

**POTENSI APLIKASI BAYAM MERAH DAN JAHE  
MERAH SEBAGAI *DYE* PADA SEL SURYA BERBASIS  
*DYE* (DSSC)**

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN**

Mendapat Bantuan Dana dari DIPA UIN SGD Bandung  
Tahun Anggaran 2016

Sesuai dengan Kontrak No. Un.05/V.2/PP.00.9/126c-236/2016



Oleh:

Dr. Hasniah Aliah (Ketua)

Pina Pitriana, M.Si. (Anggota)

**Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat  
UIN Sunan Gunung Djati Bandung  
2016**

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil ‘alamiin. Puji syukur Peneliti panjatkan kehadiran Ilahi Rabbi atas limpahan kasih sayangnya sehingga penelitian dengan judul “Potensi Aplikasi Bayam Merah Dan Jahe Merah Sebagai *Dye* Pada Sel Surya Berbasis *Dye* (DSSC)” dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik.

Terima kasih Penulis sampaikan kepada tim mahasiswa yang telah bekerjasama dalam menyelesaikan proyek-proyek berbasis tenaga surya yang selama ini kami kembangkan. Ucapan yang sama disampaikan pula kepada LP2M UIN Sunan Gunung Djati yang telah menyetujui pendanaan penelitian ini melalui DIPA UIN SGD Bandung. Semoga karya kecil ini dapat bermanfaat untuk kemajuan UIN Sunan Gunung Djati.

Bandung, September 2016

Peneliti,

## **LEMBAR PENGESAHAN**

## **PERNYATAAN ORGINILITAS PENELITIAN**

Laporan penelitian ini dibuat dengan mengacu pada referensi-referensi kepustakaan. Pengutipan atau peringkasan mengacu pada kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Referensi kepustakaan telah dicantumkan dalam daftar pustaka dan. Dengan demikian, tidak terdapat plagiasi dalam laporan penelitian ini.

## ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian mengenai pengaruh *dye* bayam merah dan jahe terhadap sifat listrik dengan struktur *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC merupakan sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan energi cahaya untuk reaksi kimia yang menghasilkan energi listrik. *Dye sensitizer* yang digunakan adalah antosianin alami yang berasal dari ekstrak bayam merah dan jahe merah. Hasil analisis spektroskopi UV-Vis menunjukkan bahwa *dye* bayam merah dan jahe merah yang dimaserasi dalam pelarut aseton mempunyai pigmen Antosianin, Dengan analisis spektroskopi FTIR menunjukkan bahwa *dye* bayam merah dan jahe merah memiliki gugus hidroksil dan karbonil sehingga *dye* bisa berikatan dengan baik pada permukaan ZnO. Hasil pengujian dengan *Cyclic Voltametry* menunjukkan bahwa *dye* bayam merah dan jahe merah memiliki level energi (*Lower Unoccupied Molecular Orbital*) LUMO yang cukup untuk menginjeksikan elektron ke permukaan ZnO dan memiliki level energi *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) yang mendukung proses regenerasi molekul *dye* teroksidasi. Hasil pengujian performansi DSSC menunjukkan bahwa DSSC yang dibuat dari *dye* Bayam Merah efisiensinya lebih besar dar *dye* Jahe Merah.

## ABSTRACT

*The research on the red spinach and red ginger to investigate the influences to an electrical's character on its structure of the Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) has finished. DSSC is a photoelectrochemical solar cell that use the light's energy on chemical process to get electrical energy. Dye Sensitizer that use in this research is a natural anthocyanin that get from extraction process of Red Spinach and Red Ginger. The result analysis with UV-Vis spectroscopy shows the red spinach's dye and red ginger's dye that are macerated in acetone's solvent have anthocyanin pigments. The result analysis with a FTIR spectroscop shows that red spinach's dye dan red ginger's dye has a group of hydroxyl and carbonyl, so that dye can be bonded well on ZnO's surface. The test result with Cyclic Voltametry shows that Red Spinach's dye and Red Ginger's dye has enough a Lower Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) energy level for electron injecting to get on ZnO surface and its has (Highest Occupied Molecular Orbital) HOMO energy level which support regeneration process of the oxidized dye's molecular. The result of testing the I-V characterization showed that the DSSC made of dye Red Spinach greater efficiency of the dye Red Ginger.*

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN ORGINILITAS PENELITIAN .....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I.....	29
PENDAHULUAN .....	29
1.1    Latar Belakang.....	29
1.2    Rumusan Masalah.....	36
1.3    Tujuan Penelitian .....	37
1.4    Manfaat Penelitian .....	37
1.5    Kerangka Konseptual dan Hipotesis.....	38
BAB II.....	41
LANDASAN TEORI.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1    Energi Matahari .....	41
2.2    Sel Surya.....	42

2.3	Sel Surya Organik.....	43
2.4	<i>Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)</i> .....	45
2.4.1	Komponen-Komponen DSSC.....	
2.4.2	Cara Kerja DSSC.....	
2.4.3	DSSC Berbasis <i>Dye</i> Alami.....	
2.4.4	Zat Warna.....	
2.5	Perkembangan Penelitian.....	59
2.6	Karakterisasi Material.....	61
2.6.1	<i>UV-Vis</i> Spektrofotometer.....	
2.6.2	<i>Cyclic Voltammetry (CV)</i> .....	
2.6.3	Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR).....	
2.6.4	Karakterisasi I-V.....	
BAB III .....		74
METODOLOGI PENELITIAN.....		74
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	74
3.2	Garis Besar Pelaksanaan Eksperimen.....	74
3.3	Alat dan Bahan.....	75
3.3.1	Preparasi Ekstrak Daun Bayam Merah dan Kulit Jahe Merah.....	
3.3.2	Persiapan Komponen DSSC.....	
3.3.3	Karakterisasi.....	
3.4	Tahap Persiapan.....	76



3.5	Tahap Preparasi Pembuatan <i>Dye</i> .....	77
3.6	Tahap Karakterisasi <i>dye</i> .....	77
3.7	Tahap Persiapan Komponen DSSC .....	79
3.7.1	Deposisi Lapisan TiO <sub>2</sub> /ZnO.....	
3.7.2	Perendaman Lapisan TiO <sub>2</sub> /ZnO pada <i>Dye</i> .....	
3.7.3	Perangkaian Material Penyusun DSSC.....	
3.8	Tahap Karakterisasi FTIR ( <i>Fourier Transform Infra Red</i> )	81
3.9	Tahap Karakterisasi DSSC .....	82
BAB IV .....		85
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		85
4.1	Ekstraksi <i>Dye</i> .....	85
4.2	Karakterisasi Optik ( <i>Uv-Vis</i> Spektrofotometer)	88
4.3	Karakterisasi Cyclic Voltammetry.....	100
4.4	Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	105
4.5	Karakterisasi I-V.....	118
BAB V.....		132
PENUTUP.....		132
5.1	Kesimpulan.....	132
5.2	Saran .....	133
DAFTAR PUSTAKA .....		134
LAMPIRAN.....		143

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen dan Struktur DSSC .....	45
Gambar 2.2 Skema Kerja DSSC .....	49
Gambar 2.3 Struktur Antosiani .....	52
Gambar 2.4 Struktur Klorofil.....	54
Gambar 2.5 Struktur Karotenoid.....	56
Gambar 2.6 Skema Kerja Uv-vis Spektrofotometer .....	64
Gambar 2.7 Skema Alat spektroskopi FTIR.....	71
Gambar 2.8 Skema Rangkaian Karakterisasi I-V .....	72
Gambar 3.1 Karakterisasi Ideal Kurva Arus dan Tegangan .	82
Gambar 4.1 Hasil Ekstraksi Daun Bayam Merah dengan berbagai pelarut.....	86
Gambar 4.2 Hasil Ekstraksi Kulit Jahe Merah dengan berbagai pelarut.....	86
Gambar 4.3 Kurva absorbansi <i>dye</i> daun bayam merah.....	88
Gambar 4.4 Kurva absorbansi <i>dye</i> kulit jahe merah .....	90

Gambar 4.5 Kurva absorbansi <i>dye</i> bayam merah dan <i>dye</i> jahe merah dengan pelarut aseton.....	92
Gambar 4.6 Absorbansi TiO <sub>2</sub> /ZnO 2:0 yang telah direndam (a) <i>dye</i> bayam merah (b) <i>dye</i> jahe merah.....	94
Gambar 4.7 Absorbansi TiO <sub>2</sub> /ZnO 0:2 yang telah direndam (a) <i>dye</i> bayam merah (b) <i>dye</i> jahe merah.....	96
Gambar 4.8 Absorbansi TiO <sub>2</sub> /ZnO 1:1 yang telah direndam (a) <i>dye</i> bayam merah (b) <i>dye</i> jahe merah.....	97
Gambar 4.9 Grafik hasil pengujian <i>Cyclic Voltametry dye</i> bayam merah.....	99
Gambar 4.10 Grafik hasil pengujian <i>Cyclic Voltametry dye</i> jahe merah.....	100
Gambar 4.11 Grafik hubungan $(\alpha h\nu)^2$ (m <sup>-1</sup> .eV) <sup>2</sup> terhadap $h\nu$ <i>dye</i> bayam merah .....	102
Gambar 4.12 Grafik hubungan $(\alpha h\nu)^2$ (m <sup>-1</sup> .eV) <sup>2</sup> terhadap $h\nu$ <i>dye</i> jahe merah .....	102
Gambar 4.13 Spektrum IR <i>dye</i> bayam merah .....	105
Gambar 4.14 Spektrum IR <i>dye</i> jahe merah .....	107
Gambar 4.15 Spektrum IR ZnO tanpa <i>dye</i> .....	109
Gambar 4.16 Spektrum IR Spektrum IR <i>dye</i> bayam merah + ZnO .....	111
Gambar 4.17 Spektrum IR Spektrum IR <i>dye</i> jahe merah + ZnO.....	

Gambar 4.18 Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah ..... 120

Gambar 4.19 Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah ..... 123

Gambar 4.20 Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah ..... 125

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perkembangan Penelitian pemuatan <i>dye</i> pada <i>solar cell</i> .....	59
Tabel 2.2 Gugus fungsi bilangan gelombang beberapa senyawa dalam infra merah .....	69
Tabel 4.1 Panjang Gelombang berbagai warna .....	89
Tabel 4.2 Perhitungan nilai HOMO tertinggi, LUMO terendah dan <i>band gap dye</i> Bayam Merah dan Jahe Merah .....	103
Tabel 4.3 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam <i>dye</i> bayam merah .....	106
Tabel 4.4 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam <i>dye</i> jahe merah .....	108
Tabel 4.5 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam ZnO murni tanpa <i>dye</i> .....	110
Tabel 4.6 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan <i>dye</i> bayam merah + ZnO .....	112
Tabel 4.7 Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan <i>dye</i> jahe merah + ZnO .....	115
Tabel 4.8 Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi <i>Dye</i> pada lapisan TiO <sub>2</sub> /ZnO dengan komposisi 2:0 .....	120
Tabel 4.9 Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi <i>Dye</i> pada lapisan TiO <sub>2</sub> /ZnO dengan komposisi 0;2 .....	124

Tabel 4.10 Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi *Dye* pada lapisan TiO<sub>2</sub>/ZnO dengan komposisi 1:1 ..... 126

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Alat Karakterisasi yang digunakan dalam Penelitian.....	142
Lampiran 2 Alat dan Bahan yang digunakan dalam Penelitian.....	
Lampiran 3 Perhitungan Nilai <i>band gap Dye</i> Bayam Merah dan Jahe Merah .....	149

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Krisis energi merupakan masalah terbesar pada abad ini. Hal ini dikarenakan pesatnya pertumbuhan ekonomi dunia sehingga kebutuhan manusia akan sumber energi pun meningkat. Sebagian besar sumber energi yang dieksploitasi di Indonesia berasal dari energi fosil berupa minyak bumi dan batu bara. Menipisnya cadangan energi fosil ini berdampak pada naiknya harga bahan bakar yang diikuti dengan melambungnya harga bahan kebutuhan pokok. Hal ini tentu saja mempersulit perekonomian masyarakat terutama masyarakat kelas menengah ke bawah. Oleh karena itu pemanfaatan energi matahari merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi krisis energi mengingat energi tersebut tak terbatas keberadaannya.

Jenis sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang dimiliki Indonesia cukup banyak. Jika dikelola dan dimanfaatkan dengan baik diyakini dapat menggantikan energi



fosil. Sumber energi alternatif di Indonesia yang dapat dimanfaatkan antara lain tenaga nuklir, energi biomassa, gas alam, panas bumi, tenaga air, tenaga angin, tenaga matahari, energi gelombang laut, energi pasang surut dan energi panas laut.

Salah satu energi alternatif yang dapat dimanfaatkan untuk mengubah energi cahaya menjadi energi listrik adalah tenaga matahari atau energi surya. Sumber energi ini dimanfaatkan dengan mengubah energi cahaya menjadi energi listrik oleh sel surya. Indonesia mempunyai potensi besar untuk menjadikan sel surya sebagai salah satu sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun.

Pengembangan sel surya terus berlangsung. Hingga saat ini para penelitian telah menghasilkan sel surya hingga generasi ketiga. Sel surya generasi pertama berbasis material silikon, generasi kedua berupa lapisan tipis dan generasi ketiga berupa sel surya berbasis zat pewarna yang disebut *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*.

Generasi pertama yang berhasil dikembangkan oleh para peneliti adalah teknologi yang menggunakan bahan silikon kristal tunggal dan poli kristal. Teknologi ini mampu

menghasilkan sel surya dengan efisiensi yang tinggi. Masalah terbesar yang dihadapi dalam pengembangan generasi pertama ini adalah dalam proses fabrikasi yang membutuhkan biaya besar, sehingga membuat sel surya yang dihasilkan menjadi tidak efisien sebagai sumber energi alternatif.

Generasi kedua adalah sel surya yang dibuat dengan teknologi lapisan tipis (*thin film*). Teknologi pembuatan sel surya dengan lapisan tipis ini bertujuan untuk mengurangi biaya pembuatan solar sel, mengingat teknologi ini hanya menggunakan kurang dari 1% bahan baku silikon jika dibandingkan dengan bahan baku untuk tipe silikon wafer. Selain menggunakan material dari silikon, sel surya lapisan tipis juga dibuat dari bahan semikonduktor lainnya yang memiliki efisiensi solar sel tinggi seperti Cadmium Telluride (CdTe) dan Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). Efisiensi tertinggi yang dapat dihasilkan untuk solar sel lapisan tipis CIGS hingga 2014 berdasarkan *solar cell efficiency tables (version 43)* adalah 20,8% (Green, dkk., 2014).

Generasi ketiga adalah DSSC. *Dye Sensitized Solar Cell* yang biasa disingkat DSSC, memiliki potensi besar untuk terus dikembangkan menjadi sel surya generasi mendatang. Hal ini dikarenakan generasi sel surya tidak memerlukan

material dengan kemurnian tinggi, sehingga biaya produksi relatif rendah (Nur, 2013).

Pada DSSC, absorpsi cahaya dan separasi muatan listrik terjadi pada proses yang terpisah. Hal ini tidak ditemukan pada sel surya silikon yang seluruh prosesnya melibatkan silikon saja dan tidak terpisah. Pada DSSC, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye*, dan separasi muatan dilakukan oleh semikonduktor nanokristal anorganik yang mempunyai celah pita lebar. Semikonduktor dengan celah pita lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi (Nur, 2013).

Dalam mekanisme kerja DSSC, arus dihasilkan dari rangkaian proses fotofisika dan fotokimia: ketika cahaya mengenai sistem DSSC, elektron dalam molekul *dyes* akan mengalami fotoeksitasi dari keadaan dasar (level energi HOMO) ke keadaan tereksitasi (level energi LUMO) kemudian elektron tersebut diinjeksikan pada pita konduksi oksida semikonduktor. Elektron di pita konduksi semikonduktor selanjutnya diinjeksikan pada substrat TCO dan akan melewati rangkaian eksternal menuju elektroda lawan. Elektron di elektroda lawan akan kembali pada molekul *dye* yang teroksidasi dengan bantuan elektrolit. Rangkaian proses ini akan terus berlangsung sehingga membentuk sebuah siklus.

Rangkaian proses fotofisika dan fotokimia dalam DSSC dapat dijelaskan lebih mendalam dengan mengetahui karakteristik fotofisika dan fotokimianya yang diuraikan dalam beberapa karakteristik: *pertama* karakteristik absorpsi, *dye* idealnya memiliki absorpsi yang tinggi pada rentang panjang gelombang yang lebar sehingga elektron yang dieksitasikan oleh foton dalam molekul *dye* akan lebih banyak. *Kedua*, karakteristik gugus organik, *dye* sebaiknya memiliki *anchoring grup* (gugus jangkar) yaitu gugus hidroksil dan karbonil agar *dye* terikat dengan baik pada oksida semikonduktor. *Ketiga*, karakteristik transfer muatan antarmuka fotosensitizer dan oksida semikonduktor yang dijelaskan dengan menganalisa level energi HOMO-LUMO *dye* dan resistansi internal DSSC. *Dye* idealnya memiliki level energi LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) yang lebih besar daripada pita konduksi elektroda ZnO untuk mencegah rekombinasi elektron dengan molekul *dye* lainnya yang teroksidasi dan transfer balik elektron pada elektrolit, juga memiliki level energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) yang lebih kecil dibandingkan dengan potensial redoks untuk mempercepat regenerasi *dye* teroksidasi melalui transfer elektron dari donor elektron (Prima, 2013). Selain itu, agar transfer muatan antara antarmuka dalam DSSC lancar sebaiknya memiliki resistansi

internal yang kecil sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi. *Keempat* karakteristik kelistrikan (I-V), DSSC yang baik memiliki performa tinggi yang salah satunya ditentukan oleh nilai efisiensi.

Sejauh ini *dye* yang digunakan sebagai sensitizer dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. *Dye* sintesis umumnya menggunakan organik logam berbasis ruthenium kompleks, *dye* sintesis ini cukup mahal. Sedangkan *dye* alami dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga atau buah. Berbagai jenis ekstrak tumbuhan telah digunakan sebagai fotosensitizer pada sistem sel surya tersensitisasi *dye*. Ekstrak *dye* atau pigmen tumbuhan yang digunakan sebagai fotosensitizer berupa klorofil, karoten atau antosianin.

Antosianin, karotin dan klorofil yang terdapat pada sampah kulit buah dan sayur berturut-turut dapat dijumpai pada daun bayam merah dan jahe merah. *Dye* dapat diekstrak menggunakan pelarut dan destilasi uap. Teknik ekstraksi menggunakan pelarut terdiri dari maserasi dan perkolasi, refluks, sokhlet, degisti, infus, dan dekok (Febriansyah, 2009). Teknik maserasi cukup banyak dilakukan karena cara

pengerjaan yang tidak rumit dan hanya memerlukan peralatan yang sederhana (Fatayati, 2014).

Bayam merah adalah salah satu potensi yang dapat dikembangkan sebagai pewarna alami. Warna merah dari bayam tersebut menunjukkan bahwa pada bayam merah mengandung pigmen, yang dapat digunakan sebagai warna alami pengganti warna sintetis (Ikasari, 2013). Jahe merah termasuk rimpang umbi-umbian yang banyak terdapat di tanah Indonesia dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan obat. Jahe Merah memiliki nama ilmiah *Zingiberofficinale* Linn Var. *rubrum*. Antosianin jumlahnya 90-96% dari total senyawa fenol. Antosianin adalah bagian dari senyawa fenol yang tergolong flavonoid. Antosianin merupakan zat warna yang paling penting dan tersebar luas, pigmen memberikan warna pada tumbuhan tinggi dan mudah larut dalam air (Durst & Wrolstad, 2001). Pigmen ini berperan terhadap timbulnya warna pada bunga, daun, dan buah. Antosianin bersifat polar sehingga dapat dilarutkan pada pelarut polar seperti etanol, aseton, dan air.

Energi foton yang diserap mempengaruhi proses eksitasi elektron dari senyawa antosianin. Sehingga elektron pada senyawa antosianin lebih banyak mengalami eksitasi. Maka semakin banyak elektron yang tereksitasi, maka semakin bagus

untuk proses sistem sel surya dan menghasilkan efisiensi yang baik (Wongcharee, dkk., 2007).

Zat warna dari antosianin, klorofil dan karotin ini berfungsi sebagai *dye* sensitizer. penggunaan *dye* organik alami yang berasal dari bagian tumbuhan menjadi suatu kajian yang menarik, karena proses ekstraksi dapat dilakukan dengan teknik sederhana, biaya yang murah dan ramah lingkungan.

Berdasarkan uraian-uraian di atas, dalam penelitian ini akan dilakukan kajian mengenai pemanfaatan daun bayam merah dan kulit jahe merah sebagai zat warna pada DSSC. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh pelarut *dye* terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC, pengaruh pelarut *dye* terhadap efisiensi listrik DSSC.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Uraian pada latar belakang di atas memandu penelitian ini, sehingga masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

- a. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC.
- b. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap gugus fungsi organik

- c. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap level energi (HOMO-LUMO)
- d. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap efisiensi listrik DSSC

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC, mengkaji pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap gugus fungsi organik, mengkaji pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap level energi (HOMO-LUMO) dan mengkaji pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap efisiensi listrik DSSC

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat, baik dari aspek teoritis maupun dari aspek praktis. Proses penelitian diharapkan dapat memberikan pemahaman teoritis mengenai pengembangan devais *Dye Sensitized Solar Cell* yang menggunakan *dye* bayam merah dan jahe merah. Dalam aspek praktis, energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat, sehingga kebutuhan akan



energi listrik dari tiap waktu terus meningkat dapat terpenuhi dengan menggunakan sel surya jenis DSSC.

