



Prof. Dr. Hj. Yani Suryani, S.Pd., M.Si.
Dr. Tri Cahyanto, S.Pd., M.Si.

PENGANTAR

Jamur Makroskopis



PENGANTAR JAMUR MAKROSKOPIS

Prof. Dr. Hj. Yani Suryani., M.Si

Dr. Tri Cahyanto.,S.Pd.,M.Si

GUNUNG DJATI PUBLISHING

2022

PENGANTAR JAMUR MAKROSKOPIS

Prof. Dr. Hj. Yani Suryani., M.Si

Dr. Tri Cahyanto.,S.Pd.,M.Si

Pengantar Jamur Makroskopis

iii+ 132 hlm.; 21,5 cm

Daftar Sumber: hlm.104

ISBN : 978-623-99555-2-6

Pasal 44

(1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).

(2) Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah).

Penulis : Prof. Dr. Hj. Yani Suryani., M.Si
Dr. Tri Cahyanto.,S.Pd.,M.Si
Desain Cover : Iman Aulia Rahman., S.S.i
Setting Layout

Diterbitkan Februari 2022 Oleh
Gunung Djati Publishing
Kampus Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru
Bandung
Email: adminpuslitpen@uinsgd.ac.id

Cetakan Pertama, Februari 2022
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
Dilarang Memperbanyak Karya Tulis Ini Dalam Bentuk Dan Dengan Cara Apapun Tanpa
Izin Tertulis Dari Penerbit

Kata Pengantar

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Segala puji bagi Allah Swt, Yang Maha Suci, dan syukur senantiasa tercurahkan kepada-Nya. Atas segala karunia, nikmat, dan rahmat-Nya serta ilmu yang dianugerahkan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku Pengantar Jamur Makroskopis ini dengan baik dan sesuai dengan waktu yang direncanakan. Buku ini awalnya merupakan hasil penelitian penulis yang didukung oleh para mahasiswa Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung dan dibiayai oleh LP2M UIN Sunan Gunung Djati Bandung. Atas dorongan berbagai pihak, buku yang ada dihadapan para pembaca ini dapat hadir dengan berbagai kekurangan yang ada di dalamnya.

Buku ini hadir dalam rangka menambah khazanah tentang makrofungi yang masih relatif minim sebagai bahan ajar maupun referensi bagi mahasiswa khususnya dan umumnya bagi masyarakat sebagai pengantar untuk mengenalinya. Makrofungi di Indonesia sangat berlimpah mengingat iklim tropis yang dimilikinya sangat mendukung keanekaragaman di dalamnya. Makrofungi merupakan fungi yang secara umum dapat dilihat secara langsung. Fungi ini memiliki fungsi secara ekologis maupun sebagai sumber makanan, obat-obatan dan sebagainya. Beberapa makrofungi ini ada yang berbahaya karena senyawa yang dimilikinya. Oleh karena itu, keberadaannya yang ada di sekitar kita mendorong semua pihak untuk mengenalinya lebih dekat melalui buku ini.

Terimakasih kepada Bapak Rektor, LP2M, Puslitpen dan mahasiswa yang mendukung terbitnya buku ini diantaranya Muna Dzakiyah, Dini

Rudianti, Khoerunisa, Lilih Solihat, Choirunnisa, Pameila, Rindi dan Shopia. Kami haturkan juga terimakasih kepada pihak kepala Taman Hutan Raya Ir. H. Djuanda beserta jajarannya serta Teh Isma yang banyak membantu penelitian makrofungi di Tahura.

Kami sadar betul buku ini masih jauh dari harapan. Masih banyak kekurangan dan hal-hal yang perlu ditambahkan. Oleh karena itu, saran dan masukan para pembaca sangat kami nantikan untuk perbaikan buku ini dikemudian hari. Terimakasih dan selamat membaca.

Bandung, Oktober 2021

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vi
Bab 1 Pendahuluan	1
Bab 2 Pengertian Makrofungi	4
Bab 3 Karakteristik Makrofungi	8
Bab 4 Sejarah Evolusi Makrofungi	22
Bab 5 Perkembangan Klasifikasi Makrofungi	38
Bab 6 Ekologi Dan Persebaran Makrofungi	52
Bab 7 Metodologi Penelitian Makrofungi	64
Bab 8 Metode Identifikasi Makrofungi	73
Bab 9 Peranan Makrofungi	83
Daftar Pustaka	104

Daftar Gambar

Gambar 1	Struktur Tubuh Makrofungi	8
Gambar 2	Dinding atau Septa pada Makrofungi.....	10
Gambar 3	Proses Reproduksi	16
Gambar 4	Reproduksi Seksual	18
Gambar 5	Spora Seksual	19
Gambar 6	Reproduksi Aseksual.....	20
Gambar 7	Spora Aseksual	21
Gambar 8	Fosil Spora <i>Glomales</i>	25
Gambar 9	Fosil <i>Ourasphaira giraldae</i>	26
Gambar 10	Homobasidiomycota.....	28
Gambar 11	Fosil <i>Gondwanagaricites magnificus</i>	29
Gambar 12	Pohon Filogeni.....	39
Gambar 13	Oomycota Tahap Telur (<i>Lagenisma coscinodisci</i>).....	42
Gambar 14	Fungi Zygomycota.....	44
Gambar 15	Fungi Basidiomycota.....	45
Gambar 16	Fungi Ascomycota.....	50
Gambar 17	Fungi Deuteromycota	51
Gambar 18	Plot Pengamatan Line Transek.....	67
Gambar 19	Pengamatan Fungi	81
Gambar 20	Pengukuran Fungi.....	81
Gambar 21	Ektomikoriza <i>Lactarius rufulus</i>	97

Daftar Tabel

Tabel 1	Fungi yang terdaftar di Red List, 2020	34
Tabel 2	Morfologi Makrofungi	74
Tabel 3	Potensi Makrofungi.....	83

Bab 1

Pendahuluan

Makrofungi merupakan fungi yang dapat dilihat secara langsung, sedangkan mikrofungi merupakan fungi yang hanya dapat diamati dengan bantuan mikroskop. Makrofungi yang ditemukan sebagian besar berasal dari kelompok *Basidiomycota*, *Ascomycota*, dan beberapa diantaranya adalah *Zygomycota*. Makrofungi berperan penting dalam semua kondisi ekosistem hutan, termasuk ekosistem lahan gambut. Secara ekologis, makrofungi berperan dalam menjaga keseimbangan ekosistem dengan mendukung siklus biogeokimia, berperan sebagai pengurai bahan organik (dekomposer), dan sebagai agen pengendali hayati. Makrofungi termasuk ke dalam penyusun biotik yang terdapat hampir di semua tipe ekosistem. Penyebarannya yang luas disebabkan oleh makrofungi yang dapat beradaptasi dengan baik dengan lingkungannya. Spora yang dihasilkan berukuran besar membuat makrofungi tersebar luas dan melimpah.

Makrofungi dapat tumbuh optimal pada musim hujan dan mati setelah musim kemarau. Menurut Annissa, dkk. (2017) dari 1,6 juta spesies fungi yang ditemukan, sekitar 28.700 teridentifikasi sebagai makrofungi. Menurut Gandjar dkk. (2006), hingga 200.000 spesies dari 1,5 juta spesies fungi ini ditemukan di Indonesia. Sampai saat ini, belum ada data pasti tentang jumlah spesies makrofungi yang telah diidentifikasi, digunakan, atau punah karena aktivitas manusia. Selain itu, masih banyak jenis makrofungi yang sebelumnya belum diketahui manfaatnya.

Beberapa jenis makrofungi ada yang dapat dimanfaatkan sebagai makanan, obat, dan lain-lain. Terdapat pula jenis yang dapat mengeluarkan racun. Dari segi ekologis makrofungi juga dapat mempengaruhi keseimbangan ekosistem, hal ini karena fungi merupakan pengurai utama yang menjaga ketersediaan hara anorganik yang sangat penting bagi pertumbuhan tanaman dalam ekosistem tersebut.

Gambaran proses tersebut di atas di jelaskan dalam Al-Qur'an Surat Az-Zumar ayat 21 yang menjelaskan tentang peran fungi sebagai pengurai atau dekomposer bahan organik.

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهِيجُ فَتَرَاهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ

Artinya: “Apakah kamu tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, maka diaturnya menjadi sumber-sumber air di bumi kemudian ditumbuhkan-Nya dengan air itu tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu menjadi kering lalu kamu melihatnya kekuning-kuningan, kemudian dijadikan-Nya hancur berderai-derai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi orang-orang yang mempunyai akal.”

Kemenag (2020) pada ayat ini menjelaskan bahwa Allah memerintahkan manusia memikirkan salah satu dari suatu proses kejadian di alam ini, yaitu proses turunnya hujan dan tumbuhnya tanam-tanaman di permukaan bumi. Kejadian itu dapat diartikan sebagai suatu siklus yang dimulai pada suatu titik dalam suatu lingkaran, dimulai dari adanya sesuatu, kemudian berkembang menjadi besar, kemudian tua, kemudian meninggal atau tiada, kemudian mulai kejadian yang baru lagi dan begitulah seterusnya sampai kepada suatu masa yang ditentukan Allah. Menurut kajian ilmiah, sebuah tumbuhan mulai tumbuh dari bibit yang kemudian tumbuh dewasa

hingga akhirnya mati. Kemudian fungi akan mendekomposisi tumbuhan yang mati untuk nutrisi bagi tumbuhan lain.

Pemanfaatan fungi telah disampaikan sejak lama. Hal ini merujuk pada hadits Nabi Muhammad saw. yang berbunyi:

عَنْ سَعِيدِ بْنِ زَيْدٍ ، رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ ، قَالَ : قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ : الْكَمَّأَةُ مِنَ الْمَنَّ وَمَاؤُهَا شِفَاءٌ لِلْعَيْنِ

Artinya: Dari Sa'id bin Zaid ra. berkata, Rasulullah saw. bersabda: “al-Kam'ah adalah sebagian dari al-mann, dan airnya adalah termasuk obat untuk (menyembuhkan) mata” (HR. Bukhari)

Menurut Wahid (2018), al-Kam'ah adalah tunas yang bentuknya semacam gumpalan pada cendawan-cendawan kecil dan bukanlah hewan maupun tumbuhan. Al-Kam'ah memiliki ciri-ciri tidak mempunyai karakteristik tumbuhan, ia tidak mempunyai daun, bunga, akar, batang. Al-Kam'ah juga tumbuh dengan sendirinya, tidak perlu benih, tidak perlu pengolahan tanah, penanaman atau bahkan tidak butuh pengairan, seperti halnya dalam bercocok tanam. Dengan demikian istilah al-Kam'ah merujuk kepada istilah fungi.

Bab 2

Pengertian Makrofungi

Istilah jamur atau fungi berasal dari bahasa Yunani, yaitu *fungus* (*mushroom*) yang berarti tumbuh dengan subur. Istilah fungi biasa ditujukan kepada fungi yang memiliki tubuh buah serta tumbuh atau muncul di atas tanah atau pepohonan. Menurut masyarakat umum, fungi adalah tubuh buah yang dapat dimakan. Sementara menurut ahli mikologi, jamur atau *mushroom* adalah fungi atau cendawan yang mempunyai tubuh buah seperti payung.

Fungi adalah organisme eukariotik (sel memiliki inti) yang bersifat heterotrof. Umumnya memiliki hifa berdinding yang dapat berinti banyak (*multinukleat*), atau berinti tunggal (*mononukleat*). Dinding sel fungi tersusun dari kitin (komponen utama dari dinding sel fungi) yang tidak mengandung klorofil, sehingga tidak dapat berfotosintesis seperti tumbuhan tingkat tinggi. Fungi tidak memiliki tubuh sejati, yang mana badan fungi atau soma tersusun atas miselium berupa hifa yang bercabang (rantai sel yang membentuk rangkaian benang) yang berasal dari spora. Adanya miselium menunjang makanan untuk diserap dan disimpan dalam bentuk glikogen, karena fungi memperoleh nutrisi secara heterotrof dengan cara absorpsi, yaitu menyerap bahan organik melalui proses pelapukan.

Fungi dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu mikrofungi dan makrofungi. Makrofungi atau fungi adalah cendawan sejati yang ukurannya relatif besar (makroskopik), dapat dilihat dengan kasat mata, dapat dipegang atau dipetik dengan tangan, dan bentuknya mencolok. Makrofungi adalah tumbuhan sederhana yang sering dijumpai di hutan dan salah satu pengurai

utama pada ekosistem sehingga siklus ekosistem hutan akan lebih cepat dengan adanya proses dekomposisi bahan organik. Makrofungi merupakan salah satu potensi biodiversitas yang telah dibudidayakan dalam berbagai aspek kepentingan seperti sumber pangan, obat-obatan, biodegradator limbah, pengembangan tanaman dan pertanian.

Salah satu kelompok makrofungi yang dapat dilihat dengan mata telanjang adalah Basidiomycota dan beberapa jenis dari Ascomycota. Ciri-ciri Basidiomycota memiliki bentuk makroskopis, dengan sifat fungi multiseluler yang hifanya terisolasi. Hifa vegetatif Basidiomycota terdapat pada substrat, misalnya kulit kayu, tanah dan serasah. Hifa generatif Basidiomycota akan membentuk tubuh buah, disebut basidiokarp, dan beberapa tidak. Basidiomycota tumbuh secara alami, hidup sebagai saprofit pada sisa-sisa makhluk hidup, seperti serasah daun di tanah, jerami padi, dan batang pohon mati. Salah satu habitat yang dapat ditempati oleh Basidiomycota adalah pada tempat yang memiliki kondisi lembab.

Karakteristik makrofungi sebagai ciri utama dalam mengidentifikasi jenis fungi adalah warna dan ukuran tubuh buah. Namun, warna tubuh buah makrofungi bisa berubah tergantung dari lingkungan tempat tumbuhnya. Perubahan warna terjadi karena figmen tubuh buah fungi mudah teroksidasi oleh udara. Jika tubuh buah patah ataupun tergores, tubuh buah akan berubah warna. Contohnya pada badan buah *Boletus* sp. yang akan mengeluarkan warna biru saat tergores. Setiap spesies makrofungi memiliki teksturnya masing-masing, yaitu keras, agak keras, berpori, berair, rapuh dan lunak sehingga mudah rusak karena guncangan.

Proses tumbuh dan berkembangnya fungi dilakukan dengan cara mengabsorpsi bahan organik dari lingkungan di luar tubuhnya. Bahan organik seperti hemiselulosa, lignin, selulosa, protein dan senyawa pati di

sekitar lokasi pertumbuhan dikonversi menjadi molekul sederhana dengan bantuan enzim yang dihasilkan oleh hifa, kemudian molekul sederhana tersebut dapat langsung diserap oleh hifa. Setiap fungi memiliki enzim-enzim yang berbeda, tergantung dari spesiesnya, dengan mengekresikan sebanyak 11 enzim hidrolitik dimana setiap enzim mampu mencerna senyawa-senyawa dari berbagai macam sumber.

Fungi merupakan organisme berspora, berupa benang-benang yang bercabang. Proses reproduksi dilakukan secara seksual dan aseksual, terjadi melalui dinding selnya yang tersusun atas selulosa atau kitin maupun keduanya. Setiap fungi termasuk dalam kategori yang sama, perbedaan terjadi pada morfologi hifa, jenis spora, dan siklus tubuh buah yang akan disertai dengan pembentukan bagian lain, seperti batang dan tudung fungi sebagai fungi yang sempurna.

Lingkungan tanpa sinar matahari menjadi kondisi yang sesuai untuk fungi tumbuh karena fungi bersifat fototropik negatif, yang berarti tidak menyukai cahaya. Fungi mampu tumbuh optimal pada musim hujan dan mati setelah musim kemarau, dengan iklim dingin maupun hangat pada rentang suhu antara 20°C hingga 30°C. Hal ini sesuai dengan penjelasan Kim, dkk. (2017) bahwa musim hujan menjadi awal masa tumbuhnya berbagai jenis fungi. Identifikasi berbagai jenis fungi menjadi lebih mudah dilakukan pada musim hujan karena struktur fungi masih utuh (tercukupi ketersediaan air). Berbeda dengan musim kemarau, substrat menjadi kering serta tidak adanya cadangan air. Adapun penyebarannya yang luas dan melimpah disebabkan oleh kemampuan adaptasi yang baik dengan lingkungannya, serta menghasilkan spora yang berukuran besar.

Peran penting fungi dalam kehidupan manusia yaitu sebagai bahan pangan dan obat. Berbagai jenis fungi yang dapat dikonsumsi oleh manusia

antara lain fungi kuping, fungi tiram, dan jenis lainnya yang telah dikembangkan. Secara ekologis dalam ekosistem hutan, fungi berperan penting sebagai dekomposer (saprofit) atau pengurai utama bahan organik. Hal ini menjadikan fungi sebagai organisme yang dapat mempercepat siklus materi dan menyuburkan tanah untuk penyedia nutrisi bagi akar tumbuhan. Nutrisi tersebut akan dimanfaatkan oleh bakteri yang selanjutnya akan diteruskan oleh organisme tingkat yang lebih tinggi. Sehingga, fungi memiliki dampak yang signifikan terhadap jaring makanan hutan, kelangsungan hidup atau perkecambahan pohon muda, pertumbuhan pohon, dan kesehatan hutan secara keseluruhan. Kehadiran fungi merupakan indikator penting dari dinamika komunitas hutan.

Bab 3

Karakteristik Makrofungi

3.1. Anatomi dan Morfologi Makrofungi

Makrofungi merupakan fungi sejati yang memiliki ukuran relatif besar sehingga dapat dilihat dengan kasat mata, dengan bentuknya yang mencolok dan dapat dipegang. Makrofungi termasuk ke dalam organisme eukariotik (memiliki inti sel sejati) yang mana memiliki batas antara sitoplasma dengan inti sel.

Struktur tubuh makrofungi ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1 Struktur Tubuh Makrofungi

(Sumber: Mahendra, 2017)

Jenis makrofungi yang paling umum berbentuk seperti payung dengan mahkota (topi) dan batang. Beberapa makrofungi memiliki bentuk seperti gelas fleksibel, bulat seperti bola golf, beberapa seperti jeli berwarna kuning atau oranye dan bahkan menyerupai telinga manusia. Tudung fungi berbentuk membulat atau mendatar. Sedangkan batang fungi memiliki

ukuran yang berbeda yaitu panjang, pendek, atau bahkan tidak ada. Warna tubuh makrofungi berbeda setiap jenisnya, contohnya jingga, putih, hitam, kuning, merah, merah muda, coklat tua dan coklat muda.

Struktur tubuh makrofungi diantaranya yaitu:

1. Hifa dan Miselium

Struktur tubuh makrofungi tersusun dari komponen dasar berupa hifa. Diameter hifa berukuran 3 – 30 μm , dengan ukuran hifa tua sebesar 100 – 150 μm . Hifa akan membentuk jaringan berupa miselium hingga tumbuh menjadi tubuh buah melalui beberapa tahapan, yaitu:

- a. Tahap primordial (kepala jarum), memiliki struktur menyerupai benang berupa dinding berbentuk pipa.
- b. Tahap kancing kecil, tubuh buah sudah mulai terbentuk dan membesar dimana batang dan tutupnya masih tertutup oleh selubung.
- c. Tahap telur, batang dan tutup mulai melebar.
- d. Tahap pemanjangan, dimana cawan (*volva*) akan terpisah dari tudung (*pileus*) karena pemanjangan tangkai buah (*stipe*).
- e. Fase dewasa, akhir tahap yang membentuk tubuh buah.

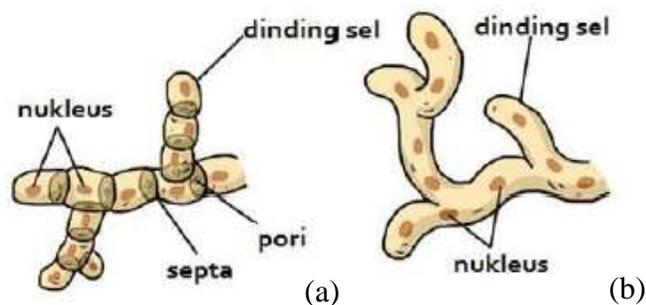
Hifa terbagi ke dalam dua jenis yaitu hifa menegak (*fertil*) dan hifa menjalar (*vegetatif*). Hifa menegak berperan sebagai penghasil alat-alat reproduksi berupa *sporangiofor* atau *konidiofor*. Hifa tersebut akan bertambah banyak seiring dengan pertumbuhannya, membentuk jalinan hifa yang disebut miselium dimana semakin lama akan semakin tebal hingga terbentuk koloni. Sedangkan hifa menjalar (*vegetatif*), berperan sebagai penyangga alat reproduksi dan menyerap nutrisi. Hifa pada fungi yang bersifat parasit biasanya mengalami modifikasi menjadi haustoria, berupa hifa bercabang atau gelembung bertangkai, sebagai organ

penyerap makanan dari substrat yang dapat menembus jaringan substrat.

2. Dinding atau Septa

Dinding atau septa membatasi hifa satu sama lain dengan cara menyelubungi membran plasma dan sitoplasma dalam bentuk melintang. Septa mempunyai pori besar yang cukup untuk dilewati ribosom, mitokondria, dan inti sel yang mengalir dari sel ke sel. Dinding sel dilapisi oleh glukukan dan kitin, serta memiliki kandungan selulosa yang sangat sedikit. Adapun kandungan senyawa melanin dan lipid yang berfungsi untuk melindungi sitoplasma dari ultraviolet.

Terdapat pula hifa yang tidak berseptata disebut hifa senositik. Hifa senositik ini dihasilkan oleh pembelahan inti sel yang tidak diikuti dengan pembelahan sitoplasma. Hifa ini merupakan sel yang memanjang, bercabang-cabang, terdiri atas sitoplasma dengan banyak inti. Hifa yang tidak berseptata merupakan ciri fungi *Phycomycetes* (fungi tingkat rendah). Sedangkan hifa yang berseptata merupakan ciri dari fungi tingkat tinggi, atau yang termasuk *Eumycetes*.



Gambar 2 Dinding atau Septa pada Makrofungi, (a) hifa berseptata dan (b) hifa tak berseptata

(Sumber: Supervisor IPA, 2018)

Di bawah dinding sel yang kuat terdapat lapisan yang melindungi isi sel, yaitu membran sel. Komposisi kimia membran sel diduga terdiri dari senyawa-senyawa sterol, protein (dalam bentuk molekul-molekul yang amorf), serta senyawa-senyawa fosfolipid.

3. Kompartemen lain

Kompartemen lain dalam sel makrofungi tersusun lengkap, diantaranya yaitu nukleus, mitokondria, ribosom, retikulum endoplasma, badan golgi, vesikel, dan *microbodies*.

