta kemampuan akar untuk menjangkau nutrisi dan air dengan lebih baik.

Terdapat satu jenis mikroorganisme yang bekerja sebagai stimulator dari aktivitas FMA di dalam tanah, mikroorganisme tersebut diidentifikasi sebagai *Mycorrhiza Helper Bacteria* (MHB), dalam hal ini spesies yang digunakan adalah *Pseudomonas diminuta*. Bakteri jenis ini mampu melakukan interaksi dengan mikoriza dengan cara meningkatkan pertumbuhan hifa eksternal sehingga bidang serapan air dan hara lebih luas [10]. Dalam keadaan nutrisi yang terbatas, MHB dapat bertindak paling tidak melalui dua mekanisme yaitu pengaruh langsung dan pengaruh tidak langsung terhadap media yang diperkaya metabolit jamur tersebut [11]. Bakteri mampu mengekresikan beberapa asam organik seperti asam sitrat dan asam malat yang dimetabolisme oleh isolat jamur dan dia juga mampu melawan molekul-molekul toksik seperti polifenol yang dalam hal ini bersifat toksik bagi jamur mikoriza.

Penggunaan berbagai jenis bahan organik ini didasarkan pada perbedaan kandungan nutrisi yang dimilikinya. Pupuk kandang sapi dan kambing memiliki kandungan C-organik yang tinggi [12]. Kotoran kelinci mengandung sejumlah unsur hara yang diperlukan oleh tanaman seperti N, P, K, Ca, Mg dan S [13]. Pupuk kandang ayam merupakan pupuk kandang yang mengandung unsur hara paling tinggi [14], hal tersebut dikarenakan kotoran padat dan cairnya bercampur menjadi satu, dalam hal ini kotoran cair mengandung N dan K sedangkan kotoran padatnya mengandung P [15]. Penggunaan kompos *cocopeat* selain menambah unsur hara, juga sebagai alternatif pemanfaatan limbah sabut kelapa. Penggunaan POG didasarkan pada sifatnya yang *slow release*.

Pemberian pupuk organik pada tanah pasir dapat meningkatkan C-organik tanah. Hasil dekomposisi pupuk organik berupa CO_2 , CO_3^{2-} dan HCO_3^- dapat meningkatkan kandungan C-organik

dalam tanah [16]. Bahan organik dapat berperan sebagai pemantap agregat tanah, dengan bantuan mikroorganisme tanah yang memanfaatkannya sebagai sumber energi, mampu mempertahankan dan memperbaiki kondisi fisik tanah [17].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peranan FMA dan MHB disertai dengan pemberian pupuk organik terhadap nilai C-organik tanah dan diameter tunas tanaman buah naga.

Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat (\pm 740 m dpl). Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Kesuburan Tanah dan Nutrisi Tanaman serta Laboratorium Biologi Tanah Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Penelitian dilaksanakan mulai bulan Desember 2012 sampai dengan Juni 2013.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas : (1) Tanah pasir bekas tambang galian C dari Desa Cibeureum Wetan Kecamatan Cimalaka Kabupaten Sumedang dari kedalaman 20 cm dan diambil sebanyak 5 kg polibag⁻¹; (2) Pupuk hayati yang terdiri dari Inokulan Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) dengan spora campuran yaitu terdiri dari *glomus*, *gigaspora*, *aklausporea* pada kepadatan spora 118 g⁻¹ yang berasal dari Laboratorium Biotek Kehutanan Bogor dan MHB (*Pseudomonas diminuta*) yang berasal dari Laboratorium Biologi dan Bioteknologi Tanah Fakultas Pertanian UNPAD, dengan populasi bakteri 210×10^7 CFU ml⁻¹; (3) Pupuk Organik berupa pupuk kandang ayam dari perusahaan peternak ayam petelur Missouri Kecamatan Tanjung Sari, pupuk kandang kambing dari kotoran kambing peranakan Etawa milik kelompok tani Simpay Tampomas Kecamatan Cimalaka, pupuk kandang sapi berasal dari kotoran sapi perah milik Fakultas Peternakan Universitas Padjadjaran di Jatinangor, pupuk kandang kelinci berasal dari peternak kelinci di Jatinangor, cocopeat berasal dari kompos yang dibuat oleh Tim Pengajar Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran dan POG yang berasal dari PT. Prakarsa Sentra Utama.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) pola faktorial, terdiri atas dua faktor yaitu jenis pupuk hayati terdiri dari tiga taraf, yaitu : m₀ (tanpa FMA); m₁ (FMA 10 g polibag⁻¹); m₂ (FMA 10 g polibag⁻¹ + MHB 10 ml polibag⁻¹) dan pupuk organik dalam tujuh taraf, yaitu : p₀ (tanpa pupuk kandang); p₁ (pupuk kandang ayam 5 kg polibag⁻¹); p₂ (pupuk kandang kambing 5 kg polibag⁻¹); p₃ (pupuk kandang sapi 5 kg polibag⁻¹); p₄ (pupuk kandang kelinci 5 kg polibag⁻¹); p₅ (kompos cocopeat 5 kg polibag⁻¹); p₆ (pupuk organik granul 5 kg polibag⁻¹), sehingga media tanam berisi tanah pasir dan pupuk organik dengan perbandingan 1 : 1. Masing-masing perlakuan diulang tiga kali. Jumlah polibag unit percobaan adalah $3 \times 7 \times 3 = 63$ polibag percobaan.

Variabel yang diamati meliputi C-organik dan diameter tunas tanaman buah naga. Analisis data menggunakan uji F pada taraf kepercayaan 95%, dilanjutkan dengan uji jarak berganda Duncan (DMRT) bila terdapat pengaruh yang nyata.

Hasil dan Diskusi

C-organik

Terdapat interaksi antara pemberian jenis pupuk hayati (FMA dan MHB) dengan jenis pupuk organik terhadap nilai C-organik tanah pasir pada percobaan ini. Pemberian pupuk hayati pada jenis pupuk organik menurunkan nilai C-organik tanah. Hal tersebut diduga karena karbon yang berasal dari pupuk digunakan oleh mikroorganisme dekomposer dan bakteri sebagai sumber makanan. Mikroorganisme tersebut menggunakan sumber karbon untuk energinya 30 kali lebih cepat

dibandingkan dengan nitrogen [18]. Sementara itu, pemberian jenis pupuk organik pada berbagai jenis pupuk hayati meningkatkan nilai C-organik tanah (Tabel 1).