## **1.5 Kerangka Konseptual dan Hipotesis**

### ➤ Permasalahan

- a. Bagaimana pengaruh pelarut dye terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC.
- b. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC.
- c. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap gugus fungsi organik
- d. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap level energi (HOMO-LUMO)
- e. Bagaimana pengaruh ekstrak bayam merah dan jahe merah terhadap efisiensi listrik DSSC

### ➤ Metode

- a. Preparasi ekstrak dye daun Bayam Merah dan Jahe Merah

- Variasi pelarut dye
  - Analisis serapan Absorpsi cahaya
  - Analisis identifikasi senyawa
- b. Pembuatan komponen DSSC
- Tahap pembuatan pasta ZnO (meliputi pencampuran serbuk ZnO dan dilarutkan dengan menggunakan butanol atau etanol dan HCl).
  - Tahap deposisi pasta pada substrat FTO dengan menggunakan metode Doctor Blade sebagai elektroda kerja dan melapisi grafit pada FTO sebagai elektroda lawan.
  - Tahap Annealing, yaitu tahap pembakaran pasta yang telah dideposisikan pada substrat kaca FTO dengan menggunakan furnace.
  - Tahap karakterisasi, yaitu pengkajian besar serapan optik yang dihasilkan oleh DSSC dengan menggunakan spektrometer UV-Vis.
- c. Tahap sensitasi, yaitu perendaman elektroda pada kerja pada larutan dye bayam merah dan jahe merah selama 24 jam.
- d. Proses assembly, yaitu proses penumpukan elektroda lawan terhadap elektroda kerja dengan membentuk

struktur sandwich dan dijepit dengan menggunakan jepitan klip.

- e. Proses pengisian elektrolit, dengan cara meneteskan larutan elektrolit HSE pada celah diantara kedua elektroda.
- f. Proses pengujian karakteristik Cyclic Voltammetry (CV), karakterisasi Fourier Transform Infra Red (FTIR) dan karakterisasi I-V.
- g. Tahap pembuatan laporan yang meliputi penulisan kegiatan penelitian, hasil pembuatan, hasil karakterisasi, dan hasil pengujian DSSC.

➤ Hasil

a. Terciptanya energi cahaya menjadi energi listrik oleh sel surya untuk dimanfaatkan oleh masyarakat.

b. Terciptanya aplikasi yang lebih luas, biaya fabrikasi lebih murah karena suhu proses yang lebih rendah, dan mudah diproduksi dalam skala industri menggunakan sistem roll to roll

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Energi Matahari**

Matahari adalah sumber energi utama yang memancarkan energi yang luar biasa besarnya ke permukaan bumi. Energi surya atau matahari telah dimanfaatkan di banyak belahan dunia dan jika dieksploitasi dengan tepat, energi ini berpotensi mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dunia saat ini dalam waktu yang lebih lama. Matahari dapat digunakan secara langsung untuk memproduksi listrik atau untuk memanaskan bahkan untuk mendinginkan. Potensi masa depan energi surya hanya dibatasi oleh keinginan kita untuk menangkap kesempatan. Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi dari matahari. Tumbuhan mengubah sinar matahari menjadi energi kimia dengan menggunakan fotosintesis. Memanfaatkan energi ini dengan memakan dan membakar kayu (Chiba, dkk., 2006).

Istilah tenaga surya mempunyai arti mengubah sinar matahari secara langsung menjadi panas atau energi listrik. Photovoltaic tenaga matahari: melibatkan pembangkit listrik dari cahaya. Rahasia dari proses ini adalah penggunaan bahan semi konduktor yang dapat disesuaikan untuk melepas

elektron, partikel bermuatan negatif yang membentuk dasar listrik. Bisa dikatakan bahwa sumber segala energi adalah energi matahari. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan berbagai cara salah satunya sel surya yang menjanjikan masa depan yang cerah sebagai sumber energi listrik (Green & Martin., 1982).

## **2.2 Sel Surya**

Sel surya atau sel fotovoltaik merupakan alat yang mampu mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Efek fotovoltaik merupakan dasar dari proses konversi sinar matahari (foton) menjadi listrik. Efek fotovoltaik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foton ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit (Kay & Grätzel, 1996).

Mekanisme yang bekerja pada sel surya berdasarkan efek fotovoltaik dimana foton dari radiasi diserap kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Efek voltaik sendiri adalah suatu peristiwa terciptanya muatan listrik didalam bahan sebagai akibat penyerapan (absorpsi) cahaya dari bahan tersebut (Malvino, 1985). Struktur sel surya tandem (*multi-junction*) didesain untuk mengatasi persoalan kehilangan energi ini. Prinsip dasar dari sel surya tandem adalah

pembagian spektrum cahaya matahari kedalam dua atau lebih bagian, untuk kemudian masing-masing bagian tersebut dapat diserap oleh beberapa sel surya yang memiliki celah pita energi yang berbeda. Prinsip ini dapat direalisasikan dengan cara membuat tumpukan sel surya dimana sel surya yang paling atas yang memiliki celah pita energi terbesar dibuat trasparan terhadap spektrum cahaya yang tidak diserapnya, sehingga dapat lolos dan diserap oleh sel surya di bawahnya yang memiliki celah pita energi lebih kecil (Buwono, 2010).

### **2.3 Sel Surya Organik**

Sel Surya Organik (*Organic Solar Cell*) menggunakan material organik atau *dye* untuk menangkap foton yang dipancarkan oleh sumber matahari. Material organik yang digunakan diperoleh dari pigmen tumbuhan, karoten, antosianin, klorofil, dan lain sebagainya. Pewarna (*dye*) yang digunakan dapat berlapis tunggal atau lebih. Hingga saat ini penggunaan pewarna (*dye*) secara berlapis masih terbatas. Sistem kerja sel surya organik meniru sistem kerja fotosintesis (Puspita, 2012).

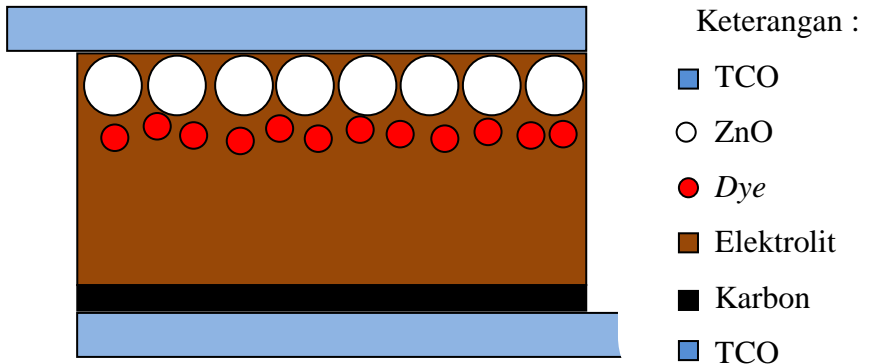
Sel surya  $\text{TiO}_2$  tersensitisasi *dye* terdiri dari lapisan nanokristal  $\text{TiO}_2$  berpori sebagai fotoanoda, *dye* sebagai fotosensitizer, elektrolit redoks dan elektroda lawan (katoda) yang diberi lapisan katalis. Sel surya tersensitisasi *dye*

berbentuk struktur *sandwich*, dimana dua elektroda yaitu elektroda TiO<sub>2</sub> tersensitisasi *dye* dan elektroda lawan terkatalisasi mengapit elektrolit membentuk sistem sel fotoelektrokimia. Berbeda dengan sel surya *p-n* silikon, pada sel surya tersensitisasi *dye* cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat (*attached*) pada permukaan partikel TiO<sub>2</sub> yang bertindak sebagai donor elektron dan berperan sebagai pompa fotoelektrokimia. Elektron-elektron dari level *Highest Occupied Molecular Orbital* (HOMO) dieksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi, *Lowest Unoccupied Molecular Orbital* (LUMO) ketika molekul *dye* menyerap foton dengan energi yang sesuai, mirip dengan fungsi klorofil pada proses fotosintesis tumbuhan. Sedangkan lapisan TiO<sub>2</sub> bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer dari *dye* yang teroksidasi. Elektrolit redoks, biasanya berupa pasangan iodide dan triiodide (I<sup>-</sup>/I<sup>3-</sup>) yang bertindak sebagai mediator redoks sehingga dapat menghasilkan proses siklus di dalam sel (Smestad & Grätzel, 1998).

## 2.4 *Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)*

### 2.4.1 **Komponen-Komponen DSSC**

Diilustrasikan pada Gambar 2.1 Material penyusun *dye Sensitized Solar cell* (DSSC) berbentuk struktur *sandwich*.



**Gambar 2.1** Komponen dan struktur DSSC (Fatayati, 2014).

#### 2.4.1.1 **Transparent Conducting Oxide (TCO)**

Substrat yang digunakan pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*) yang merupakan kaca transparan konduktif. Material substrat itu sendiri berfungsi sebagai badan dari sel surya dan lapisan konduktifnya berfungsi sebagai tempat muatan mengalir.

Material yang umumnya digunakan yaitu flourine-doped tin oxide ( $\text{SnO}_2\text{:F}$  atau FTO) dan indium tin oxide



( $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$  atau ITO) hal ini dikarenakan dalam proses pelapisan material ZnO kepada substrat, diperlukan proses sintering pada temperatur 400-500°C dan kedua material tersebut merupakan pilihan yang cocok karena tidak mengalami efek pada jarak temperatur tersebut (Wilman, 2007).

#### **2.4.1.2 Material Semikonduktor Oksida**

Semikonduktor adalah inti dari system *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). Perwujudan *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dibuat dengan semikonduktor oksida berenergi celah pita yang lebar yang kontak dengan elektrolit redoks (Gregg, 2003). Semikonduktor ini adalah tempat melekatnya selapis pewarna yang akan tereksitasi saat dikenai cahaya. Selain menjadi tempat perlekatan bahan pewarna, pita konduksi dari semikonduktor ini juga menjadi tempat ‘pelarian’ dari elektron yang tereksitasi dari bahan pewarna.

$\text{TiO}_2$  dan ZnO adalah semikonduktor yang paling banyak digunakan karena efisiensinya lebih tinggi dari yang lain.  $\text{TiO}_2$  merupakan bahan semikonduktor yang bersifat inert, stabil terhadap fotokorosi dan korosi oleh bahan kimia. Film  $\text{TiO}_2$  memiliki band gap yang tinggi (>3eV) dan memiliki transmisi optik yang baik. Lebar pita energinya yang besar

(>3eV), dibutuhkan dalam DSSC untuk transparansi semikonduktor pada sebagian besar spektrum cahaya matahari. TiO<sub>2</sub> yang digunakan pada DSSC umumnya berfasa anatase karena mempunyai kemampuan fotoaktif yang tinggi. TiO<sub>2</sub> dengan struktur nanopori yaitu ukuran pori dalam skala nano akan menaikkan kinerja sistem karena struktur nanopori mempunyai karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga akan menaikkan jumlah *dye* yang teradsorb yang implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang terabsorb.

Material Seng Oksida sebagai semikonduktor memiliki celah pita energi yang lebar yaitu antara 3,3-3,4 eV. Besaran celah pita energi ini hampir mirip dengan yang dimiliki oleh anatase (TiO<sub>2</sub>) yang nilainya 3,2 eV. Posisi tepian pita konduksi kedua material pun hampir sama. Dengan demikian, diperkirakan bahwa ZnO, selain beberapa material oksida logam lain yang juga serupa, memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi semikonduktor pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) (Rahman, 2011).

#### **2.4.1.3 Dye**

Penggunaan *dye* dapat meningkatkan kinerja pada DSSC yang sesuai dengan pita energi ZnO. ZnO hanya menyerap pada daerah UV (350 – 380 nm). Untuk meningkatkan serapan

spektra ZnO di daerah cahaya tampak, dibutuhkan *dye* sebagai absorpsi cahaya (Purwanto, 2013). *Dye* yang digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC dapat berupa *dye* sintesis maupun *dye* alami. *Dye* sintesis yang sering digunakan untuk mencapai efisiensi paling tinggi yaitu jenis *ruthenium complex*. Namun penggunaan *dye* sintesis ini cukup sulit untuk disintesa dan harganya yang mahal. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan *dye* alami. Para peneliti telah membuktikan bahwa *dye* alami ini mampu meningkatkan efisiensi konversi energi yang baik. *Dye* alami yang digunakan merupakan hasil ekstraksi bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah.

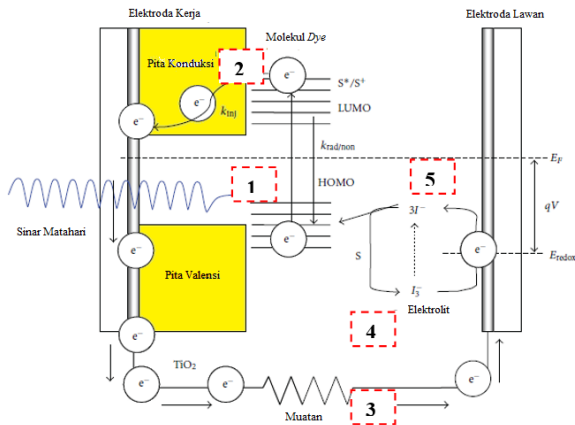
#### **2.4.1.4 Elektrolit**

Elektrolit redoks berupa larutan redoks iodine I-/I<sub>3</sub> (*Dyesol* HSE) yang bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan proses siklus dalam sel. Akan tetapi elektrolit cair memiliki kelemahan yaitu bersifat lebih mudah menguap dengan titik didih 82°C, hal itu merupakan temperatur yang dapat dicapai sel surya pada kondisi terkena radiasi sinar matahari secara penuh (Hastuti & Ningsih, 2013).

### 2.4.1.5 Elektroda Lawan

Dalam aplikasi DSSC pada *counter* elektroda diberi katalis. Kay dan Gratzel (1996) mengembangkan desain DSSC dengan menggunakan *counter* elektroda karbon sebagai lapisan katalis. Katalis di butuhkan untuk mempercepat kinetika reaksi proses reduksi triiodide pada FTO. Karena luas permukaannya yang tinggi, *counter*-elektroda karbon mempunyai keaktifan reduksi triiodide yang menyerupai elektroda platina. Umumnya material yang sering digunakan yaitu platina. Platina mempunyai kemampuan sifat katalitik yang tinggi, namun harganya mahal (Hastuti & Ningsih, 2013).

### 2.4.2 Cara Kerja DSSC



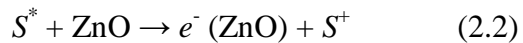
**Gambar 2.2** Skema kerja DSSC (Sokolsky dkk., 2011)

Pada Gambar 2.2 menunjukkan skema kerja DSSC dan proses yang terjadi dalam DSSC dijelaskan sebagai berikut:

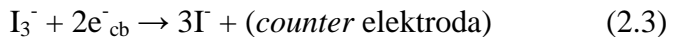
1. Saat *dye* menyerap foton, maka *dye* akan tereksitasi dari level HOMO ke level LUMO, sehingga elektron dari *dye* mendapatkan energi untuk tereksitasi ( $S^*$ ).



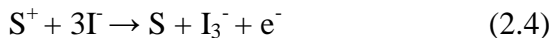
2. Elektron yang tereksitasi akan diinjeksikan pada pita konduksi ZnO. ZnO bertindak sebagai akseptor/kolektor elektron. Molekul *dye* yang ditinggalkan kemudian dalam keadaan teroksidasi ( $S^+$ ).



3. Elektron kemudian akan diteruskan ke elektroda pembanding.
4. Elektrolit bertindak sebagai mediator elektron sehingga menghasilkan proses siklus dalam sel. Elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis (Kumara & Sukma, 2012).



5. Dengan adanya donor elektron oleh elektrolit ( $I^-$ ) maka molekul *dye* akan kembali pada keadaan awal dan mencegah penangkapan kembali elektron oleh *dye* yang teroksidasi.



Berdasarkan proses DSSC diatas maka akan terbentuk suatu siklus transport elektron yang menghasilkan konversi cahaya menjadi listrik.

### **2.4.3 DSSC Berbasis *Dye* Alami**

Pengembangan DSSC sejauh ini mampu menggunakan *dye* berbahan organik, dimana *dye* jenis ini *dye* alami yang dapat diekstrak dari bagian-bagian tumbuhan seperti daun, bunga, atau buah. Pada DSSC berbasis *dye* alami ini telah banyak para peneliti yang mengkaji penerapan *dye* alami untuk meningkatkan efisiensi pada sel surya.

Pada DSSC absorpsi cahaya dan separasi muatan dilakukan secara terpisah, dimana absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul *dye*, sedangkan separasi muatan dilakukan oleh anorganik semikonduktor nanokristal ZnO dengan energi celah pita yang lebar sekitar 3eV. Penggunaan semikonduktor dengan celah pita lebar akan memperbanyak elektron yang mengalir dari pita konduksi ke pita valensi (Susanti, 2012).

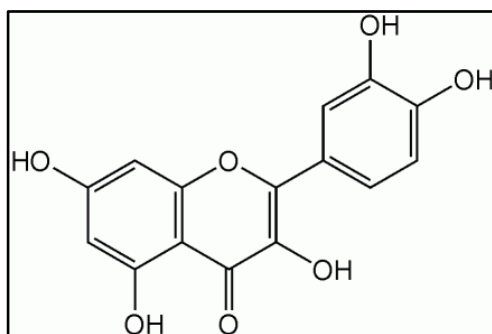
### **2.4.4 Zat Warna**

#### **2.4.4.1 Antosianin**

Antosianin adalah zat warna alami yang bersifat sebagai antioksidan yang terdapat dalam tumbuh-tumbuhan. Lebih dari

300 struktur antosianin yang ditemukan telah diidentifikasi secara alami (Mazza & Davies, 1992). Antosianin adalah pigmen dari kelompok flavonoid yang larut dalam air, berwarna merah sampai biru dan tersebar luas pada tanaman. Terutama terdapat pada buah dan bunga, namun juga terdapat pada daun.

Pigmen antosianin yang merupakan flavonoid merupakan pigmen yang paling luas dan penting karena banyak tersebar pada berbagai organ tanaman, terutama pada bunga (ditentukan hampir 30% terkandung dalam berat keringnya). Pelarut yang sering digunakan untuk mengekstrak antosianin adalah alkohol, etanol dan metanol, isopropanol, aseton atau dengan air (aquadest) yang dikombinasikan dengan asam, seperti asam klorida (HCl), asam asetat, asam format, atau asam askorbat.



**Gambar 2.3** Struktur antosianin (Nugraha, 2015)

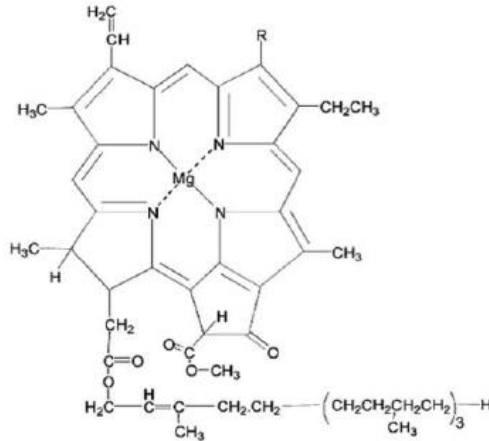
#### 2.4.4.2 Klorofil

Klorofil adalah pigmen hijau yang ada dalam kloroplastida. Pada umumnya klorofil terdapat pada kloroplas sel-sel mesofil daun, yaitu pada sel-sel parenkim palisade dan atau parenkim bunga karang. Dalam kloroplas, klorofil terdapat pada membrane thylakoid grana. Pada tumbuhan tingkat tinggi terdapat dua jenis klorofil yaitu klorofil-a dan klorofil-b. Pada keadaan normal, proporsi klorofil-a jauh lebih banyak daripada klorofil-b. Selain klorofil, pada membran thylakoid juga terdapat pigmen-pigmen lain, baik yang berupa turunan-turunan klorofil-a maupun pigmen lainnya. Kumpulan bermacam-macam pigmen fotosintesis disebut fotosistem, berperan menjerap energy cahaya (foton, kuantum) pada reaksi terang untuk menghasilkan energi kimia berupa ATP dan NADPH<sub>2</sub>. Contoh turunan klorofil-a yang berperan penting pada fotosintesis adalah feofitin (klorofil-a yang kehilangan inti Mg, menjadi salah satu komponen fotosistem II), pigmen yang peka terhadap  $\lambda$  680 nm (P680 = sebagai pusat reaksi fotosistem II) , dan P700 (menjadi pusat reaksi fotosistem I). Pigmen yang lain antara lain carotenoida dan Xantofil.

Molekul klorofil tersusun atas empat cincin pirol dengan Mg sebagai inti. Pada klorofil terdapat rangkaian yang disebut fitil (C<sub>20</sub>H<sub>39</sub>O) yang jika terkena air dengan pengaruh



enzim klorofilase akan berubah menjadi fitol ( $C_{20}H_{39}OH$ ). Fitol adalah alkohol primer jenuh yang mempunyai daya afinitas yang kuat terhadap  $O_2$  dalam proses reduksi klorofil (Suyitno, 2008).



**Gambar 2.4** Struktur Klorofil (Suyitno, 2008)

Sifat fisik klorofil adalah menerima dan atau memantulkannya dalam gelombang yang berlainan (berpendar). Klorofil banyak menyerap sinar dengan panjang gelombang antara 400-700 nm, terutama sinar merah dan biru. Sifat kimia klorofil menurut antara lain tidak larut dalam air, melainkan larut dalam pelarut organik yang lebih polar, seperti etanol dan kloroform, inti Mg akan tergeser oleh 2 atom H bila

dalam suasana asam, sehingga membentuk suatu persenyawaan yang disebut feofitin yang berwarna coklat.