- a. Nukleus, yaitu inti yang memiliki dinding, mempunyai nukleolus dan bahan inti berupa kromatin yang membentuk kromosom. Pada fungi, nukleus dari hifa yang tidak bersepta memiliki inti yang tersebar, disebut senositik. Sedangkan pada hifa yang bersepta memiliki satu, dua atau lebih inti pada setiap sel.
- b. Mitokondria, terdapat dalam sitoplasma sel fungi berbentuk oval atau memanjang berfungsi sebagai pembentuk energi.
- c. Ribosom, terdapat pada sitoplasma dan matriks mitokondria yang berfungsi untuk sintesis polipeptida.
- d. Retikulum endoplasma, membran yang mengelilingi organel-organel yang hanya terdapat pada golongan eukariot.
- e. Badan golgi, berfungsi dalam sintesis bahan dinding sel berupa glikoprotein, mensekresikan bahan-bahan ekstraseluler pada pembelahan spora dari suatu sitoplasma yang multiseluler, dan menghasilkan vesikel yang berperan dalam pembentukan dinding sel.
- f. Vesikel, struktur berbentuk kantung yang mengandung bahan-bahan pembentukan dinding sel, terletak pada hifa apikal. Vesikel juga

berperan dalam mengikat zat warna dan racun serta mengekskresikan enzim-enzim ekstraseluler. Selain itu ada vesikel yang sangat kecil yang disebut kitosom, mengandung enzim kitin-sintase dan berperan dalam membentuk fibril kitin dari prekursornya.

- g. Microbodies, diantaranya yaitu: **peroksisom** yang mengandung katalase, **glioksisom** mengandung enzim-enzim yang terlibat dalam oksidasi asam lemak dan dalam siklus glio-oksalat, **hidro-genosom** mengandung hidrogenase untuk reaksi-reaksi anaerob dalam sel, **lisosom** mengatur pemecahan komponen-komponen sel, misalnya pemecahan septum agar inti sel dapat bergerak dari sel satu ke sel yang lain dan pada sel yang bersifat parasit untuk memecahkan dinding sel inang.

4. Plectenchym

Plectenchym yaitu jaringan tenun dari miselium, yang memiliki dua bentuk jaringan longgar (prosenchyma) dan jaringan padat (pseudopharenchyma).

5. Stroma

Stroma yaitu suatu jalinan hifa padat, berfungsi sebagai bantalan untuk tumbuhnya bagian-bagian yang lain.

6. Sklerotium

Sklerotium yaitu jalinan padat seperti rizopor, berfungsi untuk pelekatan.

7. Spora

Spora adalah ujung hifa fungi yang menggelembung membentuk wadah, sedangkan protoplasmanya menjadi spora. Spora terbagi dalam

dua golongan yaitu spora aseksual dan spora seksual yang berfungsi sebagai alat perkembangbiakan fungi.

3.2. Fisiologi Makrofungi

Makrofungi tidak memiliki kandungan klorofil sehingga tidak bisa berfotosintesis dan tidak bisa memproduksi sumber makanannya sendiri (heterotrof). Maka dari itu fungi hidup dengan cara mengambil materi organik (organisme hidup dan tak hidup) dengan memecah molekul organisme kompleks menjadi molekul sederhana yang dapat diserap oleh hifa secara difusi melalui dinding sel. Makrofungi menggunakan enzim amilase, dextranase, pektinase, selulase, kitinase dan xilase untuk mengolah atau menguraikan senyawa kompleks menjadi senyawa yang sederhana.

Perolehan nutrisi dapat dilakukan melalui tiga cara yaitu :

1. Biotrof (parasit), mendapatkan sumber makanan dari inang yang ditempatinya.
2. Saprofit, mendapatkan makanan dari bahan yang sudah mati atau membusuk.
3. Simbion, mendapatkan sumber energi melalui organisme lain dengan cara menumpang atau bersimbiosis.

Nutrisi diambil oleh makrofungi dengan cara absorpsi (penyerapan). Diantara nutrisi yang diperlukan untuk kehidupan fungi yaitu:

1. Senyawa organik (sumber karbon) diperoleh dari glukosa, sukrosa, maltosa, tepung dan selulosa.
2. Sumber nitrogen diperoleh dari pepton, asam amino, protein, nitrat, garam ammonium dan urea.
3. Ion anorganik esensial yaitu Na, P, Mg, S.

4. Ion anorganik nonesensial sebagai trace element yaitu Fe, Zn, Cu, Mn, Mo dan Galium.
5. Faktor tumbuh seperti zat perangsang tumbuh, vitamin dan hormon.
6. Beberapa fungsi lainnya membutuhkan zat organik khusus yaitu thiamin.

Nutrisi yang diperoleh fungi dari lingkungan diproses dengan cara metabolisme, yaitu seluruh proses kimia di dalam organ makhluk hidup untuk memperoleh dan menggunakan energi. Ketika sel melakukan metabolisme, nutrien akan diubah ke dalam bentuk materi sel, energi dan produk buangan. Jalur metabolisme dibagi menjadi dua yaitu katabolisme, dimana senyawa kompleks diubah menjadi senyawa atau produk yang lebih sederhana, dan anabolisme, pembentukan senyawa-senyawa kompleks dari nutrien sederhana dari lingkungan. Fungi merupakan organisme dimana hidupnya memerlukan nutrien, yang selanjutnya organisme tersebut akan tumbuh dan berkembang.

Energi yang diperlukan oleh fungi diperoleh dari senyawa-senyawa karbon melalui proses respirasi aerob, yaitu pemecahan karbohidrat menjadi energi beserta karbondioksida dan air. Karbohidrat merupakan substrat utama untuk metabolisme karbon melalui proses oksidasi menjadi energi kimia dalam bentuk ATP dan nukleotida fosforilasi tereduksi, dan untuk asimilasi konstituen sel fungi yang mengandung karbohidrat, lipid, protein dan asam nukleat. Proses perolehan energi fungi dapat melalui kondisi anaerob dalam proses fermentasi, namun menghasilkan jumlah energi lebih sedikit. Karbohidrat diasimilasi melalui jalur glikolisis menghasilkan asam piruvat, kemudian asam piruvat mengalami penguraian oleh enzim piruvat dekarboksilasi menjadi etanol dan karbondioksida.

Metabolisme karbohidrat, yang umum ditemukan di alam dalam bentuk oligosakarida atau polisakarida, merupakan materi cadangan di dalam

tubuh tumbuhan. Fungi bergantung pada karbohidrat kompleks tersebut sebagai nutrient melalui proses penguraian menjadi senyawa sederhana atau monosakarida dengan bantuan enzim ekstraseluler, kemudian diserap oleh fungi selanjutnya diasimilasi. Fungi diketahui melakukan dekomposisi selulosa secara aktif di alam dengan menghasilkan enzim selulase. Pati merupakan salah satu senyawa di dalam tumbuhan. Enzim yang dapat menghidrolisis pati tersebut adalah enzim α -amilase α -1-4-glucan glucanohydrolase disebut juga sebagai endoamilase, enzim α -amilase α -1-4-glucan maltohydrolase disebut juga eksoamilase, dan enzim glukamilase α -1-4- glucanohydrolase.

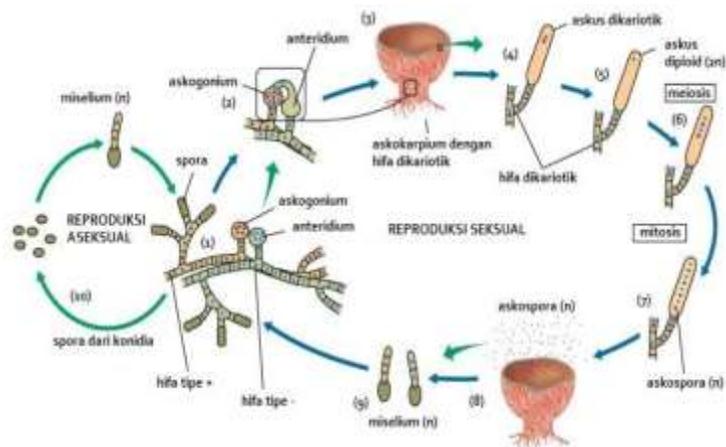
Untuk memenuhi kebutuhan nitrogen, fungi menggunakan protein menjadi asam-asam amino dengan bantuan enzim protease. Selanjutnya setelah diurai diangkut kedalam sel menggunakan sistem transportasi. Kemampuan fungi menggunakan nitrogen anorganik seperti asimilasi nitrat menjadi ammonium oleh enzim nitrat reduktase dan nitrit reduktase. Urea dapat dihidrolisis oleh fungi yang menggunakan urease menjadi ammonium dan karbon dioksida. Adapun proses penguraian lipida dalam bentuk lemak dan minyak melalui proses hidrolisis oleh enzim lipase menjadi gliserol atau asam lemak.

Secara umum nutrient makro yang diperlukan dalam bentuk karbon, nitrogen, sulfur, fosfor, kalium, magnesium, natrium, kalsium, nutrient mikro (besi, mangan, zink, kobalt, molybdenum) dan vitamin. Fungi merupakan organisme heterotrof yang tidak memiliki kemampuan untuk mengoksidasi senyawa karbon anorganik, atau senyawa karbon yang memiliki satu karbon. Senyawa karbon yang dapat dimanfaatkan fungi untuk membuat materi sel baru didapatkan dari senyawa molekul sederhana gula sederhana, asam organik dan senyawa kompleks lainnya seperti karbohidrat, protein, lipid,

dan asam nukleat. Karbon menempati posisi yang unik, karena semua organisme hidup memiliki karbon, suatu senyawa pembangun tubuh.

3.3. Reproduksi Makrofungi

Makrofungi bereproduksi dengan cara seksual dan aseksual. Reproduksi secara seksual terjadi melalui peleburan dua inti yang bersifat haploid. Sedangkan reproduksi secara aseksual dilakukan secara fragmentasi yang mana miselium berubah menjadi sel-sel anakan yang membentuk tunas dengan hasil akhirnya berupa hifa, misalnya pembelahan diri dan pembentukan tunas.



Gambar 3 Proses Reproduksi

(Sumber: Suryani, dkk., 2020)

Proses reproduksi makrofungi akan menghasilkan spora, dimana fungi yang menghasilkan spora aseksual dan seksual disebut dengan telemorphs sedangkan fungi yang menghasilkan spora aseksual disebut anamorphs. Adapun spora yang digunakan sebagai reproduksi makrofungi memiliki

bentuk lonjong, bulat, jarum, silindri dan setengah lingkaran dengan warna yang berbeda seperti coklat, kuning, putih, hitam dan ungu.

3.3.1. Reproduksi Seksual

Reproduksi seksual memerlukan dua jenis fungi yang cocok, artinya dapat kawin atau kompatibel. Alat kelamin pada umumnya kita sebut gametangium, sedang sel kelamin disebut gamet dengan tipe kelamin atau *mating type* jantan/anteridium (+) dan betina/askogonium (-). Sering kali gamet jantan dan gamet betina secara morfologis tidak dapat dibedakan yang satu dari yang lain, sehingga disebut isogamet. Jika gamet-gamet tersebut jelas berbeda kelaminya berdasarkan ukuran besar dan kecilnya, maka disebut anisogamet atau heterogamet.

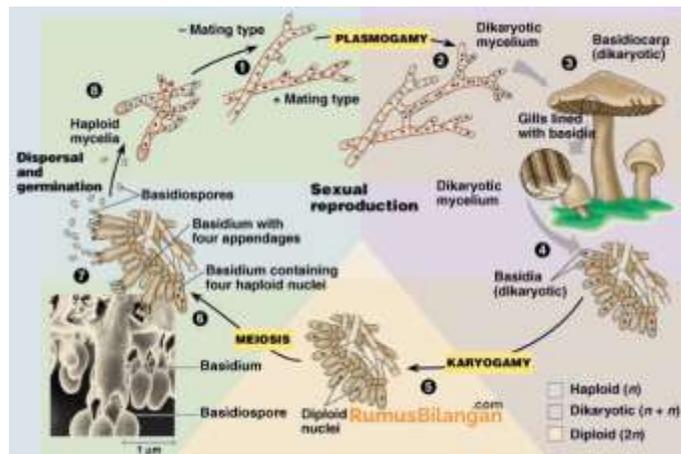
Menurut Darnetty (2006) reproduksi seksual fungi terjadi melalui 3 fase, yaitu:

- a. Plasmogami adalah gabungan dua protoplasma yang menyatukan inti-inti dalam sel yang sama.
- b. Karyogami adalah gabungan dua buah inti.
- c. Meiosis adalah penurunan jumlah kromosom dari diploid menjadi haploid.

Pada makrofungi, karyogami hanya berlangsung sebentar dalam siklus hidupnya. Hifa atau miselium yang terbentuk karena perkawinan dua hifa yang kompatibel dapat mengalami dua kemungkinan. Pertama, dua inti yang kompatibel segera bersatu, maka hifa baru disebut berinti satu (monokariotik) yang bersifat diploid. Kedua, dua inti tetap terpisah, maka hifa baru disebut hifa berinti dua yang tidak sama (dikariotik). Hifa yang dikariotik dapat membelah diri melalui

pembelahan kedua inti secara bersama-sama, sehingga sel baru pada hifa tersebut adalah heterokariotik. Keadaan heterokariotik tersebut dapat berubah menjadi monokariotik melalui meiosis yang terjadi secara cepat, sehingga inti diploid akan kembali menjadi haploid. Hal ini terjadi selama fungi akan menghasilkan spora-spora baru.

Proses reproduksi makrofungi secara seksual dapat dilihat pada gambar berikut,



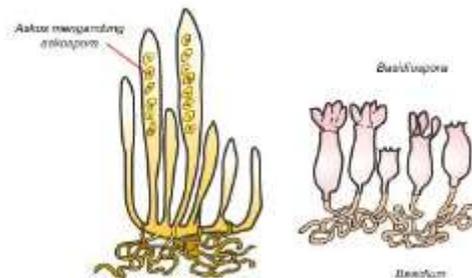
Gambar 4 Reproduksi Seksual

(Sumber: Campbell dan Reece., 2008)

Reproduksi seksual pada makrofungi dimulai dengan penyebaran spora di berbagai tempat dengan adanya bantuan angin. Spora tersebut akan tumbuh pada lingkungan yang mendukung untuk pertumbuhannya. Spora tersebut akan berkecambah dan membentuk hifa, yang selanjutnya berkumpul membentuk miselium dan akan terbentuknya gumpalan kecil sehingga tubuh buah fungi mulai terbentuk, selanjutnya diikuti pembentukan tangkai, tudung dan bagian lainnya.

Beberapa jenis spora yang dikenal untuk reproduksi seksual fungi, antara lain sebagai berikut:

- a. Askospora, adalah spora uniseluler yang terbentuk dari banyak kantung, masing-masing kantung berisi satu atau lebih askospora.
- b. Basidiospora, adalah spora bersel tunggal dengan struktur seperti tongkat yang disebut basa.
- c. Zygospora, adalah spora besar berdinding tebal yang terbentuk di ujung dua hifa konvergen yang disebut gametangia.
- d. Oospora, adalah spora yang terbentuk dari peleburan gamet betina dan jantan, yang mengakibatkan terjadinya pembuahan, sehingga terbentuk oospora.



Gambar 5 Spora Seksual

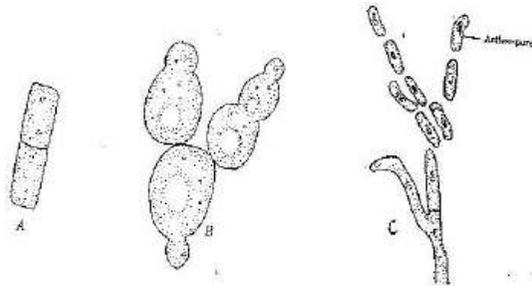
(Sumber: Kemdikbud, 2011).

3.3.2. Reproduksi Aseksual

Fungi dapat tumbuh dari sepotong miselium secara aseksual. Reproduksi aseksual ini dapat berlangsung secara :

- a. Pembelahan sel, terjadi dengan membentuk dinding sekat yang memisahkan kedua anak sel yang baru.

- b. Budding, terdapat pada ragi dan cendawan lainnya pada keadaan tertentu.
- c. Fragmentasi, tiap fragmen atau bagian somatiknya akan membentuk individu baru.
- d. Pembentukan spora.



Gambar 6 Reproduksi Aseksual, (a) pembelahan sel, (b) budding, dan (c) fragmentasi

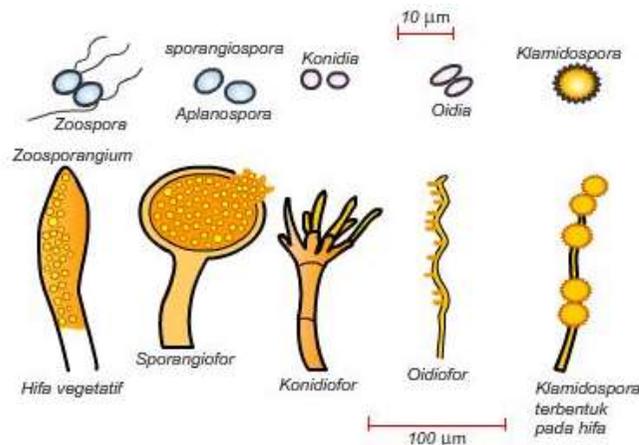
(Sumber: Suryani, dkk., 2020)

Reproduksi secara aseksual umumnya dengan menghasilkan spora aseksual. Spora aseksual dihasilkan dalam jumlah yang sangat banyak, memiliki ukuran yang kecil, memiliki bobot yang ringan dan tahan terhadap keadaan yang kering atau ekstrem. Spora ini akan tumbuh di tempat yang sesuai menjadi miselium dan membentuk individu yang baru.

Menurut Harti (2015), jenis spora aseksual yaitu :

- a. Zoospora banyak terdapat pada fungi akuatik.
- b. Sporangiospora, spora yang terbentuk di dalam sporangia.
- c. Konidiospora atau konidia, yaitu ujung hifa-hifa tertentu yang membagi-bagi diri menjadi bentuk-bentuk bulat atau bulat telur atau empat-persegi panjang.

- d. Oidia, atau arthrospora, spora ini adalah hasil dari fragmentasi hifa.
- e. Klamidiospora adalah spora aseksual berdinding tebal.
- f. Blastospora adalah spora yang dibentuk oleh pembentukan ginjal.



Gambar 7 Spora Aseksual

(Sumber: Kemdikbud, 2011)

Fungi memiliki pertumbuhan yang cepat, tumbuh dalam kisaran 20 mm/hari serta mampu menghambat pertumbuhan patogen. Fungi antagonis mampu bersaing dengan patogen tanaman sehingga dapat tumbuh lebih cepat. Kecepatan tumbuh yang diukur pada diameter fungi *Trichoderma* sekitar 88.00 mm dan 29.33mm/hari, fungi *Torulomyces* 84.67 mm dan 28.mm/hari dan fungi *Verticilium* 85.92 mm dan 28.64 mm/hari. Sedangkan fungi tiram pada penelitian (Aminah & Hawalid, 2020) bahwa proses dari produksi fungi tiram dilakukan selama 120 hari meliputi 7 hari pembuatan baglog, 30 hari masa inkubasi dan 80 hari masa tumbuh fungi. Selama 120 hari atau 4 bulan tersebut dapat dipanen 4 sampai 5 kali setiap satu log.

Bab 4

Sejarah Evolusi Makrofungi

4.1. Evolusi Makrofungi

Fungi berasal dari nenek moyang yang berflagel, tetapi keragaman terkini mencakup sel-sel yang tidak berflagel sering tumbuh dalam bentuk multiselularitas sederhana yang disebut miselium, jaringan seluler sejati yang tumbuh ke area yang luas. Dari pertumbuhan miselium ini, fungi dapat beralih ke bentuk pertumbuhan uniseluler (misalnya ragi), tergantung pada kondisi lingkungan atau pada tahap siklus hidup.

Beberapa garis keturunan dalam pohon kehidupan fungi menunjukkan bahwa pertumbuhan miselium telah ditinggalkan. Beberapa garis keturunan lain mengambil bentuk multiselularitasnya sebagai langkah identifikasi karena menghasilkan tubuh buah kompleks, namun morfologi makroskopis mengalami persaingan dalam kerumitan dan keindahan dengan tumbuhan dan hewan. Bentuk multiseluleritas kompleks menunjukkan koordinasi berbagai jenis sel untuk membentuk jaringan dan perkembangan bagian tubuh lainnya. Dalam mencapai tingkat kerumitan tersebut, fungi telah mengembangkan sistem struktural dan regulasi khusus yang masih belum sepenuhnya dipahami.

Asosiasi antara makrofungi dan tanaman dikenal dan diakui secara luas memiliki pengaruh besar pada evolusi dan ekologi kehidupan terestrial. Demikian pula hubungan antara makrofungi dan hewan juga memainkan peran penting dalam ekosistem alami, meskipun tidak diketahui dengan baik. Dalam interaksi makrofungi-tanaman dan makrofungi-hewan, banyak masalah penting yang masih belum diketahui. Teknologi dan metode

penelitian baru mungkin berguna untuk mengatasinya. Pertama, metode yang muncul dalam komparatif omics seperti genomik dan transkriptomik dapat meningkatkan pemahaman tentang sejarah geologi dan iklim bumi, sehingga dapat membantu peneliti memahami bagaimana organisme telah bekerja sama dan berevolusi. Kedua, metode baru biokimia dan ekologi lanskap dapat membantu dalam memahami bagaimana organisme yang relevan saling menarik dan berinteraksi satu sama lain untuk mempengaruhi penyebaran dan distribusi.

Dari perspektif biokimia, fungi memiliki keragaman yang sangat luas dengan tingkat kompleksitas yang sebanding atau melampaui taksa eukariotik lainnya. Fungi adalah organisme osmotrof dan memiliki sel-sel yang umumnya bersentuhan dengan lingkungan sekitarnya. Hubungan fungi dengan lingkungan terdekatnya ditentukan oleh serangkaian protein dan metabolit yang disekresikan. Produksi metabolit tersebut diatur dan disimpan pada miselium, sebagai tempat penyimpanan energi, yang dapat melindungi fungi dari kerusakan. Hal ini dapat menghasilkan beragam fenotif dalam interaksinya dengan organisme lain.

4.2. Catatan Fosil Makrofungi

Evolusi fungi telah berlangsung sejak masa Proterozoikum sekitar 1,5 miliar yang lalu. Organisme multiseluler yang hidup di zona benthik (dasar laut) memiliki struktur filamen atau berserabut yang mampu melakukan anastomosis, dimana cabang dari hifa dapat bergabung kembali. Menurut Lücking dkk. (2009) pada studi baru memperkirakan kedatangan organisme fungi sekitar 760-1.060 juta tahun yang lalu dan James dkk. (2006) menyatakan bahwa pada masa Paleozoikum 542-251 juta tahun yang lalu, fungi tampak memiliki sifat akuatik dan terdiri dari organisme yang mirip dengan Chytrid yang memiliki spora berflagel.

Pada masa 570 juta tahun yang lalu sekuens DNA menunjukkan bahwa spora fungi *glomales* memiliki kemiripan dengan fungi yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan kemungkinan pada masa Cambrian 500 juta tahun yang lalu fungi terestrial pertama menjajah tanah jauh sebelum tanaman, komunitas mikroba permukaan tanah yang mengandung fungi dan ganggang sebagai asosiasi terestrial pertama antara fungi dan organisme fotosintesis. Perkiraan waktu divergensi menggunakan jam molekuler mengarah pada kesimpulan bahwa garis keturunan utama fungi terestrial menyimpang dari chytrids air sekitar 400-550 juta tahun yang lalu. Fosil hifa fungi dan spora yang ditunjukkan pada gambar 8 tersebut diidentifikasi paling awal sekitar 450 juta tahun sebagai *glomales* pada masa Ordovician of Wisconsin memiliki kemiripan dengan mikoriza arbuscular modern.