Tabel 1. Interaksi antara Jenis Pupuk Hayati dengan Jenis Pupuk Organik terhadap Nilai C-organik Tanah (%) pada 17 MST.

Pupuk Hayati (M)	Pupuk Organik (P)						POG
	tanpa pupuk organik	pupuk kandang ayam	pupuk kandang kambing	pupuk kandang sapi	pupuk kandang kelinci	pupuk kompos cocopeat	
tanpa pupuk hayati	0,60 a A	4,72 b B	7,18 b D	6,52 c CD	6,77 c CD	5,59 b BC	7,26 b D
FMA	0,27 a A	2,88 a B	6,14 b D	5,09 b CD	5,21 b CD	4,35 ab C	4,79 a CD
FMA + MHB	0,24 a A	1,67 a B	3,23 a CD	3,40 a CD	2,43 a BC	3,85 a D	3,65 a CD

Keterangan : Angka yang ditandai dengan huruf yang berbeda menyatakan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %. Huruf kapital dibaca arah horizontal dan huruf kecil dibaca arah vertikal.

Tabel 1 menunjukkan baik pupuk hayati terhadap pupuk organik, maupun pupuk organik terhadap pupuk hayati, kesemuanya memberikan pengaruh yang nyata kecuali pada perlakuan tanpa pupuk organik terhadap ketiga jenis perlakuan pupuk hayati tersebut.

Perlakuan tanpa pupuk hayati terhadap pupuk kandang kambing dan POG memberikan nilai C-organik yang paling tinggi di antara kesemua jenis pupuk organik. Nilai tersebut yaitu masing-masing 7,18% dan 7,26%. Nilai tersebut mengalami peningkatan bila dibandingkan dengan C-organik tanah sebelum percobaan yang hanya bernilai 0,55%. Peningkatan C-organik ini diduga berasal dari sumbangan karbon yang berasal dari kedua jenis pupuk tersebut, dimana pupuk kandang kambing dalam penelitian ini memiliki nilai C-organik yang paling tinggi di antara pupuk lainnya yaitu sebesar 44,78%, sedangkan POG pada penelitian ini memiliki nilai C-organik 15,83%. Namun demikian bila dilihat secara statistik, perlakuan keduanya tidak berbeda nyata dengan perlakuan pupuk kandang sapi dan kelinci.

Pemberian satu jenis pupuk hayati yaitu FMA terhadap pupuk kandang kambing juga memberikan nilai C-organik yang paling tinggi di antara kesemua jenis pupuk organik, yaitu sebesar 6,14%. Namun demikian nilai tersebut tidak berbeda nyata bila dibandingkan dengan perlakuan pupuk kandang sapi, kelinci dan POG.

Perlakuan dua jenis pupuk hayati yaitu FMA + MHB terhadap kesemua jenis pupuk kandang menunjukkan bahwa nilai C-organik yang paling tinggi terdapat pada perlakuan FMA + MHB dan pupuk kompos cocopeat, yaitu senilai 3,85%. Akan tetapi nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan

FMA + MHB dan pupuk kandang kambing, FMA + MHB dan pupuk kompos sapi serta perlakuan FMA + MHB dan POG.

Tabel 1 menunjukkan adanya perbedaan nilai C-organik tanah pada perlakuan pupuk organik yang diberikan secara tunggal dibandingkan dengan pupuk organik yang bersamaan dengan pupuk hayati. Hal tersebut terlihat jelas ketika tanah tidak diberikan pupuk hayati apapun, menunjukkan nilai C-organik yang tinggi pada setiap perlakuan pupuk organik. Akan tetapi ketika pupuk organik tersebut ditambahkan pupuk hayati, nilai C-organik tersebut menurun. Terlebih ketika diberikan dua jenis pupuk hayati, nilai C-organik tersebut semakin menurun, meskipun FMA tidak menggunakan sumber karbon yang berada di dalam tanah, penurunan nilai C-organik ini diduga karena mikroorganisme tanah seperti dekomposer dan bakteri MHB yang diberikan menggunakan sumber karbon sebagai sumber energinya [19]. Karbon tersebut nantinya akan diubah menjadi produk metabolisme berupa karbondioksida (CO_2), air (H_2O), humus dan energi, dimana sebagian energi tersebut berguna untuk pertumbuhan dan reproduksi [18].

Penambahan sumber energi dan karbon, seperti pupuk organik, akan meningkatkan pertumbuhan mikroba sampai sumber tersebut telah dimineralisasi serta aktivitas dan kepadatan mikroba kembali ke keadaan semula [20]. Bahan organik yang berasal dari pupuk akan dicerna terlebih dahulu oleh mikroorganisme sebelum nutrisi yang terkandung didalamnya tersedia bagi tanaman [21]. Namun demikian, secara umum nilai C-organik tanah pasir pada percobaan ini mengalami peningkatan pada setiap perlakuan bila dibandingkan dengan nilai C-organik tanah awal sebelum percobaan yang sangat rendah senilai 0,55%.

Diameter Tunas Tanaman Buah Naga

Terdapat interaksi antara pemberian jenis pupuk hayati (FMA dan MHB) dengan jenis pupuk organik terhadap diameter tunas tanaman buah naga pada percobaan ini. Tabel 2 menunjukkan baik pupuk hayati terhadap pupuk organik, maupun pupuk organik terhadap pupuk hayati, kesemuanya memberikan pengaruh yang nyata terhadap penambahan luas diameter tunas tanaman buah naga.

Ketika tanaman hanya diberi pupuk organik saja (tanpa FMA maupun MHB), tanaman yang diberi pupuk kandang sapi memberikan nilai diameter tunas yang lebih besar dibandingkan dengan pupuk organik lainnya. Nilai tersebut yaitu 4,26 cm. Namun demikian nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan hasil diameter tunas tanaman yang hanya diberi pupuk kandang ayam, pupuk kandang kambing dan pupuk kandang kelinci saja.

Pupuk kandang sapi yang diberikan dalam penelitian ini mengandung N yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan pupuk kandang lainnya, yaitu 1,65%. Nitrogen berguna untuk proses metabolisme dimana unsur N sebagai protein fungsional sekaligus dapat merangsang pertumbuhan [22], bilamana tanaman kekurangan N dapat membatasi pembelahan dan pembesaran sel [23]. Pupuk N, P, K sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman terutama dalam merangsang pembentukan tinggi tanaman dan pembesaran diameter batang [24]. Oleh sebab itu dapat dimengerti mengapa pada penelitian ini tanaman yang hanya diberi pupuk kandang sapi mampu menghasilkan luas diameter batang yang cukup besar pada umur 17 MST.