Perkembangan kloroplas secara fungsional berasal dari proplastida yang ada pada kecambah. Seiring dengan berkembangnya daun pada kecambah, proplastida berkembang menjadi etioplas yang khas dengan badan prolamelar-nya. Oleh adanya cahaya yang cukup, badan prolamelar akan membentuk tilakoid dari kloroplas fungsional. Sintesis klorofil pada angiospermae tergantung pada cahaya. Prekursor untuk sintesis klorofil adalah protoklorofilid yang disintesis dari protoporfirin IX oleh magnesium menjadi cincin porfirin. Protoklorofilid diubah menjadi klorofilid a kemudian berkembang menjadi klorofil a melalui proses fitilasi (penambahan fitil). Bila klorofil a teroksidasi maka akan menjadi klorofil b (Suyitno, 2008).

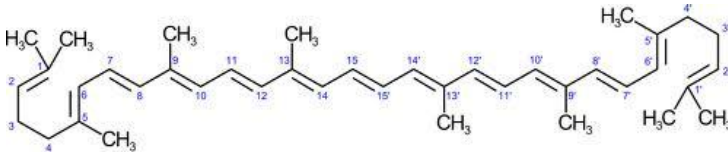
#### **2.4.4.3 Karotenoid**

Karotenoid merupakan pigmen alami dan dikenal secara luas dari warnanya terutama warna kuning, oranye dan merah. Pigmen ini ditemukan pada tumbuhan besar, ganggang, jamur dan bakteri dalam jaringan fotosintesis maupun jaringan non fotosintesis. Selain pada tumbuhan, karoten juga ditemukan

pada hewan, misalnya sebagai pigmen warna pada burung, ikan dan beberapa hewan invertebrata.

Nama *carotenoids* ini diperoleh dari salah satu tipenya yang terkenal yaitu B-karoten, yang merupakan pigmen yang pertama kali diisolasi dari wortel (*Daucus carota*) oleh Wackenroder pada tahun 1983 (Gross, 1991).

Karotenoid merupakan lipid sehingga pigmen ini bersifat liposoluble (larut dalam lemak) dan larut dalam pelarut nonpolar. Secara struktur, karotenoid merupakan poliena dengan rantai terkonjugasi linier dari atom-atom karbon yang berhubungan dengan ikatan rangkap dua dan tunggal. Karotenoid tersusun atas delapan unit isoprena (C<sub>5</sub>) yang terhubung satu sama lain dengan bentuk geometris jika diputus pada tengah strukturnya. Pada B-karoten, pemecahan pada pusat molekul yang dikatalisis oleh enzim 15-15'-dioksigenase membentuk dua molekul retinal yang kemudian direduksi menjadi molekul retinol yang merupakan vitamin A (Glover, 1960). Bentuk retinol mengalami esterifikasi, lalu diangkut ke getah bening dan disimpan dalam hati (Gross, 1991).



**Gambar 2.5** Struktur Karotenoid (Gross, 1991)

Di alam, karotenoid berfungsi sebagai energi penghilang pada sel fotosintesis dalam pusat reaksi (RC). Tanpa adanya karoten, energi yang ditangkap oleh klorofil melalui penyerapan sinar matahari terakumulasi secara berlebihan. Kelebihan energi tersebut dapat dilepaskan kembali ke alam oleh molekul karotenoid (dalam bentuk cis-). Selain sebagai energi dissipation karotenoid juga berfungsi dalam light-harvesting sebagai photo-protector dimana pada penyerapan sinar yang berlebihan karoten mengubah karoten dari bentuk singlet menjadi triplet. Klorofil dalam kondisi triplet sangat berbahaya karena memicu timbulnya singlet oksigen yang merupakan radikal bebas yang akan merusak sel tersebut. Karoten menangkap triplet klorofil dan mengubah singlet oksigen menjadi oksigen normal (Frank & Cogdell, 1995)

#### 2.4.4.4 Zat Warna Pada Daun Bayam Merah

Salah satu sumber antosianin yang murah dan banyak terdapat di Indonesia adalah tanaman daun bayam merah (*Alternantera amoena voss*). Klafisifikasi dari tanaman daun bayam merah sebagai berikut

Kingdom	: <i>plantae</i> (tumbuhan)
Superdivisi	: <i>spermatophyta</i> (menghasilkan biji)
Divisi	: <i>magnoliophyta</i> (tumbuhan berbunga)
Kelas	: <i>magnoliopsida</i> (berkeping dua/dikotil)
Subkelas	: <i>hamamelidae</i>
Ordo	: <i>caryophyllales</i>
Famili	: <i>amaranthaceae</i> (suku bayam-bayaman)
Genus	: <i>alternantera</i>
Spesie	: <i>Alternantera amoena voss</i>

Antosianin merupakan pewarna yang paling penting dan tersebar dalam tumbuhan. Pigmen yang berwarna kuat dan larut dalam air adalah penyebab semua warna merah, orange, dan biru. Bayam merah adalah salah satu potensi yang dapat dikembangkan sebagai pewarna alami. Warna merah dari dalam tersebut menunjukkan bahwa pada bayam merah mengandung pigmen, yang dapat digunakan sebagai warna alami pengganti warna sintetik. Antosianin dapat lebih stabil pada perlakuan asam dibandingkan pada perlakuan basa atau

netral. Suhu ekstraksi merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efektivitas ekstraksi, karena kecepatan reaksi tergantung dari jenis zat pereaksi, suhu reaksi dan konsentrasi zat pereaksi.

#### **2.4.4.5 Zat Warna Pada Jahe Merah**

Klafisifikasi dari tanaman daun jahe merah sebagai berikut

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Sub-divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Monocotyledoneae</i>
Ordo	: <i>Zingiberales</i>
Famili	: <i>Zingiberaceae</i>
Genus	: <i>Zingiber</i>
Species	: <i>Zingiber officinale</i>

Jahe merah termasuk rimpang umbi-umbian yang banyak terdapat di tanah Indonesia dan banyak dimanfaatkan sebagai bahan obat. Jahe merah memiliki nama ilmiah *Zingiber officinale* Linn Var. *rubrum*. Antosianin jumlahnya 90-96% dari total senyawa fenol (Yudoyono, dkk., 2013).

## **2.5 Perkembangan Penelitian**

Perkembangan penelitian mengenai pembuatan *dye* pada solar sel semakin menarik dan menghasilkan pembaharuan dalam

hal keunggulan dari sifat yang didapatkan. Berikut adalah perkembangan penelitian.

**Tabel 2.1** Penelitian pemuatan *dye* pada *solar cell*

<b>Tahun</b>	<b>Penulis</b>	<b>Sumber <i>dye</i></b>	<b>Capaian</b>
2014	Retno Damayanti, Hardeli, Hary Sanjaya	Ubi Jalar Ungu	( $\lambda$ max) = 533 nm Efisiensi = 0.23 %
2013	Mochamad Choirul Misbachudin, Suryasatriya Trihandaru, Adita Sutresno	Strawberry	( $\lambda$ max) = 510 nm Efisiensi = -
2013	Vitriany Ekasari, Gatut Yudoyono	Jahe Merah	( $\lambda$ max) = 950 nm Efisiensi =
2015	Jasim Uddin, Jahid M M Islam, Ejajul Karim, Shuak M M Khan, Shireen Akhter ,	Bayam Merah	( $\lambda$ max) = 680 nm (Air) Efisiensi = 0,04% ( $\lambda$ max) = 680 nm (Air mendidih)

	Enamul Hoque and Mubarak A.Khan		Efisiensi = 0,12% ( $\lambda$ max) = 665 nm (Etanol) Efisiensi = 0,07% ( $\lambda$ max) = 665 nm (Metanol) Efisiensi = 0,11% ( $\lambda$ max) = 665 nm (Aseton) Efisiensi = 0,21%
2015	Romi Nugraha	Hanjung ( <i>Cordyline Fruticosa</i> )	Efisiensi = 1,26% (Aseton) Efisiensi = 0,81% (Etanol) Efisiensi = 0,43% (Metanol)

## 2.6 Karakterisasi Material

Karakterisasi bertujuan untuk mengetahui karakteristik material yang diuji dengan berbagai alat uji sesuai dengan karakteristik yang ingin diketahui.



Dalam penelitian ini, untuk menganalisa dan memecahkan permasalahan yang ada dibutuhkan karakterisasi intensitas cahaya dengan menggunakan *UV-Vis* Spektrofotometer untuk mengetahui tingkat penyerapan cahaya (absorpsi), *Cyclic Voltammetry* untuk mengetahui tingkat level energi HOMO dan LUMO pada *dye* dan Karakterisasi I-V untuk menentukan arus dan tegangan.

### **2.6.1 *UV-Vis* Spektrofotometer**

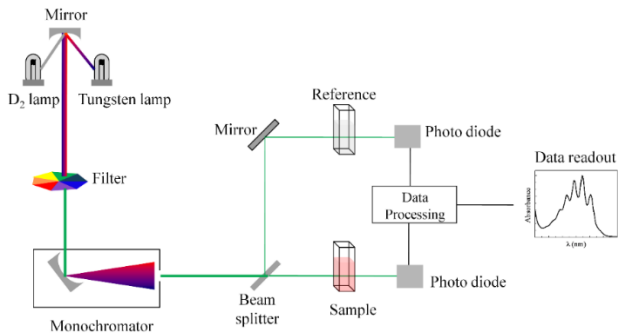
*UV-Vis* Spektrofotometer adalah alat untuk mengukur transmitansi atau absorban suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Dalam bidang material, spektrofotometer sering digunakan untuk menentukan struktur elektron material, yaitu menentukan tingkat-tingkat energi elektron dalam material tersebut. Salah satu aplikasi yang cukup penting *UV-Vis* Spektrofotometer adalah menentukan lebar celah energi dalam material semikonduktor (Mikrajuddin, 2010).

Secara sederhana instrumen spektrofotometer terdiri dari: sumber cahaya, monokromator, sel sampel, detector dan *read out* (pembaca). Spektrofotometri visible disebut juga spektrofotometri sinar tampak.

Pengukuran absorbansi dilakukan pada panjang gelombang maksimum, dimana pada panjang gelombang

maksimum nilai absorpsinya maksimum. Dasar pemikiran metode spektrometri *ultraviolet-visible* (*UV-Vis*) cukup sederhana. Jika material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Setelah menyerap foton, elektron akan berusaha meloncat dari tingkat energi dasar yang tereksitasi ke tingkat energi lebih tinggi (Mikrajuddin, 2010).

Gambar 2.6 merupakan rangkaian alat *Uv-Vis* spektrofotometer. Seberkas cahaya dari sumber cahaya ultra violet (*UV*) dan cahaya tampak (*visible*) dipisahkan menjadi komponen panjang gelombang dengan kisi difraksi. Setiap monokromatik dibagi menjadi dua berkas intensitas yang sama dengan perangkat *half mirror*. Satu berkas sinar melewati kuvet yang berisi larutan sampel. Sinar lain, referensi (standar) melewati sebuah kuvet identik yang hanya berisi pelarut. Intensitas dari berkas cahaya tersebut kemudian diukur dengan detektor elektronik dan dibandingkan. Intensitas berkas acuan, absorpsi cahaya sedikit atau tidak ada, disebut sebagai  $I_0$ . Intensitas berkas yang melewati larutan sample disebut  $I$ . Semua komponen panjang gelombang yang akan di inginkan akan secara otomatis dipindai oleh spektrofotometer.



**Gambar 2.6** Skema Kerja *Uv-vis* Spektrofotometer  
(Mikrajuddin, 2010)

### 2.6.2 *Cyclic Voltammetry (CV)*

Voltametri siklik (*cyclic voltammetry*) merupakan metode dalam elektrokimia dan digunakan untuk mempelajari proses reduksi dan oksidasi (redoks). Hal ini dicapai dengan melihat hubungan antara potensial yang diberikan dan arus yang terukur. Karena sistem ini melibatkan reaksi redoks di anoda dan katoda maka peristiwa reaksi di kedua elektroda tersebut dimonitor besarnya arus yang timbul. Pengukuran arus listrik dilakukan dengan rentang potensial awal dan akhir yang sama. Potensial awal diberikan pada awal tidak terjadi reaksi elektrokimia pada permukaan elektroda. Kemudian dialurkan

secara linier dengan laju tertentu menuju suatu nilai potensial ketika senyawa aktif mengalami reaksi reduksi.

Voltametri siklik diperoleh dengan mengukur arus pada elektroda kerja selama scan potensial. Arus dapat dianggap sebagai respon sinyal terhadap potensial. Voltamogram yang dihasilkan merupakan kurva antara arus (pada sumbu vertikal) versus potensial (sumbu horizontal).

Melalui pengukuran dengan *Cyclic Voltametry*, dapat ditentukan tingkat energi HOMO dan LUMO *dye*. Puncak potensial oksidasi pertama berhubungan dengan level HOMO *dye* dan puncak potensial reduksi pertama berhubungan dengan level LUMO *dye* (Miao, dkk., 2011).

HOMO LUMO merupakan parameter yang penting dalam pembuatan sel surya DSSC. Pada Sel Surya tersensitasi *dye*, cahaya foton diserap oleh *dye* yang melekat pada partikel permukaan TiO<sub>2</sub> (lapisan TiO<sub>2</sub> bertindak sebagai akseptor atau kolektor elektron yang ditransfer *dye* yang teroksidasi). Foton yang diserap mengakibatkan elektron tereksitasi dari level LUMO (*Lower Unoccupied Molecular Orbital*) ke HOMO (*Higher Occupied Molecular Orbital*) pada molekul *dye*.

Untuk mendapatkan tingkat energi HOMO LUMO dari pewarna dengan menggunakan *Cyclic Voltametry*. Elektroda

yang digunakan *counter electrode* (*Pt wire, working electrode* (*solid Pt*) dan *reference electrode* (*Ag/AgCl*).

HOMO merupakan energi yang dibutuhkan untuk mengekstrak elektron dari molekul yang merupakan proses oksidasi, sedangkan LUMO adalah energi yang diperlukan untuk menambahkan elektron ke molekul yang merupakan reduksi (Misra, 2005).

Dalam eksperimen, untuk mengetahui level energi HOMO-LUMO dari *dye* dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan alat *Cyclic Voltametry* (CV). Pada data hasil pengujian *Cyclic Voltametry*, puncak oksidasi pertama ( $E_{ox}$ ) merupakan level energi HOMO dan puncak reduksi pertama ( $E_{red}$ ) merupakan level energi LUMO (Sreekala dkk., 2012). Untuk menghitung level energi HOMO dan level energi LUMO dari *dye* digunakan Persamaan 2.5 dan 2.6 (Lohrman dkk., 2012) :

$$E_{HOMO} = -(E_{ox} + 4,4) \text{ eV terhadap level vakum} \quad (2.5)$$

$$E_{LUMO} = -(E_{red} + 4,4) \text{ eV terhadap level vakum} \quad (2.6)$$

Dari rumusan diatas, celah energi (*band gap*) merupakan selisih antara HOMO dan LUMO seperti pada Persamaan 2.7.

$$E_g(eV) = E_{LUMO} - E_{HOMO} \quad (2.7)$$

Dalam eksperimen, jika puncak reduksi pertama tidak muncul atau diragukan akibat terlalu banyak *noise*. Cara lain menghitung level energi LUMO yaitu dengan menghitung nilai *band gap dye* kemudian dijumlahkan dengan nilai level energi HOMO *dye*. Untuk menghitung nilai *band gap dye* digunakan Persamaan 2.8 (Ye, dkk., 2011).

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^{n/2} \quad (2.8)$$

dengan  $A$  adalah konstanta,  $n$  bernilai 1 yang mengacu pada transisi langsung dan  $\alpha$  adalah koefisien serap lapisan ( $m^{-1}$ )

Koefisien serap lapisan dapat dihitung dengan Persamaan 2.19

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (2.9)$$

dengan  $I$  merupakan intensitas yang melewati bahan ( $\frac{\text{watt}}{m^2}$ ) dan

$I_0$  merupakan intensitas awal sebelum mengenai bahan ( $\frac{\text{watt}}{m^2}$ )

Dari Persamaan 2.9 diatas koefisien serap lapisan dapat dituliskan sebagai persamaan berikut

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left( \frac{I}{I_0} \right) = -\frac{1}{d} \ln T \quad (2.10)$$

dengan  $T$  merupakan transmitansi (%)

Nilai *band gap* bahan dapat ditentukan dengan membuat kurva linier hubungan  $(\alpha h\nu)^2$  ( $m^{-1} \cdot eV$ )<sup>2</sup> (sumbu y)

terhadap  $h\nu$  (eV) (sumbu x). Persamaan 2.8 dapat dituliskan ulang sebagai

$$(\alpha h\nu)^2 = (h\nu - E_g) \quad (2.11)$$

Ketika  $(\alpha h\nu)^2$  bernilai nol, maka akan terjadi perpotongan kurva di sumbu x ( $h\nu$  (eV)) dan nilai perpotongan tersebut merupakan nilai *band gap* dari bahan.

$$0 = (h\nu - E_g) \quad (2.12.a)$$

$$E_g = h\nu \quad (2.12.b)$$

### 2.6.3 Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

*Fourier Transform Infra Red* (FTIR) merupakan salah satu spektroskopi yang digunakan untuk melihat interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik. Spektroskopi ini bekerja berdasarkan penyerapan panjang gelombang infra merah. FTIR salah satu alat yang dapat digunakan untuk identifikasi senyawa, khususnya senyawa organik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan melihat bentuk spektrumnya yaitu dengan melihat puncak-puncak spesifik yang menunjukkan jenis gugus fungsional yang dimiliki oleh senyawa tersebut. Sedangkan analisis kuantitatif dapat dilakukan dengan menggunakan

senyawa standar yang dibuat spektrumnya pada berbagai variasi konsentrasi (Susila, 2012).

Spektroskopi inframerah berguna untuk mengidentifikasi senyawa organik karena spektrumnya yang sangat kompleks yang terdiri dari banyak puncak-puncak (Silviah, dkk., 2008). Jika senyawa organik dikenai sinar infra-merah yang mempunyai frekuensi tertentu (bilangan gelombang  $500\text{-}400\text{ cm}^{-1}$ ), sehingga beberapa frekuensi diserap oleh senyawa tersebut (Susila, 2012). FTIR digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan menggunakan radiasi elektromagnetik yang berada pada panjang gelombang  $0,75\text{-}1000\text{ }\mu\text{m}$  atau pada bilangan gelombang  $13000\text{-}10\text{ cm}^{-1}$  (Mayangsari, 2011).

**Tabel 2.2.** Gugus fungsi bilangan gelombang beberapa senyawa dalam infra merah (Susila, 2012).

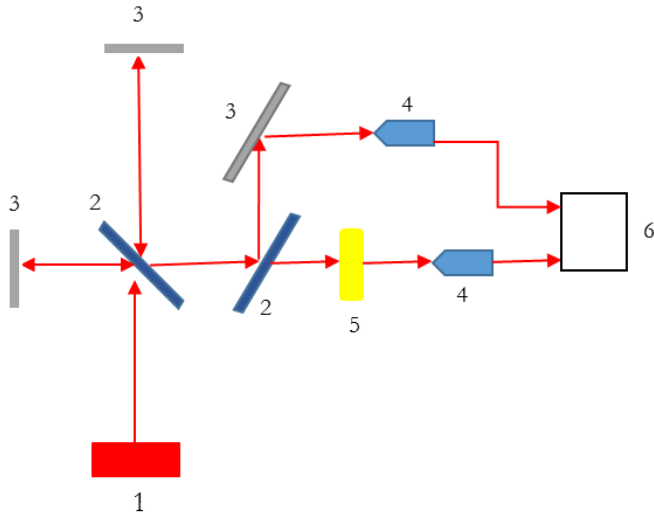
Gugus	Senyawa	Frekuensi ( $\text{cm}^{-1}$ )
– OH	Alkohol dan asam karbon	3420-3250
– NH <sub>2</sub>	Amina primary	3360-3340
≡ CH	Asitilen	3300-3250
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup>	Asam Amino	3200-3000



= CH	Aromatik dan Hydrocarbon	3100-3000
C = O	Senyawa karbonil	1870-1650
C = O	Anhidrid	1870-1790
C = O	Eter	1750-1740
C = O	Keton	1720-1700
C = O	Asam karboksil	1710-1690
C = O	Urea	1680-1635
C = O	Alkena	1680-1630

Prinsip kerja FTIR dimulai dengan penyinaran sampel menggunakan infra merah. Ketika gelombang infra merah melewati sampel, terdapat gelombang yang terserap dan menembus sampel. Gelombang yang menembus sampel akan diteruskan yang kemudian akan terbaca oleh detektor. Detektor tersebut terhubung dengan komputer yang kemudian menggambarkan spektrum sampel yang diuji seperti pada Gambar 2.7.

Dasar bentuk spektrum tersebut diperoleh dari struktur kimia, bentuk ikatan molekul dan gugus fungsi sampel yang diuji. Sistem optik FTIR didasarkan oleh alat interferometer dimana peristiwa interferensi memegang peran besar untuk menentukan gugus fungsi sampel yang dicari (Putri, 2014).

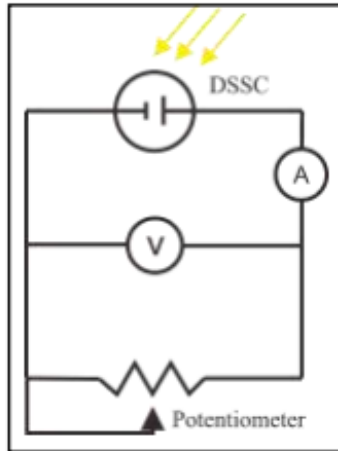


**Gambar 2.7** Skema Alat spektroskopi FTIR. (1) Sumber inframerah. (2) Pembagi berkas (*beam spliter*). (3) Kaca pemantul. (4) Sensor inframerah. (5) Sampel. (6) Display. (Silviyah, dkk., 2008)

#### 2.6.4 Karakterisasi I-V

Karakterisasi I-V merupakan karakteristik arus-tegangan yang menggambarkan unjuk kerja suatu devais sel surya. Kurva I-V sel surya merupakan superposisi kurva I-V diode dari sel surya pada keadaan gelap dengan arus yang dibangkitkan oleh cahaya (*light generated current*).