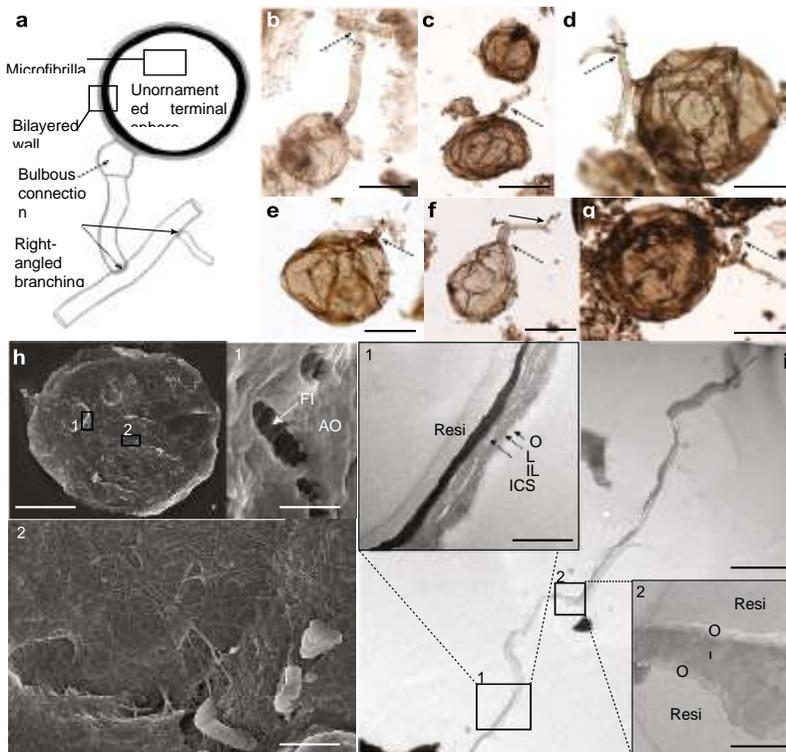
Gambar 8 Fossil Spora *Glomales*

(Sumber: Redecker dkk., 2000)

Keanekaragaman fungi yang kaya dikenal pada masa Devonian dengan ditemukannya spora menyerupai glomales. Glomales terdiri dari fosil sejumlah garis keturunan kuno yang mungkin telah menyimpang sebelum atau setelah fungi ini menjadi mikoriza. Pada masa Ordovician, fungi tidak siap untuk dimasukkan catatan fosil karena fungi tidak mengalami biomineralisasi, tidak memiliki ciri-ciri fungi yang jelas, dianggap sebagai kontaminasi, dan posisi fungi pada masa Proterozoikum kemungkinan masih belum terbentuk.

Catatan fosil fungi sangat sedikit, berbeda dengan tumbuhan dan hewan. Faktor-faktor yang menjadikan sulitnya diketahui proses evolusi fungi karena fosil dari tubuh buah fungi memiliki sifat yang lunak, berdaging, dan jaringan yang mudah terurai serta memiliki dimensi mikroskopis dari sebagian besar struktur fungi. Oleh karena itu, tidak mudah untuk dibuktikan. Fosil fungi sulit dibedakan dari mikroba lain, untuk sampel fungi biasanya dipelajari dengan membuat preparasi bagian yang tipis dan diperiksa menggunakan mikroskop cahaya atau mikroskop pemindai elektron.

Pada Mei 2019, para ilmuwan melaporkan penemuan mikrofosil ditemukan di Wilayah Barat Laut terpencil di Arktik Kanada. Fosil tersebut adalah organisme bersel tunggal berukuran lebih besar daripada bakteri, terdiri dari bola seperti spora, membentuk filamen panjang dan tumbuh cabang berbentuk T – merupakan bentuk yang ditemukan pada fungi. Para ilmuwan menggunakan mikroskop elektron untuk melihat struktur halus, dan menemukan bahwa bola dan filamen memiliki dinding ganda yang merupakan ciri lain dari fungi. Untuk melihat molekul yang terkandung dalam fosil, para ilmuwan menggunakan sinar inframerah dan mengukur cahaya yang dilepaskan.



Gambar 9 Fosil *Ourasphaira giraldae*

(Sumber: Loron dkk., 2019)

Gambar 9 menunjukkan mikrofosil dari *Ourasphaira giraldae* yang diperlihatkan melalui mikroskop elektron. Bagian-bagian fosil tersebut diberi keterangan yaitu:

- b-h : terminal sphere (spora) tidak berornamen.
- b-g : menunjukkan spesimen dengan percabangan sekunder pada sudut kanan.
- b-d-g : terminal sphere (spora) saling terhubung bersama.
- C : bulbous (bulat) saling berkoneksi.
- E : percabangan tersier.
- d-f-g : panah menunjukkan koneksi septate.
- h : gambar SEM menunjukkan vesikel terkompresi.
- Inset 1 : menunjukkan dua lapisan dinding vesikel, dengan lapisan luar amorf (AOL) dan lapisan dalam fibrillary (FIL).
- Inset 2 : menunjukkan mikrofibril terjalin dari struktur dinding mikrofibril.
- I : gambar TEM menunjukkan vesikel terkompresi dari struktur dinding bilayer di bagian ultra-tipis, dengan perbesaran di insets 1 dan 2.
- OL : lapisan luar.
- IL : lapisan dalam.
- ICS : ruang intraseluler.

Terbukti bahwa pada dinding sel fosil fungi menghasilkan pola yang cocok dengan zat yang disebut kitin, dimana serangga dan beberapa spesies saja yang memiliki hal yang sama. Para ilmuwan menyimpulkan bahwa fungi kuno telah ditemukan, dan fungi tersebut diberi nama *Ourasphaira giralde*. Hal ini menjadi bukti yang mengisyaratkan bahwa fungi berevolusi sebelum tanaman.

4.3. Tantangan Sejarah Evolusi Makrofungi

Salah satu tantangan utama biologi evolusioner adalah memahami asal-usul dan diversifikasi bentuk biologis. Fungi telah terbukti sulit diketahui sejarahnya karena kesederhanaan anatomi dan catatan fosil yang sedikit. Contoh utama disediakan pada penelitian Hibbett dkk. (1997) terhadap fungi gilled dan puffballs (gambar 10), yang merupakan tubuh buah dari homobasidiomycota tertentu sebagai fungi yang menghasilkan spora meiosis pada sel basidial nonseptata. Fungi tersebut menjadi yang paling mencolok dan dikenal secara luas, namun asal-usul evolusionernya belum terpecahkan. Sebanyak 13.500 spesies homobasidiomycota yang diketahui, lebih dari setengahnya yaitu 8.500 spesies adalah fungi gilled dan 400 spesies adalah puffballs.



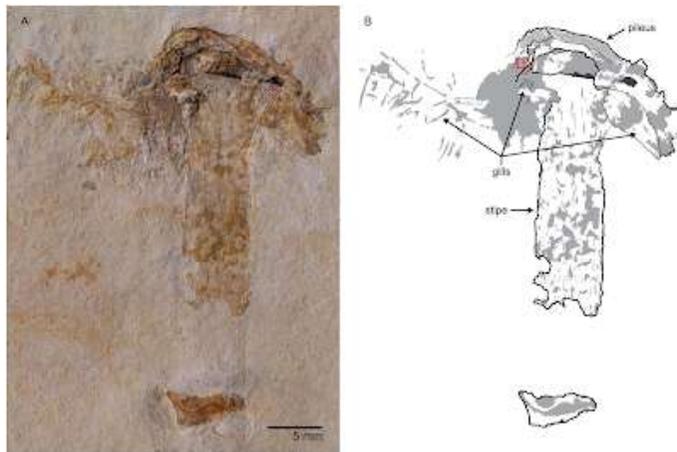
Gambar 10 Homobasidiomycota, (a) fungi gilled (*Pleurotus ostreatus*) dan (b) fungi puffball (*Lycoperdon perlatum*)

(Sumber: Hibbett dkk., 1997)

Ahli mikologi sistematis menduga bahwa masing-masing bentuk ini berevolusi beberapa kali, tetapi kurangnya kerangka filogenetik umum untuk homobasidiomycota akan sulit untuk menguji hipotesis. Penggunaan urutan

nukleotida dari gen yang mengkode RNA ribosom (rRNA) untuk melakukan analisis filogenetik komprehensif pertama dari homobasidiomycota dan secara khusus untuk mengevaluasi hubungan evolusioner dari puffballs dan fungi gilled.

Gondwanagaricites magnificus merupakan catatan fosil tertua dari fungi gilled dan merupakan satu-satunya fungi fosil yang diketahui dari pengganti mineral. Spesimen tersebut memperluas jangkauan geologis fungi gilled sekitar 14-21 juta tahun dan menegaskan kehadiran mereka di Gondwana selama masa Cretaceous awal. Perkiraan jam molekuler menunjukkan perbedaan Basidiomycota sekitar 500 M hingga 1,2 miliar tahun dan perbesaran menetapkan titik kalibrasi paling awal sejauh ini untuk Agaricales, dengan usia minimum 113-120 M.



Gambar 11 Fosil *Gondwanagaricites magnificus*, (a) fotomikrograf dalam habitus umumnya dan (b) morfologi dengan kotak merah menunjukkan gill

(Sumber: Heads dkk., 2017)

Menurut Hibbett dkk. (1997) bahwa sekitar 87% fungi gilled berada dalam satu garis keturunan yaitu euagaric. Baru-baru ini ditemukan fosil fungi berusia 90 juta tahun yang menunjukkan bahwa asal usul taksa ini

terjadi pada pertengahan Cretaceous. Morfologi fungi gilled telah dipertahankan dalam garis keturunan tertentu selama puluhan juta tahun. Sedangkan fungi puffballs dan bentuk lain memiliki struktur bantalan spora tertutup (Gasteromycetes) yang berevolusi setidaknya empat kali. Perbedaan Gasteromycetes dari bentuk dengan struktur bantalan spora terbuka (Hymenomycetes) berkorelasi dengan hilangnya berulang oleh pelepasan spora paksa (ballistospory). Bentuk tubuh buah yang beragam dan mekanisme penyebaran spora telah berkembang diantara Gasteromycetes. Namun demikian, tampaknya Hymenomycetes tidak pernah diturunkan secara sekunder dari Gasteromycetes, yang menunjukkan bahwa hilangnya ballistospory telah membatasi evolusi dalam garis keturunan ini.

Sebagai pendorong evolusi adaptif pada fungi, hal ini belum teruji di seluruh skala filogenetik yang lebih besar. Tubuh buah memberikan bukti dan perlindungan untuk mengembangkan spora sebagai pendorong untuk meningkatkan morfologi yang lebih efisien. Nenek moyang tubuh buah *Agaricomycotina* mungkin seperti kerak, bentuk resupinate, yang kemudian berevolusi menjadi lebih banyak bentuk kompleks, termasuk jenis turunan pileate-stipitate, yaitu dapat dibedakan menjadi tudung, batang dan himenopor (bantalan spora) permukaan.

Bentuk-bentuk pileate-stipitate telah muncul berulang kali dari morfologi yang lebih sederhana selama evolusi dan mendominasi keanekaragaman Agaricomycetes yang masih ada (sebanyak lebih dari 21.000 spesies yang dijelaskan), seperti resupinate atau karang. Akan tetapi belum diketahui proses keragaman yang muncul dapat menjelaskan dominasi spesies pileate-stipitate dan dampak morfologi tubuh buah pada tingkat diversifikasi sebagai inovasi kunci. Selain evolusi himenopor tertutup, perbedaan Gasteromycetes dari Hymenomycetes memerlukan perubahan

dalam mekanisme penyebaran spora. Hymenomycetes mengeluarkan spora dengan mekanisme paksa, yang disebut ballistospory, yang tidak ada pada Gasteromycetes. Fitur struktural yang terkait dengan ballistospory yaitu pendek, strigma melengkung (tangkai yang menanggung spora), spora asimetris, dan pembentukan tetesan cairan di dasar spora pada saat pelepasan. Terlihat rangkaian karakter yang terlibat dalam ballistospory tidak pernah diperoleh kembali, yang mana dapat menjelaskan mengapa bentuk hymenophores yang terbuka tidak pernah diturunkan secara sekunder dari Gasteromycetes. Dengan tidak adanya ballistospory, mekanisme penyebaran spora yang beragam telah berkembang di antara Gasteromycetes.

Pada fungi puffballs, spora diproduksi secara internal dan disaring ke udara melalui celah atau pori-pori di dinding luar tubuh buah. Hasil ini menunjukkan bahwa tubuh buah puffball telah berevolusi setidaknya tiga kali. Hal ini menjadi perkiraan konservatif karena puffballs yang kontroversial secara taksonomi *Astraeus* dan *Kalostoma* tidak dimasukkan dalam analisis. Pada fungi truffle, spora diproduksi secara internal dan disebarkan ke dalam tanah saat tubuh buah rusak dan mungkin juga disebarkan oleh hewan pengerat yang memakan tubuh buah. Bukti molekuler dan morfologis menunjukkan bahwa truffle memiliki banyak jenis.

Dalam penelitian Hibbett, dkk., (1997) bahwa dua tubuh buah *Archaeomarasmius* ditemukan. Satu terdiri dari pileus lengkap dengan stipe dan yang lainnya terdiri dari fragmen pileus. Yang terakhir secara tidak sengaja terpapar, digunakan untuk studi sistematika molekuler untuk memperkuat DNA ribosom dan mikroskop elektron. Spora bertekstur halus dan berbentuk elips lebar dengan hiliar yang berbeda. *Protomyceena* yang diwakili oleh satu tubuh buah lengkap, mirip dengan genus yang masih ada yaitu *Myceneae*.

Berdasarkan perbandingan dengan *Marasmiaceae* dan *Myceneae* yang masih ada, *Archaeomarasmius* dan *Protomyцена* mungkin saprofit pada serasah atau batang kayu mati. Resolusi filogenetik yang belum diketahui terhadap homobasidiomycota yang masih ada membatasi kesimpulan tentang waktu divergensi dari taksa homobasidiomycota yang dapat diambil dari *Archaeomarasmius* dan *Protomyцена*. Usia fosil tersebut mendukung hipotesis bahwa distribusi kosmopolitan taksa fungi tertentu dapat disebabkan oleh fragmentasi rentang nenek moyang melalui pergeseran benua. Studi anatomi dan molekuler menjelaskan bahwa telah terjadi konvergensi dan paralelisme yang luas dalam evolusi bentuk tubuh buah homobasidiomycota. Namun demikian, kemiripan yang mencolok dari fosil-fosil ini dengan bentuk-bentuk yang masih ada menunjukkan bahwa dalam garis keturunan tertentu, evolusi makro homobasidiomycota dapat melibatkan periode yang lama, terdapat sedikit perubahan morfologis.

4.4. Upaya Konservasi Makrofungi

Indonesia termasuk ke dalam daftar negara yang belum memiliki daftar spesies terancam punah (Nasional Red List) atau pun langka. Keanekaragaman spesies dapat dikatakan sebagai jumlah spesies diantara jumlah keseluruhan individu dari spesies yang ada, hubungan ini dapat dinyatakan secara numerik sebagai indeks keanekaragaman. Berdasarkan publikasi serta kebijakan PP-RI N.7 Juli 1999, IUCN Global Red List, Tumbuhan langka Indonesia, spesies prioritas konservasi Indonesia, Global Tree Red Listing BGCI dan FFI, diperlukan upaya pengumpulan data tentang sebaran alami populasi, habitat serta herbarium. IUCN Global Red List bukan hanya menyediakan data kepunahan, status konservasi, distribusi spesies, gambaran taksonomi ataupun analisis informasi taksa. Namun IUCN juga menyediakan kategori spesies invasif atau biasa disebut SSC Invasive Species Specialist Group (ISSG).

Menurut Sunaryo, dkk. (2012) ancaman spesies invasif menduduki peringkat kedua setelah kerusakan habitat. Bahkan kerusakan yang diakibatkan dapat berimbas terhadap besarnya biaya pemulihan sumber daya alam. Pada tahap kritis jenis invasif dapat merusak ekosistem pada skala lansekap, menghilangkan jenis-jenis asli, bahkan menghilangkan suatu habitat. Konservasi dan identifikasi jenis invasif fungi masih jarang dilakukan, hal ini disebabkan berubah-ubahnya bentuk dari fungi. Sesuai dengan penjelasan Willis (2018) bahwa fungi memiliki kecenderungan untuk beralih bentuk. Fungi sendiri menghadapi berbagai ancaman mulai dari perusakan habitat, perubahan iklim polusi, eksploitasi berlebihan, alih fungsi lahan dan sebagainya.

Konservasi fungi sampai saat ini masih sedikit perhatian, sedangkan fungi, hewan dan tanaman menghadapi ancaman serupa akibat iklim perubahan, polusi, eksploitasi berlebihan, dan perusakan habitat dan fragmentasi. Kurangnya perhatian tersebut disebabkan fungi sering tidak terlihat, bentuk tidak menentu dan menunjukkan kecenderungan untuk beralih diantara bentuk. Di Eropa, fungi menjadi bagian dari rencana aksi perlindungan keanekaragaman hayati nasional, tercatat dalam IUCN Red List dan sering kali menjadi ancaman spesifik. Fungi yang dilindungi tercatat dalam IUCN Red List ditunjukkan oleh **Tabel 1**.

Tabel 1 Fungi yang terdaftar di Red List, 2020

Nama Taksonomi	Status Konservasi
Basidiomycota	
Agaricales	
<i>Abstoma purpureum</i> (Lloyd) G. Cunn.	EN
<i>Cortinarius nivalis</i> (E. Horak) Peintner & M.M. Moser	DD
<i>Mycena flavovirens</i> Sacc.	NT
<i>Anthracophyllum pallidum</i> Segedin	VU
<i>Agaricus mutabilis</i> Schaeff	LC
<i>Callistosporium vinosobrunneum</i> Desjardin & Hemmes	VU
<i>Lepiota luteophylla</i> Sundb.	CR
<i>Agaricus prunuloides</i> Fr.	VU
<i>Agaricus acerbus</i> Bull.	VU
<i>Cortinarius suaveolens</i> Bat. & Joachim	NT
<i>Agaricus palmatus</i> Bull.	NT
<i>Lepiota brunneolilacea</i> Bon & Boiffard	VU
<i>Hygrocybe pakelo</i> Desjardin & Hemmes	EN

<i>Agaricus radiosus</i> Pall.	LC
<i>Amanita xanthocephala</i> (Berk.) D.A. Reid & R.N. Hilton	LC
<i>Amanita lepiotoides</i> Barla	NT
<i>Melanoleuca clelandii</i> Grgur.	DD
<i>Callistosporium vinosobrunneum</i> Desjardin & Hemmes	VU
<i>Tricholoma acerbum</i> (Bull.) Quél.	VU
<i>Squamanita schreieri</i> Imbach	EN
<i>Hygrocybe citrinoviren</i> (J.E.Lange) Jul.Schäff.	VU
<i>Lepiota brunneolilacea</i> Bon & Boiffard	VU
<i>Cortinarius pavelekii</i> (Trappe, Castellano & P.Rawl.) Peintner & M.M.Moser	EN
<i>Cuphophyllus canescens</i> (A.H. Sm. & Hesler) Bon	VU
<i>Paraxerula caussei caussei</i> (Maire) R.H. Petersen	VU
<i>Entoloma prunuloide</i> (Fr.) Quél.	VU
<i>Amanita mumura</i> G.S. Ridl.	EN
<i>Entoloma excentricum</i> Bres.	NT
<i>Pseudotracheloma metapodium</i> (Fr.) Sánchez-García & Matheny	EN
<i>Agaricus pattersoniae</i> Peck	VU
<i>Leptonia carnea</i> Largent	VU
<i>Hygrocybe noelokelani</i> Desjardin & Hemmes	EN
<i>Limacella solidipes</i> (Peck) H.V.Sm.	DD
<i>Humidicutis peleae</i> Desjardin & Hemmes	VU
<i>Gliophorus euoperplexus</i> Dentinger, A.M.Ainsw. & P.F.Cannon	VU
<i>Flammulina ononidis</i> Arnolds	VU
Polyporales	

<i>Polyporus efibulatus</i> A.M.Ainsw. & Ryvardeen	LC
<i>Flaviporus citrinellus</i> (Niemelä & Ryvardeen) Ginns	EN
<i>Perenniporia medulla-panis</i> (Jacq.) Donk	NT
<i>Resinoporia piceata</i> (K. Runnel, Spirin & Vlasák) Audet	DD
<i>Amylocystis lapponica</i> (Romell) Bondartsev & Singer	LC
<i>Fomitopsis officinalis</i> (Vill.) Bondartsev & Singer	EN
Russulales	
<i>Russula claroflava</i> Grove	LC
<i>Russula decolorans</i> (Fr.) Fr	LC
<i>Neoalbatrellus subcaeruleoporus</i> Audet & B.S. Luther	NT
<i>Echinodontium japonicum</i> Imazeki	EN
<i>Aleurodiscus bernicchiaae</i> Gorjón, Gresl. & Rajchenb.	VU
<i>Lactarius haugiae</i> Bandala, Montoya & Ramos	VU
<i>Hericium erinaceus</i> (Bull.) Pers.	LC
<i>Bondarzewia kirkii</i> J.A. Cooper, Jia J. Chen & B.K. Cui	VU
<i>Russula vesca</i> Fr.	
Boletales	
<i>Suillus lakei</i> (Murrill) A.H. Sm. & Thiers	LC
<i>Suillus grevillei</i> (Klotzsch) Singer	LC
<i>Rubinoboletus rubinus</i> (W.G. Sm.) Pilát & Dermek	VU
<i>Rubroboletus rhodoxanthus</i> (Krombh.) Kuan Zhao & Zhu L. Yang	NT
<i>Boletus subalpinus</i> (Trappe & Thiers) Nuhn, Manfr. Binder, A.F.S. Taylor, Halling & Hibbett	LC
<i>Buchwaldoboletus lignicola</i> (Kallenb.) Pilát	VU
<i>Bondarcevomyces taxi</i> (Bondartsev) Parmasto	VU
<i>Fevansia aurantiaca</i> Trappe & Castellano	EN

Geastrales	
<i>Geastrum pouzarii</i> V.J.Staněk	DD
Gomphales	
<i>Ramaria rufescens</i> (Schaeff.) Corner	NT
<i>Destuntzia rubra</i> (Harkn.) Fogel & Trappe	CR
<i>Beenakia dacostae</i> D.A. Reid	NT
<i>Ramaria purpurissima</i> R.H.Petersen & Scates	VU
Ustilaginales	
<i>Anthracoidea ortegae</i> Kukkonen	VU
Ascomycota	
Geoglossales	
<i>Microglossum atropurpureum</i> (Batsch) P. Karst.	VU
<i>Geoglossum difforme</i> Fr.	NT
Pezizales	
<i>Sarcosoma globosum</i> (Schmidel) Casp.	NT
Teloschistales	
<i>Phaeophyscia hispidula</i> (Ach.) Essl.	LC
Helotiales	
<i>Ascoclavulina sakaii</i> Otani	NT

Keterangan tabel 1.