Tabel 2. Interaksi antara Jenis Pupuk Hayati dengan Jenis Pupuk Organik terhadap diameter tunas tanaman buah naga (cm) pada 17 MST.

Pupuk Hayati (M)	Pupuk Organik (P)						POG
	tanpa pupuk organik	pupuk kandang ayam	pupuk kandang kambing	pupuk kandang sapi	pupuk kandang kelinci	pupuk kompos cocopeat	
tanpa pupuk hayati	3,58 a ABC	4,09 ab CD	3,71 b ABCD	4,26 a D	3,92 b BCD	3,20 a A	3,33 a AB
FMA	3,18 a AB	4,67 b E	2,60 a A	4,58 a DE	2,99 a A	4,00 b CD	3,74 a BC
FMA + MHB	4,83 b CD	4,03 a B	4,06 b B	5,19 b D	3,14 a A	4,43 b BC	4,61 b BCD

Keterangan : Angka yang ditandai dengan huruf yang berbeda menyatakan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5 %. Huruf kapital dibaca arah horizontal dan huruf kecil dibaca arah vertikal.

Pemberian satu jenis pupuk hayati yaitu FMA terhadap pupuk kandang ayam menghasilkan luas diameter tunas yang lebih baik bila dibandingkan dengan pupuk organik lainnya. Pertambahan luas diameter tunas tanaman buah naga tersebut sebesar 4,67 cm. Akan tetapi nilai tersebut tidak berbeda nyata bila dibandingkan dengan tanaman yang diberi perlakuan FMA dengan pupuk kandang sapi.

Perlakuan dua jenis pupuk hayati yaitu FMA + MHB terhadap pupuk kandang sapi menunjukkan pertambahan diameter tunas yang paling tinggi di antara pupuk kandang lainnya yaitu sebesar 5,19 cm. Namun demikian nilai tersebut tidak berbeda nyata dengan hasil yang didapat ketika tanaman hanya diberi FMA + MHB saja dan tidak berbeda nyata pula dengan perlakuan FMA + MHB yang diberi POG.

Tabel 2 menunjukkan, semakin banyaknya jenis pupuk hayati yang diberikan, semakin besar pula nilai diameter tunas tanaman buah naga terhadap semua jenis pupuk organik. Hasil tersebut menunjukkan adanya pengaruh yang kuat dari penambahan MHB terhadap kinerja FMA dan secara tidak langsung berpengaruh terhadap peningkatan kualitas tanaman buah naga tersebut.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat interaksi antara pemberian FMA dan MBH dengan pupuk organik terhadap nilai C-organik tanah dan luas diameter tunas tanaman buah naga.
2. Pemberian pupuk hayati berupa FMA + MHB saja, terlebih FMA + MHB dengan pupuk organik berupa pupuk kandang sapi dan POG memberikan pertumbuhan diameter tunas tanaman buah naga (*Hylocereus costaricensis L.*) yang paling baik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih sebesar – besarnya terhadap Prof. Dr. Ir. H. E. Hidayat Salim, MS., Anne Nurbaity, SP., MP., Ph.D., serta Dr. Ir. Hj. Anni Yuniarti, MS., yang telah memberikan masukan dan bantuannya terhadap pelaksanaan penelitian ini.

Referensi

- [1] Mulyanto. 2008. Kelembagaan Pengelolaan Kawasan Pasca Tambang. Makalah Seminar dan Workshop Reklamasi dan Pengelolaan Kawasan Pasca Penutupan Tambang. Pusdi Reklamat, Bogor.
- [2] Rissamasu, Frida., Rahim D., dan Ambo T. 2010. Pengelolaan Penambangan Bahan Galian Golongan C di Kabupaten Merauke. Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makasar. <http://pasca.unhas.ac.id> (Diakses pada tanggal 2 Mei 2013)
- [3] Suprpto, Sabtando J. 2003. Tinjauan Reklamasi Lahan Bekas Tambang dan Aspek Konservasi Bahan Galian. Kelompok Program Penelitian Konservasi – Pusat Sumberdaya Geologi. <http://www.bgl.esdm.go.id> (Diakses pada tanggal 2 Mei 2013).
- [4] Dahayanake and Ranawake A.L. 2011. Regeneration of Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) Planlets from Leaf and Stem Explants. Journal of Tropical Agricultural Research and Extension 14(4) 2011. Department of Agricultural Biology, Faculty of Agriculture, University of Ruhuna, Sri Lanka.
- [5] Jamilah. 2003. Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang dan Kelengasan terhadap Perubahan Bahan Organik dan Nitrogen Total Entisol. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Online; <http://repository.usu.ac.id>. (Diakses pada tanggal 21 Januari 2013).
- [6] Sanchez, P. A. 1992. Sifat dan Pengelolaan Tanah Tropika. Alih bahasa : Jayadinata. Penerbit ITB, Bandung. Jilid 1.
- [7] Vierheilig, Horst., Schweiger, P., and Brundrett, M. 2005. An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. Journal of Physiologia Plantarum 125: 393–404. 2005. <http://www.bashanfoundation.org> (Diakses pada tanggal 20 Januari 2013).
- [8] Delvian. 2003. Keanekaragaman Cendawan Mikoriza Arbuskula di Hutan Pantai dan Potensi Pemanfaatannya. Disertasi. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- [9] Barber, Stanley A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. Wiley Interscience Publication. United States of America.
- [10] Frey-Klett P., Pierrat J.C., and Garbaye J. 1997. Location and Survival of Mycorrhiza Helper *Pseudomonas fluorescens* During Establishment of Ectomycorrhizal Symbiosis between *Laccaria biocolor* and *Dougllass fir*. Journal of Applied and Environmental Microbiology, 63: 139-144.
- [11] Dupponois, Robin and Garbaye. 1990. Some Mechanisms Involved in Growth Stimulation of Ectomycorrhizal Fungi by Bacteria. Canadian Journal of Botany 68: 2148 – 2152.
- [12] Hartatik dan Setyorini D. 2002. Pengaruh Pupuk Organik Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Produksi Tanaman Padi Sawah Organik. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian, Deptan.
- [13] Karama, A.S., Marzuki, A.R dan Manwan, I.1991. Penggunaan pupuk organik pada Tanaman pangan. Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi penggunaan pupuk V. Cisarua. Puslittanak. Bogor.
- [14] Hardjowigeno, Sarwono. 1993. Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis. Akademika Pressindo, Jakarta.
- [15] Ismawati, Efi. 2003. Pupuk Organik. Penebar Swadaya. Jakarta.
- [16] Hanafiah, K. A. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Raja Grafindo Persada, Jakarta.