Cahaya memberikan efek pada pergeseran kurva I-V sel surya yang berarti sel surya telah menghasilkan daya. Gambar 2.8 merupakan skema rangkaian karakterisasi I-V.



**Gambar 2.8** Skema rangkaian karakterisasi I-V (Nugraha, dkk., 2015)

Dengan mengatur hambatan dari nol sampai besar akan didapatkan kurva karakteristik arus dan tegangan sel surya. Bila hambatan diatur sama dengan nol, maka didapatkan arus hubungan singkat (*short circuit current*) atau  $I_{sc}$  sebagai fungsi *irradiance* sel surya. Bila hambatannya sangat besar, maka tidak arus yang melewatinya, kondisi ini sama dengan memutus penghubung pada ampere meter dan hasil

penunjukkan pada pengukur voltmeter merupakan tegangan tanpa beban (*open circuit voltage*) atau  $V_{oc}$  (Bowono, 2010).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung. Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan November 2015 sampai selesai, yang terdiri dari menentukan topik, studi literature, kegiatan penelitian dan penulisan laporan.

#### **3.2 Garis Besar Pelaksanaan Eksperimen**

Ruang lingkup dalam penelitian ini meliputi pembuatan kurkumin nanopartikel. Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan alat dan bahan.
2. Tahap pembuatan *dye* meliputi penimbangan setiap bahan dan pencampuran setiap bahan.
3. Tahap preparasi pembuatan *dye* variasi pelarut dengan menggunakan metode maserasi
4. Tahap karakterisasi *dye* menggunakan *Uv-vis* Spektrofotometer dan *Cyclic Voltammetry* (CV).

5. Tahap Persiapan Komponen DSSC meliputi deposisi lapisan ZnO, perendaman lapisan ZnO pada *dye*, dan perangkaian material penyusunan DSSC.
6. Tahap karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)
7. Tahap karakterisasi DSSC menggunakan karakterisasi I-V.
8. Tahap pembuatan laporan penelitian meliputi penulisan kegiatan, pembuatan, hasil dan analisa.

### **3.3 Alat dan Bahan**

#### **3.3.1 Preparasi Ekstrak Daun Bayam Merah dan Kulit Jahe Merah**

Alat dan bahan yang digunakan pada tahap ini diantaranya blender digunakan untuk menghaluskan daun bayam merah dan kulit jahe merah, timbangan digital digunakan untuk menimbang berat daun bayam merah dan jahe merah, gelas kimia digunakan untuk menyimpan daun bayam merah dan kulit jahe merah yang akan ditimbang, kain flanel digunakan sebagai penyaring ekstrak daun bayam merah dan kulit jahe merah, pisau digunakan untuk memotong daun bayam merah

dan kulit jahe merah, gelas ukur untuk mengukur larutan (aquades, etanol, metanol dan aseton), botol sampel digunakan untuk menyimpan hasil ekstrak *dye*, daun bayam merah dan kulit jahe merah sebagai bahan ekstrak *dye* dan aquades, etanol, metanol dan aseton sebagai larutan ekstrak *dye*.

### **3.3.2 Persiapan Komponen DSSC**

Alat dan bahan yang digunakan pada tahap ini diantaranya lapisan tipis ZnO digunakan sebagai elektroda kerja pada DSSC, platina digunakan sebagai elektroda pembanding, pelapisan sealant yang akan berubah menjadi perekat ketika dipanaskan, klip kertas untuk penjepit antara elektroda kerja dan elektroda pembanding dan elektrolit *HSE (High Stability Electrolyte)*.

### **3.3.3 Karakterisasi**

Alat karakterisasi yang digunakan adalah Uv-Vis Spektrofotometer, *Cyclic Voltammetry (CV)*, Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* dan karakterisasi I-V.

## **3.4 Tahap Persiapan**

Pada tahap ini, peralatan dan bahan yang akan digunakan untuk preparasi pembuatan *dye*, pengujian dan tahap karakterisasi. Semua peralatan disiapkan dengan baik dan dipastikan

kondisinya dalam keadaan baik sehingga layak digunakan dalam penelitian ini.

### **3.5 Tahap Preparasi Pembuatan *Dye***

Daun bayam merah yang telah dipisahkan dari tangkainya dan kulit jahe merah yang telah dikupas kemudian dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak lima gram. Kemudian di hancurkan memakai blender yang dicampurkan dengan variasi larutan (air, etanol, metanol, aseton), masing-masing larutan 40ml. Setelah itu disimpan di tempat gelap selama 24 jam. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian disaring dengan kain flanel. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi.

Metode maserasi bertujuan untuk mengambil zat atau senyawa aktif yang terdapat pada suatu bahan menggunakan pelarut tertentu, dimana dalam mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan (sumber pigmen) agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Hermawan,dkk., 2010).

### **3.6 Tahap Karakterisasi *dye***

Setelah *dye* daun bayam merah dan jahe merah berhasil dilakukan, selanjutnya dilakukan karakterisasi sebagai berikut:

1. Karakterisasi *Uv-Vis* Spektrofotometer



Karakterisasi dengan alat *Uv-Vis* Spektrofotometer bertujuan untuk mengetahui karakterisasi penyerapan cahaya *dye* (absorpsi). Absorbansi merupakan banyaknya energi atau cahaya yang dapat diserap oleh partikel-partikel dalam sampel. Pengukuran dilakukan dengan alat *Ultraviolet dan Visible Spectrometer* pada rentang panjang gelombang dari 400nm sampai 800nm di Laboratorium Kimia Sains Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung. Dengan pengujian ini dapat diketahui rentang panjang gelombang penyerapan serta pigmen dalam *dye*.

## 2. Karakterisasi *Cyclic Voltammetry* (CV)

*Cyclic Voltammetry* (CV) merupakan metoda elektroanalitik untuk menganalisa secara elektronik molekul yang aktif beserta reaksi kimianya (Chakraborty, dkk., 2013). CV bekerja dengan mencacah potensial kemudian mengukur arus respon yang dihasilkan dari transfer elektron pada atau dari spesies kimia yang terlibat dalam reaksi elektrokimia. Alat ini terdiri dari tiga elektroda dan sebuah potentiostat yang mengontrol potensial dan mengukur arus yang mengalir diantara elektroda. Elektrodanya terdiri dari elektroda kerja (*Working electrode/WE*), elektroda lawan (*CE*), dan *reference electrode* (RE) (Fattori, 2010).

Melalui pengukuran dengan *Cyclic Voltametry*, dapat ditentukan tingkat energi HOMO dan LUMO *dye*. Puncak potensial oksidasi pertama berhubungan dengan level HOMO *dye* dan puncak potensial reduksi pertama berhubungan dengan level LUMO *dye* (Miao, dkk., 2011).

### **3.7 Tahap Persiapan Komponen DSSC**

#### **3.7.1 Deposisi Lapisan TiO<sub>2</sub>/ZnO**

TiO<sub>2</sub>/ZnO teknis sebanyak 2 gram ditambahkan dengan 6,5 ml etanol, kemudian diaduk dengan *magnetic stirer* selama 2 jam. Setelah itu pasta TiO<sub>2</sub>/ZnO dideposisikan pada kaca FTO kemudian disintering dengan suhu 250 °C menggunakan *oven*.

#### **3.7.2 Perendaman Lapisan TiO<sub>2</sub>/ZnO pada Dye**

Lapisan TiO<sub>2</sub>/ZnO direndam dalam ekstrak *dye* daun bayam merah dan kulit jahe merah selama 24 jam.

#### **3.7.3 Perangkaian Material Penyusun DSSC**

Material penyusun *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) disusun seperti struktur sandwich. Pendeposisian lapisan tipis TiO<sub>2</sub>/ZnO dilakukan dengan metode *doctor blade*. Sebelum penyusunan DSSC, lapisan tipis di keringkan terlebih dahulu kemudian direndam pada *dye* selama 24 jam. Langkah – langkah penyusunan DSSC sebagai berikut :

1. Dua buah kaca *Flourine Doped Tin Oxide* (FTO) masing-masing digunakan sebagai elektroda kerja yang telah dilapisi oleh  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ , serta elektroda pembanding platina yang digunakan sebagai target dimasukkan kedalam chamber sputtering yang setelah itu divakum, kemudian dimasukkan gas argon, ion argon menumbuk platina. Keduanya di tumpuk secara berhadapan. Kedua elektroda tersebut diberi *offset* sekitar 0,5 cm.
2. Setelah ditumpuk kedua elektroda, pelapisan *sealant*. *Sealant* berupa plastik yang akan berubah menjadi perekat ketika dipanaskan selama 5 menit pada suhu  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .
3. Setelah itu di tumpuk kedua elektroda dijepit menggunakan klip kertas.
4. Prototipe DSSC diberi larutan elektrolit 2-3 tetes pada kedua ujung elektroda yang diberi *offset*. Gaya kapilaritas akan menyerap larutan elektrolit kedalam lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ . Pastikan larutan elektrolit menyerap sempurna ke seluruh lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ .
5. Dengan menyiapkan multimeter sebagai pengukur pertama tegangan dan arus.

6. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan I-V measurement system dari National Instrument dengan sumber cahaya *Sun Simulator AM 1.5* serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas  $500 \text{ W/m}^2$ .

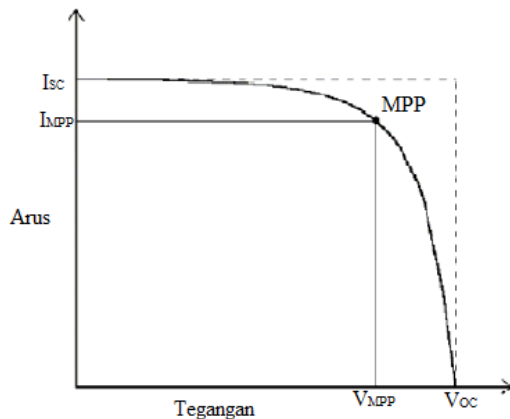
### **3.8 Tahap Karakterisasi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*)**

Pengukuran dengan alat spektroskopi FTIR bertujuan untuk mengetahui berbagai tipe ikatan pada bilangan gelombang tertentu. Dengan analisis FTIR, dapat diketahui adanya gugus jangkar (*anchoring grup*) yaitu gugus hidroksil dan karbonil dalam *dye* dan dalam lapisan tipis ZnO yang direndam *dye*. *Anchoring grup* berfungsi sebagai media yang memfasilitasi agar *dye* dan semikonduktor ZnO berikatan dengan baik. Dari pengukuran ini dapat diketahui apakah *dye* mengandung *anchoring grup* yaitu gugus karbonil dan hidroksil atau tidak. Pengukuran dilakukan dengan spektroskopi FTIR Prestige 21 produksi Shimadzu Jepang, yang terdapat di Laboratorium Kimia Analitik ITB dari bilangan gelombang  $4500\text{cm}^{-1} - 400 \text{ cm}^{-1}$  (*mid-infrared spectrum*).

### 3.9 Tahap Karakterisasi DSSC

Pengujian DSSC dilakukan dengan mengukur karakteristik I-V pada dua macam DSSC yang telah dibuat dengan *dye* bayam merah dan jahe merah pelarut aseton.

Sel surya dihubungkan dengan kabel multimeter pada kedua sisi, dengan kutub (+) pada elektroda pembanding, sedangkan kutub (-) pada elektroda kerja. Untuk mengukur nilai tegangan maka sel surya dihubungkan secara paralel sedangkan untuk mengukur nilai arus maka sel surya dihubungkan secara seri pada rangkaian listrik sederhana. Penggunaan potensiometer digunakan untuk mengubah hambatan selama proses pengukuran arus dan tegangan.



**Gambar 3.1** Karakterisasi ideal kurva arus tegangan (Karina, 2012)

Data yang dihasilkan diplot dalam grafik rapat arus terhadap tegangan (kurva I-V ) dan dari kurva I-V tersebut dapat ditentukan tegangan rangkaian terbuka (*open-circuit voltage*), arus hubungan singkat (*short-circuit current*), tegangan daya maksimum, arus daya maksimum dan *fill factor* (harga yang mendekati konstanta suatu sel fotovoltaik dengan perbandingan antara daya maksimum yang didapat beban dengan perkalian  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$ ) serta efisiensi.

Daya sel surya mencapai maksimum ( $P_{max}$ ) pada saat kondisi  $I_m$  dan  $V_m$ . *Fill factor* ( $FF$ ) didefinisikan sebagai rasio sebagai berikut

$$FF = \frac{V_{maks} I_{maks}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan Pers. (1), daya maksimum dari sel surya akan dihitung berdasarkan persamaan (Kumara & Sukma, 2012).

$$P_{max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (3.2)$$

Efisiensi konversi ( $\eta$ ) sel surya didefinisikan sebagai persentase daya keluaran optimum terhadap energi cahaya yang digunakan, yang dituliskan sebagai (Sokolsky dkk., 2011)

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{\Phi A} \times 100\% \quad (3.3)$$

dengan  $\Phi$  adalah intensitas penyinaran dan  $A$  adalah luas permukaan sel surya yang disinari.

Nilai efisiensi konversi DSSC yang dikembangkan saat ini masih di bawah 1%, seperti yang dilakukan oleh Hardeli (2013).

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pelarut *dye* terhadap serapan optik lapisan tipis ZnO yang berperan terhadap fotoanoda pada DSSC, mengkaji pengaruh konsentrasi *dye* terhadap efisiensi listrik DSSC, mengkaji pengaruh *dye* terhadap level energi (HOMO-LUMO) dan mengkaji pengaruh pelarut *dye* terhadap efisiensi listrik DSSC. Analisis dilakukan pada Ekstraksi *Dye*, Karakterisasi *UV-Vis* Spektrofotometer, *Cyclic Voltammetry* (CV), FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan Karakterisasi arus tegangan (I-V) DSSC.

#### 4.1 Ekstraksi *Dye*

Pada penelitian ini telah digunakan ekstraksi dari daun bayam merah dan kulit jahe merah. Daun bayam merah dan kulit jahe merah diekstraksi menggunakan jenis pelarut yang berbeda-beda yaitu air, etanol, metanol dan aseton. Daun bayam merah yang telah dipisahkan dari tangkainya dan kulit jahe merah yang telah dikupas kemudian dipotong kecil-kecil dan ditimbang sebanyak lima gram. Kemudian di hancurkan memakai blender yang dicampurkan dengan berbagai larutan



(air, etanol, metanol, aseton), masing-masing larutan 40ml. Setelah itu disimpan di tempat gelap selama 24 jam. Ekstrak yang telah dimaserasi kemudian disaring dengan kain flanel. Ekstraksi dilakukan dengan metode maserasi. Proses maserasi dilakukan dengan merendam tumbuhan dalam pelarut organik seperti air, etanol, metanol dan aseton.

Metode maserasi bertujuan untuk mengambil zat atau senyawa aktif yang terdapat pada suatu bahan menggunakan pelarut tertentu, dimana dalam mengekstrak zat warna diperlukan metode yang sesuai dengan sifat bahan (sumber pigmen) agar dihasilkan stabilitas pigmen yang tinggi (Hermawan,dkk., 2010).

Ketika perendeman, akan terjadi pemecahan dinding sel tempat pigmen seperti antosianoplas dan kloroplas akibat perbedaan tekanan di dalam dan di luar sel tumbuhan. Pigmen yang keluar dari sel kemudian larut dalam pelarut organik. Pigmen yang diekstrak berkaitan erat dengan panjang gelombang sinar matahari yang diserap. *Sensitizer* yang efektif harus menyerap cahaya melebihi rentang dari cahaya tampak hingga daerah inframerah, dan keadaan eksitasinya harus lebih besar dari pita konduksi ZnO. Hasil ekstraksi tersebut

didapatkan empat *dye* bayam merah dan empat *dye* jahe merah dengan pelarut yang berbeda-beda.



**Gambar 4.1** Hasil ekstraksi daun bayam merah dengan berbagai pelarut



**Gambar 4.2** Hasil ekstraksi kulit jahe merah dengan berbagai pelarut

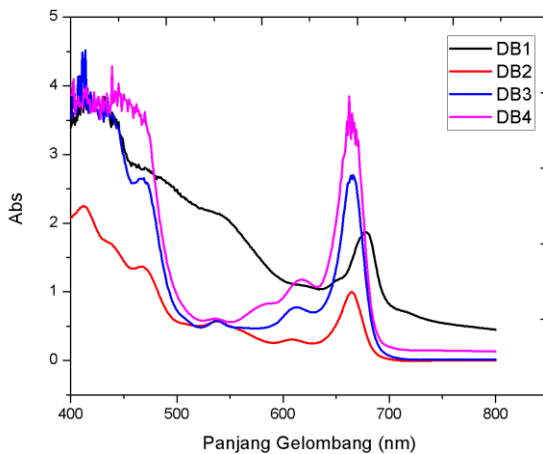
## 4.2 Karakterisasi Optik (*UV-Vis* Spektrofotometer)

Secara umum sifat optik mengarah pada respon suatu material terhadap radiasi elektromagnetik dan secara khusus pada rentang cahaya tampak. Beberapa sifat optik material adalah absorpsi, refleksi dan transmisi. Pada penelitian ini sifat optik dibatasi pada absorbansi *dye* bayam merah dan jahe merah. Absorbansi merupakan kuantitas yang menyatakan kemampuan bahan dalam menyerap (mengabsorpsi) cahaya. Absorbansi cahaya terjadi ketika eksitasi elektron dari pita valensi melewati *bandgap* menuju pita konduksi, sehingga tercipta sebuah elektron bebas dalam pita konduksi dan *hole* di pita valensi.

Proses pengujian absorbansi *dye* bayam merah dan jahe merah pada delapan sampel diawali dengan proses *baseline* pada spektrofotometer. Proses ini bertujuan untuk mengurangi pengaruh air, etanol, methanol dan aseton sebagai pelarut pada ekstraksi bayam merah dan jahe merah sehingga hanya spektrum serapan dari zat terlarut saja yang terukur. Selanjutnya setelah proses *baseline*, dilakukan pengujian absorbansi *dye*.

Karakterisasi optik variasi pelarut *dye* bayam merah dan jahe merah menggunakan *UV-Vis* spektrofotometer pada rentang panjang gelombang 400-800nm yang merupakan

spectrum sinar tampak. Pada rentang panjang gelombang tersebut, *dye* organik secara alami efektif menyerap cahaya pada cahaya tampak saat berlangsungnya proses fotosintesis. Gambar 4.3 sampai dengan 4.8 menunjukkan grafik absorbansi dari *dye* bayam merah, *dye* jahe merah, dan lapisan tipis yang sudah direndam *dye*.



**Gambar 4.3** Kurva absorbansi *dye* daun bayam merah

Gambar 4.3 memperlihatkan grafik absorbansi sebagai fungsi dari panjang gelombang. Dapat diamati dengan jelas bahwa rentang spektrum absoransi keempat sampel *dye* bayam merah adalah pada pada panjang gelombang yang sama yaitu pada 650 nm sampai 700 nm. DB1 sampai DB4 berturut-turut

adalah sampel *dye* bayam dengan pelarut air, etanol, metanol dan aseton.

Pada DB1 berada di puncak absorbansi pada panjang gelombang 677 nm dengan absorbansi sebesar 1.8714. Sampel DB2 berada di puncak absorbansi pada panjang gelombang 664 nm dengan absorbansi sebesar 0.9942. Pada DB3 mempunyai puncak gelombang 666 nm dengan absorbansi sebesar 2.697315. Dan pada DB4 terjadi puncak absorbansi pada panjang gelombang 662 nm dengan absorbansi sebesar 3.845716.

Pelarut dari setiap *dye* berbeda sehingga kemampuan penyerapan pada setiap sampel juga berbeda. Dari berbagai uji absorbansi sampel dalam bentuk larutan di dapatkan bahwa absorbansi paling tinggi dari *dye* bayam merah pada penelitian ini dimiliki oleh DB4 yaitu *dye* bayam merah dengan pelarut aseton.

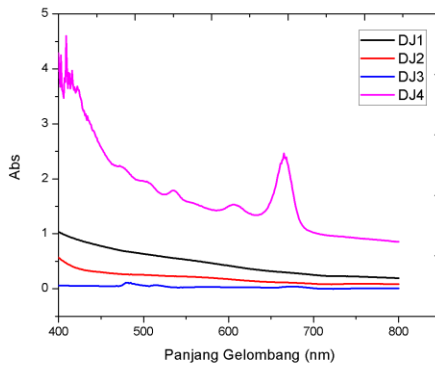
Dari Gambar 4.3, sesuai dengan literatur bahwa nilai absorbansi lebih kecil ketika panjang gelombang dinaikkan. Seperti yang tercantum di dalam Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Panjang Gelombang berbagai warna (Heri, 2005)

$\lambda(\text{nm})$	Warna yang terabsorpsi	Warna Larutan (Komplemen)
----------------------	------------------------	---------------------------

400-435	Violet	Hijau-Kuning
435-480	Biru	Kuning
480-490	Biru-Hijau	Orange
490-500	Hijau-Biru	Merah
500-560	Hijau	Ungu
560-580	Hijau-Kuning	Violet
580-595	Kuning	Biru
595-650	Orange	Biru-Hijau
650-760	Merah	Hijau-Biru

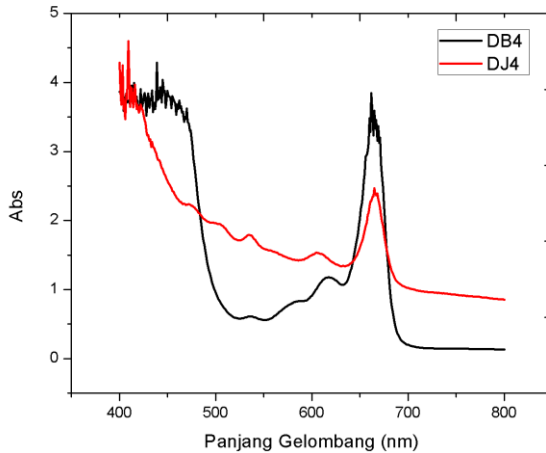
Untuk *dye* jahe merah memiliki spektrum absorbansi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4



**Gambar 4.4** Kurva absorbansi *dye* kulit jahe merah

Gambar 4.4 menunjukkan spektrum absorbansi dari *dye* jahe merah. DJ1 sampai DJ4 merupakan sampel *dye* jahe dengan pelarut air, etanol, metanol dan aseton. Dapat dilihat bahwa pelarut hasil absorbansi dari ekstraksi menggunakan pelarut air, etanol dan metanol pada jahe merah yang digunakan sebagai sampel pewarna alami tidak membentuk spektrum yang sesuai dengan literatur, dimana pada spektrum akan menghasilkan puncak gelombang. Hal ini disebabkan jahe merah yang terlarut pada pelarut air, etanol dan metanol tidak maksimal dalam proses penyerapan cahaya sehingga performa yang dihasilkan tidak maksimal. Sedangkan pada *dye* jahe merah pelarut aseton absorbansinya berada pada panjang gelombang 650 – 700 nm dengan puncaknya di 664nm dan absorbansinya sebesar 2.4651.