- NE : Not Evaluated (tidak di evaluasi)
DD : Data Deficient (kekurangan data)
LC : Least Concern (sedikit diperhatikan)
NT : Near Threatened (mulai terancam)
VU : Vulnerable (rentan)
EN : Endangered (terancam punah)
CR : Critically Endangered (kritis terancam punah)
EW : Extinct In The Wild (punah di alam liar)
EX : Extinct (punah)

Bab 5

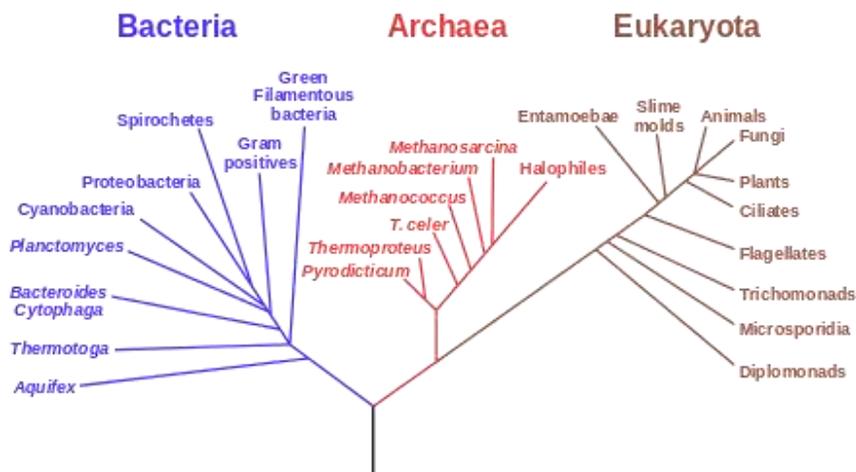
Perkembangan Klasifikasi Makrofungi

Fungi dapat diartikan sebagai salah satu kingdom dalam sistem klasifikasi makhluk hidup yang ada. Seperti halnya pada kingdom tumbuhan, maka fungi juga memiliki tingkat keanekaragaman yang tinggi. Kingdom fungi merupakan salah satu kelompok organisme dengan keanekaragaman hayati tertinggi kedua setelah serangga. Sampai saat ini, hanya sekitar 7-10% yaitu sebanyak 105.000-150.000 spesies dari sekitar 1,5 juta spesies fungi yang telah diidentifikasi. Sebagian besar fungi belum diselidiki, diidentifikasi, diawetkan, dan digunakan. Namun, pengetahuan dan pemahaman tentang fungi dalam kehidupan sehari-hari tidak sebaik yang dimiliki tumbuhan tingkat tinggi. Hal ini dikarenakan fungi hanya tumbuh pada waktu-waktu tertentu dengan kondisi dan viabilitas yang terbatas.

Klasifikasi fungi adalah pengelompokan fungi berdasarkan kekerabatan fungi tersebut. Namun, klasifikasi fungi masih banyak berubah karena banyaknya perbedaan pendapat tentang klasifikasi tersebut. Proses klasifikasi pada abad ke-19 hanya didasarkan pada makromorfologi, terutama struktur bantalan (himenofor). Semua fungi yang menghasilkan spora pada himenofor yang terbuka dikelompokkan dalam kelas Hymenomycetes, dan semua fungi lain dengan himenofor tertutup dikelompokkan dalam kelas Gasteromycetes. Studi filogenetik molekuler baru-baru ini telah mengkonfirmasi hubungan antara homobasidiomycota yang berbeda secara morfologis. Sebagai contoh, sekarang diketahui bahwa fungi truffle yang mirip seperti umbi bawah tanah telah diturunkan dari berbagai garis keturunan fungi epigeous. Fungi gilled telah diturunkan dari nenek moyang poroid. Meskipun studi molekuler telah memberikan

wawasan tentang evolusi garis keturunan tertentu, belum ada analisis filogenetik yang luas dari homobasidiomycota.

Berdasarkan hasil analisis filogeni menunjukkan keunikan pada fungi sehingga dimasukkan ke dalam kingdom sendiri yang ditunjukkan pada gambar. Semula fungi dianggap dekat dengan tanaman namun secara filogeni fungi lebih dekat dengan binatang.



Gambar 12 Pohon Filogeni

(Sumber: Roosheroedkk., 2006)

Fungi sebagai organisme yang secara umum dipelajari oleh ahli mikologi, saat ini berada dalam klasifikasi tiga kerajaan Eukaryota, yaitu Eumycota. Penamaan dalam taksonomi fungi selalu berubah-ubah seiring dengan perkembangan dan hasil penelitian terakhir yang berdasarkan sifat morfologi dan teori-teori biologis. Dengan demikian, dalam dunia fungi belum ada sistem taksonomi yang seragam. Spesies fungi dapat memiliki beberapa nama ilmiah bergantung dari cara siklus hidup dan reproduksinya.

Penamaan fungi oleh *International Mycologist Association* (IMA) yang dilakukan pada rapat intensif pada tahun 1981 berlokasi di Sydney, terjadi perubahan drastis yang memperjelas dan menyederhanakan prosedur penamaan cendawan. Rapat IMA menghasilkan istilah baru yaitu anamorf dan teleomorf sebagai penggunaan yang umum. Teleomorf adalah fungi yang menghasilkan spora seksual, sedangkan anamorf merupakan fungi yang menghasilkan spora aseksual. Fungi yang bersifat pleomorfik menyebabkan sistem penamaan ganda dan sistem tersebut berlaku hingga bulan Juli 2011 di bawah aturan *International Code of Botanical Nomenclature* (ICBN). Peraturan penamaan diubah pada bulan Juli 2011 dengan aturan penamaan *International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants* (ICN) sebagai hasil dari pertemuan ICN di Melbourne dan mulai berlaku sejak bulan Januari 2012. Penggunaan sistem penamaan ganda telah dihentikan dan diketahui istilah “satu fungi, satu nama”.

Menurut Dwidjoseputro (1979), semua fungi dimasukkan dalam kerajaan Tumbuhan (Ragnum Plantae). Kerajaan ini dibagi atas divisi-divisi, dan fungi masuk dalam Mycota / Mycophyta. Selanjutnya divisi Mycota dibagi menjadi dua subdivisi yaitu Myxomycotina / Mycomycophyta dan Eumycotina / Eumyxomy-cophyyta. Sedangkan menurut Alexopolous dan Mims (1979), bahwa fungi menjadi kingdom tersendiri yaitu Myceteae, yang terbagi ke dalam beberapa divisi yaitu *Gymnomycota*, *Mastigomycota*, dan *Amastigomycota*. Subdivisi dibagi atas kelas dengan akhiran nama –mycetes. Kelas dibagi atas subkelas dengan akhiran nama –mycetidae. Subkelas dibagi atas ordo dengan akhiran nama –ales. Ordo dibagi atas family dengan akhiran nama –aceae.

Berikut klasifikasi untuk fungi,

Superkingdom: Eukarya

Kingdom : Myceteae (Fungi)

Divisi : Mycota / Mycophyta / Thallophyta

Kelas : –mycetes / –mycetea

Subkelas : –mycetidae

Ordo : –ales

Famili : –aceae

Makrofungi umumnya termasuk ke dalam *Basidiomycota*. Beberapa jenis makrofungi ditemukan berupa *Myxomycota* atau fungi lendi yang hidup berkelompok pada substrat batang kayu lapuk. Menurut Hendritomo (2010) dari sistem pembentukan spora, makrofungi yang termasuk dalam Eumycophyta dibedakan menjadi 5 divisi, yaitu *Oomycota*, *Zygomycota*, *Ascomycota*, *Basidiomycota*, dan *Deuteromycota*.

5.1. Oomycota

Oomycota disebut juga fungi air karena sebagian besar hidup di air. Anggota kelas ini dapat ditemukan di air tawar atau laut, terutama di muara, sungai, kolam atau danau dan juga di dekat pantai. Secara umum, Oomycota terrestrial merupakan parasit pada tumbuhan berpembuluh. Meskipun beberapa anggota Oomycota tumbuh sebagai thallus seperti kantung atau bercabang, kebanyakan menghasilkan hifa yang membentuk miselium. Hifa Oomycota adalah senosit, yaitu tidak membentuk dinding atau septa, kecuali pada kompartemen yang tua atau di dasar struktur reproduksi. Berbeda halnya dengan fungi lain yang mengandung kitin pada dinding sel, Oomycota hanya mengandung selulosa dan kristal β -(1,4)-glukan sebagai komponen utamanya.

Anggota divisi Oomycota memiliki sifat khusus, yaitu selama proses reproduksi menghasilkan oospora dan zoospora dengan dua flagel. Flagel pertama berbentuk panjang berbulu (*whiplash*) yang mengarah ke depan dan flagel kedua berbentuk pendek sederhana (*tinsel*) yang mengarah ke belakang, mengandung rambut-rambut kecil berfungsi sebagai pemberi gaya dorong, menyeret spora melalui air.



Gambar 13 Oomycota Tahap Telur (*Lagenisma coscinodisci*)

(Sumber: Thines, 2018)

Tahap vegetatif oomycota baik diploid atau poliploid, termasuk spora istirahat seperti telur yang ditunjukkan gambar 13 berupa oospora, sebagai asal dari penamaan oomycota. Sebaliknya, sebagian besar spesies fungi bersifat haploid atau dikariotik (yaitu, memiliki dua inti haploid di dalam sel) di sebagian besar siklus hidupnya. Selain itu, oomycota berbeda dalam berbagai karakteristik fisiologis dan kimia dari fungi yaitu memiliki dinding sel yang mengandung selulosa, menghasilkan polisakarida sebagai hasil penyimpanan energi, dan memanfaatkan jalur yang berbeda untuk mensintesis lisin dan sterol.

5.2. Zygomycota

Divisi Zygomycota dicirikan oleh hifa yang tidak bersekat (senosit) dan mampu membentuk struktur dorman bersifat sementara yang biasa disebut dengan zigospora. Zigospora memiliki dinding tebal yang dihasilkan selama reproduksi seksual, komponen utama yang dimiliki oleh dinding sel yaitu chitosan dan kitin serta jumlah kromosomnya haploid. Sedangkan selama reproduksi aseksual dapat menghasilkan sporangia, yang umumnya bulat atau hemispherical dan membentuk hifa fertil khusus yaitu sporangiofor. Beberapa spesies juga memiliki sporangia kecil yang terbentuk bersamaan dengan sporangola. Beberapa jenis memiliki stolon, penghubung sporangium yang berbentuk filamen, dan rhizoid, hifa yang bercabang banyak serta seperti akar pendek.

Zygomycota terdiri dari 870 spesies serta terdiri dari 10 ordo. Berdasarkan penelitian Firdhausi dkk., (2018) menyatakan bahwa Zygomycota terdiri atas dua kelas yaitu Trichomycetes dan Zygomycetes. Kelas Trichomycetes terdiri dari 50 genus dan 200 spesies, sedangkan kelas Zygomycetes terdiri dari 10 ordo dan 870 spesies. Fungi dalam kelompok ini dahulu dimasukkan ke dalam divisi Mastigomycota dan kelas Physomycetes berdasarkan ciri khasnya berupa hifa yang tidak bersekat (asepta). Namun dari divisi tersebut menunjukkan banyak ciri yang berlainan, diantaranya jumlah flagel pada spora dan tempat hidup. Maka dari itu, kedua divisi tersebut ditempatkan secara terpisah, yang dikenal sebagai cendawan tingkat rendah dikarenakan umumnya dianggap primitif dalam skala evolusi.

Divisi zygomycota merupakan parasit saprofit atau haustoria atau non-haustoria pada hewan dan tumbuhan. Spesies yang bersifat saprofit diantaranya yaitu *Mucos*, *Phycomyces*, *Pilobolus*, dan *Absidia*. Adapun spesies *Rhizopus stolonifer* yang berperan dalam pemburukan roti serta penyakit buah, serta anggota *Glomeromycota* yang terdapat diakar dan membentuk simbiosis endomikoriza dengan lebih dari 80% tumbuhan.

Salah satu contoh spesies dari kelompok Zygomycota adalah *Rhizopus nigricans* yang melakukan perkembangbiakan melalui hifa yang tidak bersekat dan berkonjugasi dengan hifa lain. *Rhizopus nigricans* memiliki sporangiofor. Ketika sporangium pecah, maka spora bersel satu akan tersebar dan apabila spora tersebut jatuh pada media yang cocok, spora akan berkecambah dan tumbuh menjadi individu baru.



Gambar 14 Fungi Zygomycota

(Sumber: Hasyiati, 2019)

5.3. Basidiomycota

Asal nama Basidiomycota berasal dari basidium yang memiliki arti kata ‘landasan’. Basidiomycota memiliki tubuh buah berupa basidiokarp multiseluler dengan hifa bersekat dan lubang melintang. Hifa vegetatifnya melekat pada tempat hidupnya berupa substrat sebagai saprofit. Terdapat pula beberapa kelompok penting yang hidup simbiosis membentuk ektomikoriza, dengan substrat yaitu makhluk hidup, batang pohon mati, serasah daun, kayu dan tanah. Hifa generatif akan membentuk tubuh buah dengan miselium berseptum, yang disebut basidiokarp, adapun beberapa spesies tidak membentuk tubuh buah. Miselium dapat terlihat pada bagian kayu yang berkembang dengan sempurna menembus substrat dan menyerap komponen makanan.



Gambar 15 Fungi Basidiomycota

(Sumber: Basidio, 2016)

Spesies dari Basidiomycota memiliki ukuran makroskopis dan mikroskopis, dengan sebagian besar spesies ditemukan berukuran makroskopis yang dapat diamati dengan kasat mata. Bentuk dari Basidiomycota makro bervariasi, diantaranya berbentuk bola atau setengah lingkaran, kuping, dan payung. Sedangkan Basidiomycota mikro adalah kelompok fungi yang berbentuk kapang atau khamir.

Siklus hidup fungi dari Basidiomycota ini meliputi miselium dikariotik yang bertahan lama. Secara periodik, sebagai tanggapan terhadap rangsangan lingkungan, miselium ini bereproduksi secara seksual menghasilkan spora melalui tubuh buah yang rumit yang disebut basidiokarpus (*basidiocarp*). Basidiokarpus tersebut tersusun pada lapisan himenium yang strukturnya berpori-pori menyerupai tabung dan bergerigi. Terdapat pula himenium yang strukturnya licin seperti berlendir.

Reproduksi secara vegetatif menggunakan spora. Sebagian besar kelompok Basidiomycota ini tidak memiliki alat perkembangbiakan generatif, sehingga terjadi peleburan sel hifa yang membentuk lapisan-lapisan himenofor. Lamella pada fungi muda dapat berubah warna saat spora matang. Spora seksual dari anggota Basidiomycota ini berbeda dengan fungi lainnya, yakni tersebar di udara. Hal ini dikarenakan terbentuknya suatu struktur dari penyatuan atau fusi dua hifa haploid yang berkembang menjadi sebuah sel yang mempunyai nukleus dari sel yang kompatibel secara seksual. Sel-sel diploid membelah melalui tahap meiosis kemudian terbentuk spora haploid. Spora ini akan dilepaskan dari basidium yang kemudian akan menyebar. Jika kelembaban tersedia, spora berkecambah menjadi untaian sel yang disebut hifa vegetatif, yang berkembang menjadi miselium. Setelah fungi terbentuk, tudungnya mendukung dan melindungi area permukaan basidium dikariotik pada bilah-bilah fungi.

Basidiomycota terdiri atas 30.000 spesies yang telah teridentifikasi. Divisi Basidiomycota dibagi menjadi dua subkelas, yaitu Heterobasidiomycetidae (Hemibasidiomycetidae) dengan basidium yang terbagi menjadi empat sel, basidium membujur atau melintang, contohnya yaitu fungi api (*Ustilaginale*) dan *Auricularia polytrica*. Sedangkan Homobasidiomycetidae (Holobasidiomycetidae) memiliki basidiumnya terdiri dari satu sel dan tidak bersekat, memiliki hidup bersimbiosis dengan akar tumbuhan, contohnya yaitu *Ganoderma applanatum*.

Divisi Basidiomycota terbagi menjadi ordo *polyporales* dan ordo *agaricales*. *Polyporales* merupakan kelompok fungi spesial yang telah beradaptasi untuk hidup di pepohonan. Banyak aspek yang menjadikan *polyporales* berbeda yaitu keras dan kuat, kelompok ini memiliki pori-pori di bagian bawah tudung dan tubuh buahnya seringkali berumur panjang. Beberapa *polyporales* memiliki manfaat medis seperti pada spesies *Ganoderma boninense*. Fungi yang termasuk kedalam ordo *Agaricales* kebanyakan berwarna putih atau putih kecoklatan dengan lipatan yang gelap, lipatan yang terdapat pada fungi ini berwarna kemerahan pada tudung muda dan berubah menjadi keabuan atau coklat hingga akhirnya berwarna hitam ketika spora matang. Batang pada tubuh buah fungi *Agaricales* biasanya memiliki cincin yang cenderung rapuh dan memiliki tudung bersambung sehingga cincinnya lepas. Aroma dan perubahan warna merupakan bagian utama dalam identifikasi fungi *Agaricales*. Spesies *Agaricales* hidup dengan mendekomposisi kotoran pada tanah sehingga dapat dengan mudah ditemukan pada sarang semut, halaman, kotoran sapi, dan tanah-tanah hutan yang berlimpah oleh sampah tanaman.

Basidiomycota merupakan penguraian penting bagi kayu dan tumbuhan lainnya, sebagai penyebab utama pembusukan kayu. Kebanyakan *shelf fungi* menguraikan kayu dari pohon yang lemah atau telah rusak dan terus menguraikan kayu setelah pohon tersebut itu mati. Diantara semua fungi, sifat saprofit pada Basidiomycota adalah yang paling baik dalam mengurai polimer lignin yang kompleks.

Makrofungi dari kelompok Basidiomycota berpotensi edible (dapat dikonsumsi), bahan obat-obatan dan poison (beracun). Umumnya Basidiomycota berupa patogen pada manusia dan tumbuhan seperti pada spesies *Filobasidiella neoformans* (Cryptococcus) yang dapat menyebabkan *cryptococcosis*, yaitu penyakit yang menyerang bagian otak manusia.

5.4. Ascomycota

Ascomycota berasal dari kata Yunani yaitu askos (botol kulit, tas atau kantung kemih) dan *mykes* (fungi), sehingga ascomycota adalah fungi kantung (sac fungi). Ascomycota termasuk ke dalam kelompok fungi dengan jumlah yang sangat besar, sekitar 65.000 spesies fungi termasuk fungi kantung (*sac fungi*) dan kurang lebih sekitar 32.000 spesies fungi kantung telah teridentifikasi. Kebanyakan ascomycota dikenali dari tubuh buah atau ascocarp, yaitu struktur yang mengelilingi Asci. Ascomycota terdiri atas lima kelas diantaranya yaitu *Hemiascomycetes*, *Hymenoascomycetes*, *Laculoascomycetes*, *Archiascomycetes* dan *Plectomycetes*.

Makrofungi *Ascomycota* tersusun dari hifa dengan sel-sel yang memiliki inti dan miselium yang bersekat-sekat. Fungi dari divisi *Ascomycota* ditemukan di berbagai habitat yang dapat tumbuh di tanah, bagian atas tanaman, serta pada daerah terrestrial dan akuatik. Tumbuh pada kisaran suhu optimum yaitu 20-30° C. Fungi ini dapat hidup baik sebagai parasit maupun sebagai saprofit.

Spesies *Ascomycota* atau fungi kantung (*sacfungi*) memiliki variasi ukuran dan kompleksitas dari khamir uniseluler, fungi kecil berbintik daun, hingga fungi berbentuk mangkuk rumit dan morel. Beberapa *Ascomycota* morel, bersimbiosis membentuk mikorhiza dengan tumbuhan. Yang lain hidup pada daun di permukaan sel mesofil, di mana fungi tersebut membantu melindungi jaringan tumbuhan dari serangan serangga, yaitu dengan cara mengeluarkan senyawa beracun.

Ciri khas dari kelompok ini memiliki tahap seksual dalam tubuh buah atau askokarpus (*ascocarp*) yang menyerupai bentuk seperti mangkok. Pada kebanyakan *Ascomycota*, produksi spora seksual di dalam askus mengandung 4-8 askospora. Divisi ini memiliki dua stadium perkembangan, diantaranya stadium askus atau aseksual dan stadium konidium atau seksual. *Ascomycota* bereproduksi secara aseksual dengan menghasilkan spora yang sangat banyak, disebut dengan konidium (konidium, jamak conidia). Konidium yang dihasilkan yaitu secara eksternal di ujung hifa terspesialisasi yang disebut konidiofor. Sering kali spora tersebar oleh angin, terbentuk di dalam askus atau kantung.

Dalam fungi kantung ini, sel-sel penghasil spora (asci) membentuk lapisan yang disebut himenium, yang terdapat pada permukaan atau luar club, cup, atau cap (kepala). Ketika sel-sel matang, ujung ascus terbuka dan ascospora ditembakkan ke udara. Spora dapat dilepaskan dengan menggetarkan ascocarp dewasa atau meniup himeniumnya oleh angin maupun hujan. Himenium dapat dibedakan dari bagian lain dari ascocarp dengan posisinya di permukaan atas atau luar dan oleh warna atau tekstur yang berbeda. Seperti pada morel, himenium yang mengandung spora adalah lapisan yang kusut, berbelit-belit, atau diadu yang biasanya berwarna teduh.



Gambar 16 Fungi Ascomycota

(Sumber: Hasyiati, 2019)

5.5. Deuteromycota

Sebagian besar fungi kelompok Deuteromycota terdiri dari 15.000 spesies dan merupakan bentuk konidia (anamorf) dari Ascomycota, meskipun beberapa memiliki afinitas dengan Basidiomycota. Spesies dari Deuteromycota termasuk dalam Ascomycota atau Basidiomycota setelah fase reproduksi seksual secara teleomorf ditemukan. Deuteromycota bukan merupakan unit

monofiletik, melainkan fungi yang tidak memiliki fase reproduksi seksual. Fungi ini hanya memiliki proses reproduksi aseksual saja.

Deuteromycotyna mempunyai hifa yang bersekat. Proses reproduksi dilakukan melalui spora bersel satu dengan dinding tebal, spora aseksual di ujung hifa khusus yang sederhana, spora bercabang yang langsung dari hifa, dan pertunasan.



Gambar 17 Fungi Deuteromycota

(Sumber: Mediacoid, 2019)

Bab 6

Ekologi Dan Persebaran Makrofungi

6.1. Habitat Makrofungi

Fungi hidup di alam sebagai saprofit, parasit dan simbion, maka dari itu sangat penting mengetahui pertumbuhan fungi. Fungi sebagai saprofit berperan dalam siklus nutrien di tanah yang berasal dari bahan organik mati, seperti pohon tumbang, bangkai hewan, dan bangkai yang dihasilkan oleh makhluk hidup lainnya. Fungi sebagai parasit tumbuh pada organisme hidup yang lain untuk menyerap nutrisi dari sel inang hidup seperti panu (*Tinea versicolor*), umumnya satu spesies fungi parasit menginfeksi kulit manusia dan 80% spesies lainnya menginfeksi hewan dan tumbuhan. Adapun fungi sebagai simbion dapat mempengaruhi kehidupan tertentu, yang mana fungi berinteraksi menyerap nutrisi dari inangnya dan interaksi tersebut dapat bermanfaat bagi pasangannya.