- [17] Nurida, N.L. dan Undang, K. 2009. Perubahan Agregat Tanah pada Ultisol Jasinga Terdegradasi Akibat Pengolahan Tanah dan Pemberian Bahan Organik. Balai Penelitian Tanah Departemen Pertanian. <http://balittanah.litbang.deptan.go.id> (Diakses pada tanggal 2 Mei 2013).
- [18] Ginting, O. 2011. Studi Korelasi Kegiatan Budidaya Ikan Keramba Jaring Apung dengan (Nitrat dan Fosfat) dan Klorofil-a di Perairan Danau Toba. Universitas Sumatera Utara. Online; <http://repository.usu.ac.id>. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2014).
- [19] Hodges, Steven. C. 2002. Soil Fertility Basics. NC Certified Crop Advisor Training. North Carolina State University.
- [20] Stotzky, G. 1997. Gene Transfer among Bacteria in Natural Environment. Applied Microbiology Adv. Appl. Microbiol. 33:203-209.
- [21] Collins, D., Miles, C., Cogger, C., Koenig, R. 2013. Soil Fertility in Organic Systems : A Guide for Gardeners and Small Acreage Farmers. A Pacific Northwest Extension Publication. Washington State University.
- [22] Tisdale, S. W., J. L. Nelson, J Halvin. L., and J. D. Beaton. 1993. Soil Fertility and Fertilizer. Prentice Hall. New Jersey. Six Edition.
- [23] Sumiati, E. dan Gunawan, O.S. 2007. Aplikasi Pupuk Hayati Mikoriza untuk Meningkatkan Efisiensi Serapan Unsur Hara NPK serta Pengaruhnya Terhadap Hasil dan Kualitas Umbu Bawang Merah. J. Hort. 17(1):34-42.
- [24] Hidayati, F. 2009. Pengaruh Pemupukan Kalium terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Pegagan (*Centella asiatica* L. urban) di Dataran Tinggi (Skripsi). Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Uji Kesukaan Mayonais Yang Menggunakan *Emulsifier* Dari Berbagai Jenis Kuning Telur

Obin Rachmawan¹, Eka Wulandari^{1,a}, Nono Suwarno²

¹Laboratorium Teknologi Pengolahan Produk Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran

²Laboratorium Pemuliaan dan Biometrika, Fakultas Peternakan, Universitas Padjadjaran

^{a)}penulis yang berkorespondensi: eka_chem@yahoo.com

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kesukaan terhadap mayonais yang menggunakan berbagai jenis kuning telur (telur ayam ras, telur ayam buras, dan telur itik) melalui uji skala hedonik. Peubah yang diamati yaitu rasa, warna dan bau mayonais. Penelitian menggunakan metode percobaan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Produk Peternakan. Panelis yang digunakan adalah panelis agak terlatih yaitu mahasiswa minat teknologi hasil ternak. Data yang dihimpun diuji dengan kruskal wallis dan untuk mengetahui perbedaan antar perlakuan digunakan uji Mann whitney. Hasil penelitian menunjukkan rasa mayonais dengan *emulsifier* telur ayam ras paling disukai. Warna dan bau mayonais dengan *emulsifier* telur ayam ras, telur ayam buras dan telur itik sama disukai.

Kata kunci: mayonais, *emulsifier*, telur ayam ras, telur ayam buras, telur itik

Pendahuluan

Mayonais adalah suatu bentuk makanan dalam bentuk emulsi semi solid yang terbuat dari minyak nabati, asam asetat dan kuning telur serta bumbu-bumbu dalam proporsi yang seimbang [1]. Secara fisik mayonais terdiri dari fase internal berupa globula-globula lemak yang terdispersi dalam fasa eksternal yang terdiri atas cuka, kuning telur serta bumbu-bumbu lainnya yang akan menghasilkan flavor atau cita rasa dari mayonais [2].

Mayonais berupa emulsi minyak dalam air dan kuning telur sebagai emulsifiernya. Sumber *emulsifier* adalah kuning telur ayam ras, kuning telur ayam buras dan kuning telur itik. Kualitas mayonais yang baik harus memperhatikan timbangan antara minyak, air dan kuning telur agar terjadi viskositas, tekstur dan kesukaan yang dapat diterima konsumen.

Komposisi kimia telur pada umumnya yaitu mengandung air 73,7%, protein 12,9%, lemak 11,5%, karbohidrat 0,9% dan abu 1,0% [1]. Protein dalam kuning telur yaitu livetin, fosvitin, vitelin dan vitelenin, sedangkan lemak pada kuning telur adalah trigliserida, fosfolipid dan kolesterol [3]. Selanjutnya dikemukakan bahwa dalam 100% fosfatidilkolin atau lesitin mengandung 77,0% pada ayam ras. Lesitin ini akan memegang peranan penting dan membentuk emulsi yang stabil dari mayonais.

Penelitian ini diharapkan diperolehnya jenis kuning telur apa yang menghasilkan mayonais yang paling disukai ditinjau dari rasa, warna, dan bau yang dapat dijadikan tolak ukur apakah mayonais tersebut diterima oleh konsumen.

Teori dan Percobaan

Telur yang biasa kita konsumsi dan dapat dijadikan bahan-bahan dalam olahan pangan diproduksi oleh ayam ras, ayam buras dan itik angsa, puyuh, merpati dan kalkun. Telur sebagai bahan makanan memiliki nilai gizi tinggi, karena mengandung protein, asam amino esensial dan non esensial dalam jumlah yang cukup banyak, berada dalam keadaan berimbang, mudah dicerna dan diserap oleh tubuh dan rasanya enak.

Telur sebagai bahan berbagai olahan pangan memiliki sekumpulan sifat yang akan mempengaruhi dalam penggunaannya dan dikenal dengan sifat fungsional. Selanjutnya diuraikan bahwa sifat fungsional dari telur adalah daya koagulasi yaitu telur dalam bentuk cair akan menggumpal apabila dipanaskan pada suhu 60-70°C selama waktu tertentu. Daya buih yaitu bentuk dispersi koloid, gas dalam cairan. Hal ini terbentuk apabila putih telur dikocok akan membentuk busa dan yang berperan adalah ovomucin. Daya emulsi disini yang berperan adalah kuning telur yang mengandung lesitin, kolesterol dan lesitoprotein yang akan membantu terbentuknya emulsi yang stabil [1].