Dapat terlihat jelas bahwa dari kedua *dye* tersebut yang memiliki puncak absorbansi tertinggi yaitu *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Kurva absorbansi *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa yang yang memiliki puncak absorbansi tertinggi yaitu *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah dengan pelarut aseton. Dikarenakan aseton memiliki sifat kepolaran yang baik dibandingkan pelarut air, etanol dan metanol. Karakteristik absorbansi elektroda  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  yang telah direndam dengan ekstrak antosianin diukur, dengan masing-masing untuk 24 jam perendaman *dye*. Absorbansi terjadi ketika foton bertumbukan langsung dengan atom atom pada material dari kehilangan energi pada atom foton akan mengalami perlambatan ada juga yang berhenti saat



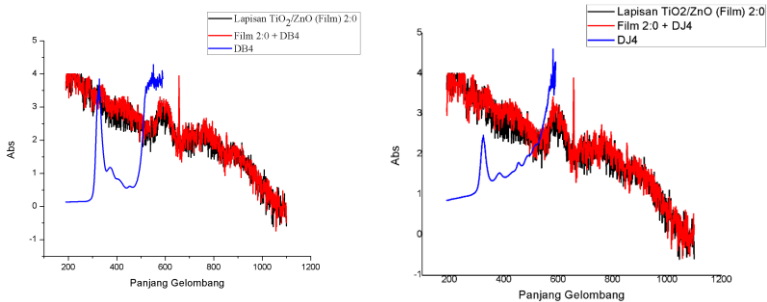
saat masuk pada material. Energi foton yang diserap oleh atom kemudian digunakan oleh elektron didalam atom tersebut untuk bertransisi ke tingkat energi yang lebih tinggi, Absorbansi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh lapisan tipis dari total cahaya yang disinarkan. Absorbansi suatu senyawa pada suatu panjang gelombang tertentu bertambah dengan semakin banyaknya molekul yang mengalami transisi (Wiliastuti, 2006).

Pada penelitian ini akan dilakukan uji absorbansi pada masing masing sampel yaitu variasi perendaman *dye* dengan lapisan tipis ZnO, dimana rentang panjang gelombang yang digunakan antara 400 nm hingga 800 nm, sehingga akan diperoleh nilai absorbansinya.

Karakteristik absorbansi elektroda TiO<sub>2</sub>/ZnO yang telah direndam dengan ekstrak antosianin diukur, dengan masing-masing untuk 24 jam perendaman *dye*. Absorbansi terjadi ketika foton bertumbukan langsung dengan atom atom pada material dari kehilangan energi pada elektron atom foton akan mengalami perlambatan ada juga yang berhenti saat saat masuk pada material. Energi foton yang diserap oleh atom kemudian digunakan oleh elektron didalam atom tersebut untuk bertransisi ke tingkat energy yang lebih tinggi, Absorbansi menyatakan besarnya cahaya yang diserap oleh lapisan tipis

dari total cahaya yang disinarkan. Absorbansi suatu senyawa pada suatu panjang gelombang tertentu bertambah dengan semakin banyaknya molekul yang mengalami transisi pada penelitian ini akan dilakukan uji absorbansi pada masing-masing sampel yaitu variasi perendaman *dye* dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  yang berbeda, dimana rentang panjang gelombang yang digunakan antara 400 nm hingga 800 nm, sehingga akan diperoleh nilai Absorbansinya.

Hasil absorbansi pada konsentrasi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  komposisi 2:0 yang telah direndam oleh *dye* bayam dan jahe merah dengan pelarut aseton ditunjukkan pada Gambar 4.6.



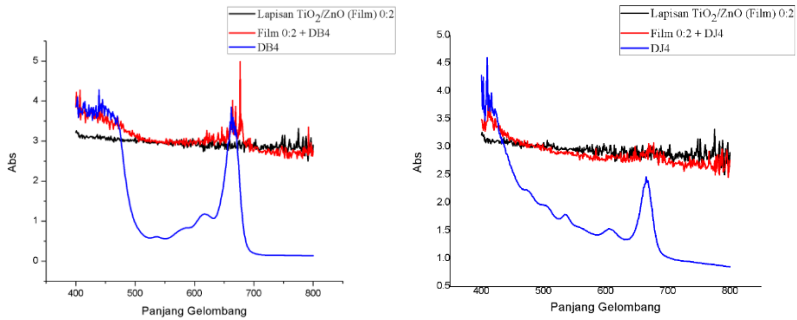
**Gambar 4.6** Absorbansi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 yang telah direndam  
(a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

Gambar 4.6 terlihat bahwa lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang telah direndam *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah menghasilkan intensitas absorbansi yang lebih besar daripada lapisan tipis tanpa *dye*.

Absorbansi pada lapisan tipis  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan komposisi 2:0 yang telah direndam *dye* mengalami pergeseran panjang gelombang pada 550-650nm, lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang telah direndam *dye* bayam merah dengan absorbansi 3,308, lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang telah direndam *dye* jahe merah dengan absorbansi sebesar 3,412 sedangkan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  tanpa *dye* dengan absorbansi sebesar 3,211. Dikarenakan spektrum absorbans *dye* antosianin pada lapisan  $\text{TiO}_2$  mengalami pergeseran akibat perubahan warna *dye* antosianin setelah teradsorpsi pada lapisan  $\text{TiO}_2$  (dari warna kemerahan menjadi keunguan).

Perubahan warna ini sebagai akibat terjadinya ikatan antara kromofor *dye* dari antosianin dengan Ti (IV) dari  $\text{TiO}_2$ , dimana sebuah ion  $\text{OH}^-$  dari Ti (IV) berikatan dengan sebuah ion  $\text{H}^+$  dari *dye* antosianin membentuk satu molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Jerapan (adsorpsi) pada permukaan  $\text{TiO}_2$  ini membentuk *quinoidal* yang mengakibatkan permukaan  $\text{TiO}_2$  terlihat menjadi berwarna ungu dan hanya sedikit mengandung bentuk *flavilium* (sebagai penyebab warna merah) (Rabani, 2002). Semakin lama perendaman semakin gelap (ungu tua) warna elektroda  $\text{TiO}_2$ . Sedangkan nilai absorbans dipengaruhi oleh kandungan antosianin yang ada dalam larutan dan yang

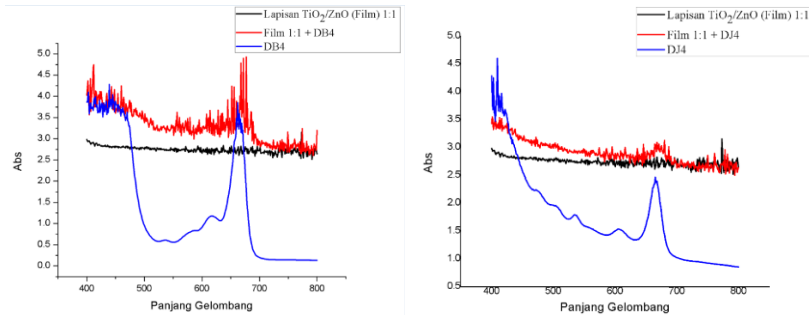
terjerap (teradsorpsi) pada permukaan  $\text{TiO}_2$ , dimana kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap (absorbansi).



**Gambar 4.7** Absorbansi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  0:2 yang telah direndam  
(a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

Pada Gambar 4.7 kombinasi antara semikonduktor ZnO dan Antosianin menyebabkan pergeseran daerah serapan spektrum ZnO. *Thin film* ZnO menyerap panjang gelombang sinar UV sedangkan kombinasi *film hybrid* ZnO/antosianin menghasilkan serapan berbeda yaitu pada daerah panjang gelombang cahaya tampak. Perubahan warna ini sebagai akibat terjadinya ikatan antara kromofor *dye* dari antosianin dengan Zn (IIB) dari ZnO, dimana sebuah ion  $\text{OH}^-$  dari Zn (IIB) berikatan dengan sebuah ion  $\text{H}^+$  dari *dye* antosianin membentuk satu molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Serapan (absorbansi) pada permukaan ZnO ini membentuk *quinoidal* (Maddu, 2007) yang mengakibatkan permukaan ZnO

terlihat menjadi berwarna ungu dan hanya sedikit mengandung bentuk flavilium sebagai penyebab warna merah.



**Gambar 4.8** Absorbansi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  1:1 yang telah direndam  
(a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

Gambar 4.8 terlihat bahwa lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  di campur  $\text{ZnO}$  dengan komposisi yang sama 1:1 mengalami pergeseran panjang gelombang, dimana pada saat  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  direndam dengan *dye*, terjadi terjadinya ikatan antara kromofor *dye* dari antosianin dengan Ti (IV) dari  $\text{TiO}_2$  dan Zn (IIB) dari  $\text{ZnO}$ , dimana sebuah ion  $\text{OH}^-$  dari Ti (IV) dan  $\text{OH}^-$  dari Zn (IIB) berikatan dengan sebuah ion  $\text{H}^+$  dari *dye* antosianin membentuk satu molekul  $\text{H}_2\text{O}$ .

Ketika  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  tidak menggunakan *dye* hanya bisa menyerap foton pada panjang gelombang 200-400 nm dimana pada panjang gelombang tersebut merupakan daerah cahaya ultraviolet, sedangkan ketika  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  di rendam pada *dye*,

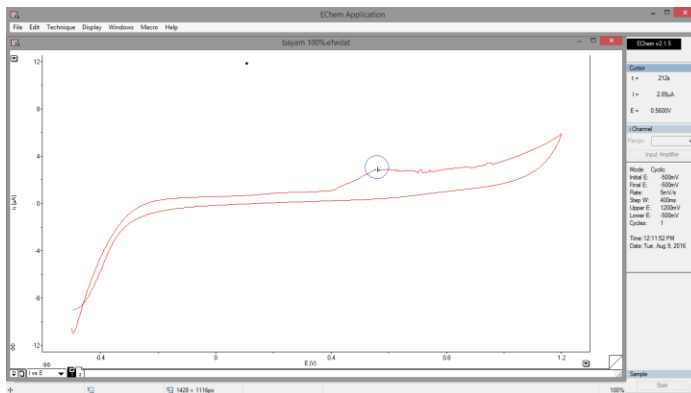
maka terjadi pergeseran panjang gelombang serapan cahaya pada  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ , yaitu pada panjang gelombang 600-700 nm yang merupakan daerah warna ungu hingga merah, dimana pada panjang gelombang tersebut  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  akan menyerap cahaya tampak.

Berdasarkan grafik absorbansi terhadap panjang gelombang diatas, dapat diketahui lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan menggunakan *dye* bayam merah akan menghasilkan nilai absorbansi yang baik untuk diaplikasikan pada DSSC, hal ini dikarenakan bayam merah mempunyai warna dasar hijau pekat seperti klorofil yang dapat menyerap cahaya tampak secara maksimal sedangkan jahe merah mempunyai warna dasar kekuningan dan tidak pekat, sehingga tidak menghasilkan penyerapan cahaya oleh *dye* jahe merah tidak maksimal.

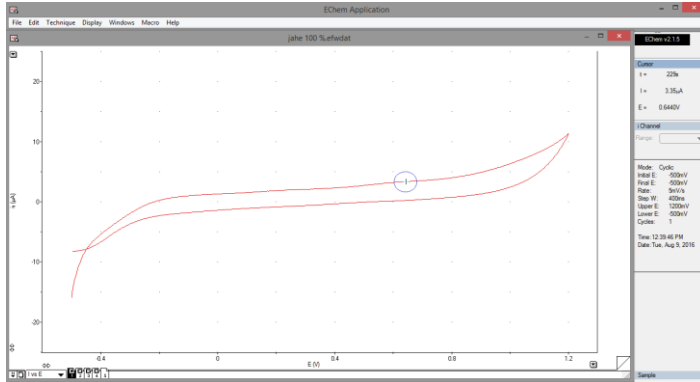
Intensitas penyerapan *dye* oleh  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  berpengaruh terhadap hamburan elektron di permukaan, karena *dye* berfungsi sebagai penyerap cahaya matahari yang selanjutnya akan menginjeksikan elektron ke pita konduksi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ . Perendaman dengan waktu selama 24 jam dilakukan agar *dye* dapat menyerap dengan sempurna pada lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ , karena perendaman dengan waktu yang lama menghasilkan intensitas penyerapan yang lebih besar (Maddu, 2007).

### 4.3 Karakterisasi Cyclic Voltammetry

Untuk mengetahui level energi HOMO (*Highest Occupied Molecular Orbital*) dan LUMO (*Lowest Unoccupied Molecular Orbital*) dari *dye* bayam merah dan jahe merah yang dimaserasi dalam pelarut aseton, dilakukan karakterisasi dengan alat *Cyclic Voltammetry* produksi e-DAQ elektrode Ag/AgCl di lab Kimia ITB, dengan *scan rate* 2 mV/s mulai dari -500 mV hingga +1200 mV. Berikut ini grafik dari hasil pengujian *Cyclic Voltammetry dye* bayam merah aseton dan *dye* jahe merah aseton.



**Gambar 4.9** Grafik hasil pengujian *Cyclic Voltammetry dye* bayam merah



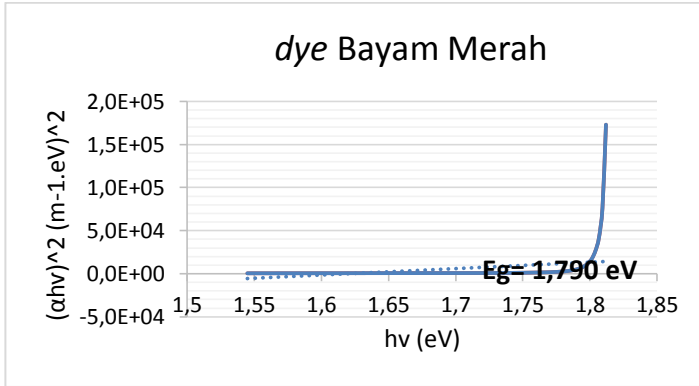
**Gambar 4.10** Grafik hasil pengujian *Cyclic Voltametry dye* jaha merah

Prototip instrumen elektrokimia merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menyelidiki proses reaksi elektrokimia dalam suatu larutan. Proses ini terjadi berdasarkan reaksi reduksi dan oksidasi. Elektroda kerja dibuat semakin negatif ataupun positif sehingga terjadi proses transfer elektron dari atau kedalam larutan dengan permukaan elektroda kerja. Instrumen ini bertujuan untuk mengukur arus hasil reaksi elektrokimia kemudian memvisualisasikan profil arus fungsi tegangan dengan kurva voltamogram. Namun dari hasil pengukuran yang dilakukan untuk menghasilkan suatu profil arus dengan tegangan ini ternyata tidak dapat mendeteksi puncak anoda seperti yang dihasilkan dari alat komersial.

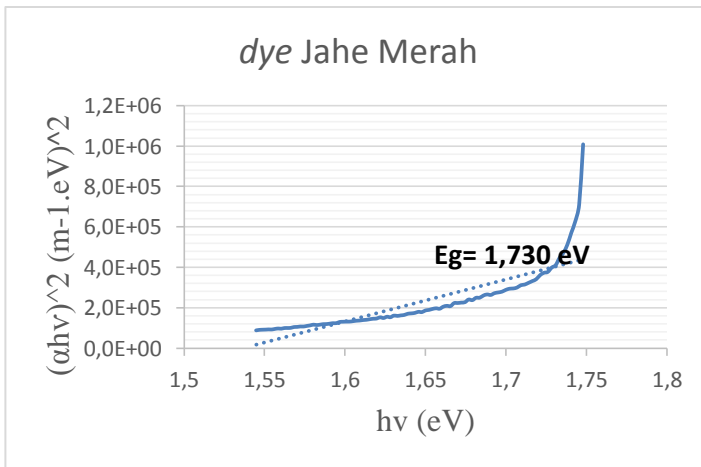


Berdasarkan Gambar 4.9 dan 4.10, untuk mengetahui level energi HOMO-LUMO *dye*, perlu diketahui puncak oksidasi pertama dan reduksi pertama kemudian dihitung dengan rumusan 2.5 dan 2.6 serta untuk mencari *band gap* digunakan persamaan 2.7. Pada Gambar 4.9 dan 4.10, hanya puncak oksidasi pertama yang dapat ditentukan, sedangkan puncak reduksi pertama tidak dapat ditentukan.

Merujuk pada penelitian Zhang dkk, (2014) untuk menentukan nilai level energi LUMO terendah diketahui dengan mencari nilai *band gap* pigmen klorofil a menggunakan Persamaan 2.11 kemudian dijumlahkan dengan nilai level energi HOMO *dye*. Berikut ini grafik hubungan  $(\alpha hv)^2$  ( $m^{-1}.eV)^2$  (sumbu y) terhadap  $hv$  (eV) (sumbu x) untuk *dye* bayam merah dan *dye* jahe merah.



**Gambar 4.11** Grafik hubungan  $(\alpha h\nu)^2$  ( $\text{m}^{-1} \cdot \text{eV})^2$  terhadap  $h\nu$  dye bayam merah



**Gambar 4.12** Grafik hubungan  $(\alpha h\nu)^2$  ( $\text{m}^{-1} \cdot \text{eV})^2$  terhadap  $h\nu$  dye jahe merah

Dari Grafik 4.9 – 4.12 diperoleh hasil perhitungan data yang disajikan dalam Tabel 4.2 berikut ini.

**Tabel 4.2** Perhitungan nilai HOMO tertinggi, LUMO terendah dan *band gap dye* bayam merah dan jahe merah

<i>Dye</i>	Potensial Oksidasi (eV)	<i>Band gap</i> (eV)	Level Energi (eV)	
			HOMO	LUMO
Bayam Merah	0.560	1.790	-4.960	-3.170
Jahe Merah	0.644	1.730	-5.044	-3.314

Dari Tabel 4.2 Terlihat energi gap *dye* bayam merah 1,790 eV dan pada *dye* jahe merah 1,730 eV. Energi gap semikonduktor ZnO dalam fase anatase sekitar 3,2 eV, artinya *dye* yang dipreparasi dapat digunakan sebagai *sensitizer* pada DSSC, karena nilai energi gap *dye* harus lebih kecil dari energi gap semikonduktor yang digunakan. Hal ini dikarenakan pada DSSC terjadi separasi muatan, di mana saat menyerap energi foton dari cahaya tampak, elektron pada *dye* akan tereksitasi dari keadaan HOMO (*highest occupied molecular orbital*) ke daerah LUMO (*lowest unoccupied molecular orbital*) yang selanjutnya elektron akan ditransfer ke pita konduksi

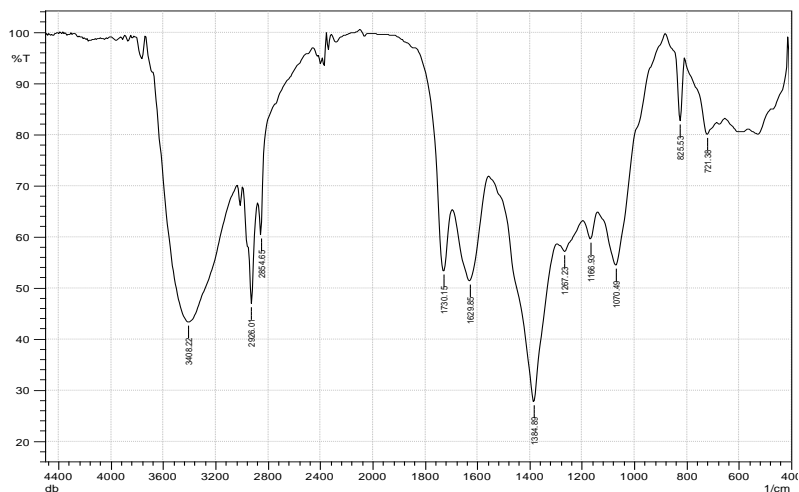
semikonduktor ZnO. Energi gap *dye* menunjukkan lebar energi dari keadaan HOMO ke LUMO. Pada DSSC, lapisan tipis ZnO berlaku sebagai semikonduktor tipe-n, sedangkan *dye* berlaku sebagai semikonduktor tipe-p.

Nilai level energi HOMO tertinggi *dye* bayam merah dan jahe merah untuk pelarut aseton tersebut berada di bawah level energi potensial redoks. Nilai level energi HOMO *dye* harus berada di bawah level energi potensial redoks untuk mendukung terjadinya regenerasi *dye* yang teroksidasi dengan menangkap elektron dari donor elektron iodida. Dengan terjadinya regenerasi *dye*, maka akan mencegah penangkapan kembali elektron dari pita konduksi semikonduktor ZnO oleh *dye* yang teroksidasi yang dapat menurunkan performa DSSC (Nugraha, dkk., 2015).