Makrofungi sering tumbuh di hutan karena mengandung tanah humus yang melimpah serta dapat tumbuh di berbagai jenis habitat, dari dingin hingga tropis. Habitat fungi biasanya terdapat di semua kayu dan serasah daun sebagai tempat ketersediaan bahan organik yang telah membusuk untuk digunakan sebagai sumber makanan bagi fungi. Sebagian besar dapat ditemukan hidup pada dahan-dahan pohon besar yang telah lapuk, dan sebagian lagi terdapat pada pohon yang masih hidup, contohnya fungi *Auricularia* spp. (fungi kuping). Adapun makrofungi yang tumbuh di padang rumput dan gumuk pasir pada beberapa wilayah perbukitan selama musim penghujan saja.

Kehidupan makrofungi umumnya spesifik, karena setiap jenis makrofungi memerlukan karakteristik faktor lingkungan yang berbeda. Faktor penentu keberadaan dan pertumbuhan makrofungi adalah jenis vegetasi yang berkontribusi langsung terhadap pertumbuhan makrofungi sebagai substrat dan sumber bahan organik. Keberadaan jenis vegetasi, kondisi geografis, musim dan tahapan proses suksesi akan sangat menentukan tumbuh dan keanekaragaman makrofungi. Pada umumnya, hutan memiliki kondisi yang sesuai untuk memenuhi syarat hidupnya makrofungi. Berbeda dengan hutan mangrove yang lokasinya dekat dengan laut memiliki suhu dan kelembaban yang rendah. Namun kondisi iklim mikro ini masih dalam batas atau rentang untuk pertumbuhan makrofungi secara keseluruhan.

Keberadaan dan keragaman makrofungi sangat tergantung pada sifat habitat, khususnya pada keberadaan substrat dan inangnya. Selain itu, ditemukan bahwa komposisi dan jenis tumbuhan dalam ekosistem terestrial merupakan penentu utama produktivitas dan keberlanjutan keberadaan fungi. Makrofungi, yang tergolong pada *basidiomycota* dan *ascomycota*, tumbuh subur di lokasi yang mengandung sumber karbohidrat, selulosa, dan lignin yang terdapat pada tumpukan sampah atau serasah daun yang berguguran atau kayu lapuk. Menurut Aryani (2013), fungi ini bekerja sama dengan bakteri dan berbagai jenis protozoa sebagai dekomposer sehingga memberikan kontribusi yang signifikan dalam proses dekomposisi zat organik dalam rangka mempercepat siklus materi dalam ekosistem hutan.

6.2. Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Fungi

Secara umum makrofungi memiliki dan membutuhkan karakteristik faktor lingkungan yang berbeda-beda dan bersifat spesifik. Selain itu, faktor lingkungan biotik dan abiotik lainnya juga berpengaruh penting terhadap kehidupan fungi. Menurut Dahana (2010) ketinggian tempat menentukan suhu udara, intensitas cahaya matahari dan mempengaruhi curah hujan, yang akan mempengaruhi pertumbuhan fungi. Semakin tinggi intensitas penyinarannya, maka suhu udara akan lebih tinggi dan kelembapan akan semakin rendah, begitupun sebaliknya. Makrofungi secara alami menyukai lingkungan dengan intensitas cahaya yang rendah (tutupan tajuk rapat), kelembapan tinggi serta suhu rendah sehingga vegetasi dengan ciri tersebut dapat mengindikasikan banyaknya makrofungi yang tumbuh dengan substrat yang mendukung.

Menurut Gandjar dkk. (2006), fungi dapat tumbuh apabila parameter pertumbuhannya sesuai, pertumbuhan ini dipengaruhi oleh faktor kelembapan, substrat, pH, suhu, intensitas cahaya serta senyawa kimia yang berada di lingkungannya.

1. Kelembaban

Fungi membutuhkan tingkat kelembapan yang berbeda, namun hampir semua jenis fungi dapat hidup pada substrat yang belum jenuh air. Ketersediaan air di lingkungan sekitar fungi sangat penting untuk menjaga kadar air dalam sel dan berperan dalam transportasi nutrisi. Kelembaban dalam air menyebabkan hifa fungi menyebar di permukaan substrat. Kelembaban yang baik untuk pertumbuhan fungi sekitar 70-90%. Melalui iklim mikro yang tersedia, secara tidak langsung akan menentukan bagaimana pentingnya peran kelembapan udara bagi pertumbuhan makrofungi. *Rhizopus* atau *Mucor* dan fungi

tingkat rendah lainnya biasanya membutuhkan lingkungan dengan kelembaban 90%, sedangkan kapang seperti *Aspergillus*, *Penicillium*, dan kapang lainnya membutuhkan lingkungan dengan kelembaban sekitar 80%. Fungi yang tergolong fungi seperti *Aspergillus flavus* dapat bertahan hidup pada kelembaban lingkungan 70%.

2. Substrat

Pertumbuhan dan faktor determinan makrofungi merupakan kontribusi dari substrat serta materi organik yang berpengaruh terhadap pertumbuhan makrofungi. Menurut Roosheroe dkk., (2006)., menyatakan bahwa substrat adalah sumber nutrisi utama bagi fungi. Fungi membutuhkan makanan (nutrisi), zat-zat yang terkandung dalam kayu seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin, yang menyusun kayu terdapat sebagai makromolekul yang cukup besar dan tidak larut dalam air untuk diasimilasi langsung oleh makrofungi. Nutrien-nutrien dapat dimanfaatkan sesudah fungi mengekskresikan enzim-enzim ekstraseluler yang dapat mengurai senyawa kompleks menjadi sederhana.

Fungi membutuhkan oksigen dalam proses pertumbuhan dan respirasi, yang menghasilkan CO₂ dan H₂O. Substrat yang biasa dijadikan tempat fungi tumbuh yaitu serasah dari dedaunan hutan yang lembab dan sedikit cahaya matahari langsung yang menembus hingga ke lantai hutan yang telah membusuk maupun batang-batang pohon yang di dalamnya tersedia banyak nutrisi untuk pertumbuhan fungi.

3. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) substrat dapat mempengaruhi pertumbuhan fungi, meskipun secara tidak langsung, tetapi mempengaruhi ketersediaan nutrisi penting. Keasaman substrat (pH) merupakan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan fungi karena fungi menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi makanan, dengan tingkat keasaman yang memadai. Fungi kayu dapat tumbuh dan berkembang bila kondisi lingkungan bersifat asam. Sebagian besar fungi tumbuh dengan baik di bawah pH asam hingga netral yaitu 7, namun terdapat pula fungi yang dapat tumbuh di bawah pH 5,5. Menurut Barnes (1998), fungi yang tumbuh di serasah hutan biasanya hidup pada kisaran pH 4,9, dengan pH optimal 5,6. Meskipun pada beberapa jenis khamir ada juga yang tumbuh dengan derajat keasaman yang cukup rendah, yaitu 4,5 hingga 5,5.

4. Suhu

Suhu optimal berbeda untuk setiap spesies. Berdasarkan pertumbuhan fungi terhadap suhu hidupnya, maka fungi terbagi menjadi psikrofilik, mesofilik, dan termofilik. Umumnya besar suhu tempat fungi tumbuh antara 0°C sampai 35°C, tetapi suhu terbaik untuk pertumbuhan fungi adalah 20-30°C.

5. Intensitas Cahaya

Kebanyakan fungi tumbuh pada kondisi lingkungan yang teduh. Kondisi tersebut memiliki tingkat kelembaban yang cukup tinggi, pencahayaan dan arus angin. Intensitas cahaya yang ada di setiap tempat cukup berbeda. Cahaya dapat merangsang atau menjadi faktor penghambat pembentukan struktur organ reproduksi dan spora pada fungi. Intensitas cahaya yang relatif baik untuk reproduksi fungi sekitar 380-720 Lux.

Intensitas cahaya yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan populasi makrofungi, karena menghambat terbentuknya struktur alat-alat reproduksi dan pembentukan spora. Teori ini juga didukung oleh hasil penelitian Yunida (2014), yang menjelaskan bahwa intensitas penyinaran ialah faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap jumlah jenis fungi. Menurut Achmad dkk. (2011), untuk fungi yang bersifat fototropisme positif, jika intensitas penyinaran rendah maka akan mendukung fungi dalam pembentukan spora, pelepasan spora dan pembentukan tubuh buah.

6. Senyawa Kimia

Keberadaan bahan kimia merupakan sesuatu yang juga dapat mempengaruhi pertumbuhan fungi. Seringkali keberadaan bahan kimia tersebut mengganggu pertumbuhan fungi. Misalnya, penggunaan natrium benzoat dalam makanan sebagai pengawet untuk mencegah pertumbuhan fungi.

6.3. Makrofungi pada Musim Kemarau dan Musim Hujan

Musim hujan merupakan awal pertumbuhan bagi sebagian besar jenis makrofungi. Pada musim hujan ini, kelembaban lingkungan dan substrat lebih tinggi dibandingkan pada musim kemarau. Hal ini mempengaruhi pertumbuhan spora fungi. Karena sebagian besar spora mempunyai kadar air rendah, maka adanya air (hidrasi) seperti pada musim penghujan menjadi awal yang penting untuk proses perkecambahan. Spora yang terdiri dari satu sel dapat bersifat dorman, sehingga spora dapat bertahan hidup lama sebelum berkecambah dan tumbuh menjadi fungi baru. Seperti benih tanaman, spora juga berfungsi sebagai alat reproduksi. Oleh karena beratnya ringan, spora dapat berpindah dengan mudah dari satu tempat ke tempat lain, baik dibawa oleh air, angin, atau faktor lainnya.

Perkecambahan spora fungi sangat dipengaruhi oleh kandungan air, sehingga kelembaban menjadi faktor yang sangat mempengaruhi pertumbuhan fungi. Fungi mempunyai kotak spora (sporangium) yang di dalamnya terdapat spora. Jika sporangium pecah, spora dari sporangium tersebut akan menyebar dan dapat menghasilkan individu baru tanpa perlu adanya sel reproduksi yang lain. Adanya percikan air dapat mempercepat penyebaran dan perkembangan fungi. Hal ini dikarenakan jika adanya percikan air hujan, spora-spora tersebut akan mudah berpindah. Selain itu, ketersediaan air juga sangat penting bagi perkecambahan beberapa jenis fungi.

Makrofungi dapat tumbuh dengan baik dan beberapa diantaranya akan membentuk badan buah, meskipun terdapat makrofungi yang tidak membentuk badan buah. Proses identifikasi jenis makrofungi pada musim hujan akan lebih mudah karena pembentuk badan buah akan membantu pengamatan terhadap makrofungi yang diteliti, sehingga pada musim

penghujan merupakan waktu yang baik untuk mengidentifikasi makrofungi. Makrofungi tumbuh dengan baik pada musim hujan dan banyak jenis makrofungi yang akan mati saat musim kemarau karena kurangnya ketersediaan air.

Di Afrika tropis, terdapat banyak spesies makrofungi ditemukan pada musim hujan, namun terdapat pula yang ditemukan sepanjang tahun. Menurut Proborini (2012) kelimpahan makrofungi pada musim kemarau dan penghujan dapat sangat bervariasi karena perubahan kondisi iklim yang sangat mempengaruhi pertumbuhan fungi. Di musim hujan, kelembaban substrat dan udara lebih tinggi daripada di musim kemarau, yang mempercepat perkembangan spora fungi. Sedangkan pada musim kemarau, spora fungi akan tetap dorman hingga musim penghujan. Spora fungi yang dorman akan berkecambah dengan air yang cukup, yang kemudian akan membentuk badan buah.

Menurut Tampubolon (2010), jenis makrofungi yang terdapat pada musim kemarau hanya mewakili populasi sisa yang bertahan hidup hingga akhir musim kemarau. Fungi ini biasanya fungi tua yang hampir atau bahkan busuk, dan ada juga fungi muda yang sudah mengering. Banyak dari spesies makrofungi ini hidup sendiri, dan hanya sedikit dari mereka yang hidup dalam kelompok kecil dalam koloni. Makrofungi dewasa yang sedang dalam tahap reproduksi biasanya jarang ditemukan karena lebih rentan rusak atau mati karena kekeringan. Kondisi ini menjadi salah satu faktor penyebab menumpuknya serasah pada saat musim kemarau. Pada musim kemarau, makrofungi yang bertahan hidup lebih sedikit daripada serasah yang perlu disebarkan. Berhubungan pula dengan kondisi lingkungan yang tidak kondusif bagi pertumbuhan dan perkembangan. Sehingga, makrofungi

tersebut tidak dapat menjalankan fungsinya secara optimal dalam penguraian serasah.

6.4. Keanekaragaman dan Kelimpahan Makrofungi

Menurut Gandjar dkk. (2016), dalam bukunya yang berjudul Mikologi Dasar dan Terapan, kelompok fungi yang memiliki tubuh buah makro dinamakan cendawan. Cendawan ini sebagian besar berasal dari kelompok Basidiomycota. Sedangkan masyarakat umum sering menyebutnya dengan istilah jamur. Fungi dari kelompok Basidiomycota mempunyai jumlah persebaran sebanyak 25.000 spesies. Di Indonesia sendiri, keanekaragaman makrofungi yang memiliki manfaat di bidang kesehatan ataupun pangan belum banyak dilaporkan.

Masyarakat lokal terutama di daerah pegunungan banyak yang mencari fungi yang tumbuh alami di hutan. Dari hasil penelitian Suharno dkk. (2014) di daerah Jayawijaya, terdapat 62 spesies yang berasal dari 19 famili dan 29 genus, didominasi oleh fungi dari famili Polyporaceae yakni ditemukan 14 spesies. Dari hasil penelitiannya juga, didapat 49 jenis fungi yang tumbuh alami di hutan dapat dikonsumsi oleh masyarakat. Begitupun dengan hasil penelitian Khayati dan Warsito (2018), banyak warga di Manokwari mencari makrofungi yang tumbuh alami di hutan untuk dijual di pasar tradisional. Fungi-fungi tersebut diantaranya *Pleurotus pulmonalis*, *Pleurotus ostreatus* dan *Volvariella* sp. Pada penelitiannya tersebut, didapat 34 jenis makrofungi dari 2 divisi yaitu 15 famili dari Basidiomycota dan 2 famili dari Ascomycota. Dengan 3 spesies dari divisi Ascomycota dan 31 spesies makrofungi dari divisi Basidiomycota. Dengan demikian, spesies makrofungi didominasi dari divisi Basidiomycota.

Pada umumnya, Basidiomycota terdiri dari anggota yang berukuran makro, tetapi terdapat pula yang berukuran mikro. Basidiomycota mikro ialah basidiomycota dengan basidiokarp (tubuh buah) halus dan kecil, umumnya merupakan patogen pada tanaman. Basidiomycota makro ialah Basidiomycota yang mempunyai basidiokarp besar sehingga dapat dilihat langsung tanpa alat bantu mikroskop.

Dari hasil penelitian Noverita dkk. (2017), mengenai keanekaragaman makrofungi yang dilakukan di Kawasan Cagar Alam Lembah Anai dan Cagar Alam Batang Palupuh Sumatera ditemukan 112 jenis makrofungi. Makrofungi tersebut terdiri dari 63 spesies di kawasan Cagar Alam Lembah Anai dan 58 spesies ditemukan di Kawasan Cagar Alam Batang Palupuh. Makrofungi yang ditemukan ini didominasi dari ordo Aphylloporales, diantaranya fungi *Cymatoderma* sp., *Trametes* sp., *Microporus* sp., *Polyporus* sp., *Ganoderma* sp., *Heterobasidionannosum*, *Fomitopsis* sp., *Rigidoporus* sp., dan *Amauroderma rugosum*. Sedangkan makrofungi dari divisi Ascomycota hanya ditemukan 3 spesies saja, yakni *Cookeina* sp., *Cookeina tricoloma* dan *Daldinia concentrica*. Dari kelompok Basidiomycota, dikelompokkan menjadi 15 famili dengan Polyporaceae mendominasi sebanyak 18% dari jumlah total yang ditemukan.

Berdasarkan hasil observasi yang dilakukan oleh Christita dkk. (2017) di Obyek Ekowisata Kaki Dian Gunung Klabat Minahasa Utara, ditemukan juga makrofungi dari kelompok Basidiomycota dan Ascomycota sebanyak 61 jenis. Dari divisi Ascomycota ditemukan tiga famili yakni Morchellaceae, Xylariaceae dan Sacoscyphaceae, sedangkan dari divisi Basidiomycota didapat 20 jenis famili yang didominasi oleh makrofungi ordo Agaricales. Ordo Agaricales termasuk ordo yang banyak tumbuh di hutan-hutan tropis. Hal ini juga dibuktikan dengan hasil penelitian Arini dan Christita (2016),

yang melakukan penelitian di Cagar Alam Gunung Ambang tentang keanekaragaman makrofungi. Dari hasil penelitiannya ini, didapat 26 jenis makrofungi yang didominasi oleh fungi dari ordo Agaricales. Sedangkan dari kelompok Ascomycota didominasi oleh famili Xylariaceae dengan jumlah jenis fungi yang ditemukan sebanyak 7 spesies. Hasil penelitian Christita dkk. (2017), sebanyak 92% makrofungi hidup di kayu lapuk dan batang pohon dan sisanya sebanyak 8% terdapat pada serasah atau tanah dengan 56 jenis makrofungi tumbuh pada batang pohon dan 5 jenis tumbuh di serasah atau tanah. Makrofungi yang terdapat di tanah meliputi *Entoloma* sp., *Parasola leiocephala*, *P. Plicatilis*, *Hypholoma* sp., dan *Morchella* sp..

Selanjutnya hasil penelitian Purwanto dkk. (2017), didapat 20 spesies, akan tetapi hanya 17 spesies yang teridentifikasi. Identifikasi dilakukan dengan mencocokkan bentuk morfologi bilah (lamella), tudung (pileus) dan tangkai (stipe). Dari divisi Ascomycota teridentifikasi 2 jenis yaitu *Gyromitra infula* dan *Cookeina sulcipes*. Divisi Basidiomycota ditemukan 15 jenis yang dibagi ke dalam 6 Ordo yaitu Agriales, Homobasidiomycetes, Tremellales, Boletales, Polyporales dan Auriculariales dan 9 Famili yang didominasi dari Ordo Polyporales.

Penelitian terbaru oleh Rudianti dan Khoerunnisa (2020) di kawasan Taman Hutan Raya Ir. H. Djuanda Bandung, menunjukkan keanekaragaman makrofungi. Hasil penelitian menunjukkan pada musim kemarau didapat 8 spesies makrofungi yang terdiri dari 3 ordo, 4 famili dan 7 genus. Pada musim hujan, ditemukan 1 spesies dari divisi Ascomycota, divisi Basidiomycota 73 spesies yang terdiri dari 8 ordo, 22 famili, dan 47 genus. Indeks kelimpahan relatif tertinggi pada musim kemarau adalah *Microporus* sp. sebesar 35% dan pada musim hujan yaitu *Mycena adscendens* sebesar 22,6%. *Trametes* sp., *Marasmius* spp., bermanfaat di bidang medis. *Russula*

sp., *Mycena* spp., *Gymnopus* spp., bermanfaat bagi ekologi. *Lycoperdon* sp dan *Auricularia* sp. adalah jamur edibel. Dari genus tersebut beberapa spesiesnya memiliki potensi dalam bidang pangan, industri, pertanian, ektomikoriza, farmasi, dekomposer dan ada yang beracun.

Bab 7

Metodologi Penelitian Makrofungi

Makrofungi merupakan organisme kosmopolitan yang bisa ditemukan di berbagai relung ekologi, mulai dari hutan alami maupun ekosistem buatan manusia seperti hutan wisata. Informasi mengenai keanekaragaman makrofungi ini masih didominasi dari laporan peneliti di negara empat musim. Pendataan yang dilakukan oleh LIPI (2019) hingga tahun 2017, spesies fungi di Indonesia yang tercatat baru sebanyak 2.273 spesies atau sekitar 0,15% dari jumlah spesies yang ada di dunia. Hal ini mengindikasikan bahwa eksplorasi dan pengkoleksian keragaman makrofungi perlu dilakukan dengan melibatkan berbagai pihak (peneliti dan penggiat makrofungi) terutama di hutan-hutan tropis yang ada di Indonesia.

Keberadaan makrofungi sangat berlimpah di muka bumi, namun masih banyak spesies makrofungi yang belum teridentifikasi. Hal ini menjadi sebuah keharusan bagi peneliti untuk memastikan makhluk hidup tetap lestari, sehingga perlu dilakukan inventarisasi terhadap makrofungi. Inventarisasi adalah kegiatan untuk mencatat atau mengumpulkan data. Kegiatan ini merupakan pengukuran sebagian atau seluruh objek penelitian pada suatu kawasan untuk mengetahui ciri dan nilai kelimpahan suatu objek pada kawasan tersebut. Kurangnya data dan informasi kelompok tumbuhan di suatu daerah dapat berpengaruh pada kurang optimalnya pemanfaatan potensi tumbuhan. Terdapat beberapa kelompok makrofungi yang kaya akan manfaat namun kurang mendapat perhatian dan sering disalahartikan sebagai fungi yang merugikan karena kurangnya data dan informasi keberadaannya.

Metode penelitian terhadap makrofungi dapat dilakukan melalui tahapan berikut:

7.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan beberapa cara, diantaranya:

a. Eksplorasi

Teknik eksplorasi (jelajah) yaitu dengan menelusuri kawasan yang sudah ditentukan jalur jelajah. Pengumpulan data fungi terwakili secara acak artinya pengambilan sampel tersebut dilakukan sepanjang jalur jelajah. Eksplorasi dapat memberikan informasi mengenai jenis-jenis isolat cendawan selanjutnya dapat diuji potensi kemampuan. Sehubungan dengan beberapa pendapat para ahli, pengambilan sampel dengan metode eksplorasi merupakan cara terbaik untuk melakukan penjelajahan, dengan tujuan konservasi fungi, mengetahui fungsi ekologis fungi di hutan dan memperoleh pengetahuan tentang makrofungi.

Hal-hal yang dilakukan selama eksplorasi yaitu pengambilan gambar (dokumentasi) setiap bagiannya pada posisi awal. Selanjutnya dilakukan pencatatan karakteristik pada fungi yang meliputi morfologi, yaitu warna tubuh, permukaan tudung, ukuran, bentuk tudung, ada tidaknya tangkai serta habitat yang meliputi jenis substrat dan melakukan pengukuran faktor fisik yang meliputi kelembaban, intensitas cahaya, suhu, dan keasaman (pH). Selanjutnya fungi dimasukkan ke dalam plastik ziplock yang sudah ditambahkan campuran pengawet FAA CuSO₄, diberi label dan disimpan dengan susunan fungi dari yang keras hingga paling lunak.

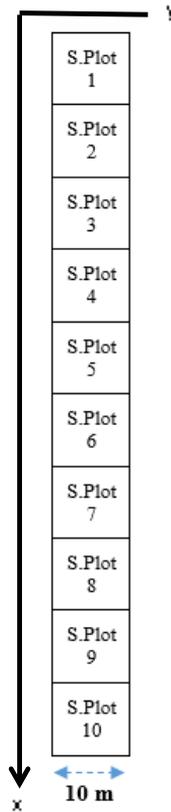
b. Line Transek

Metode line transek dilakukan pada suatu petak, contoh di mana seorang pengamat berjalan sepanjang garis transek dan mencatat setiap data yang dibutuhkan. Metode ini bertujuan untuk mengetahui perubahan komunitas yang ada, yaitu hubungan perubahan vegetasi dan perubahan lingkungan, atau untuk mengetahui jenis vegetasi yang ada di suatu lahan secara cepat. Dalam menggunakan metode ini, lebar atau luas lokasi pengamat tidak langsung ditetapkan. Seorang pengamat dapat mencatat setiap jenis fungi yang teramati walau sejauh apapun jarak sesuai dengan kemampuan jarak pandang masing-masing pengamat.