Control kristalisasi disini yang berperan adalah putih telur apabila putih telur ditambahkan pada sirup dapat mencegah terbentuknya Kristal gula. sifat ini diaplikasikan pada produk kembang gula yang akan member rasa manis, halus dan selalu kasat dimulut. Sifat fungsional telur yang terakhir adalah pemberi warna, karena kuning telur memiliki beberapa pigmen kuning yaitu xantofil, lutein, beta karoten dan kriptoxantin. Sifat ini banyak digunakan pada produk eskrim, saus, dan mayonais.

Bahan Mayonnaise dan Cara Membuatnya

Mayonais terbuat dari berbagai bahan baku seperti minyak nabati, kuning telur, gula, garam, mustard, dan lada putih [2]. Secara terperinci komposisi bahan-bahan dalam pembuatan mayonais adalah minyak nabati 75%, cuka 10,8%, kuning telur 9%, gula 2,5%, garam 1,5%, mustard 1%, dan lada putih 0,2%. Tahap pembuatannya kedalam wadah bulat masukkan kuning telur, gula, garam, dan rempah lalu diaduk. Kemudian minyak ditambahkan sedikit demi sedikit sambil diaduk/*mixer*, kekentalan diatur dengan menambahkan cuka secara bertahap.

Peranan Emulsi

Terbentuknya emulsi yang stabil pada mayonais sangat diharapkan. Emulsi yaitu suatu suspensi cairan dalam cairan lain, yang mana molekul-molekul kedua cairan tersebut tidak bisa bercampur karena memiliki berat jenis yang berbeda [1]. Selanjutnya diterangkan bahwa pada suatu emulsi ada tiga bagian utama yang berperan yaitu bagian yang terdispersi terdiri atas butir-butir lemak, media pendispersi atau fase kontinyu yaitu air dan *emulsifier* yang berperan menjaga agar butir-butir lemak/minyak tetap tersuspensi di dalam air. Jenis *emulsifier* selain kuning telur yaitu telur utuh (putih dan kuning telur), gelatin, pektin, dan kasein atau berbagai tepung yang halus seperti tepung paprika atau mustard. Kerja *emulsifier* yaitu bentuk molekulnya yang dapat terikat dengan baik pada minyak maupun air. Bila *emulsifier* lebih terikat pada air maka akan terjadi emulsi minyak dalam air seperti pada mayonais.

Panelis dan Uji Kesukaan

Uji Hedonik atau Uji Kesukaan panelis diminta tanggapan pribadinya untuk menyatakan kesukaan atau ketidak kesukaannya yang disebut Skala Hedonik [4]. Dari Skala Hedonik ditransformasi ke Skala Numerik (angka). Angka-angka inilah yang akan dianalisis statistik untuk

memperoleh nilai mana yang paling disukai, ataupun yang tidak disukai. Uji Hedonik ini banyak digunakan pada penilaian mutu akhir produk.

Panelis yang digunakan pada uji kesukaan yaitu untuk menilai/mengukur suatu produk yaitu orang yang berperan sebagai alat dalam menilai sifat-sifat organoleptik disebut panelis. Ada enam macam panelis yaitu panelis perorangan, panelis terbatas, panelis terlatih, panelis tidak terlatih, panelis agak terlatih, dan panelis konsumen [5]. Pada penelitian ini digunakan panelis agak terlatih yaitu mahasiswa minat studi Teknologi Hasil Ternak Fakultas Peternakan UNPAD semester 6 dan 7.

Bahan dan Metode

Materi dalam penelitian terdiri kuning telur ayam ras, buras, dan itik. Bahan lainnya yaitu minyak jagung, cuka, gula, garam, aquadest, mustard. Alat-alat terdiri dari sendok, waskom, dan mixer, timbangan, Viskometer Brook Field, pH meter, baki, dan kertas label.

Metode penelitian dengan percobaan di Laboratorium Teknologi Hasil Ternak dengan 3 perlakuan dan 20 ulangan yaitu banyaknya panelis yang digunakan. Peubah yang diamati yaitu rasa, warna, dan bau mayonais. Data yang dihimpun diuji dengan Kruskal Wallis dengan Uji Lanjut Mann Whitney.

Langkah-langkah uji kesukaan:

- a. Mayonais disajikan pada wadah dengan kode sampel 3 digit. Setiap setelah mencicip sampel yang satu lakukan kumur-kumur dengan air putih masak, kemudian mencicipi sampel berikutnya.
- b. Sediakan lembar kuisisioner satu lembar yang isinya berupa instruksi untuk panelis: ujliah sampel-sampel dihadapan anda sesuai dengan kodenya terhadap rasa, warna, dan bau mayonais dan tuliskan seberapa jauh anda menyukainya dengan cara memberi tanda (v) pada pernyataan anda yang paling sesuai dengan perasaan anda. Suatu pernyataan yang bijaksana dari anda sangat membantu kami, terimakasih. Pada kertas uji kuisisioner ini panelis juga diminta untuk menulis nama, produk yang diuji, dan tanggal pengujian.
- c. Hasil uji dikumpulkan kemudian dilakukan uji Kruskal Wallis.

Hasil dan Diskusi

Rasa Mayonais

Hasil uji rasa mayonais disajikan pada Tabel 1. di bawah ini

Tabel 1. Hasil Uji Mann Whitney Rasa Mayonaise

P	N	Maen Rank	Sum of Ranks	P	α (0,05)
1	20	27,58	551,50 _a	0,000	*
2	20	13,42	268,50 _b		
1	20	30,05	601,00 _a	0,000	*
3	20	10,95	219,00 _c		
2	20	26,5	530,50 _b	0,001	*
3	20	14,48	289,50 _c		

Keterangan: Huruf Kecil yang berbeda kearah kolom pada α (0,05) menunjukkan berbeda nyata.