#### **4.4 Karakterisasi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)**

Untuk mengetahui kandungan gugus organik dalam *dye* bayam merah dan jahe merah yang dimaserasi dalam aseton dan lapisan tipis ZnO tanpa *dye*, lapisan tipis ZnO rendam *dye* bayam merah dan rendam *dye* jahe merah, dilakukan karakterisasi dengan spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) Prestige 21 produksi Shimadzu Jepang, di laboratorium

Kimia Analitik ITB dari bilangan gelombang  $4500\text{cm}^{-1} - 400\text{ cm}^{-1}$  (*mid-infrared spectrum*). Spektra inframerah dibandingkan terjadi reduksi ikatan dan perubahan penyerapan tranmitansi pada setiap daerah spektrum infra merah Berdasarkan data hasil pengukuran, diperoleh grafik spektrum FTIR seperti pada Gambar 4.13 – 4.17.



**Gambar 4.13** Spektrum IR *dye* bayam merah

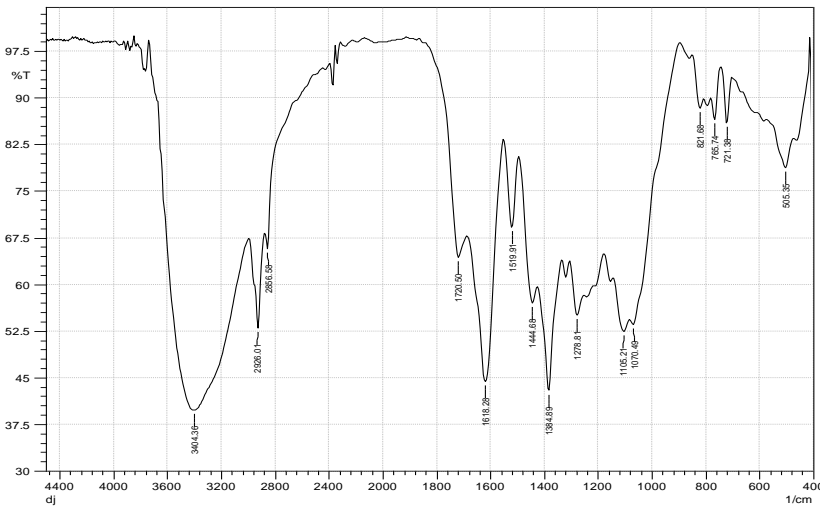
Berdasarkan Gambar 4.13 - 4.17, merujuk pada buku Handout *Infrared Spectroscopy*, nilai puncak, transmitansi beserta tipe ikatan yang bersesuaian ditampilkan dalam Tabel 4.3 - 4.7 (Susila, 2012).

**Tabel 4.3** Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* bayam merah

Puncak ( $\text{cm}^{-1}$ )	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
721.38	80.069	C-H Alkena / C-H Aromatik
825.53	82.66	C-H Alkena / C-H Aromatik
1070.49	54.488	C-O dari senyawa karboksilat
1166.93	59.621	C-O Asam Karboksilat / C-N Amina
1267.23	57.117	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1384.89	27.755	C-H Alkana
1629.85	51.323	-NO <sub>2</sub> Nitro
1730.15	53.338	C=O Asam Karboksilat
2854.65	60.468	C-H Alkana
2926.01	47.002	O-H Alkohol
3408.22	43.358	O-H Asam Karboksilat

Hasil FTIR pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *dye* bayam merah adanya serapan pada bilangan gelombang yang berbeda

beda. Terdapat serapan yang lebar dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya gugus OH pada bilangan gelombang  $3408.22\text{ cm}^{-1}$ . Hasil spektrum juga menunjukkan adanya serapan yang tajam dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang  $1384.89\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan C-H. Secara keseluruhan, gugus-gugus fungsi tersebut bersesuaian dengan gugus fungsi yang terdapat pada kerangka dasar antosianin.



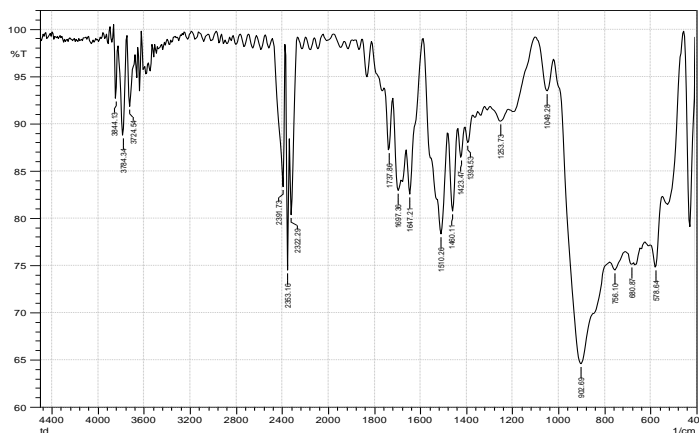
**Gambar 4.14** Spektrum IR *dye* jahe merah

**Tabel 4.4** Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* jahe merah

Puncak (cm <sup>-1</sup> )	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
505.35	78.781	C-H Alkena / C-H Aromatik
721.38	86.077	C-H Alkena
765.74	86.505	C-H Alkena / C-H Aromatik
821.68	88.428	C-H Alkena / C-H Aromatik
1070.49	53.622	C-O dari senyawa karboksilat
1105.21	52.498	C-O dari senyawa karboksilat
1278.81	55.037	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1384.89	42.898	C-H Alkana
1444.68	57.082	C-H Alkana
1519.91	69.174	C=C Aromatik
1618.28	44.411	C=C alkena
1720.5	64.36	C=O Asam Karboksilat
2856.58	65.711	O-H Alkohol
2926.01	52.96	O-H
3404.36	39.781	O-H Karboksilat



Hasil FTIR pada Gambar 4.14 dan Tabel 4.4 menunjukkan bahwa *dye* jahe merah adanya kandungan antosianin terletak pada gelombang 2800-3600, yaitu pada 2856, 2926 dan 3404  $\text{cm}^{-1}$  yang terindikasi serapan yang lebar dengan intensitas yang kuat yang menunjukkan adanya gugus OH pada bilangan gelombang 3404.36  $\text{cm}^{-1}$ . Hasil spektrum juga menunjukkan adanya serapan yang tajam dengan intensitas sedang pada bilangan gelombang 1384.89  $\text{cm}^{-1}$  yang merupakan ikatan C-H.



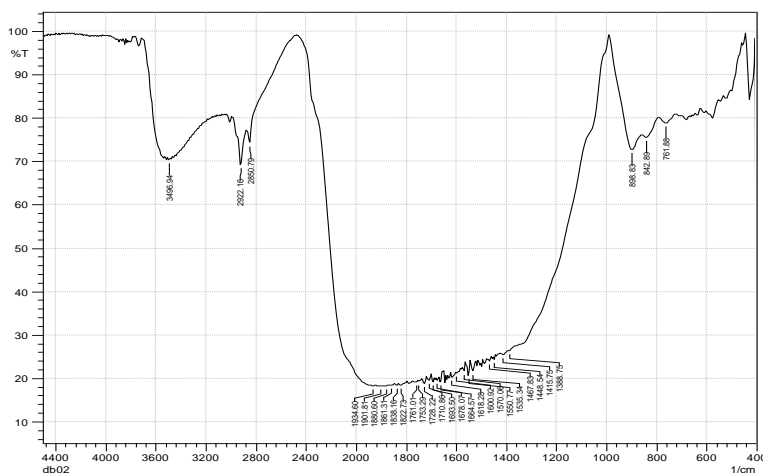
**Gambar 4.15** Spektrum IR ZnO tanpa *dye*

Gambar 4.15 merupakan hasil spektrum FTIR ZnO murni. Spektrum ini memperlihatkan banyak serapan yang kuat. Ini mengindikasikan formasi kerja dari ZnO.

**Tabel 4.5** Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam ZnO murni tanpa *dye*

Puncak (cm <sup>-1</sup> )	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
578.64	74.866	SO <sub>2</sub>
680.87	75.1304	C-H Alkena / C-H Aromatik
756.1	74.546	C-H Alkena / C-H Aromatik
902.69	64.607	C-H Alkena / C-H Aromatik
1049.28	93.4715	C-O dari senyawa karboksilat
1253.73	90.2907	C-H / C-O regangan aromatik / regangan C-N aromatik
1394.53	87.9896	C-H Alkana
1423.47	86.4837	C-H Alkana
1460.11	80.765	C-H Alkana
1510.26	78.3465	C=C Aromatik
1647.21	82.5813	C=C Alkena
1697.36	82.9331	C=O Asam Karboksilat
1737.86	87.2128	C=O Asam Karboksilat
2322.29	80.3926	C=C
2353.16	74.5113	C=C

2391.73	83.3558	C=C
3724.54	91.8628	O-H
3784.34	88.773	O-H
3844.13	92.7311	O-H



**Gambar 4.16** Spektrum IR Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO

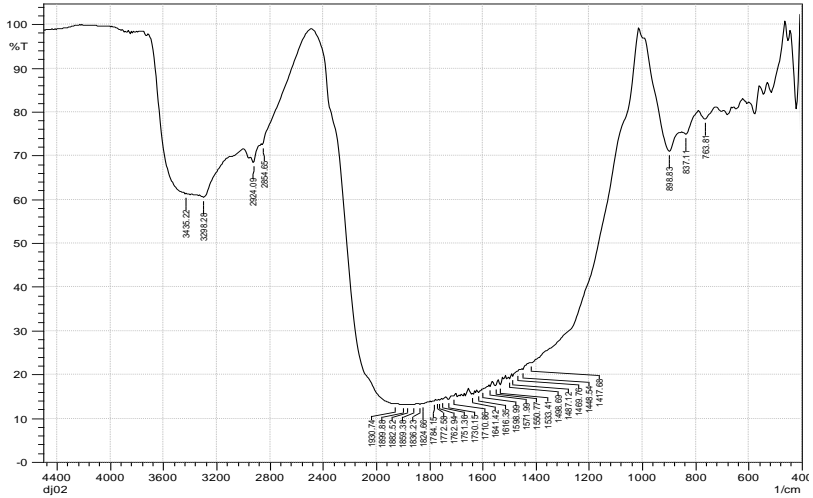
Pada Gambar 4.16 Spektrum IR Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO bilangan  $3496\text{ cm}^{-1}$  terindikasi gugus O-H. Daerah bilangan gelombang  $1200\text{ cm}^{-1}$  sampai  $2200\text{ cm}^{-1}$  mengalami pelebaran serapan. Hal tersebut karena adanya homogenisasi unsur-unsur yang ada pada senyawa. Pelebaran

serapan tersebut terjadinya reduksi antara spektrum – spektrum yang sebelumnya terbentuk. Spektrum yang tereduksi tersebut menyebabkan pemutusan ikatan rantai-rantai yang tereduksi yang kemudian bergabung dengan ikatan lainnya. Pada Tabel 4.6 adalah puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* bayam merah + ZnO

**Tabel 4.6** Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan *dye* bayam merah + ZnO

Puncak (cm-1)	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
761.88	78.937	C-H Alkena / C-H Aromatik
842.89	75.614	C-H Alkena / C-H Aromatik
898.83	72.765	C-H Alkena / C-H Aromatik
1388.75	26.406	C-H Alkana
1415.75	25.5	C-H Alkana
1448.54	24.377	C-H Alkana
1467.83	23.991	C-H Alkana
1535.34	21.61	C=C Aromatik
1550.77	20.692	C=C Aromatik
1570.06	21.689	C=C Aromatik

1600.92	21.226	C=C Aromatik
1618.28	20.307	C=C Alkena
1664.57	19.302	C=C Alkena
1678.07	19.615	C=C Alkena
1693.5	19.248	C=O Asam Karboksilat
1710.86	19.54	C=O Asam Karboksilat
1728.22	18.92	C=O Asam Karboksilat
1753.29	19.325	C=O Asam Karboksilat
1761.01	19.158	C=O Asam Karboksilat
1822.73	18.522	C=O Senyawa Karbonil
1838.16	18.519	C=O Senyawa Karbonil
1861.31	18.429	C=O Senyawa Karbonil
1880.6	18.318	C=O Senyawa Karbonil
1901.81	18.248	
1934.6	18.361	
2850.79	74.25	C-H Alkana
2922.16	69.369	C-H Alkana
3496.94	70.415	O-H Asam Karboksilat



**Gambar 4.17** Spektrum IR *dye* jahe merah + ZnO

Pada Gambar 4.17 Spektrum IR *dye* jahe merah + ZnO sama dengan Spektrum IR *dye* bayam merah + ZnO, bilangan 3496  $\text{cm}^{-1}$  terindeksi gugus O-H. Daerah bilangan gelombang 1200  $\text{cm}^{-1}$  sampai 2200  $\text{cm}^{-1}$  mengalami pelebaran serapan. Hal tersebut karena adanya homogenisasi unsur-unsur yang ada pada senyawa. Pelebaran serapan tersebut terjadi karena reduksi antara spektrum – spektrum yang sebelumnya terbentuk. Spektrum yang tereduksi tersebut menyebabkan pemutusan ikatan rantai-rantai yang tereduksi yang kemudian bergabung dengan ikatan lainnya (Susilawati, 2016). Pada tabel

4.7 adalah puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan dalam *dye* jahe merah + ZnO

**Tabel 4.7** Puncak Spektrum FTIR serta tipe ikatan *dye* jahe merah + ZnO

Puncak (cm-1)	Transmitansi (%)	Tipe Ikatan
763.81	78.49	C-H Alkena / C-H Aromatik
837.11	74.978	C-H Alkena / C-H Aromatik
898.83	71.084	C-H Alkena / C-H Aromatik
1417.68	22.672	C-H Alkana
1448.54	21.295	C-H Alkana
1469.76	20.646	C-H Alkana
1487.12	19.703	C-H Alkana
1498.69	19.142	C-H Alkana
1533.41	17.783	C=C Aromatik
1550.77	17.454	C=C Aromatik
1571.99	17.343	C=C Aromatik
1598.99	16.712	C=C Aromatik
1616.35	15.947	C = O
1641.42	15.663	C=C Alkena

1710.86	15.101	C=O Asam Karboksilat
1730.15	14.386	C=O Asam Karboksilat
1751.36	14.46	C=O Asam Karboksilat
1762.94	14.22	C=O Asam Karboksilat
1772.58	14.212	C=O Senyawa Karbonil
1784.15	14.028	C=O Senyawa Karbonil
1824.66	13.409	C=O Senyawa Karbonil
1836.23	13.326	C=O Senyawa Karbonil
1859.38	13.261	C=O Senyawa Karbonil
1882.52	13.208	C=O Senyawa Karbonil
1899.88	13.217	C=O Senyawa Karbonil
1930.74	13.4	
2854.65	72.678	C-H Alkana
2924.09	68.445	C-H Alkana
3298.28	60.517	O-H Asam Karboksilat
3435.22	61.34	O-H Asam Karboksilat

Bila dilihat dari spektrum sampel hasil pengujian FTIR, hampir dapat dipastikan bahwa gugus fungsi dari *dye* terhadap pada



kerangka antosianin. Gugus hidroksil dan karbonil dalam *dye* termasuk *anchoring group* yang akan bereaksi dengan permukaan oksida semikonduktor sehingga membentuk ikatan kimia. Gugus karbonil dan hidroksil dalam molekul antosianin akan berikatan pada permukaan film ZnO (Wongcharee dkk., 2007).

#### **4.5 Karakterisasi I-V**

Sistem sel surya dalam pengujian ini bertindak seperti diode, yang memiliki sifat menyerahkan arus bolak-balik. Sistem sel surya dikatakan mati, apabila arus yang dihasilkan sistem saat tegangan 0 ( $I_{sc}$ ) bernilai nol, ini menandakan bahwa sistem tersebut tidak terjadi aliran elektron yang bisa menghasilkan arus listrik. Hal ini akibat sambungan semikonduktor tipe-*p* dan tipe-*n*, apabila semikonduktor tipe-*p* disentuh dengan semikonduktor tipe-*n* maka akan terjadi difusi *hole* dan tipe-*p* menuju tipe-*n* dan difusi elektron dari tipe-*n* menuju tipe-*p*. Difusi tersebut akan meninggalkan daerah yang lebih positif pada batas tipe-*n* dan daerah lebih negatif pada batas tipe-*p*.

Batas tempat terjadinya perbedaan muatan pada sambungan *p-n* disebut daerah *depleksi*. Elektron lebih yang memasuki bahan tipe-*p* menyebabkan sisi daerah *depleksi* bermuatan negatif, yang cenderung menarik elektron lainnya

dari daerah  $n$ . Dalam keadaan setimbang, tumpukan elektron yang cukup banyak akan menghentikan sama sekali aliran elektron. Adanya beda muatan pada daerah deplesi mengakibatkan munculnya medan listrik yang mampu menghentikan laju difusi selanjutnya. Medan listrik tersebut mengakibatkan munculnya *arus drift*. Namun arus ini terimbangi oleh arus difusi, sehingga secara keseluruhan tidak arus listrik yang mengalir pada semikonduktor sambungan  $p-n$  tersebut. Elektron adalah partikel bermuatan yang mampu dipengaruhi oleh medan listrik. Kehadiran medan listrik pada elektron mengakibatkan elektron bergerak.

Ketika semikonduktor sambungan  $p-n$  disinari maka akan terjadi pelepasan elektron dan hole pada semikonduktor tersebut. Lepasnya pembawa muatan tersebut mengakibatkan penambahan kuat medan listrik di daerah *deplesi*. Pada keadaan ini *arus drift* lebih besar daripada arus difusi, sehingga secara keseluruhan dihasilkan arus berupa *arus drift* yaitu arus yang dihasilkan karena muncul medan listrik. Arus inilah yang kemudian dimanfaatkan oleh sel surya sambungan  $p-n$  sebagai arus listrik.

Kinerja sel surya sangat dipengaruhi oleh konstruksi sistem sel surya itu sendiri, seperti elektroda kerja (*working electrode*), elektroda lawan (*counter electrode*) dan larutan

elektrolit yang digunakan. Selain itu kinerja alat ukur juga bisa mempengaruhi pengukuran kinerja sel surya.

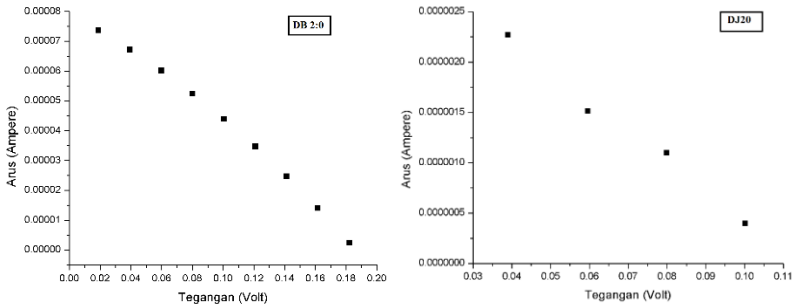
Output atau keluaran yang bisa ditinjau dari sel surya adalah efisiensi. Efisiensi menunjukkan kemampuan sel surya untuk mengubah sel matahari menjadi energi listrik. Efisiensi suatu sel surya dapat diketahui dengan meninjau kurva karakteristik I-V (arus-tegangan).

Karakterisasi kurva I-V dilakukan untuk melihat sifat listrik DSSC yang telah dibuat. Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan *I-V measurement system* dari National Instrument dengan sumber cahaya *sun simulator* AM 1.5 serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas  $500 \text{ W/m}^2$ .

Proses diawali dengan menghubungkan probe positif pada substrat yang terlapis platina dari probe negatif pada substrat yang terlapis  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan menggunakan *jumper* atau penjepit buaya. Arus hubungan pendek ( $I_{sc}$ ), tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ), daya maksimum ( $P_m$ ), efisiensi dapat dihasilkan, pengukuran intensitas cahaya menggunakan *pyranometer* dan segera diketahui secara otomatis melalui layar komputer.

Hasil karakterisasi I-V dilakukan untuk mengetahui sifat listrik dari DSSC yang telah siap di uji. Saat cahaya membawa energi foton mengenai DSSC, akan ada elektron dari

*dye* yang mendesak elektron dari  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  tereksitasi dari pita konduksi ke pita valensi dan menuju elektroda kerja sehingga tercipta arus dalam DSSC.



**Gambar 4.18** Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

Gambar 4.18 menunjukkan kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  2:0 yang divariasikan ke dalam *dye* yaitu *dye* bayam merah dan jahe merah. Berdasarkan hasil pengukuran nilai arus dan tegangan yang telah dibuat oleh kurva I-V, diperoleh parameter-parameter keluaran sel surya seperti yang dirangkum di dalam Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi *Dye* pada lapisan TiO<sub>2</sub>/ZnO dengan komposisi 2:0

<b>Karakterisasi</b>	<b>Film 2:0 DB</b>	<b>Film 2:0 DJ</b>
<b>V<sub>oc</sub> (V)</b>	0.182228	0.100171
<b>I<sub>sc</sub> (A)</b>	7.36E-05	7.82E-06
<b>P<sub>max</sub> (Watt)</b>	4.42E-06	1.49E-07
<b>V<sub>max</sub> (V)</b>	0.100523	0.019071
<b>I<sub>max</sub> (A)</b>	4.40E-05	7.82E-06
<b>FF</b>	0.329361	0.19038
<b>η (%)</b>	0.004421	0.000372

Efisiensi DSSC dipengaruhi oleh tiga parameter yaitu I<sub>sc</sub> (short circuit current), V<sub>oc</sub> (open circuit voltage) dan FF (Fill Factor). I<sub>sc</sub> merupakan arus rangkaian pendek yang terjadi ketika tegangan bisa sama dengan nol. Arus ini sama dengan jumlah foton yang di konversikan menjadi pasangan elektron-hole. Semakin banyak elektron yang tereksitasi, maka efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar. V<sub>oc</sub> merupakan nilai tegangan ketika arus bernilai nol karena semua eksiton terekombinasi sehingga dalam DSSC tidak mengalir arus. FF merupakan perbandingan daya maksimum (P<sub>max</sub>) terhadap arus kontak (I<sub>sc</sub>) dan tegangan rangkaian terbuka (V<sub>oc</sub>). Fill Factor

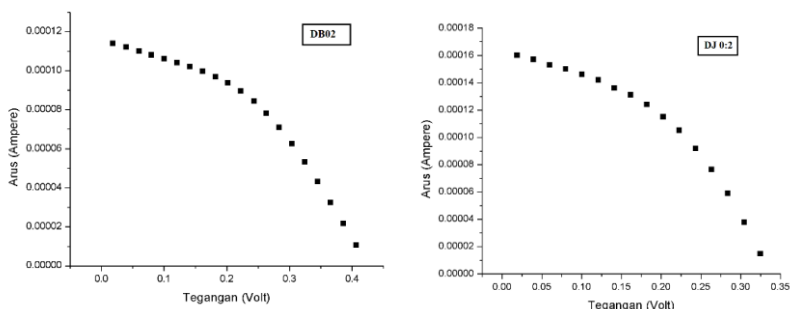
bertambah dengan meningkatnya mobilitas elektron. Peningkatan mobilitas elektron akan meningkatkan arus. Jika nilai fill factor lebih tinggi dari 0,7 atau 70% maka sel tersebut lebih baik.

Tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada komposisi  $TiO_2/ZnO$  2:0 mencapai 0,182 V dan 0,100 V masing-masing untuk sel dengan perendaman *dye* bayam merah dan jahe merah. Arus keluaran sel surya (disebut juga arus foto) masih sangat rendah. Arus rangkaian pendek ( $I_{sc}$ ) masing-masing sebesar  $7.36E-05$  dan  $7.82E-06$ . Kecilnya arus keluaran yang dihasilkan disebabkan oleh resistansi lapisan elektroda semikonduktor  $TiO_2/ZnO$  dan elektrolit yang sangat besar dari hasil pengukuran diketahui nilai resistansi dari lapisan  $TiO_2/ZnO$ .

Dengan nilai resistansi yang sangat besar ini mengakibatkan elektron yang diinjeksi dari *dye* mengalami hambatan yang sangat besar di dalam lapisan  $TiO_2/ZnO$  sehingga jumlah elektron mengalir ke rangkaian luar menjadi kecil. Penyebab lainnya dapat diakibatkan oleh belum optimalnya fungsi *dye* dalam pembangkitan dan injeksi elektron ke lapisan elektroda  $TiO_2/ZnO$ .

Efisiensi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  komposisi 2:0 untuk sel dengan peremdaman *dye* bayam merah dan jahe merah sebesar 0,00421 % dan 0.000372 %.

Dapat dilihat bahwa Efisiensi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  komposisi 2:0 pada *dye* bayam merah lebih tinggi dibandingkan *dye* jahe merah. Dikarenakan penyerapan cahaya pada *dye* bayam merah lebih tinggi dibandingkan *dye* jahe merah. Absorbansi dipengaruhi oleh kandungan antosianin yang ada dalam larutan dan yang terjerap (teradsorpsi) pada permukaan  $\text{TiO}_2$ , dimana kandungan antosianin sebanding dengan cahaya yang diserap (absorbansi).



**Gambar 4.19** Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  0:2 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

Dari Gambar 4.19 menunjukkan kurva I-V nilai konduktivitas dari *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  0:2 yang divariasikan ke dalam *dye* yaitu *dye* bayam merah dan jahe merah. Dapat dilihat bahwa karakteristik dari sel surya komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  0:2 lebih bagus pada peremdaman *dye* bayam merah dibanding dengan *dye* jahe merah. Secara otomatis tingkat efesiensi dari *dye* bayam merah lebih tinggi dari *dye* jahe merah. Untuk lebih jelasnya spesifikasi *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  0:2 dapat dilihat pada tabel 4.9 dibawah ini.

**Tabel 4.9** Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi *Dye* pada lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan komposisi 2:0

<b>Karakterisasi</b>	<b>Film 0:2 DB</b>	<b>Film 0:2 DJ</b>
<b>Voc (V)</b>	0.40666	0.324939
<b>Isc (A)</b>	0.000114	0.00016
<b>Pmax (Watt)</b>	2.06E-05	2.33E-05
<b>Vmax (V)</b>	0.263312	0.222908
<b>Imax (A)</b>	7.82E-05	0.000105
<b>FF</b>	0.444764	0.44762
<b><math>\eta</math> (%)</b>	0.051544	0.023202



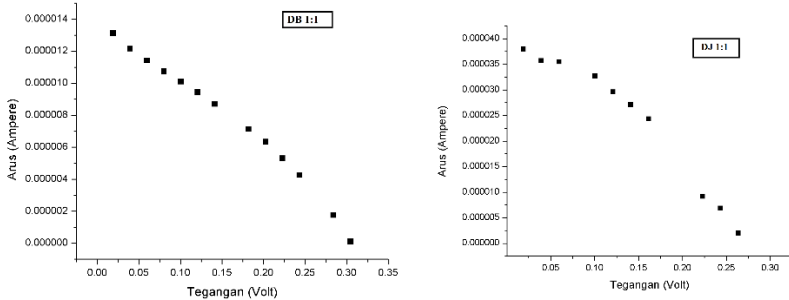
Dari Tabel 4.9 di peroleh nilai tegangan rangkaian terbuka ( $V_{oc}$ ) pada komposisi  $TiO_2/ZnO$  0:2 mencapai 0.4066 V dan 0.3249 V masing-masing untuk sel dengan perendaman *dye* bayam merah dan jahe merah. Arus rangkaian pendek ( $I_{sc}$ ) masing-masing sebesar 0.000114 A dan 0.00016 A.

Efisiensi yang dihasilkan yaitu 0,051 % untuk *dye* bayam merah dan 0,023 % untuk *dye* jahe merah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak *dye* yang terabsorb mempengaruhi kinerja sel surya yang baik.

Karakterisasi I-V DSSC yang ditunjukkan pada Tabel 4.9 menunjukkan bahwa absorbansi dan konduktivitas berpengaruh terhadap DSSC. Semakin banyak cahaya yang diserap maka semakin banyak elektron diciptakan sehingga akan meningkatkan arus. Semakin tinggi konduktivitas maka semakin tinggi kemampuan *dye* untuk menghantarkan listrik.

Gambar 4.20 adalah kurva arus tegangan komposisi  $TiO_2/ZnO$  1:1 yang divariasikan terhadap *dye* yaitu *dye* bayam merah dan jahe merah. Dari Gambar 4.20 dapat diketahui rapat arus maksimum dan tegangan maksimum untuk memperoleh daya maksimum. Selain itu, dapat diketahui juga  $I_{sc}$  dan  $V_{oc}$  sehingga bisa dihitung nilai *fill factor* ( $ff$ ) dan efisiensi dari

DSSC yang dibuat dari kedua jenis dye. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.20 dapat diketahui *fill factor* dan efisiensi yang disajikan dalam Tabel 4.10.



**Gambar 4.20** Kurva I-V *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) dengan komposisi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  1:1 pada (a) *dye* bayam merah (b) *dye* jahe merah

**Tabel 4.10** Karakteristik I-V DSSC dengan Variasi *Dye* pada lapisan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan komposisi 1:1

Karakterisasi	Film 1:1 DB	Film 1:1 DJ
<b>Voc (V)</b>	0.304592	0.284342
<b>Isc (A)</b>	1.31E-05	3.80E-05
<b>Pmax (Watt)</b>	1.51E-06	4.61E-06
<b>Vmax (V)</b>	0.161952	0.182233

<b>I<sub>max</sub> (A)</b>	9.33E-06	2.53E-05
<b>FF</b>	0.378064	0.426005
<b>η (%)</b>	0.001506	0.006149

Berdasarkan Tabel 4.10 diketahui nilai efisiensi untuk solar sel berbeda-beda. Sel surya yang dibuat dengan *dye* bayam merah menghasilkan efisiensi terbesar dengan nilai Voc 0.304 V, Isc = 1.31E-05 A , *fill factor* 0,37 dan efisiensi 0,0015 %, diikuti oleh DSSC yang dibuat dengan *dye* jahe merah dengan nilai Voc 0.284 V, Isc = 3.80E-05 A , *fill factor* 0,42 dan efisiensi 0,0061 %

Dapat dilihat bahwa kurva pada *dye* jahe lebih tinggi nilai arus dan tegangan maksimum dibandingkan *dye* bayam. Berbeda halnya dengan DSSC komposisi TiO<sub>2</sub>/ZnO 2:0 dan 0.2 yang mendapatkan hasil bahwa *dye* bayam lebih tinggi nilai efesiensinya dibanding jahe merah. Ini dikarenakan besarnya perbandingan pencampuran material antara TiO<sub>2</sub> dan ZnO sangat mempengaruhi nilai efisiensi.

Nilai arus keluaran DSSC disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta TiO<sub>2</sub> yang dideposisikan pada kaca FTO, lama perendaman pada *dye* dan

penggunaan elektrolit cair (Kumara M. W., 2012). Ketebalan lapisan yang relatif besar memperbesar hambatan internal sehingga mengurangi mobilitas muatan yang melewati sel. Tegangan pada sel surya berbasis DSSC ini dihasilkan dari perbedaan tingkat energi konduksi elektroda semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan potensial elektrokimia pasangan elektrolit redoks, dan arus yang dihasilkan berhubungan dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, intensitas penyinaran serta *dye* yang digunakan sebagai sensitizer (Cari, 2013).

Elektron dalam sistem sel surya dihasilkan dari elektron zat warna yang tereksitasi karena mendapat cahaya pada daerah cahaya tampak, kemudian akan diinjeksi ke dalam pita konduksi semikonduktor  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ . Terjadinya injeksi elektron zat warna kedalam pita konduksi  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dipermudah dengan adanya interkasi/ikatan antara zat warna dan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ , elektron lebih sulit mengalami injeksi sehingga terjadi aliran elektron yang kemudian menghasilkan sistem sel surya yang mati. Sistem sel surya juga bisa mati Karen aterjadinya short pada sistem akibat kontak langsung elektroda kerja (*working electrode*) dan elektroda lawan (*counter electrode*). Hal ini bisa terjadi jika larutan elektrolit tidak terdistribusi secara merata pada seluruh permukaan kontak elektroda kerja – elektroda

lawan. Oleh karena itu penggunaan *sealant* dari bahan polimer berfungsi untuk menahan elektrolit supaya tidak kemana-mana.

Hasil keluaran tegangan dan arus yang diperoleh dengan menggunakan sumber cahaya *Sun Simulator AM 1.5* serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas 500 W/m<sup>2</sup> terlihat bahwa tegangan yang dihasilkan sudah cukup baik dan stabil namun arus yang dihasilkan kurang optimal. Intensitas sangat mempengaruhi daya keluaran dari DSSC.

Semakin besar intensitas, semakin banyak jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi, sehingga semakin besar arus. Selain itu, rendahnya arus keluaran ini juga disebabkan oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel dan ketebalan pasta TiO<sub>2</sub>/ZnO yang dideposisikan pada kaca FTO, lama perendaman pada *dye*, penggunaan elektrolit cair. Dalam penelitian ini digunakan elektrolit cair, dimana elektrolit tersebut semakin lama digunakan akan semakin habis karena menguap, dan menghasilkan siklus transfer elektron yang kurang maksimal. Sesuai dengan fungsi dari elektrolit yaitu transfer elektron / muatan, jika elektrolit habis atau bahkan tidak ada, maka aktivitas transfer elektron akan berkurang / tidak ada.

Ukuran  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  yang digunakan dalam penelitian ini adalah berukuran mikro. Sebenarnya, yang paling utama dalam pembuatan DSSC adalah  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan fasa anatase (seperti yang telah digunakan dalam penelitian ini) karena memiliki bandgap yang lebar. Pada umumnya, yang digunakan dalam pembuatan DSSC adalah  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  berfasa anatase dengan ukuran nano. Dimana ukuran nano ini memiliki pengaruh terhadap jumlah *dye* yang terserap.

Kemudian, ketebalan lapisan yang tidak seragam sehingga berpengaruh pada terhambatnya proses keluarnya elektron. Dalam DSSC tegangan yang timbul karena adanya perbedaan tingkat energi konduksi elektroda  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$  dengan potensial elektrokimia. Dan arus yang timbul dipengaruhi oleh (intensitas) foton yang diserap *dye* dan akan di transfer oleh elektrolit. Proses akan terjadi secara kontinyu. Proses tersebut merupakan proses konversi energi dari foton menjadi listrik.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa

1. Pewarna alami dari bayam merah dan jahe merah bisa digunakan sebagai sensitizer pada DSSC dengan adanya serapan pada daerah sinar tampak.
2. Dengan uji karakterisasi spektrofotometer UV-Vis pada bayam merah dan jahe merah, absorbansi yang bagus terdapat pada pelarut aseton.
3. *Dye* bayam merah dan jahe merah yang dipreparasi dapat digunakan sebagai sensitiser pada DSSC, karena memiliki level energi LUMO yang cukup untuk menginjeksikan elektron ke permukaan  $\text{TiO}_2/\text{ZnO}$ , memiliki level energi HOMO yang mendukung proses regenerasi molekul *dye* teroksidasi dan memiliki nilai energi gap *dye* lebih kecil dari energi gap semikonduktor.
4. Adanya gugus fungsi  $-\text{OH}$  dari hasil FTIR, terindikasi sebagai gugus hidroksil yang merupakan adanya zat

5. Besarnya efisiensi dari *dye* bayam merah dibandingkan *dye* jahe merah dimungkinkan partikel-partikel *dye* menempel sempurna pada permukaan sehingga meningkatkan penyerapan foton.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan disarankan beberapa hal berikut agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik:

1. Elektrolit yang digunakan berupa elektrolit gel sehingga tidak mudah terjadi penguapan sehingga diharapkan dapat meningkatkan nilai tegangan ( $V_{oc}$ ) dan arus ( $I_{sc}$ ).
2. Proses *printing seal* dilakukan dengan teliti untuk menghindari kebocoran elektrolit.
3. Perlu dicari teknik deposisi yang lebih baik, karena ketebalan lapisan dapat mempengaruhi daya serap sampel.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai desain sel yang optimal untuk menjaga performa sel surya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bowono, M. C. (2010). *Rancang Bangun Sistem Pengendali Pengisian Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel*. Universitas Indonesia.
- Buwono, M. C. (2010). *Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel Arus Sel Surya Dengan Rekonfigurasi Seri-Paralel*. Universitas Indonesia.
- Cari, Nurussaniah, Boisandi, Anita, Supriyanto, A., & Suryana, R. (2013). Pengaruh Konsentrasi Poly (3-hexylthiophene) (P3HT) terhadap Peningkatan Efisiensi Dye Sensitized Solar Cells. *Seminar Nasional Lontar Pysics Forum* **2**, 1331-1337.
- Chakraborty, Ahamed, Pal, & Saha, S. K. (2013). Cyclic voltammetric investigations of thiazine dyes on modified electrodes. *Reasearch Article ISRN Electrochemistry* (959128).
- Chiba, A, I., Y, W., R, K., Koide, & Han. (2006). Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Effeciency of 11,1 %. *Jpn. J. Appl. Phys* **45**, 636-640.

- Durst, & Wrolstad, R. E. (2001). *Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-visible Spectroscopy*. Current Protocols in Food Analytical Chemistry.
- Fatayati, I. (2014). *Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (Hylocereus Costaricensis) Sebagai Dye Pada Solar Cell*. Universitas Islam Sunan Gunung Djati Bandung.
- Fattori, A. (2010). *Electrochemical And Spectroelectrochemical Studies Of Dyes Used In Dye-Sensitized Solar Cells*. Department of Chemistry, University of Bath.
- Febriansyah, A. (2009). *Uji Efek Imunomodulator Ekstrak Metanol Daun Dan Kulit Batang Rhodamnia cinera Jack Melalui Pengukuran Aktivitas Dan Kapasitas Fagositosis Sel Makrofag Peritoneum Mencit Yang Diinduksi Staphylococcus epidermidis Secara In Vitro*. Fakultas kedokteran dan ilmu kesehatan. UIN Syarif Hidayatullah.
- Frank, & Cogdell. (1995). Carotenoids in Photosynthesis. *Photochemistry and Photobiology* **63**, 257-264.

- Glover. (1960). The Conversion of Carotene into Vitamin A. *Vitamins. Hormones* **18**, 371-386.
- Green, & Martin. (1982). *Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*. Prentice Hall.
- Green, Emery, Hishikawa, Warta, & Dunlop. (2014). Solar Cell Efficiency Tables (Version 43). *Progress In Photovoltaics: Research And Applications* **22**, 1-9.
- Gregg, B. (2003). Excitonic Solar Cells. *Journal Physics Chemistry B* **107**, 4688–4698.
- Gross. (1991). *Pigment in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*. New York, Van Nostrad Reinhold.
- Hastuti, & Ningsih, R. (2013). *Karakterisasi ekstrak teh hitam dan tinta cumi-cumi sebagai fotosensitizer pada sel surya berbasis pewarna tersensitisasi*. Jurusan Fisika. UIN Malang.
- Heri, S. (2005). Pengukuran Panjang Gelombang Sumber Cahaya Berdasarkan Pola Interferensi Celah Banyak. *Berkala Fisika* **8**, 37-44.

- Kay, A., & Grätzel, M. (1996). Low Cost Photovoltaic Modules Based on Dye Sensitized Nanocrystalline Titanium Dioxide and Carbon Powder. *Solar Energy Materials and Solar Cell* **44**, 99-117.
- Kumara, & Sukma, M. W. (2012). *Studi Awal Fabrikasi Dye Sensitized Solar Cell(DSSC) Dengan Menggunakan Ekstraksi Daun Bayam (Amaranthus Hybridus L.) Sebagai Dye Sensitizer Dengan Variasi Jarak Sumber Cahaya Pada DSSC*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Maddu. (2007). Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer Pada Sel Surya TiO<sub>2</sub> Nanokristal Tersensitisasi Dye. *Makara* **11**, 78-84.
- Malvino. (1985). *Prinsip-prinsip Elektronika*. Jakarta: Erlangga.
- Mayangsari. (2011). Identifikasi Protein Menggunakan Fourier Transform Infra Red. *Skripsi Universitas Indonesia*.
- Mazza, G., & Davies, A. J. (1992). Separation And Characterization Of Anthocyanins Of Monarda

- Fistulosa By High-Performance Liquid Chromatography. *Journal Agricultural Food Chemistry* **40**, 1341-1345.
- Miao, Q., Gao, J., Wang, Z., Yu, H., Luo, Y., & Ma, T. (2011). Syntheses And Characterization Of Several Nickel Bis(Dithiolene) Complexes With Strong And Broad Near-IR Absorption. *Inorganica Chimica Acta* **376**, 619-627.
- Mikrajuddin, A. (2010). *Karakterisasi Nanomaterial*. Fisika elektronika Material - FMIPA, ITB.
- Misra. (2005). Electrochemical and Optical studies of Conjugated Polymers for Three Primary Colours. *Indian Journal of Pure and Applied Physics* **43**, 921-925.
- Nugraha, R., Setiawan, A., Yulianto, B., & Cahya Prima, E. (2015). Karakteristik Fotofisika-Kimia Fotosensitizer Hanjuang (*Cordyline Fruticosa*) Pada Dye Sensitized Solar Cells. *Prosiding SNIPS*, 169-172.
- Nur, A. (2013). Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Kaca FTO Yang Di Coating ZnO Terhadap Efisiensi DSSC

(Dye Sensitized Solar Cell) Yang Menggunakan Dye Dari Buah Terung Belanda (*Solanum Betaceum*). *Jurnal Teknik POMITS* **1**, 1-6.

Prima, E. C. (2013). *Performansi dye sensitized solar cell menggunakan fotoelektroda TiO<sub>2</sub> nanopartikel (Tesis)*. Institut Teknologi Bandung.

Purwanto. (2013). Variasi Kecepatan Dan Waktu Pemutaran Spin Coating Dalam Pelapisan TiO<sub>2</sub> Untuk Pembuatan Dan Karakterisasi Prototipe DSSC Dengan Ekstraksi Kulit Manggis (*Garcinia Mangostana*) Sebagai Dye Sensitizer. *Jurnal Sains dan Seni POMITS* **2**, 2337-3520.

Puspita, N. (2012). *Studi Awal Pembuatan Prototype Dye-Sensitizer Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosella (*Hibiscus Sabdariffa*) Sebagai Dye-Sensitizer dengan Variabel Luas Permukaan Lapisan TiO<sub>2</sub>*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Putri, Y. D. (2014). *Laporan Analisis Spektrometer Inframerah*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang.

- Rahman, A. (2011). *Fabrikasi dan Karakterisasi Nanopartikel ZnO untuk aplikasi Dye Sensitized-Solar Cell (Tesis)*. Universitas Indonesia.
- Silviah, S., Chomsim, W. S., & Masrurroh. (2008). Penggunaan Metode FTIR (Fourier Transform Infra Red) Untuk Mengidentifikasi Gugus fungsi Pada Proses Pembaluran Penderita Mioma. *Fisika Berkala* **11**, 217-220.
- Smestad, G., & Grätzel, M. (1998). A Natural Dye-Sensitized Nanocrystalline Energy Converter Demonstrating Electron Transfer And Nanotechnology. *Solar Energy Materials and Solar Cell* **75**, 752-756.
- Susanti, N. (2012). Variasi Temperatur dan Waktu Tahan Kalsinasi terhadap Unjuk Kerja Semikonduktor TiO<sub>2</sub> sebagai Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) dengan Dye dari Ekstrak Buah Naga Merah. *Jurnal Teknik ITS* **1**, 81-85.
- Susila, K. (2012). *Spektrokopi Infra Merah (Infrared Spectroscopy)*. Universitas Negeri Yogyakarta.