Penggunaan line transek terdapat asumsi-asumsi yang harus diperhatikan, yaitu tidak ada sampel makrofungi yang terhitung dua kali (*double counting*), satu spesies atau kelompok fungi yang berbeda satu sama lainnya serta rusak atau tidaknya morfologi makrofungi tersebut.

Petak yang dibuat dalam metode ini diambil dari line transek yang telah ditentukan. Petak contoh dapat ditarik lurus garis dengan arah memanjang dinyatakan sebagai sumbu x, dan arah melebar dinyatakan sebagai sumbu y. Ukuran panjang adalah 100 m dengan lebar 10 m menggunakan tali rafia. Pada line transek tersebut dibuat subplot berukuran 10 x 10 m² sebanyak 10 plot.

Berikut contoh gambar petak pada line transek :



Gambar 18 Plot Pengamatan Line Transek

(Sumber: Solihat, 2020)

Adapun teknik yang dapat dilakukan yaitu:

- Purposive sampling

Teknik purposive sampling yaitu dengan mengambil sample berdasarkan kriteria-kriteria tertentu di lapangan yang terfokus pada tujuan penelitian. Kriteria tersebut meliputi suhu, pH tanah, kelembapan udara, ketinggian dan tutupan tajuk. Penelitian dapat dilakukan dengan mengamati bentuk tubuh buah, ukuran, warna,

tekstur, sifat hidup (individu atau berkelompok), jumlah individu atau jumlah kelompok, dan substrat tumbuh.

- **Deskriptif Kualitatif**

Penelitian deskriptif kualitatif dilakukan dengan cara mengamati objek, mencatat berdasarkan ciri-ciri dan morfologi pada objek kajian. Kemudian jenis penelitian ini menggunakan latar alamiah yang dimaksudkan untuk menafsirkan fenomena yang terjadi serta dilakukan dengan melibatkan berbagai metode.

7.2. Faktor Lingkungan

Pengukuran faktor lingkungan dilakukan dengan mencatat tempat tumbuh, suhu dan kelembaban udara menggunakan hygrometer, ketinggian menggunakan GPS (bujur dan lintang), intensitas cahaya menggunakan lux meter, derajat keasaman (pH), tutupan tajuk, serta kelembaban tanah menggunakan soil meter.

7.3. Pembuatan Herbarium Sampel

Pembuatan herbarium terbagi kedalam dua jenis yaitu herbarium kering dan basah. Herbarium kering dilakukan untuk sampel fungi yang teksturnya kenyal dan keras, dengan cara mengeringkan sampel pada oven suhu 50°C atau dapat langsung dijemur dengan terik matahari, kemudian dimasukkan ke dalam wadah atau kantong. Sedangkan untuk makrofungi yang memiliki tekstur lunak dan mudah hancur digunakan herbarium basah.

Proses pengawetan pada herbarium basah menurut Liswara (2012) menggunakan larutan, diantaranya:

- Asam asetat (5 mL)
- CuSO₄ (2 g)
- formalin 4% (10 mL)
- alkohol 70% (50 mL)
- aquades (35 mL)

Herbarium yang dibuat dapat berupa herbarium basah dan herbarium kering, kemudian diberi label atau identitas sementara pada bagian luar botol atau kantong yang digunakan. Identitas yang tercantum pada bagian luar botol dan luar kantong menurut Noverita dan Ilmi (2020) meliputi nomor koleksi, nama kolektor, nama lokal atau daerah, nama latin, sifat hidup, habitat, ciri spesifik dan lokasi ditemukannya spesimen.

7.4. Identifikasi jenis Makrofungi

Tubuh buah suatu jenis fungi dapat berbeda dengan jenis fungi lainnya yang ditunjukkan dengan adanya perbedaan tudung (pileus), tangkai (stipe), lamella (gills), cawan (volva), serta bagian lainnya pada tubuh buah menggunakan lup mikroskop. Adanya perbedaan ukuran, warna, serta bentuk dari pileus dan stipe merupakan ciri penting dalam melakukan identifikasi suatu jenis fungi. Identifikasi fungi dilakukan berdasarkan data dari hasil pengamatan lapangan dan hasil pengamatan laboratorium, berupa sifat (parasit, saprofit), keberadaan tumbuh (individu atau berkoloni), substrat (kayu, ranting hidup atau mati, serasah, tanah), bentuk tubuh buah, warna, tekstur dan ciri-ciri spesifik lainnya.

Identifikasi sampel makrofungi dicocokkan melalui buku literatur maupun cara lainnya, yaitu:

- Buku *Guide to Mushrooms* oleh Pacioni (1994),
- Buku *How to Identify Mushroom to Genus I, II dan III: Macroscopic Features* oleh Largent (1973),
- Buku *Pengantar Mikologi* oleh Alexopoulos (1996),
- Buku *Edible and Poisonous Mushroom of The World* oleh Hall et al (2003),
- Literatur lain seperti aplikasi, website dan jurnal resmi : fungi bolets, mycoweb dan skripsi ataupun jurnal terkait.
- Pengecekan status konservasi dan invasif menggunakan website IUCN, ISSG dan CABI.
- Studi literatur maupun wawancara terhadap pihak terkait, untuk mengetahui potensi yang ada pada setiap sampel.

7.5. Analisis Data

Semua jenis makrofungi yang ditemukan melalui pencarian fakta dengan interpretasi yang tepat dilakukan melalui pengamatan, pencatatan, identifikasi serta dokumentasi di lapangan. Hal-hal yang dideskripsikan berhubungan dengan makrofungi yang telah ditemukan di lokasi penelitian seperti suhu, kelembaban tanah, kelembaban udara serta kegunaan fungi tersebut oleh masyarakat. Hal ini dilakukan untuk mengetahui potensi serta status konservasi dari makrofungi yang ditemukan.

a. Indeks Kelimpahan

Kelimpahan merupakan jumlah individu per satuan volume atau per satuan luas. Kelimpahan dihitung menurut Brower dan Zar (1997) menggunakan rumus:

$$N = \frac{\sum n}{A}$$

Dimana:

N = Kelimpahan Individu (individu/m²)

$\sum n$ = Jumlah individu yang diperoleh tiap plot

A = Luas daerah pengamatan (m²)

b. Indeks Keanekaragaman

Menurut Ariyanto dkk (2017), Indeks Keanekaragaman bisa dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$H' = -\sum(Pi \times \ln Pi) \quad \text{dimana} \quad Pi = \frac{Ni}{N}$$

Dimana :

H' = Indeks keanekaragaman jenis

Pi = Kelimpahan Relatif

Ni = Jumlah individu jenis ke-1

N = Jumlah individu semua jenis

Nilai H' atau indeks keanekaragaman berkisar antara 1,50 - 3,50 dengan kriteria berikut :

< 1,50 : Keanekaragaman rendah

1,50 - 3,50 : Keanekaragaman sedang

> 3,50 : Keanekaragaman tinggi

c. Indeks Kemerataan

Rumus yang digunakan untuk menentukan indeks kemerataan distribusi individu dalam jenis sebagai berikut:

$$e = \frac{H'}{\ln S}$$

Dimana :

e : Indeks kemerataan / keseragaman

H' : Indeks keanekaragaman

S : Jumlah total spesies (n1, n2, n3....)

Ln : Logaritma natural

Adapun kriterianya adalah sebagai berikut :

e < 0,40 : Kemerataan rendah

e 0,40 - 0,60 : Kemerataan sedang

e > 0,60 : Kemerataan tinggi

Bab 8

Metode Identifikasi Makrofungi

Hingga tahun 2021, data resmi fungi jenis baru, jumlah jenis, pemanfaatan dan data kepunahan pada makrofungi belum diidentifikasi. Namun tingkat penurunan keanekaragaman jenis makrofungi terus berjalan seiring waktu, hal ini akan berdampak pada banyaknya spesies fungi yang belum teridentifikasi.

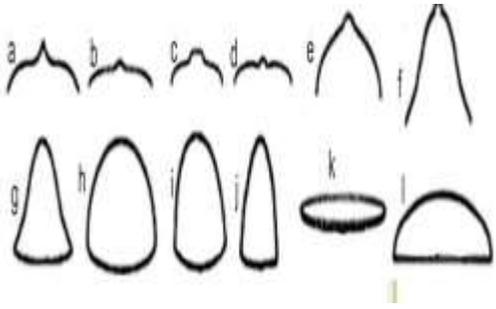
Identifikasi merupakan suatu kegiatan mencari, menemukan, mengumpulkan, meneliti, mendaftarkan, mencatat data dan informasi dari sebuah kebutuhan lapangan. Kebutuhan secara intensitas dapat dikategorikan ke dalam dua macam yaitu kebutuhan yang sifatnya mendesak dan kebutuhan terduga yang sifatnya tidak mendesak. Dua metode pendekatan umum yang biasa digunakan dalam mengidentifikasi fungi yaitu secara molekuler dan morfologi. Metode pendekatan identifikasi secara morfologi ini dibagi menjadi dua cara yaitu secara makroskopik dan secara mikroskopik.

Identifikasi morfologi secara makroskopik dilakukan dengan melihat karakteristik morfologi fungi. Bentuk fungi secara makro memiliki tangkai, akar semu, cawan, tudung, cincin dan bilah. Cincin pada fungi tidak terdapat pada setiap spesies, sehingga dapat dijadikan sebagai kunci identifikasi hingga tingkat genus. Hasil identifikasi morfologi kemudian dicocokkan dengan buku panduan fungi. Sedangkan identifikasi morfologi secara mikroskopik dilakukan dengan cara menyayat bagian terkecil dari fungi tersebut untuk melihat warna miselium dan keberadaan hifa yang berseptata dan hifa tak berseptata. Adapun metode pendekatan identifikasi secara

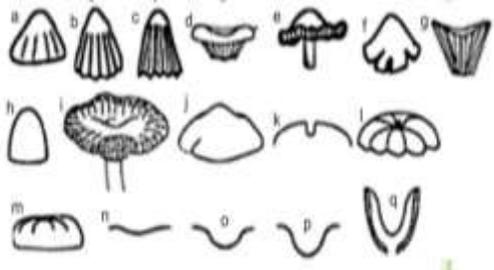
molekuler sering menjadi pilihan kedua dikarenakan biayanya yang cukup besar untuk proses ekstraksi DNA, sekuensing hingga pembuatan pohon filogenetik.

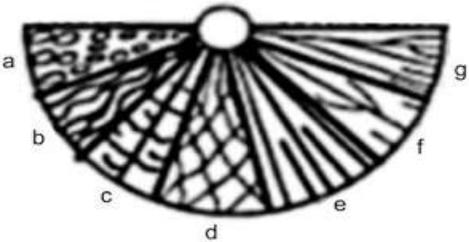
Berikut beberapa gambar pengamatan makroskopis pada makrofungi:

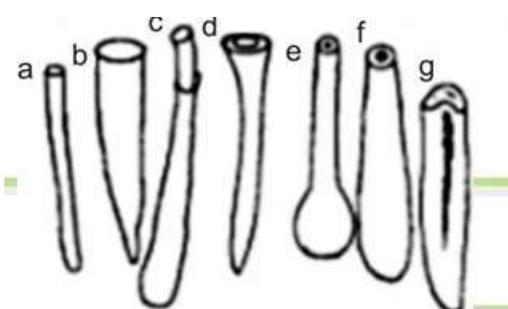
Tabel 2 Morfologi Makrofungi

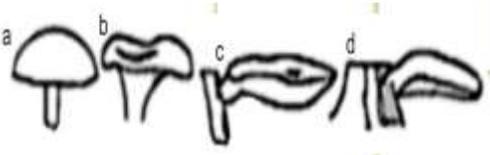
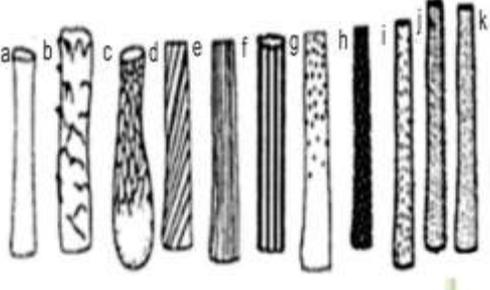
Morfologi	Keterangan
<p data-bbox="285 591 550 624">1. Bentuk Tudung</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="761 591 1085 678">a. Cuspidate (berpuncak runcing) <li data-bbox="761 716 1085 803">b. Plane W / slight umbo (sedikit menonjol) <li data-bbox="761 842 1126 929">c. Plane W / flattened umbo (tonjolan rata) <li data-bbox="761 967 1007 1054">d. Plane / papillate (berpapila) <li data-bbox="761 1093 1092 1180">e. Mammilate / pappilate (berpapila cembung) <li data-bbox="761 1219 1116 1306">f. Campanulate (berbentuk lonceng) <li data-bbox="761 1344 1146 1431">g. Convex / hemispheric (cembung / setengah bulat) <li data-bbox="761 1470 1048 1557">h. Broadly parabolioic (berbentuk parabola) <li data-bbox="761 1595 1144 1682">i. small parabolioic (parabola kecil)

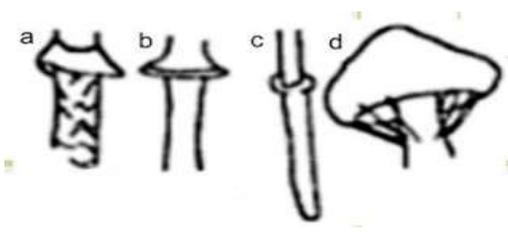
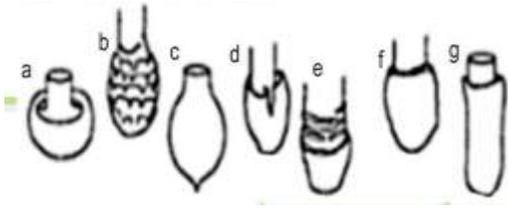
	<p>j. Conic (berbentuk kerucut)</p> <p>k. Plane (lebar)</p> <p>l. Broadly convex (cembung melebar)</p>
<p>2. Permukaan Tudung</p> 	<p>a. Smooth (halus)</p> <p>b. Velvutious (berbulu sangat rapat)</p> <p>c. Villose (berbulu panjang)</p> <p>d. Minutely / pubescent (berbulu jarang / berbulu rapat)</p> <p>e. Radially fibrillose (berfibri)</p> <p>f. Tessellated / netted (berbentuk jaring)</p> <p>g. Areolate / cracked (berbercak)</p> <p>h. Innately scaley / squamulose (berduri)</p> <p>i. Squamose scales (bersisik kasar)</p> <p>j. Pruinose / granular (berlapis butiran)</p> <p>k. Warty / scurfy (berbutir)</p>

	<p>kasar / berbutir halus)</p> <p>l. Rugose / rugulose (berkerut)</p> <p>m. Scrobiculate (berlekuk)</p>
<p>3. Tepi Tudung</p> 	<p>a. Translucent striate (bergaris halus)</p> <p>b. Sulcate striate (bergaris melengkung)</p> <p>c. Plicate striate (bergaris runcing)</p> <p>d. With rolled margin (dengan tepi bergulung kedalam)</p> <p>e. Undulating (tepi menggulung keluar)</p> <p>f. Rimos (tepi terbelah)</p> <p>g. Cekung tidak bergaris</p> <p>h. Not striate smooth (halus tidak bergaris)</p> <p>i. Tuberculate striate (bergulung keluar dan bergaris)</p> <p>j. Umbonate (berlekuk)</p> <p>k. Umbilicate (pucuk cekung)</p>

	<ul style="list-style-type: none"> l. Papilla (berpapila) m. Slightly (sedikit berlekuk) n. Depressed (tepi berlekuk) o. Moderately indented (agak cekung) p. Deeply indented (cekung dalam) q. Infundibuliform (berbentuk U)
<p style="text-align: center;">4. Lamella/ Bilah</p>  <p>The diagram shows a semi-circular lamella with a central attachment point. It is divided into seven sections labeled a through g, each illustrating a different venation pattern: a (poroid), b (crisp), c (interveinose), d (anastomosed), e (regular), f (back forked), and g (margin stipe).</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Poroid (berpori) b. Crisped (beralu) c. Intervenose (bergaris melintang) d. Anastomosed (bersilangan) e. Regular (teratur / tertata) f. Back forked (bercabang dari tepi) g. Margin stipe (bercabang ke tepi)
<p style="text-align: center;">5. Perlekatan Bilah</p>  <p>The diagram illustrates eight different ways a leaf blade can be attached to the stem, labeled a through h: a (free), b (adnaxed), c (adnate), d (adnate with tooth), e (adnate with tooth), f (adnate with tooth), g (adnate with tooth), and h (adnate with tooth).</p>	<ul style="list-style-type: none"> a. Free (tidak menempel) b. Adnaxed (menempel) c. Adnate (menempel lurus) d. Adnate with tooth (menempel dengan tepi)

	<p>bergigi)</p> <p>e. Decurrent / Attached toodllar (seperti payung)</p> <p>f. Sinuate (menempel dengan pangkal berlekuk)</p> <p>g. Arcuate (menempel sampai dasar)</p>
<p>6. Bentuk Tangkai</p> 	<p>a. Equal (berukuran sama dari pangkal sampai ujung)</p> <p>b. Solid (kuat / meruncing pada bagian dasar)</p> <p>c. Tapered at base at apex (meruncing pada bagian pangkal dan ujung)</p> <p>d. Flared (berbentuk obor dengan rongga)</p> <p>e. Bulbous base (berdasar bulat)</p> <p>f. Clavate (bagian dasar membulat)</p> <p>g. Compressed (tidak berbentuk bulat)</p>

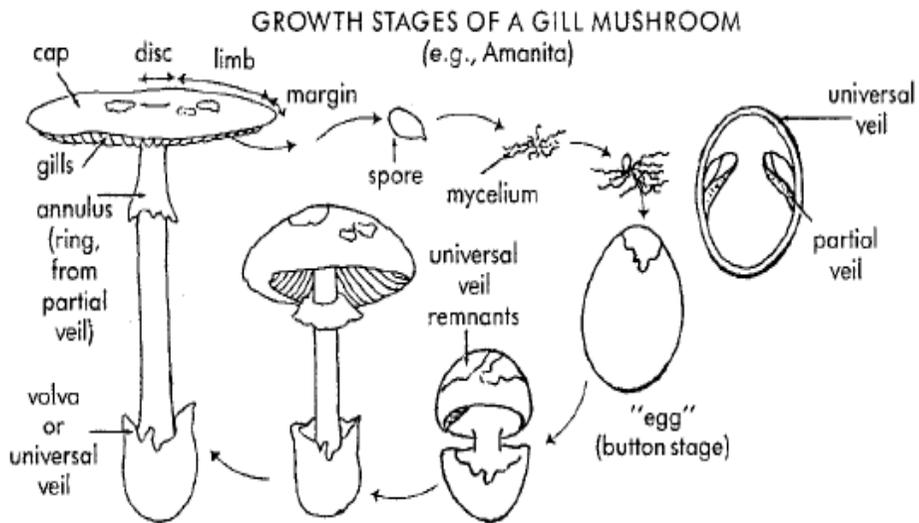
<p>7. Letak Tangkai</p> 	<ul style="list-style-type: none"> a. Central (pusat / tengah) b. Eccentric (eksentrik) c. Lateral (lateral) d. Sessil (tepi)
<p>8. Permukaan Tangkai</p> 	<ul style="list-style-type: none"> a. Smooth (halus) b. Squamulose (bersisik kasar) c. Reticulated (bersisik halus) d. Twisted (melingkar) e. Fibrillose (berfibril / bergaris halus) f. Costate (berusuk / bergari) g. Glandular dotted (kelenjar dan bertitik - titik) h. Pruinose (seluruh permukaan berbutir) i. Strigose (berduri jarang) j. Pubescent (berbutir kasar) k. Minutely (berbutir sangat halus)

<p style="text-align: center;">9. Annulus/ Cincin</p> 	<ul style="list-style-type: none"> a. Single edged membranous (membrane tunggal) b. Double edged membranous (membrane gnada) c. Upturned (terbalik) d. Cortina (berselaput)
<p style="text-align: center;">10. Dasar Tangkai</p> 	<ul style="list-style-type: none"> a. Marginate depressed (tepi menggulug kedalam) b. Scaly (bersisik) c. Napiform (tidak ada selubung tetapi bagian dasar membulat) d. Saccate (memiliki kantong) e. Concentric ringed (cincin esentrik) f. Circumsessile (memiliki sesil melingkar) g. Sheathing (terselubung)

Sebagian besar pengamatan dimulai dengan pileus dan bergerak ke bawah melalui lamella atau tabung, stipe dan akhirnya ke semua veil yang ada. Pencatatan informasi perlu dilakukan penyertaan data pada semua tahap perkembangan yang tersedia, seperti warna, perubahan warna, konsistensi, keberadaan lateks. Prosedur untuk mempelajari makrofungi yang tidak

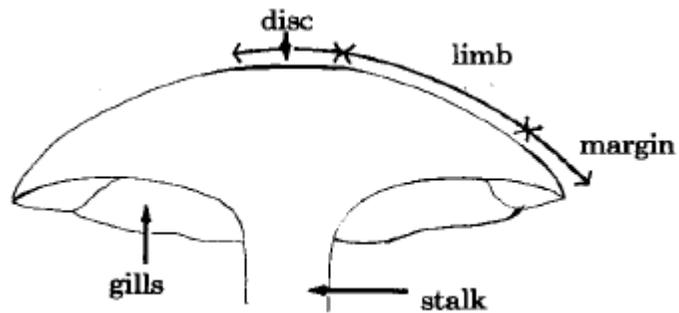
memiliki lamela atau stipe, seperti pada puffballs, akan sedikit berbeda dan perlu ahli untuk perinciannya.

Pengamatan bentuk tubuh buah dan ukuran seperti pada contoh berikut.



Gambar 19 Pengamatan Fungi

(Sumber: McKnight dan H Kent, 2006)



Gambar 20 Pengukuran Fungi

(Sumber: McKnight dan H Kent, 2006)

Identifikasi fungi dapat dilakukan berdasarkan morfologi spora, berdasarkan Samsi, dkk. (2017) bahwa identifikasi spora meliputi warna dan bentuk spora.

- a. Warna spora, dapat menggunakan standar colour chart yang umum digunakan, diantaranya yaitu kuning, kuning kehijauan, coklat, coklat kemerahan dan coklat hitam.
- b. Bentuk spora, secara umum berbentuk bulat, oval dan oblong.

Berbeda halnya dengan warna pada tubuh buah fungi, terkadang menjadi ciri utama dalam identifikasi, dapat berubah. Pigmen dalam tubuh buah sangat tergantung pada lingkungan di mana mereka tumbuh. Hal ini dikarenakan tubuh buah fungi mudah teroksidasi dengan udara dan memberi warna, jika tubuh buah berwarna merah, pecah atau tergores, tubuh buah bervariasi menurut spesiesnya, beberapa spesies memiliki tekstur halus, mudah rusak akibat benturan, berair, berpori, rapuh.