Berdasarkan Tabel 1. dapat diterangkan bahwa mayonais 1 yang menggunakan kuning telur ayam ras nyata lebih disukai dibandingkan dengan mayonais yang menggunakan kuning telur ayam

buras maupun kuning telur itik. Begitu juga mayonais yang menggunakan kuning telur ayam buras nyata lebih disukai dibandingkan dengan mayonais menggunakan kuning telur itik. Rasa ini dikenali dengan panca indra lidah terhadap asin, asam, manis, dan pahit. Rasa enak yang disukai pada mayonais dengan menggunakan kuning telur ayam ras karena pada kuning telur ayam ras mengandung komponen fosfolipid yang lebih tinggi daripada yang dikandung ayam buras maupun itik [3]. Karena lemak tersebut yang mendominasi rasa mayonais. Selanjutnya ditegaskan bahwa rasa enak ini disebabkan oleh kandungan fosfatidilkolin atau lesitin yang tinggi pada kuning telur ayam ras dibandingkan dengan yang terkandung pada kuning telur itik. sementara ini kita mengenal bahwa dengan proses pengadukan pada pembuatan mayonais serta adanya asam cuka/asetat makanan akan lebih awet dan matang, sehingga dengan proses pengadukan dan pemanasan komponen lemak akan keluar atau mencair sehingga palatabilitasnya lebih disukai atau lebih enak [6]. Selanjutnya ditegaskan bahwa dengan pengocokan akan timbul panas sehingga komponen-komponen lemak akan menguap menjadi aldehid, keton, alkohol, hidrokarbon yang sangat berpengaruh terhadap terbentuknya flavour.

Warna Mayonais

Warna mayonais dari berbagai kuning telur hasil uji kesukaan ditampilkan pada Tabel 2. dibawah ini.

Tabel 2. Hasil uji Kruskall Wallis Warna Mayonais

Perlakuan	N	Maen Rank	Respon
1	20	35,80	6,03
2	20	32,42	2
3	20	23,28	0,049
Total	60		

Keterangan: $P \geq \alpha$ (0,05) menyatakan non significant

Hasil uji pada Tabel 2. dapat diterangkan bahwa rasa mayonais dari mayonais yang menggunakan kuning telur ayam ras, telur ayam buras, dan telur itik tidak berbeda nyata atau sama-sama disukai dengan Skala Numerik 7. Keadaan mayonais dengan warna yang sama disebabkan oleh sifat yang dimiliki oleh kuning telur yang memiliki pigmen kuning seperti xantofil, lutein, beta karoten, dan kriptosantin dengan kandungan yang relatif sama dari kuning telur ayam ras, buras, maupun itik [7] selanjutnya dinyatakan bahwa peran utama kuning telur pada mayonais sebagai *emulsifier* yang akan membentuk viskositas dan emulsi yang stabil.

Bau Mayonais

Hasil uji kesukaan terhadap bau mayonais dari berbagai jenis kuning telur disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Kruskal Wallis Bau Mayonais

Perlakuan	N	Maen Rank	Respon
1	20	35,28	3,158
2	20	30,48	2
3	20	25,75	0,206
Total	60		

Keterangan: $P \geq \alpha$ (0,05) menunjukkan non significant

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 3. dapat dijelaskan bahwa bau mayonais yang menggunakan kuning telur ayam ras, ayam buras, dan itik menunjukkan tidak berbeda nyata. Artinya ketiga

perlakuan tersebut menghasilkan bau mayonais yang sama-sama disukai dengan Skala Numerik 7. Bau ini merupakan satu komponen dari cita rasa yang disebabkan oleh bau makanan. Bau makanan ini turut andil dalam menentukan kelezatan suatu produk makanan termasuk bau mayonais. Syarat mutu mayonais dilihat dari bau, rasa, tekstur, dan warna adalah normal, yaitu bau khas mayonais [8]. Bau yang keluar dari suatu makanan dapat diketahui oleh epitel olfaktori yaitu bagian atap dinding rongga hidung kira-kira sebesar perangko yang berwarna kuning [1]. Selanjutnya dijelaskan bahwa bau atau aroma suatu makanan seperti mayonais dipengaruhi oleh tinggi rendahnya nilai viskositas. Kesukaan terhadap bau akan menurun dengan semakin tingginya viskositas yang akan mempengaruhi kesukaan terhadap bau.

Kesimpulan

1. Rasa mayonais dengan *emulsifier* kuning telur ayam ras paling disukai.
2. Warna dan bau mayonais yang menggunakan kuning telur ayam ras, ayam buras, dan itik sama-sama disukai

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Ketua Laboratorium Teknologi Hasil Ternak Fakultas Peternakan UNPAD Sumedang yang telah memberikan izin penelitian di Laboratorium yang Bapak pimpin.

Referensi

- [1] Winarno, "*Kimia Pangan dan Gizi*", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1997
- [2] Ketaren, "*Minyak dan Lemak Pangan*", Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta, 1986
- [3] Yuwanta, "*Telur dan Kualitas Telur*", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2010
- [4] Soewarno T. Soekarto, "*Penilaian Organoleptik*", Penerbit Bhratara karya aksara, Jakarta, 1985
- [5] Soewarno T. Soekarto, "*Dasar-dasar dan Standarisasi Mutu Pangan*", PAU Pangan dan Gizi, IPB Bogor, 1990
- [6] Muchtadi dan N. S. Palupi, "*Metode Kimia Biokimia dan Biologi dalam Evaluasi Nilai Gizi Pangan Olahan*", PAU Pangan dan Gizi, IPB, Bogor, 1992
- [7] Tien R. Muchtadi dan Sugiyono, "*Ilmu Pengetahuan Bahan Pangan*", PAU Pangan dan Gizi, IPB, Bogor, 1992
- [8] Badan standarisasi Nasional, "*Mutu mayonnaise*", Dewan Standarisasi Indonesia, Jakarta, 1998 (SNI 01-4473-1998)
- [9] Winarno, "*Pangan Gizi, Teknologi dan Konsumen*", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993

Pengembangan EM-10 (*Effective Microorganism-10*) Sebagai Bahan Baku Penghancur Sampah Organik dan Pupuk Cair

Potensial

Elpawati^{1,a}

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

^aelpawati@gmail.com

Abstrak

EM-10 berfungsi sebagai penghancur sampah organik yang dapat mempercepat dekomposisi sampah organik sehingga menyebabkan sampah organik tidak bau, meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produksi ikan lele. Tujuan dari pembuatan makalah ini adalah untuk mengetahui prospek pengembangan EM-10 (*Effective Microorganism-10*) sebagai penghancur sampah organik dan pupuk cair potensial. Kandungan EM-10 terdiri dari delapan isolat bakteri dan tiga isolat fungi. Komposisi EM-10 terdiri dari molases, delapan isolat bakteri hasil isolasi di daerah Ciputat Tangerang Selatan, tiga isolat fungi yang terdiri dari satu jenis yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), dua jenis kapang (*Trichoderma* dan *Penicillium*) dan air bersih. Tanaman yang sudah berhasil diaplikasikan terhadap penggunaan EM-10 adalah kedelai, jagung, tomat, bayam, dan kangkung. Ikan lele juga diteliti dengan penggunaan EM-10. EM-10 terdiri dari ukuran 250 ml dan 1.000 ml. Cara penggunaan: 15-20 ml EM-10 untuk palawija, 1-10 ml EM-10 untuk sayuran dan 30 ml EM-10 untuk ikan lele, kemudian EM-10 yang sudah ditakar dicampur dengan 1 liter air bersih.