- Susilawati, E. (2016). *Sintesis dan Karakterisasi Kurkumin Nanopartikel dengan Metode Sol Gel Ekstraksi Alkohol dan Polivinil Alkohol (PVA)*. Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung.
- Suyitno. (2008). *Klorofil/Pigmen Fotosintesis*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wiliastuti. (2006). *Studi Penumbuhan Membran Polyvinil Alcohol (PVA) dengan Variasi Konsentrasi PVA menggunakan Metode Spin Coating Di Atas Lapisan elektroda Platinum*. Universitas Sebelas Maret.
- Wilman, S. (2007). *Pembuatan Prototipe Solar Cell Murah dengan Bahan Organik-Inorganik (Dye-Sensitized Solar Cell)*. Institut Teknologi Bandung.
- Wongcharee, Khwanchit, Meeyoo, V., & Chavadej, S. (2007). Dye-Sensitized Solar Cell Using Natural Dyes Extracted from Rosella and Blue Pea Flowers. *Solar Energy Materials and Solar Cells* **91**, 566-571.
- Ye, L., Tian, L., Peng, T., & Zan, L. (2011). Synthesis Of Highly Symmetrical Bioi Single-Crystal Nanosheets



And Their {001} Facet-Dependent Photoactivity.  
*Journal of Materials Chemistry* **21**, 12479-12484.

Yudoyono, Ekasari, V., & Gatut. (2013). Fabrikasi Dssc dengan Dye Ekstrak Jahe Merah (*Zingiber Officinale* Linn Var. *Rubrum*) Variasi Larutan  $\text{TiO}_2$  Nanopartikel Berfase Anatase dengan Teknik Pelapisan Spin Coating. *Jurnal sains dan seni POMITS* **2**, 2337-3520.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1.** Alat Karakterisasi yang digunakan dalam Penelitian

### 1. Spektrofotometri UV-Vis

Pengukuran dengan alat *Ultraviolet and Visible Spectrophotometri Cary 60* Agilent Technologies dilakukan di laboratorium Kimia Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung, pada rentang panjang gelombang dari 400 nm sampai 800 nm. Berikut ini dokumentasi dari alat Spektrofotometri UV-Vis yang digunakan dalam penelitian ini



## 2. *Cyclic Voltametry (CV)*

Pengukuran dilakukan dengan alat *Cyclic Voltametry* yang terdiri dari Potentiostat (Model EA161) dan E-corder 401 (Model ED401) produksi e-DAQ, dilakukan di lab Kimia Analitik Institut Teknologi Bandung Jalan Ganesha No. 10 Bandung. Elektroda yang digunakan berupa elektroda Ag/AgCl, dengan *scan rate* 2 mV/s mulai dari -1,6 V hingga +1,6 V. Berikut ini dokumentasi dari alat *Cyclic Voltametri* yang digunakan dalam penelitian ini



## 3. Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

Pengukuran dengan spektroskopi FTIR Prestige 21 produksi Shimadzu Jepang, dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha

No. 10 Bandung, dari bilangan gelombang  $4500\text{cm}^{-1}$  –  $400\text{cm}^{-1}$  (*mid-infrared spectrum*). Berikut ini dokumentasi dari alat Spektroskopi *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) yang digunakan dalam penelitian ini



#### 4. Karakterisasi I-V

Pengujian yang dilakukan yaitu menggunakan I-V measurement system dari National Instrument dengan sumber cahaya *Sun Simulator AM 1.5* serta dilengkapi sensor *pyranometer* dengan intensitas  $500\text{ W/m}^2$  di Gedung PPET Lt.4 Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. Berikut ini dokumentasi dari alat Karakterisasi I-V yang digunakan dalam penelitian ini



**Lampiran 2.** Alat dan Bahan yang digunakan dalam Penelitian

1. Preparasi ekstrak *dye* bayam merah dan jahe merah



Blender



Pisau



Alumunium Foil



Gelas Kimia



Gunting



Timbangan Digital



Botol Sampel



Gelas Ukur



Aseton



Metanol



Etanol



Aquades

## 2. Persiapan komponen DSSC



Lapisan Tipis



Platina



Elektrolit



**Lampiran 3.** Perhitungan Nilai Band gap *Dye* Bayam Merah dan Jahe Merah

1. *Dye* Bayam Merah

$\lambda$ (nm)	Abs	T (%)	$\alpha$ ( $m^{-1}$ )	hv (eV)	$(\alpha hv)^2$ ( $m^{-1} \cdot eV$ ) <sup>2</sup>
682.0180054	0.89929	0.100709975	229.551043	1.812	173012.13
682.9953003	0.782655	0.217344761	152.6270426	1.80941	76267.1
684.0083618	0.674919	0.325081348	112.3679825	1.80673	41216.587
684.9848633	0.594605	0.405394852	90.28937431	1.80416	26535.118
685.9973145	0.519342	0.480658352	73.25985473	1.80149	17417.947
687.0094604	0.461709	0.538290829	61.93562915	1.79884	12412.674
687.9851074	0.414097	0.58590287	53.46012545	1.79629	9221.7121
688.996582	0.371896	0.628104299	46.50490446	1.79365	6957.818
690.0077515	0.33729	0.662709892	41.14179535	1.79102	5429.6049
690.9824829	0.311077	0.68892315	37.26255522	1.7885	4441.4101
691.992981	0.289022	0.710978061	34.11137062	1.78588	3711.117
693.0031128	0.269009	0.730991483	31.33534709	1.78328	3122.5423
694.0130005	0.253987	0.746012896	29.30123917	1.78069	2722.3656
694.9865112	0.241061	0.758939445	27.58332874	1.77819	2405.7488
695.9957275	0.230115	0.769885421	26.15135794	1.77561	2156.1801
697.0045166	0.22079	0.779210344	24.94742516	1.77304	1956.5455
698.0131226	0.212593	0.787407041	23.90099589	1.77048	1790.6657
698.9852905	0.206207	0.793792829	23.09327726	1.76802	1667.0351

699.9932861	0.200807	0.799193427	22.41522762	1.76547	1566.0594
701.0007324	0.195964	0.804036304	21.81108561	1.76294	1478.5204
702.0079956	0.190993	0.809006915	21.1947815	1.76041	1392.1417
703.0149536	0.186041	0.813959345	20.58448587	1.75788	1309.3646
703.9855347	0.182488	0.817512423	20.14891802	1.75546	1251.0817
704.9918213	0.178694	0.821306348	19.68590993	1.75295	1190.8375
705.9976807	0.174994	0.825006306	19.23642488	1.75046	1133.8402
707.0032959	0.171691	0.828308538	18.83695641	1.74797	1084.1473
708.008606	0.168725	0.831274688	18.47949874	1.74549	1040.4303
709.0134888	0.165552	0.834447667	18.09852497	1.74301	995.14658
709.9821777	0.163745	0.83625479	17.88219391	1.74063	968.84966
710.9864502	0.162012	0.837987617	17.67519558	1.73818	943.8772
711.9904175	0.160295	0.839704692	17.47050056	1.73572	919.54309
712.9939575	0.158692	0.841308177	17.27972456	1.73328	897.03961
713.9972534	0.157385	0.842615098	17.12450115	1.73085	878.52164
715.0001831	0.156169	0.843831062	16.98029676	1.72842	861.36641
716.0028076	0.154586	0.84541373	16.79291507	1.726	840.10277
717.0049438	0.153613	0.846387118	16.67784376	1.72358	826.31415
718.006897	0.152645	0.847355336	16.56351493	1.72118	812.7509
719.0084229	0.151786	0.848214254	16.46220173	1.71878	800.60365
720.0096436	0.151131	0.848868921	16.38504963	1.71639	790.91276
721.0105591	0.150548	0.849452376	16.31634002	1.71401	782.11737
722.0111084	0.150275	0.849725157	16.28423265	1.71163	776.88462
723.0112915	0.150193	0.84980695	16.27460735	1.70927	773.8211

724.0111694	0.149468	0.850531682	16.18936163	1.70691	763.6223
725.0106812	0.149224	0.850775719	16.16067354	1.70455	758.82179
726.0098267	0.149254	0.850746214	16.16414153	1.70221	757.05944
727.008667	0.148892	0.85110791	16.12163543	1.69987	751.01516
728.0072021	0.148315	0.851684958	16.05385885	1.69754	742.67228
729.0053101	0.148389	0.851611123	16.06252853	1.69521	741.4402
730.0030518	0.148133	0.851867288	16.03245291	1.6929	736.64845
731.0005493	0.148271	0.851728693	16.04872387	1.69059	736.13131
731.9976807	0.148326	0.851673693	16.05518155	1.68828	734.71806
732.9944458	0.148184	0.851816014	16.03847221	1.68599	731.19685
733.9908447	0.147924	0.852076367	16.00791241	1.6837	726.43674
734.9868774	0.147914	0.85208571	16.00681591	1.68142	724.36993
735.982605	0.147842	0.852157578	15.99838187	1.67914	721.65015
737.0135498	0.147761	0.852239028	15.98882427	1.67679	718.77307
738.0085449	0.147857	0.852143422	16.00004309	1.67453	717.84257
739.0032349	0.14737	0.852629766	15.94298633	1.67228	710.81462
739.9974976	0.147338	0.852662042	15.93920095	1.67003	708.56921
740.9915161	0.147057	0.852943152	15.90623783	1.66779	703.74959
741.9851074	0.146846	0.853154078	15.8815117	1.66556	699.68568
743.013855	0.147119	0.852880612	15.91357038	1.66325	700.56933
744.0067749	0.147186	0.852814034	15.92137698	1.66103	699.38636
744.9992676	0.146995	0.853005439	15.89893552	1.65882	695.55919
745.9915161	0.146549	0.853451163	15.84669585	1.65661	689.15888
746.9833374	0.146007	0.853993475	15.78317253	1.65441	681.83056

748.0102539	0.1459	0.854099721	15.7707323	1.65214	678.88827
749.0014038	0.146066	0.853934273	15.79010517	1.64996	678.75723
749.9921265	0.145701	0.854299218	15.74737748	1.64778	673.30642
750.982605	0.145142	0.85485819	15.68196837	1.6456	665.9645
752.0079956	0.145463	0.854536831	15.71956745	1.64336	667.33815
752.9976807	0.145098	0.854902297	15.67680887	1.6412	661.96913
753.9870605	0.144526	0.855473951	15.60996356	1.63905	654.61459
755.0113525	0.145214	0.854785577	15.69046292	1.63682	659.59026
755.999939	0.144925	0.855074748	15.65663888	1.63468	655.03308
756.9882202	0.144154	0.855846271	15.5664509	1.63255	645.81876
758.0113525	0.144155	0.855845273	15.56656756	1.63034	644.08619
758.9989014	0.1437	0.856299698	15.51348492	1.62822	638.03739
759.986084	0.143654	0.856345967	15.5080818	1.62611	635.9377
761.0081177	0.143323	0.856676921	15.46944196	1.62392	631.07417
761.9945679	0.143627	0.856373027	15.50492186	1.62182	632.33191
763.0158691	0.142803	0.857196882	15.40876523	1.61965	622.84247
764.0015869	0.14239	0.8576103	15.36054782	1.61756	617.35444
764.9869385	0.14198	0.858020395	15.31274094	1.61548	611.93813
766.0070801	0.142272	0.857728094	15.34681366	1.61333	613.02835
766.9916992	0.142279	0.85772121	15.34761629	1.61125	611.51938
768.0110474	0.142249	0.857750654	15.34418346	1.60912	609.62436
768.9949951	0.142233	0.85776718	15.34225688	1.60706	607.91262
770.0135498	0.142039	0.857961446	15.31961152	1.60493	604.51691
770.9967041	0.141487	0.858513385	15.25530075	1.60288	597.92428

772.0145874	0.141128	0.858871549	15.21359032	1.60077	593.09206
772.9969482	0.140748	0.859252483	15.16924739	1.59874	588.142
774.0140381	0.141045	0.858954653	15.20391487	1.59664	589.28158
774.9957275	0.140562	0.859437943	15.14766586	1.59461	583.44847
776.0120239	0.140691	0.859308541	15.16272355	1.59253	583.07876
776.9929199	0.140036	0.859964207	15.08645106	1.59052	575.77094
778.0084839	0.139167	0.860833183	14.98545414	1.58844	566.60557
778.9886475	0.139134	0.860866025	14.98163905	1.58644	564.89286
780.003418	0.139103	0.860896617	14.97808547	1.58438	563.15674
780.9827881	0.138591	0.8614088	14.91860906	1.58239	557.29279
781.9967651	0.137726	0.862273544	14.81827221	1.58034	548.3968
783.010437	0.138425	0.861574754	14.89934548	1.57829	552.97941
783.9886475	0.137692	0.862307519	14.81433217	1.57632	545.3236
785.0014648	0.13819	0.861810386	14.87200021	1.57429	548.16022
786.013855	0.137793	0.862207249	14.82596094	1.57226	543.36916
786.9909668	0.137265	0.862734541	14.76482351	1.57031	537.55971
788.0026855	0.136364	0.863635868	14.66040483	1.56829	528.6232
789.013916	0.136455	0.863544837	14.67094585	1.56628	528.02756
789.9898682	0.135685	0.864315048	14.58179379	1.56435	520.3416
791.0003052	0.135627	0.864372894	14.57510128	1.56235	518.53676
792.010376	0.135507	0.864493147	14.56119016	1.56036	516.22816
792.9851685	0.135387	0.864613265	14.54729647	1.55844	513.97753
793.9944458	0.135015	0.864984974	14.5043143	1.55646	509.64663
795.0032959	0.134456	0.865543559	14.43975773	1.55448	503.83884

796.0117798	0.134618	0.865381762	14.45845256	1.55251	503.86515
796.9850464	0.13382	0.866180301	14.36621927	1.55062	496.24292
797.9927368	0.133777	0.866222933	14.36129753	1.54866	494.65132
798.999939	0.133289	0.866710931	14.30497706	1.54671	489.54264
800.0068359	0.132381	0.867619008	14.20025918	1.54476	481.18805

## 2. Dye Jahe Merah

$\lambda$ (nm)	Abs	T (%)	$\alpha$ ( $m^{-1}$ )	hv (eV)	$(\alpha hv)^2$ ( $m^{-1}.eV$ ) <sup>2</sup>
707.0032959	0.9968032	0.003196836	574.5593865	1.747968	1008641.091
708.008606	0.9919931	0.008006871	482.7455268	1.745486	710017.624
709.0134888	0.9892941	0.010705948	453.6955813	1.743012	625359.5546
709.9821777	0.9870003	0.012999713	434.2827968	1.740634	571426.0615
710.9864502	0.9837097	0.016290307	411.7185011	1.738175	512138.946
711.9904175	0.9808974	0.019102573	395.793222	1.735724	471952.2856
712.9939575	0.9788063	0.021193743	385.4049292	1.733281	446244.1304
713.9972534	0.9752715	0.024728477	369.9799784	1.730845	410084.2114
715.0001831	0.9740605	0.025939524	365.1987443	1.728418	398433.5773
716.0028076	0.9714748	0.028525233	355.6966204	1.725997	376911.7815
717.0049438	0.9710429	0.028957129	354.193887	1.723585	372689.8013
718.006897	0.9695036	0.030496359	349.0147983	1.72118	360861.1566
719.0084229	0.9664943	0.033505738	339.6038577	1.718782	340711.6311
720.0096436	0.9651017	0.034898281	335.5317703	1.716392	331665.5437
721.0105591	0.963706	0.036294043	331.6101653	1.714009	323059.1946

722.0111084	0.9622241	0.037775934	327.6083054	1.711634	314435.6166
723.0112915	0.9617894	0.03821063	326.4641519	1.709266	311379.8644
724.0111694	0.95956	0.040439963	320.7936792	1.706906	299827.0132
725.0106812	0.9587221	0.041277945	318.7426941	1.704553	295189.805
726.0098267	0.9586204	0.041379571	318.4967974	1.702207	293923.8496
727.008667	0.95748	0.042519987	315.7781041	1.699868	288134.0176
728.0072021	0.9555525	0.044447541	311.3445635	1.697537	279332.1393
729.0053101	0.9547834	0.04521656	309.6291879	1.695213	275506.6522
730.0030518	0.954069	0.045930982	308.0615409	1.692896	271978.9552
731.0005493	0.9518635	0.048136532	303.3713883	1.690585	263041.0425
731.9976807	0.9527572	0.04724282	305.2454588	1.688283	265575.9225
732.9944458	0.9514772	0.04852277	302.5722098	1.685987	260235.4112
733.9908447	0.9485297	0.051470339	296.6749573	1.683698	249511.2759
734.9868774	0.9486085	0.051391482	296.8282832	1.681416	249092.7434
735.982605	0.9450519	0.054948092	290.136633	1.679141	237344.7992
737.0135498	0.9463261	0.053673863	292.4829111	1.676793	240524.7292
738.0085449	0.9419448	0.058055222	284.6360618	1.674532	227178.2496
739.0032349	0.9414266	0.058573425	283.7474187	1.672278	225154.611
739.9974976	0.9409106	0.059089363	282.8704361	1.670031	223164.0854
740.9915161	0.941018	0.058981955	283.0523728	1.667791	222852.1427
741.9851074	0.9352511	0.064748883	273.7238826	1.665558	207847.4458
743.013855	0.9360893	0.063910663	275.026906	1.663252	209250.3666
744.0067749	0.9345116	0.065488398	272.588228	1.661032	205007.6646
744.9992676	0.930104	0.069895983	266.0747103	1.658819	194807.2834

745.9915161	0.9314128	0.068587244	267.9648715	1.656613	197059.6186
746.9833374	0.9301651	0.069834948	266.1620713	1.654413	193901.0639
748.0102539	0.927976	0.072024047	263.0755224	1.652142	188910.2253
749.0014038	0.9269439	0.073056102	261.6527615	1.649955	186378.1805
749.9921265	0.9227654	0.077234566	256.0908173	1.647776	178067.3477
750.982605	0.9239106	0.076089382	257.5846548	1.645603	179675.9313
752.0079956	0.9210365	0.078963518	253.8769329	1.643359	174064.9202
752.9976807	0.9200608	0.079939246	252.6488355	1.641199	171932.1169
753.9870605	0.9192975	0.080702543	251.6985189	1.639045	170193.5981
755.0113525	0.9157866	0.084213376	247.440151	1.636822	164037.4715
755.999939	0.9147444	0.085255623	246.2101207	1.634681	161986.1811
756.9882202	0.9132715	0.086728513	244.4972577	1.632547	159323.3494
758.0113525	0.9146382	0.085361779	246.0856835	1.630344	160964.8179
758.9989014	0.9093335	0.090666473	240.0567638	1.628222	152776.0529
759.986084	0.9114801	0.088519871	242.4528219	1.626107	155436.4583
761.0081177	0.907084	0.092916012	237.6059293	1.623923	148883.1863
761.9945679	0.9100178	0.089982152	240.8143939	1.621821	152535.461
763.0158691	0.9057329	0.09426713	236.162272	1.61965	146306.4866
764.0015869	0.9053221	0.094677925	235.7274409	1.617561	145392.3136
764.9869385	0.9038328	0.096167207	234.1666865	1.615477	143104.0309
766.0070801	0.9018478	0.09815222	232.1235738	1.613326	140243.459
766.9916992	0.9010452	0.098954797	231.3092131	1.611255	138903.8299
768.0110474	0.8993716	0.100628436	229.6320401	1.609116	136533.6561
768.9949951	0.898756	0.101244032	229.0221514	1.607057	135462.0486



770.0135498	0.8970693	0.102930665	227.3699673	1.604931	133161.6443
770.9967041	0.8956277	0.104372323	225.9790748	1.602885	131202.1933
772.0145874	0.8958872	0.104112804	226.2280315	1.600771	131144.93
772.9969482	0.8955586	0.104441404	225.9129089	1.598737	130447.6388
774.0140381	0.8948576	0.105142415	225.2439518	1.596636	129335.6611
774.9957275	0.8895633	0.110436678	220.3312973	1.594614	123442.1429
776.0120239	0.8898178	0.110182226	220.5619687	1.592525	123376.9539
776.9929199	0.8878528	0.112147152	218.7943409	1.590515	121101.0009
778.0084839	0.8859119	0.114088059	217.0784686	1.588439	118897.9915
778.9886475	0.8859336	0.114066422	217.0974351	1.58644	118619.6979
780.003418	0.8833471	0.116652906	214.855237	1.584376	115880.0201
780.9827881	0.8818962	0.118103802	213.6191362	1.582389	114263.3807
781.9967651	0.8841171	0.115882933	215.5174795	1.580338	116001.8115
783.010437	0.8804135	0.119586468	212.371559	1.578292	112348.5041
783.9886475	0.8778597	0.122140348	210.2584502	1.576322	109849.2398
785.0014648	0.8747044	0.125295639	207.7079222	1.574289	106923.9204
786.013855	0.8751404	0.124859572	208.0565601	1.572261	107006.9808
786.9909668	0.8728733	0.127126694	206.2571102	1.570309	104903.0337
788.0026855	0.8724598	0.127540231	205.9323428	1.568293	104304.5878
789.013916	0.86745	0.132550001	202.0795338	1.566283	100180.9215
789.9898682	0.8669418	0.13305819	201.6968725	1.564348	99555.4343
791.0003052	0.8669281	0.133071899	201.68657	1.562349	99291.10497
792.010376	0.8627551	0.13724494	198.5988068	1.560357	96028.7361
792.9851685	0.8645986	0.135401428	199.9511374	1.558439	97101.80755

793.9944458	0.8618733	0.138126671	197.9584107	1.556458	94934.19533
795.0032959	0.8581324	0.141867638	195.2860786	1.554483	92154.0437
796.0117798	0.8590617	0.140938342	195.9432778	1.552513	92540.41308
796.9850464	0.8579538	0.142046213	195.1602829	1.550617	91578.22421
797.9927368	0.8575467	0.142453253	194.874138	1.548659	91079.41302
798.999939	0.8564404	0.143559575	194.1005172	1.546707	90130.04311
800.0068359	0.8530391	0.146960914	191.7588618	1.54476	87747.18164