Bab 9

Peranan Makrofungi

Kekayaan makrofungi di dunia, khususnya di Indonesia memiliki potensi yang besar bagi masyarakat dalam berbagai bidang. Kebanyakan masyarakat beranggapan bahwa fungi berwarna putih dan berdaging tebal bisa dikonsumsi. Namun, seringkali fungi yang beracun dan yang dapat dikonsumsi sulit dibedakan oleh masyarakat umum, sehingga dapat menyebabkan keracunan atau bahkan kematian. Untuk memastikan suatu makrofungi dapat dikonsumsi atau beracun, harus dilakukan pengujian lebih dalam yang meliputi identifikasi secara mikroskopis dan molekuler untuk mengetahui spesiesnya dan pengujian fitokimia untuk mengetahui kandungan yang terdapat di dalam makrofungi tersebut.

Berikut beberapa contoh spesies makrofungi yang berpotensi di berbagai bidang :

Tabel 3 Potensi Makrofungi

No	Genus	Potensi	Contoh Spesies
1	<i>Amanita</i>	Beracun	<i>Amanita fulva</i> <i>Amanita bisporigera</i> <i>Amanita phalloides</i>
2	<i>Auricularia</i>	Pangan	<i>Auricularia auricula</i>
		Farmasi	<i>Auricularia delicata</i>
3	<i>Baeospora</i>	Dekomposer	<i>Baeospora myosura</i>

4	<i>Bjerkandera</i>	Industri	<i>Bjerkandera adusta</i>
5	<i>Bolbitius</i>	Pangan	<i>Bolbitius titubans</i>
6	<i>Caulorhiza</i>	Dekomposer	<i>Caulorhiza umbonata</i>
7	<i>Chrysomphalina</i>	Dekomposer	<i>Chrysomphalina aurantiaca</i>
8	<i>Clavogaster</i>	Dekomposer	<i>Clavogaster virescens</i>
9	<i>Coprinellus</i>	Farmasi	<i>Coprinellus disseminatus</i>
10	<i>Coprinopsis</i>	Beracun	<i>Coprinopsis nivea</i> , <i>Coprinopsis piccacea</i>
11	<i>Crepidotus</i>	Beracun	<i>Crepidotus mollis</i>
12	<i>Cryptoporus</i>	Farmasi	<i>Cryptoporus volvatus</i> (antivirus influenza)
13	<i>Cuphophyllus</i>	Pangan	<i>Cuphophyllus virgineus</i>
14	<i>Cymatoderma</i>	Farmasi	<i>Cymatoderma elegans</i>
15	<i>Daedaleopsis</i>	Industri	<i>Daedaleopsis confragosa</i>
16	<i>Favolaschia</i>	Dekomposer	<i>Favolaschiagaillardii</i>
17	<i>Fistulina</i>	Pangan	<i>Fistulina hepatica</i>
18	<i>Geastrum</i>	Ektomikoriza	<i>Geastrum saccatum</i>
19	<i>Geopyxis</i>	Ektomikoriza	<i>Geopyxis carbonaria</i>
20	<i>Gerronema</i>	Dekomposer	<i>Gerronema strombodes</i>
21	<i>Gymnopus</i>	Dekomposer	<i>Gymnopus brassicolens</i> <i>Gymnopus luxurians</i>

		Beracun	<i>Gymnopus dryophilus</i>
22	<i>Hexagonia</i>	Pangan	<i>Hexagonia tenuis</i>
23	<i>Ischnoderma</i>	Farmasi	<i>Ischnoderma resinosum</i>
		Industri	
24	<i>Irpex</i>	Dekomposer	<i>Irpex lacteus</i>
25	<i>Lactarius</i>	Pangan	<i>Lactarius deliciosus</i>
		Ektomikoriza	<i>Lactarius rufulus</i> (pada pohon ek)
		Farmasi	<i>Lactarius torminosus</i>
26	<i>Lentinus</i>	Farmasi	<i>Lentinus tigrinus</i> (Anti oksidan)
27	<i>Lepiota</i>	Pangan	<i>Lepiota cristata</i> <i>Lepiota rubrotinctoides</i>
		Beracun	<i>Lepiota magnisora</i>
28	<i>Leucocoprinus</i>	Dekomposer	<i>Leucocoprinus cepistipes</i>
29	<i>Leucopholiota</i>	Pangan	<i>Leucopholiota decorosa</i>
30	<i>Lycoperdon</i>	Pangan	<i>Lycoperdon perlatum</i>
31	<i>Macrolepiota</i>	Pangan	<i>Macrolepiota clelandii</i>
32	<i>Marasmiellus</i>	Dekomposer	<i>Marasmiellus candidus</i>
33	<i>Marasmius</i>	Farmasi	<i>Marasmius fulvoferrugineus</i> (antibiotik)

		Pangan	<i>Marasmius oreades</i>
		Dekomposer	<i>Marasmius plicatulus</i>
34	<i>Mycena</i>	Dekomposer	<i>Mycena acicula</i> <i>Mycena capillaripes</i> <i>Mycena corticola</i>
		Farmasi	<i>Mycena haematopus</i> (antimikroba)
		Pertanian	<i>Mycena pura</i> (fungisida)
35	<i>Panaeolina</i>	Farmasi	<i>Panaeolina foenisecii</i> (anti depresan)
36	<i>Parasola</i>	Dekomposer	<i>Parasola plicatilis</i>
37	<i>Phellinus</i>	Dekomposer	<i>Phellinus linteus</i> <i>Phellinus gilvus</i>
38	<i>Pleurotus</i>	Pangan	<i>Pleurotus pulmonalis</i> <i>Pleurotus ostreatus</i>
39	<i>Plicaturopsis</i>	Dekomposer	<i>Plicaturopsis crispa</i>
40	<i>Psathyrella</i>	Pangan	<i>Psathyrella candoleana</i>
		Dekomposer	<i>Psathyrella corrugis</i> <i>Psathyrella longipes</i>
41	<i>Psilocybe</i>	Farmasi	<i>Psilocybe cubensis</i> (halusinogen)

42	<i>Pycnoporus</i>	Dekomposer	<i>Pycnoporus sanguineus</i>
43	<i>Rhodocollybia</i>	Pangan	<i>Rhodocollybia butyracea</i>
44	<i>Russula</i>	Dekomposer	<i>Russula emetica</i>
45	<i>Schizophyllum</i>	Pangan	<i>Schizophyllum commune</i>
46	<i>Scleroderma</i>	Ektomikoriza	<i>Scleroderma cepa</i>
47	<i>Scytinotus</i>	Dekomposer	<i>Scytinotus longinquus</i>
48	<i>Stereum</i>	Dekomposer	<i>Stereum hirsutum</i>
		Farmasi	<i>Stereum ostreata</i>
49	<i>Tetrapyrgos</i>	Dekomposer	<i>Tetrapyrgos nigripes</i>
50	<i>Trametes</i>	Pertanian	<i>Trametes cubensis</i> (pengendali hama)
		Farmasi, industri	<i>Trametes versicolor</i>
51	<i>Tubaria</i>	Farmasi	<i>Tubaria furfuracea</i> (anti kanker)
52	<i>Tyromyces</i>	Farmasi	<i>Tyromyces chioneus</i> (anti HIV)

Peranan makrofungi dapat dikategorikan ke dalam berbagai bidang sebagai berikut:

9.1. Bidang Industri

Makrofungi dapat mendegradasi pewarna dari tekstil dan kertas karena dapat memproduksi enzim ligniselulose dalam jumlah yang cukup banyak. Hal ini dapat mengurangi limbah zat pewarna dan dapat dimanfaatkan sebagai pemutih alami. Menurut Dinatha dkk. (2013), fungi *Daedaleopsis confragosa* dapat mendegradasi limbah pencelupan tekstil. Dalam waktu 9 hari, *Daedaleopsis confragosa* dapat menurunkan konsentrasi warna sebesar 81,05 %, TSS sebesar 20,21 %, COD sebesar 85,17 % dan BOD sebesar 74,09 %.

Berdasarkan Singh dan Eltis (2015) serta Kadri dkk. (2017), bahwa spesies *Bjerkandera adusta* juga dapat menghasilkan enzim yang dapat mendegradasi hidrokarbon aromatik polisiklik, seperti yang digunakan dalam pewarna tekstil sintetik, sehingga ada potensi dapat dimanfaatkan untuk bioremediasi.

Fungi dapat juga dijadikan perhiasan atau souvenir, salah satunya adalah fungi *M. xanthopus* dari famili Polyporaceae. Fungi ini biasa digunakan sebagai hiasan bunga atau sebagai hiasan tambahan souvenir (Wahyudi, 2016).

9.2. Bidang Pertanian

Sekitar 90% dari semua tanaman membentuk hubungan simbiosis fungi mikoriza dengan membentuk jaringan hifa. Melalui mikoriza tanaman memperoleh terutama fosfat dan mineral lainnya, seperti seng dan tembaga, dari tanah. Fungi memperoleh nutrisi, seperti

gula, dari akar tanaman. Hubungan yang saling menguntungkan ini disebut jaringan mikoriza.

Kemampuan fungi untuk menghasilkan berbagai macam enzim ekstraseluler, mereka mampu memecah semua jenis bahan organik, menguraikan komponen tanah dan dengan demikian mengatur keseimbangan karbon dan nutrisi untuk menjaga kesehatan tanah. Hal ini memungkinkan fungi untuk menjembatani kesenjangan dalam tanah untuk mengangkut nutrisi pada jarak yang relatif jauh untuk kembali ke tanaman. Tanah adalah sumber utama pertumbuhan fungi, dan berhubungan dengan akar semua spesies tanaman. Fungi menghasilkan berbagai macam metabolit bioaktif, yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman. Selain itu, fungi menyediakan nutrisi anorganik untuk tanaman, seperti amonium, nitrat, dan fosfat dan mereka digunakan sebagai pupuk hayati.

Berdasarkan Bennett dan Klich (2003), Richard (2007), dan Turner dkk. (2009), bahwa fungi dengan spesies *Mycena pura* dapat digunakan sebagai fungisida karena mengandung asam puraquinonic, seskiterpen yang mirip dengan sel makrofag. *Mycena pura* juga mengandung mycotoxin muscarine yang dapat membunuh hama, dan strobilurin yang merupakan metabolit antifungal.

9.3. Bidang Pangan

Masyarakat Indonesia umumnya mengenal fungi yang sudah dibudidayakan dan banyak dijual di pasar. Makrofungi yang dapat dimakan memiliki tubuh buah, tidak beracun, dan memiliki nilai gizi. Makrofungi dianggap sebagai makanan bergizi tinggi yang mengandung protein, asam amino, vitamin B, C dan D, serat, lipid,

gula, glikogen dan kandungan mineral penting (Ca, P, K), yang penting untuk fungsi normal tubuh manusia.

Beberapa fungi yang ditemui di alam Indonesia adalah jenis anggota *Lactarius*, *Russula*, dan *Cantharellus* biasa dikonsumsi oleh masyarakat. Dalam perkembangannya, masyarakat Indonesia juga mengenal fungi-fungi yang berbadan buah, baik fungi asli Indonesia (*Volvariella volvacea*) maupun yang berasal dari budidaya luar, seperti *Agaricus bisporus* dari Eropa, *Pleurotus ostreatus* dari China, dan *Lentinus edodes* dari Jepang dan masih banyak macam fungi yang dapat dikonsumsi oleh masyarakat. Menurut laporan Bappenas (2016) jenis fungi lain yang bisa dimakan sebanyak 51 jenis fungi dari kelompok fungi Basidiomycota dan Ascomycota. Sebagai bahan makanan, fungi juga digunakan sebagai mata uang asing dan diekspor ke berbagai negara.

Berdasarkan Suryani, dkk., (2020) menjelaskan bahwa fungi dapat menghasilkan enzim tertentu terhadap bahan-bahan yang tidak dapat dicerna oleh manusia seperti selulosa, hemiselulosa dan polimer-polimernya menjadi gula sederhana atau turunan-turunannya. Enzim adalah protein yang dihasilkan oleh sel hidup yang berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat suatu reaksi. Enzim dapat dihasilkan oleh suatu mikroorganisme diantaranya oleh beberapa jenis fungi. Jumlah yang dihasilkan dan diekskresikan ke dalam medium memungkinkan untuk mengumpulkan enzim tersebut serta memekatkan untuk penerapan dalam industri. Beberapa diantara enzim ini ialah pektinase, invertase, amylase dan protease.

Enzim amilase dapat menghidrolisis pati menjadi dextrin dan gula, dan digunakan untuk membuat lem dan bahan perekat,

melepaskan perekat dari tekstil, menjernihkan sari buah, membuat bahan-bahan farmasi dan lain-lain. Invertase menghidrolisis sukrosa menjadi campuran glukosa dan levulosa dan banyak digunakan dalam pembuatan gula-gula dan sirup yang tidak dapat dikristalkan dari sukrosa. Protease digunakan terhadap kulit untuk memperhalus tekstur dan uratnya, perekat, pembuatan bir, dan digunakan bersama sabun untuk mencuci pakaian. Pektinase digunakan untuk menjernihkan sari buah dan juga menghidrolisis pektin dalam batang tanaman rami guna membebaskan serat-serat selulosa untuk membuat kain linen dan karung goni.

Beberapa contoh jenis fungi penghasil enzim :

1. Spesies *Saccharomyces italicum*

Class : Ascomycota

Sub Class : Hemiascomycota

Ordo : Endomycetales

Famili : Saccharomycetaceae

Spesies ini digunakan untuk fermentasi gula dengan memproduksi CO₂ dan alkohol dan juga merupakan sumber vitamin. Enzim intraseluler yang dihasilkannya adalah maltase dan glukosidase. Sintesis tersebut diinduksi oleh maltosa dan ditahan oleh glukosa. Untuk memperbaiki produksi maltase oleh *Saccharomyces italicum* maka manipulasi lingkungan terhadap rata-rata pertumbuhan, kelompok makanan dan kultur yang kontinyu dapat dilakukan untuk pengaturan sintesis enzim. Karbon membatasi frekuensi rangsangan pertumbuhan produksi katabolik penahan enzim.

2. Spesies *Volvariella volvacea*

Class : Basidiomycota

Sub Class : Eubasidiomycota

Ordo : Agaricales

Famili : Agaricaceae

Volvariella volvacea disebut sebagai fungi merang, fungi padi atau fungi cina. Fungi ini banyak dibudidayakan. Tubuh buahnya basidiocarp yang mengandung gelatin, dan ada yang berguna untuk makanan. Basidiospora dibentuk di dalam basidium dan dikeluarkan sebelum tua. *Volvariella volvacea* dapat tumbuh pada suhu 25-40°C, dan pertumbuhan maksimum pada suhu 37°C. Fungi ini menghasilkan enzim protease dan dapat diisolasi pada cawan petri dengan media skim milk agar. Pada percobaan yang telah dilakukan ternyata *Volvariella volvacea* adalah organisme yang miskin lignoselulolitik. Dengan kata lain jumlah produksi dari enzim selulose dan lignase yang dihasilkan fungi ini hanya sedikit.

3. Spesies *Lipomyces cononenkoae*

Class : Ascomycota

Sub Class : Hemiascomycota

Ordo : Endomycetales

Famili : Saccharomycetaceae

Lipomyces cononenkoae merupakan ragi yang menghasilkan suatu enzim extraseluler yaitu isomilase yang memungkinkan tumbuh pada tepung dengan hasil biomasa yang tinggi. Isomilase ragi mempertinggi amilolisis dari amilopektin dan glicogen, dan

menghidrolisis substrat-substrat ini menjadi maltose, ketika digabungkan dengan amilase, namun tidak bekerja pada dextran atau pullulan.

4. Spesies *Agaricus bisporus*.

Class : Basidiomycota

Sub Class : Holobasidiomycota

Ordo : Agaricales

Famili : Agaricaceae

Fungi ini merupakan fungi yang paling populer sebagai makanan di Negara barat. Species *Agaricus bisporus* dari *Agaricus* umumnya beracun bagi beberapa orang yang sensitive, juga menghasilkan laccase extraseluler. Produksi extraseluler laccase merupakan suatu ciri yang umum dari beberapa fungi Basidiomycota yang lebih tinggi, terutama dihubungkan dengan kebusukan kayu atau tahap akhir dekomposisi serasah daun. Selain itu fungi ini juga menghasilkan endoselulose extraseluler. Produksi endoselulose extraseluler ini ternyata bersamaan dengan pertumbuhan miselium dari fungi ini. Fungi ini dikulturkan pada media yang mengandung mikrokristalin cellulose. Beberapa fungi Basidiomycota yang lebih tinggi yang menghancurkan kayu, menghasilkan satu atau lebih extraselules selulase.

9.4. Bidang Medis

Sifat obat dari makrofungi (terutama milik Basidiomycota) telah dikenal sejak lama dan digunakan. Dalam pengobatan tradisional, penggunaan berbagai jenis ekstrak fungi menunjukkan aktivitas imunostimulan, anti-inflamasi dan antikanker berasal dari Jepang kuno,

Cina dan negara-negara lain dari Timur Jauh. Di banyak negara maju (Amerika Serikat, Israel), pencapaian ilmiah dari wilayah ini digunakan untuk menerapkan metode terapi komplementer. Fungi yang diketahui berkhasiat sebagai obat adalah fungi maitake (*Grifola frondosa*), yang dapat mencegah tumor dan kanker. Selain itu, terdapat beberapa spesies fungi yang dapat dimanfaatkan sebagai obat-obatan, seperti Lingzhi (*Ganoderma lucidum*) diketahui sebagai obat anti-kanker. Beberapa jenis *Cordyceps* juga dimanfaatkan sebagai bahan obat yang mengatur sistem kekebalan tubuh, antitumor atau menghambat sel tumor, dan penyakit jantung. Penelitian Chan PM, dkk., (2015) menemukan bahwa *A. regosum* digunakan oleh orang Cina untuk mengurangi peradangan, sakit perut dan mencegah kanker.

Berikut beberapa peranan makrofungi dalam bidang medis :

1. Antikanker

Fungi adalah sumber aplikasi baru yang luas dan masih belum sepenuhnya digunakan dalam farmakologi dan kedokteran. Beberapa zat yang paling dikenal hadir dalam fungi yang menunjukkan sifat farmakologis (terutama antikanker) adalah polisakarida. Polisakarida atau kompleks polisakarida-protein yang ada dalam fungi telah menarik perhatian para peneliti karena diyakini dapat menghambat pertumbuhan tumor sehingga meningkatkan kemampuan organisme untuk mempertahankan diri, potensi pertahanan inang atau pengubah respon biologis. Tahun 1970-an dan 1980-an, beberapa polisakarida antikanker diisolasi dan diketahui mengandung senyawa kompleks lentinian, schizophyllan dan polisakarida-protein (PSK, PSP) yang diperoleh dari *Lentinus edodes*, *Schizophyllum commune* dan *Trametes versicolor* yang sangat populer di negara-negara Timur Jauh.

Polisakarida yang aktif secara biologis dapat ditemukan tidak hanya pada perikarp, tetapi juga pada miselium (kultur murni), sklerot atau filtrat. Banyak polisakarida fungi ditemukan dalam bentuk glukukan dengan berbagai jenis koneksi glikosid, beberapa heteroglikan nyata sementara yang lain masih terhubung ke protein. Polisakarida fungi dengan sifat antikanker tampaknya terhubung ke dinding sel, dibangun dari kitin, selulosa (1→3, 1→6)-β-glukan dan (1→3)-α glukan atau kompleks polisakarida-protein seperti galactomann protein dan protein glukomannan. Namun, sifat antikanker tidak ditemukan pada kitin.

Tampaknya peran penting dalam aktivitas senyawa dimainkan oleh jenis ikatan glikosida. Senyawa -glukan yang terutama mengandung ikatan (1→6) memiliki aktivitas yang lebih rendah dalam memerangi sel kanker, serupa dengan yang memiliki berat molekul lebih rendah. Selanjutnya, biomakromolekul ini memiliki kemampuan untuk mencegah karsinogenesis dan metastasis tumor. Polisakarida dapat mengaktifkan sel-sel kekebalan dengan merangsang pembelahan limfosit dan makrofag dan sintesis sitokin (termasuk interleukin, interferon dan imunoglobulin yang ditujukan untuk melawan antigen kanker.

2. Antioksidan

Berdasarkan penelitian Putri dan Mutiara (2015), fungi tiram putih seringkali mengandung bahan antioksidan yang tinggi dan dapat menjadi senyawa pelindung hati. Komponen tersebut adalah senyawa fenolik, ergothionein (ERG), vitamin C dan vitamin E. Senyawa tersebut dapat mencegah stres oksidatif dengan cara membuat kompleks elektron tidak berpasangan dengan radikal bebas dan mempengaruhi faktor transkripsi selama sintesis antioksidan endogen

dalam tubuh yaitu glutathione (GSH) dan enzim pro-antioksidan lainnya seperti katalase (CAT), superoksida dismutase (SOD), dan glutathione peroksidase (GPx).

3. Vitamin

Vitamin adalah nutrisi penting dalam tubuh manusia seperti metabolisme, kekebalan, dan pencernaan. Fungi merupakan sumber vitamin yang baik, terutama kelompok B, yaitu tiamin (vitamin B1), riboflavin (vitamin B2), piridoksin (vitamin B6), asam pantotenat (vitamin B5), asam nikotinat/niasin dan amidanya yang bernama nikotinamida (vitamin B3), asam folat (vitamin B9), dan cobalamin (vitamin B12). Vitamin lain, seperti biotin (vitamin B8), tokoferol (vitamin E), dan ergosterol, prekursor vitamin D2.

Spesies fungi seperti *Boletus edulis* memiliki kandungan kelompok Vit B yang tinggi. *Pleurotus ostreatus* mengandung jumlah tinggi folacine (vitamin B9), dan vitamin B1 dan B3. *Lentinula edodes* dan *Boletus edulis* memiliki kandungan vitamin D yang tinggi. Vitamin D yang paling umum dalam fungi adalah vitamin D2, yang juga dapat ditemukan dalam sayuran dan dapat digunakan sebagai suplemen makanan untuk vegetarian. Vitamin D4, 22-dihydroergocalciferol, juga dapat ditemukan di beberapa fungi (agaric, morel, chanterelle), tetapi dalam jumlah kecil. Vitamin D telah disarankan untuk memiliki beberapa aplikasi terapeutik dalam pengobatan beberapa penyakit. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa uji klinis telah dilakukan untuk menyelidiki nilai terapeutik vitamin D pada penyakit hiperproliferatif, hiperparatiroidisme sekunder, multiple sclerosis, rheumatoid arthritis, diabetes tipe I, lupus eritematosus sistemik, dan berbagai penyakit. Vitamin D juga

membantu menjaga sistem kekebalan tubuh yang sehat dengan memberi sinyal pada sel-sel kekebalan dan meningkatkan kemampuan mereka untuk memetabolisme 25(OH)D3 menjadi bentuk aktifnya 1,25(OH)2D3.