Kata kunci: *Bakteri, EM-10, fungi, molases dan organik.*

Pendahuluan

Sampah merupakan salah satu persoalan yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia. Meningkatnya jumlah penduduk, kemajuan teknologi dan aktivitas ekonomi masyarakat menjadi faktor tingginya volume sampah. Sampah organik yang dibiarkan menumpuk justru menjadi sumber penyebab penyakit. Untuk itu diperlukan cara pengolahan sampah khususnya sampah organik yang bisa dimanfaatkan sebagai kompos. Penanggulangan sampah yang benar menjadi cermin bagusnya suatu kota. Akan tetapi sebagian besar masyarakat sangat sulit mendapatkan aktivator yang dapat mempercepat degradasi sampah organik produk dalam negeri.

Permasalahan sampah yang tidak pernah selesai inilah yang memotivasi untuk memproduksi mikroorganisme penghancur sampah organik yang berasal dari isolasi bakteri yang ada di sekitar

lingkungan Ciputat Tangerang Selatan. Hasil riset sebelumnya menunjukkan bahwa hasil persentase degradasi sampah organik menggunakan 8 bakteri hasil isolasi menggunakan medium molases 2 % mencapai 58,11 % degradasi [2]. Dengan adanya hasil riset ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada masyarakat sehingga persoalan sampah yang ada dapat diolah secara benar sehingga lingkungan bersih dari sampah.

Tidak hanya permasalahan sampah organik, permasalahan yang sering muncul saat ini begitu banyaknya petani yang mengeluh karena berbagai macam persoalan, antara lain: produksi yang terus menurun, tanah tak lagi subur dan begitu mudahnya tanaman terserang hama dan penyakit. Cara umum petani mengatasi masalah tersebut biasanya dengan menambah dosis pupuk dan dosis insektisida yang akhirnya berujung pada meningkatnya biaya usaha tani. Namun cara yang dilakukan kurang efektif karena dapat merusak tanah dan munculnya hama perusak tanaman. Sehingga diharapkan pupuk cair EM-10 dapat mengurangi permasalahan para petani, karena penggunaannya pun sangat efisien dan tidak merusak lingkungan.

Seiring berjalannya waktu, data tentang penggunaan pupuk organik sampai sekarang juga sulit diperoleh. Penyebabnya antara lain karena kebanyakan pupuk organik diproduksi oleh pengusaha kecil dan menengah, pupuk organik banyak diproduksi *in situ* untuk digunakan sendiri, dan jumlah penggunaan pupuk organik masih sangat terbatas [4]. Sehingga perlu adanya produksi pupuk organik yang lebih banyak, inovasi terbaru tentang pupuk organik yang dapat meningkatkan hasil produksi tanaman terutama bagi para petani.

Teori

1. Pupuk Organik

Pupuk organik adalah nama kolektif untuk semua jenis bahan organik asal tanaman dan hewan yang dapat dirombak menjadi hara tersedia bagi tanaman. Dalam Permentan No.2/Pert/Hk.060/2/2006, tentang pupuk organik dan pembenah tanah, dikemukakan bahwa pupuk organik adalah pupuk yang sebagian besar atau seluruhnya terdiri atas bahan organik yang berasal dari tanaman atau hewan yang telah melalui proses rekayasa [4].

Pupuk organik umumnya dihasilkan dari proses pengomposan sehingga sering disebut juga dengan kompos. Pengomposan merupakan proses dimana bahan-bahan organik mengalami penguraian secara biologis. Penguraian ini dilakukan oleh mikroba-mikroba yang dapat memanfaatkan bahan organik sebagai sumber energi. Kompos adalah hasil penguraian tidak lengkap dan dapat dipercepat secara *artificial* oleh populasi berbagai macam mikroba dalam kondisi lingkungan yang hangat, lembab, dan aerobik atau anaerobic [1].

Membuat kompos perlu mengatur dan mengontrol proses alami tersebut agar kompos dapat terbentuk lebih cepat. Hal ini dapat dilakukan dengan membuat campuran bahan yang seimbang,

pemberian air secukupnya, mengatur aerasi, dan penambahan aktivator. Penerapan sistem pertanian organik yakni dengan penambahan aplikasi pupuk mikroba sebagai aktivator dalam budidaya tanaman, dapat menghemat biaya produksi. Sebenarnya pemakaian inokulan mikroba lebih tepat dari istilah pupuk hayati [5].

2. EM-10 (*Effective Microorganism-10*)

EM-10 merupakan kependekan dari *Effective Microorganism-10*. EM-10 berfungsi sebagai penghancur sampah organik sehingga menyebabkan sampah organik tidak bau, meningkatkan pertumbuhan tanaman dan meningkatkan produksi ikan lele. EM-10 berupa kultur cair dapat disebar di lingkungan, dan masyarakat dapat memperbanyak sendiri sesuai dengan kebutuhan masing-masing dalam bentuk kultur cair, kemudian dengan teknologi sederhana masyarakat dapat memperbanyak EM-10 tersebut.

EM-10 merupakan pupuk cair yang berbahan baku molases. Molases adalah limbah industri gula yang dapat dimanfaatkan. Molases tebu kaya akan biotin, asam pantotenat, tiamin, fosfor, dan sulfur. Sedikit mengandung nitrogen organik. Mengandung 62% gula yang terdiri dari sukrosa 32%, glukosa 14%, dan fruktosa 16%. Selain molases, isolat bakteri juga terdapat di dalam EM-10 yang merupakan hasil isolasi dari sampah di daerah Kampung Utan. Diperoleh delapan isolat bakteri yang terbaik hasil degradasi pada penelitian sebelumnya. Delapan isolat bakteri ini adalah yang paling tinggi kualitasnya dalam menghancurkan sampah organik karena persentasi degradasinya lebih besar daripada bakteri lainnya. Delapan isolat bakteri ini diberi nomor 11, 22, 15, 21, 30, 6, 1, dan 31. Produksi EM-10 juga ditambah 3 isolat berupa yeast (*Saccharomyces cerevisiae*), kapang (*Trichoderma* dan *Penicillium*).



Gambar 1. EM-10 yang siap dipasarkan kepada masyarakat

Dari hasil pengujian N, P, K (tabel 1) menunjukkan bahwa kandungan P pupuk EM-10 sudah memenuhi standar mutu pupuk cair organik,

Tabel 1. Kandungan N, P, dan K

No	Parameter	Kandungan (%)
1	N	2,35
2	P	5,10
3	K	0,36

Hasil dan Diskusi

Pengembangan usaha EM-10 dimulai dengan penelitian terhadap tanaman. Berbagai tanaman diuji coba untuk mengetahui manfaat penggunaan EM-10 terhadap tanaman. Aplikasi penggunaan EM-10 yang pernah diteliti terhadap tanaman jagung, kedelai, tomat, kangkung darat dan bayam. Hasil penelitian menunjukkan media tanam (M2) dengan kombinasi kompos dan tanah (1:2) mampu meningkatkan diameter batang saat panen. Penambahan pupuk EM-10 pada konsentrasi 20 ml dapat meningkatkan pertumbuhan diameter batang saat panen (2.29 mm), sedangkan pada konsentrasi 15 ml meningkatkan produksi tongkol (1.66 buah) tanaman jagung [3].

Untuk tanaman kedelai diperoleh hasil dengan pemberian pupuk EM-10 pada konsentrasi 15 ml dapat meningkatkan tinggi tanaman umur 42 hst. Pemberian pupuk anorganik 100 % dapat mempengaruhi pertumbuhan tinggi tanaman umur hst dan panen, pada dosis 50 % dapat meningkatkan diameter batang saat panen. Pemberian kombinasi pupuk EM-10 dan pupuk anorganik dapat mempercepat umur polong dan meningkatkan bobot 100 biji [3].

Aplikasi menggunakan 20 % EM-10 memberikan manfaat yang optimum jika diberikan kepada tanaman tomat. Tanaman tomat dengan dosis EM-10 sebanyak 20% mengalami pertumbuhan tinggi, tanaman yang paling pesat yaitu mencapai 14,6 cm pada minggu ke-delapan setelah berbunga. Jumlah pertambahan daun setiap minggunya pun sangat tinggi, pertumbuhan munculnya bunga pada dosis EM-10 sebanyak 20% pada tanaman tomat pun paling cepat, dan yang paling menguntungkan. Hasil buah pada tanaman tomat yang diberi EM-10 dengan dosis 20% paling tinggi yaitu mencapai rata-rata 47 buah pada minggu ke-delapan [3].

Aplikasi terhadap tanaman kangkung dengan penggunaan 1 % EM-10 lebih efektif pada musim hujan karena memperoleh bobot produksi tertinggi yaitu 2,79 gr, peningkatan tinggi tanaman tertinggi dan jumlah daun terbanyak. Untuk penggunaan EM-10 pada tanaman kangkung sangat cocok digunakan pada musim hujan [3].

Aplikasi terhadap tanaman bayam dengan penggunaan 10 % EM-10 mengalami peningkatan jumlah daun pada minggu ketiga. Bobot produksi minggu ketiga pada dosis EM-10 sebanyak 0 % (kontrol), 15 % dan 25 % memiliki bobot produksi yang sama yaitu 0.0036 kg [3].

Hasil riset yang telah dilakukan terhadap EM-10 dengan konsentrasi 20 ml dapat mempengaruhi pertumbuhan harian spesifik ikan lele pada 7 hari pemeliharaan, konsentrasi 10 ml pada 14 hari pemeliharaan dan konsentrasi 30 ml pada 28 hari pemeliharaan serta dapat mempengaruhi pertumbuhan biomassa mutlak lele sangkuriang [3].

Pengembangan hasil riset yang diperoleh bermanfaat untuk memberikan informasi terhadap masyarakat tentang penggunaan EM-10. EM-10 dapat memberikan solusi kepada masyarakat untuk dapat mengolah dan menghancurkan sampah organik yang bisa dimanfaatkan sebagai kompos. EM-10 juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan ikan lele. Penggunaan EM-10 sebagai penghancur sampah organik dan pupuk cair yang ramah lingkungan, karena EM-10 merupakan berbahan baku molases.

Pengembangan usaha EM-10 sudah dipasarkan di sekitar daerah Tangerang Selatan. Pengembangan perlu ditingkatkan lagi agar semua kalangan dapat memanfaatkan produk ini. Hasil produksi tanaman menggunakan EM-10 juga pernah dikembangkan, kemudian uji coba pemasaran tanaman yang menggunakan EM-10 dilakukan untuk melihat tingkat daya beli masyarakat terhadap sayuran organik hasil penggunaan EM-10. Antusias warga saat membeli sangat besar karena sayuran organik yang segar dengan harga yang relatif terjangkau.

Kesimpulan

Pengembangan usaha EM-10 (*Effective Microorganism-10*) sudah dipasarkan di daerah Tangerang Selatan.

Ucapan Terima Kasih

Kepada semua pihak yang telah membantu penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan makalah ini. Oleh karena ini penulis mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan makalah ini. Semoga makalah ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Referensi

- [1] Crawford, J. H. 2003. Kompos. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia, Bogor.
- [2] Elpawati. 2012. Pemberdayaan Masyarakat dengan Pengembangann Bank Sampah dan Produksi Mikroorganisme Penghancur Sampah Organik dan Pengembangan Mikroorganisme Penghancur Sampah Plastik. *Laporan Akhir Pelaksanaan IPTEKDA LIPI XV*. Lembaga Penelitian UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- [3] Elpawati. 2014. EM-10 (*Effective Microorganism-10*) Sebagai Penghancur Sampah Organik dan Pupuk Organik Cair Potensial. Rumah Kompos UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.

- [4] Simanungkalit, R. D. M., A. S. Didi, S. Rasti, S. Diah, dan H. Wiwik. 2006. *Pupuk Organik dan Pupuk Hayati*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangann Sumberdaya Lahan Pertanian, Jawa Barat.
- [5] Subba Rao, N.S.S. 1998. Pengaruh Pupuk Urea dan ZA Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kentang di Daratan Medium. *Jurnal Hortikultura* **8** (1).