9.5. Ektomikoriza

Kelompok fungi Basidiomycota banyak masuk kedalam kategori adalah EMF (Ectomycorizal Fungi). *Geopyxis carbonaria* telah terbukti mampu membentuk ektomikoriza dengan cemara Norwegia (*Picea abies*) dan memiliki interaksi biotrofik dengan *Pinus contorta*. Hifa *Geopyxis carbonaria* mampu menginfeksi korteks bibit pohon, tetapi tidak menembus endodermis, sehingga sangat memungkinkan dapat membentuk hubungan timbal balik yang baik dengan akar tumbuhan. *Lactarius rufulus* juga dapat membentuk ektomikoriza yang sering dijumpai pada pohon ek. Dicirikan oleh selubung eksternal yang mengelilingi akar kecil pohon ek. Dengan begitu, fungi mendapat karbohidrat dari produk sampingan fotosintesis tanaman, dan fungi dapat membantu memperluas penyerapan nutrisi pada tanah.



Gambar 21 Ektomikoriza *Lactarius rufulus*

(Sumber: Wood, 2020)

Mikoriza merupakan bentuk simbiosis mutualisme antara fungi dengan akar tumbuhan. Simbiosis ini dapat terjadi hampir pada semua jenis tanaman. Mikoriza berperan dalam meningkatkan penyerapan unsur hara yang ada di tanah seperti P, N, K, Zn, Mg, Cu, dan Ca yang dibutuhkan oleh tumbuhan. Fungi mendapat keuntungan berupa fotosintat sebagai sumber karbon, sedangkan tanaman inang memperoleh berbagai nutrisi, air, proteksi biologis dan lain-lain, Asosiasi mutualistik ini merupakan interaksi antara tanaman inang, cendawan dan faktor tanah. Mikoriza dapat berasosiasi dengan 80 – 90 % jenis tanaman yang tersebar di daerah artik sampai ke daerah tropis dan dari daerah bergurun pasir sampai ke hutan.

9.6. Dekomposer

Fungi merupakan salah satu dari beberapa organisme yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan dan kelestarian alam. Dari sudut pandang ekologi, fungi memainkan peran penting dalam menjaga ekosistem hutan. Fungi berperan sebagai dekomposer, sehingga mendukung proses dekomposisi di hutan. Fungi membantu menyuburkan tanah dengan menyediakan nutrisi bagi tanaman sehingga hutan dapat tumbuh subur. Menurut Aryani (2013), fungi ini bekerja sama dengan bakteri dan berbagai jenis protozoa sebagai dekomposer sehingga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap proses dekomposisi zat organik guna mempercepat siklus materi di ekosistem hutan.

Kelompok makrofungi memiliki dampak signifikan pada jaring-jaring makanan di hutan, kelangsungan hidup atau perkecambahan pohon muda. Basidiomycota adalah kelompok utama organisme yang

mendegradasi lignoselulosa karena dapat menghasilkan enzim sehingga siklus materi dapat berlanjut di alam.

Pada dasarnya makrofungi merupakan organisme dekomposer karena hifa dapat mengeluarkan enzim ekstraseluler yang dapat mendegradasi lignin, selulosa, hemiselulosa, protein menjadi mikromolekul yang akan diserap oleh makrofungi tersebut. Hal ini dibuktikan pada kondisi lantai hutan saat musim kemarau hanya ditumbuhi beberapa fungi saja dan pada musim hujan jauh lebih banyak ditumbuhi fungi. Pada saat musim kemarau, serasah dilantai hutan sangat tebal, akan tetapi saat memasuki musim hujan serasahnya sudah mulai menipis karena terdekomposisi oleh mikroorganisme dan makroorganisme termasuk makrofungi. Menurut Santosa dkk. (2013), makrofungi sebagai dekomposer sangat bermanfaat dalam proses dekomposisi bahan organik di dalam ekosistem. Selain itu, makrofungi juga berperan penting dalam siklus hara dan biogeokimia tanah.

9.7. Fungi Beracun

Untuk membedakan jenis fungi beracun dan tidak sampai saat ini masih berdasarkan kepada bentuk, sifat dan keadaannya tapi masih juga sukar untuk membedakannya jika hanya memperhatikan hal-hal tersebut. Walaupun demikian ada beberapa patokan yang bisa dijadikan pegangan, antara lain:

1. Jenis fungi beracun pada umumnya mempunyai warna mencolok, merah darah, hitam legam, biru tua ataupun warna lainnya. Walaupun ada juga jenis beracun yang mempunyai warna terang (kuning muda) atau putih sekali pun.

2. Jenis fungi beracun dapat menghasilkan bau yang menusuk hidung (H_2S) ataupun bau amoniak.
3. Jenis fungi beracun mempunyai cincin atau cawan. Walaupun ada yang sebaliknya, seperti fungi merang mempunyai cawan dan fungi kompos (mushroom) mempunyai cincin.
4. Jenis fungi beracun umumnya tumbuh pada tempat-tempat yang kotor, tempat pembuangan sampah, kotoran kandang dan sebagainya.
5. Bila fungi tersebut dikerat pisau dari perak maka akan terbentuk warna hitam atau biru.
6. Cepat berubah warna jika di masak atau di panaskan.

Senyawa racun yang umumnya didapatkan pada jenis-jenis fungi beracun diantaranya adalah :

1. Kholin, yaitu racun yang paling berbahaya dan daya bunuhnya sangat kuat. Senyawa ini dimiliki oleh Amanita, Lepiota dan sebagainya.
2. Muskarin juga merupakan senyawa yang berbahaya, hanya dengan dosis 0,003-0,005 gram sudah dapat mematikan manusia.
3. Falin, Atropin, dan Asam Helvelat

Berikut beberapa jenis fungi beracun dan aspeknya :

1. Aspergillus flavus

Aspergillus flavus termasuk dalam class Ascomycota dan di seluruh dunia terutama di daerah tropik dan subtropik karena kelembabannya. Fungi ini memproduksi suatu zat yang disebut aflatoksin penyakitnya disebut aflatoksikosis. Menurut hasil penelitian

di Jawa Barat aflatoksikosis, banyak terdapat pada itik dan manusia. Pada hewan dan manusia aflatoxin dapat mengakibatkan kanker hati karena tersumbatnya pembuluh vena hepatica yang bersamaan dengan terjadinya proliferasi pada saluran empedu. Hal ini mungkin terjadi karena fungi *Aspergillus flavus* ini banyak mencemari bahan-bahan makanan seperti bungkil kacang tanah, bungkil kelapa, jagung dan tepung kedelai. Gejala klinik yang nampak adalah lemah, tidak ada nafsu makan, kurus, dan lumpuh yang disusul kemudian dengan kematian.

2. *Amanita phalloides* (Tudung Kematian)

Bersama dengan sejumlah fungi dari kelompok Basidiomycota lainnya, mengandung senyawa yang dikenal sebagai toksin protoplasma yang mampu menyebabkan degenerasi beberapa organ tubuh yang penting. Secara klinis racun *Amanita* belum diketahui secara pasti sifat-sifat dan cara kerja racunnya. Paling sedikit 10 jenis toxin protoplasma telah dapat diekstraksi dari badan buah *Amanita phalloides* yang dapat dibagi menjadi 2 kelompok yaitu phalloxin dan Amatoxin. Keduanya berhubungan secara kimiawi. Yang termasuk ke dalam phalloxin adalah phalloidin dan phalloxin sedangkan yang termasuk ke dalam Amatoxin adalah amanitin.

Akumulasi phalloidin dapat menyerang membran plasma dari sel hati dan mengganggu kemampuan sel-sel ini untuk mengontrol pergerakan ion-ion. Juga dapat mengganggu membran sel lain, dapat menyebabkan organel melepaskan enzim ke dalam sitoplasma dan sel mulai mencerna diri sendiri sehingga akhirnya hancur. Bila dimasukkan dalam saluran darah pada hewan percobaan dengan alat injeksi interaperitonia akibatnya cepat terlihat.

Amanitin menyebabkan pengurangan sel-sel pada perut dan beberapa daerah usus dan bisa menimbulkan gejala awal gastro intestinal. Kerusakan yang lebih besar lagi dapat terjadi bila racun ini mencapai hati dan ginjal melalui saluran darah. Dalam waktu beberapa menit sel-sel di daerah tersebut diserang dan inti sel mulai pecah sehingga hati dan ginjal kehilangan fungsinya.

3. *Claviceps purpurea*

Claviceps purpurea adalah species pembentuk sklerotium yang menyebabkan penyakit yang disebut ergot yang umum ditemukan pada rumput-rumputan liar atau yang dibudidayakan, tapi sering terjadi pada gandum. Ergot dapat menyerang lebih dari 200 spesies rumput-rumputan pada daerah-daerah panas di seluruh dunia. Parasit tersebut menyerang bunga-bunga rumput. Pada akhir musim panas bunga yang diserang mudah dikenal sebagai sklerotia ini jatuh ke tanah dan tetap disitu sampai mereka berkecambah pada musim semi. Selama perkecambahan setiap ergot menyebabkan tangkai yang kurus dengan ujung kepala yang kecil.

Pada rumput-rumputan yang dipanen, ergot dapat mengurangi hasil panen bukan saja secara langsung tapi juga secara tidak langsung melalui pemandulan. Tingkat kemandulan pada individu yang ditanam dapat mencapai 20%. Selain itu ergot juga dapat menimbulkan penyakit pada hewan dan manusia yang dikenal sebagai Ergotisme.

Bila hewan ternak memakan ergot dalam dosis yang cukup tinggi dapat menyebabkan regenerasi sel pada ujung arteri kecil sehingga jaringan-jaringan pada telinga ekor dan kaki menjadi mati. Ergot juga dapat mengakibatkan keguguran. Ergot dapat masuk ke tubuh hewan

melalui hewan-hewan yang sedang merumput atau ketika hasil panen disimpan ergot jatuh ke tanah dan termakan hewan.

Penelitian menunjukkan dapat menimbulkan 3 gejala yaitu :

- Diare, sakit perut dan muntah-muntah.
- Ada perubahan sirkulasi karena penurunan diameter pembuluh darah terutama yang mensuplai anggota badan.
- Gejala neurologi yang ditandai dengan sakit kepala, kejang dan gangguan psikotik.

Ergot mengandung sejumlah besar senyawa organik kompleks yang disebut Ergolin alkaloid. Dua diantaranya yaitu Ergotamin dan Ergonitin menyerang otot jaringan dan dua lainnya yaitu Ergokristin dan Ergokristinin menyerang sistem saraf simpatik. Spektrum gejala tergantung pada jumlah ergot yang masuk ke dalam tubuh. Struktur molekul beberapa alkaloid Ergot berdasarkan pada asam lisergat yang derivat-derivatnya dikenal sebagai halusinogenik. Selain menyebabkan penyakit derivat, ergot juga dapat memberikan keuntungan bila digunakan secara benar. Pada awal abad XVI diketahui bahwa ergot dapat meningkatkan kontraksi uterus pada waktu melahirkan dan juga mempercepat proses kelahiran. Dewasa ini ergot digunakan untuk mengurangi pendarahan selama percobaan laboratorium migrain.

Daftar Pustaka

- Achmad, M.T., Arlianti, dan Azmi, C. 2011. *Panduan Lengkap Jamur*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Aminah, I. S., & Hawalid, H. (2020). Budidaya Jamur Tiram Putih (*Pluoretus ostreatus*) Sebagai Upaya Perbaikan Gizi Dan Meningkatkan Pendapatan Keluarga. *Altifani. International Journal Of Community Engagement*, 31–35.
- Anggraini, K., Khotimah, S., & Turnip, M. (2015). *Jenis-Jenis Jamur Makroskopis Di Hutan Mas Desa Kawat Kecamatan Tayan Hilir Kabupaten Sanggau*. Fakultas Biologi.
- Anita, S. H., Hermiati, E., & Budi Laksana, R. P. (2016). Pengaruh Perlakuan Pendahuluan Dengan Kultur Campuran Jamur Pelapuk Putih *Phanerochaete cryosporium*, *Pleurotus ostreatus* Dan *Trametes versicolor* Terhadap Kadar Lignin Dan Selulosa Bagas. *Jurnal Selulosa*, 1(02), 81–88. <https://doi.org/10.25269/jsel.v1i02.23>
- Annissa, I., Ekamawanti, Artuti, H., & Wahdina. (2017). Keanekaragaman Jenis Jamur Makroskopis Di Arboretum Sylva Universitas Tanjungpura. *Jurnal Hutan Lestari*, Vol. 5(4)(4), Pp. 969-977.
- Arif, A., Muin, M., Kuswinanti, T., dan Harfiani, V. (2007). Isolasi dan Identifikasi Jamur Kayu dari Hutan Pendidikan Dan Latihan Tabo-Tabo Kecamatan Bungoro Kabupaten Pangkep. *Jurnal Perennial.*, 3(2), 49–54.
- Arini, D. I. D., & Christita, M. (2016). Keanekaragaman Makrofungi Di Cagar Alam Gunung Ambang Sulawesi Utara Dan Peluang Potensinya.

Balai Penelitian dan Pengembangan Lingkungan Hidup dan Kehutanan Manado. *Proceeding Seminar Nasional Biodiversitas VI*. ISBN: 978-979-98109-5-3

Ariyanto, EF., Abadi, AL dan Djauhari. 2013. Keanekaragaman Jamur Endofit Pada Daun Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) Dengan Sistem Pengelolaan Hama Terpadu (Pht) Dan Konvensional Di Desa Bayem, Kecamatan Kasembon, Kabupaten Malang. *Jurnal HPT* . 1(2):37–50.

Aryani, L. (2013). Identifikasi Jamur Makroskopis Di Kebun Raya Bukit Sari Provinsi Jambi. *Jurnal Ilmu Pendidikan Biologi*.

Bahrin, & Muchroji. (2005). *Bertanam Jamur Merang*. Jakarta: PT. Musi Perkasa Utama.

Bappenas. (2016). *Indonesia Biodiversity Startegy and Action Plan (IBSAP) 2012-2020*.

Barbour, G.M., J.K. Burk, dan W.D. Pitts. 1987. *Terrestrial Plant Ecology*. The Benyamin/Cummings Publishing Company, Inc. New York.

Barnes, B.V., Donald, R. Z. (1998). *Forest Ecology*. John-Wiley & Sons INC.

Basidio. (2016). *Basidiomycota*. <https://www.basidio.org/Basidiomycota>. Diakses pada 11 Oktober 2021, pukul 00.12.

Bengtson, S., Rasmussen, B., Ivarsson, M., Muhling, J., Broman, C., Marone, F., Stampanoni, M., & Bekker, A. (2017). Fungus-Like Mycelial Fossils In 2.4-Billion-Year-Old Vesicular Basalt. *Nature Ecology And Evolution*, 1(6).

Bennett, J.W. dan Klich, M. 2003. Mycotoxins. *Review of Clinical Microbiology*. 16 (3): 497–516.

- Berbee, M. L., & Taylor, J. W. (1993). Dating The Evolutionary Radiations Of The True Fungi. *Canadian Journal Of Botany*, 71(8), 1114–1127.
- Bessette, A.R, Bessette, A, dan Harris D.M. 2009. *North American Mushroom Milk:Field Guide for the Lactarius Genus*. Syracuse University Press. Syracuse. Hal. 235. ISBN 0-8156-3229-0.
- Butterfield, N. J. (2005). Probable Proterozoic Fungi. *Paleobiology*, 31(1), 165–182.
- Campbell, N. A., & Reece., J. B. (2008). *Biologi, Edisi Kedelapan Jilid 3*. Jakarta: Erlangga.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., & Mitchell, L. G. (2003). *Biologi. Jilid 2. Edisi. Kelima. Alih Bahasa: Wasmen*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Campbell, N.A., dan Reece, J. B. (2010). *Biologi Jilid 1 : Edisi 8*. Erlangga.
- Carl, Z. (2019). A Billion-Year-Old Fungus May Hold Clues To Life’s Arrival On Land. In *The New York*. [Nytimes.Com/2019/05/22/Science/Fungi-Fossils-Plants.Htm](https://www.nytimes.com/2019/05/22/science/fungi-fossils-plants.html). Diakses pada tanggal 22 April 2020.
- Carlile, M. J. dan S. C. W. (1994). *The Fungi*. Academic Press Ltd.
- Carris, L. M., Little, C. R., & Stiles, C. M. (2012). *Introduction to fungi. The plant health instructor*. Washington State University, Kansas State University, and Georgia Military College.
- Chan PM, Tam YS, Chua KH, Sabaratnam V, dan K. U. (2015). Attenuation of Inflammatory Mediators (TNF- α and Nitric Oxide) and Up-Regulation of IL-10 by Wild and Domesticated Basidiocarp of *Amauroderma regosum* (Blume & T. Nees) Torrend in LPS Stimulated

RAW264.7 Cells. *Jurnal Penelitian. Mushroom Research Centre, Faculty of Science, Faculty of Medicine. University of Malaya.*

Chan, S. T., & Miles, P. G. (2012). *Mushrooms Cultivation, nutritional value, medicina effect, and environmental impact.* (Second edi). CRC Prees.

Chan, S.T. dan Miles P.G. 2004. *Mushrooms Cultivation, nutritional value, medicina effect, and environmental impact.* CRC Prees. Second edition.

Christita, M, Arini, D., Kinho, J., Halawane, J., Kafiar, J., & Diwi, M. (2017). *Jurnal Mikologi Indonesia.* 1(1), 28–37.

Christita, Margaretta, Arini, D. I. D., & Kinho, J. (2019). Keanekaragaman Jenis Jamur Makro dan Peluang Pemanfaatan di Cagar Alam Tangale Provinsi Gorontalo. *Berita Biologi,* 18(1), 109–115. <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v18i1.3379>

Dahana., W. dan K. (2010). *Peluang Usaha dan Budidaya Cabai.* PT. Gramedia Pustaka Utama.

Darnetty. (2006). *Pengantar Mikologi.* Padang: Andalas University Press.

Darwis, Desnaliansif, dan Supriati, R. (2011). Inventarisasi Jamur yang dapat konsumsi dan beracun yang terdapat di Hutan dan sekitar Desa Tanjung Kemuning Kaur Bengkulu. *Jurnal: Konservasi Hayati,* 7(2), 1–8.

Desmiwati, & Surati. (2019). Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea,* 8(2), 125–133.

Dinatha, N.M., Sibarani, J, dan Mahardika, I.G. 2013. Degradasi Limbah Tekstil

- Dwidjoseputro, D. 1978. Pengantar Mikologi. Penerbit Alumni, Bandung.
- Fardiaz, S. (1992). *Mikrobiologi Pangan I*. Gramedia Pustaka Utama.
- Fauzi, R., Hidayat, M. Y., & Saragih, G. S. (2018). Jenis-jenis Jamur Makroskopis di Taman Nasional Kelimutu NTT. *Jurnal WASIAN*, 5(2), 67–78.
- Firdhausi, Nirmala, F., dan Arum, W. M. B. (2018). Inventarisasi Jamur Makroskopis di Kawasan Hutan Mbeji Lereng Gunung Anjasmoro. *Jurnal Biology Science Dan Education*, 7(2), 142–146.
- Gandjar, & Sjamsuridzal. (2006). *Mikologi Dasar dan Terapan*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Gandjar, I., Wellyzar, S., & Ariyanti, O. (2006). *Mikologi Dasar dan Terapan*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Gunawan, A. W. (2001). *Usaha Pembibitan Jamur*. Jakarta: PT. Penebar Swadaya.
- Harti. (2015). *Mikrobiologi Kesehatan*. Yogyakarta: ANDI.
- Hasanuddin. (2014). Jenis Jamur Kayu Makroskopis Sebagai Media Pembelajaran Biologi. *Jurnal Biotik*, 2 (1), 1–76.
- Hasyiati, R. (2019). Keanekaragaman Jenis Jamur Kayu Di Kawasan Pucok Krueng Alue Seulaseh Sebagai Media Ajar Dalam Pembelajaran Biologi di SMA Negeri 3 Aceh Barat Daya. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri ArRaniry.
- Heads, S.W., Miller, A.N., Crane, J.L., Thomas, M.J., Ruffato, M., Methven, A.S., Raudabaugh, D.B., dan Wang, Y. 2017. The Oldest Fossil Mushroom. *PLoS ONE*. 12(6): 1-6.
- Hendritomo, H. (2010). *Jamur Konsumsi Berkhasiat Obat*. Yogyakarta: Lily

Publisher.

Hibbett, D. S., Grimaldi, D., & Donoghue, M. J. (1997). Fossil mushrooms from Miocene and Cretaceous ambers and the evolution of homobasidiomycetes. *American Journal of Botany*, 84(7), 981–991. <https://doi.org/10.2307/2446289>

Hibbett, D. S., Pine, E. M., Langer, E., Langer, G., & Donoghue, M. J. (1997). Evolution of gilled mushrooms and puffballs inferred from ribosomal DNA sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 94(22), 12002–12006. <https://doi.org/10.1073/pnas.94.22.12002>

Hidayat, I. (2012). *Benarkah Indonesia Memiliki Keragaman Jenis Jamur yang Tinggi?* Bogor: Research Center For Biology Cibinong Science Center.

Hidayati., Hidayat, R. M., dan A. (2015). Pemanfaatan Serat Tanda Kosong Kelapa Sawit Sebagai Media Pertumbuhan Jamur Tiram Putih. *Jurnal : Pemanfaatan Serat Tanda Kosong Kelapa Sawit*, 6(2), 73–78.

Hilszczanska, D. 2012. Medicinal Properties of Macrofungi. *Forest Research Papers*. 73(4): 347-353.

Hiola, S. T., & F. (2011). Keanekaragaman Jamur Basidiomycota di Kawasan Gunung Bawakaraeng (Studi Kasus: Kawasan Sekitar Desa Lembanna Kecamatan Tinggi Moncong Kabupaten Gowa). *Bionature*, 12(2), 93–100.

Huffman, D. M., Tiffany, L. H., Knaphus, G., & Healy, R. A. (2018). Mushrooms And Other Fungi Of The Midcontinental United States. In *Mushrooms And Other Fungi Of The Midcontinental United States*.

I. P. Putra., R. Sitompul., & N. C. (2018). Diversity and Potency of Macro

Fungi at Mekarsari Tourist Park West Java. *Al - Kauniah : Journal of Biology*, 11(2), 133–150.

I.P. Putra., M. A. Nasrullah., & T. A. D. (2019). Study on Diversity and Potency of Some Macro Mushroom at Gunung Gede Pangrango National Park. *Buletin Plasma Nutfah*, 25(2), 1. <https://doi.org/10.21082/blpn.v25n2.2019.p1-14>

Indah, N. (2009). *Taksonomi Tumbuhan Tingkat Rendah*. Semarang: Fakultas MIPA IKIP PGRI Jember Jurusan Biologi.

Istiqomah, R. (2017). *Eksplorasi Dan Inventarisasi Jamur Kayu Secara Makroskopis Dan Mikroskopis Di Edupark Universitas Muhammadiyah Surakarta*.

Iswanto. (2009). *Identifikasi Jamur Perusak Kayu*. Universitas Sumatera Utara.

James, T. Y., Kauff, F., Schoch, C. L., Matheny, P. B., Hofstetter, V., Cox, C. J., Celio, G., Gueidan, C., Fraker, E., Miadlikowska, J., Lumbsch, H. T., Rauhut, A., Reeb, V., Arnold, A. E., Amtoft, A., Stajich, J. E., Hosaka, K., Sung, G. H., Johnson, D., ... Vilgalys, R. (2006). Reconstructing The Early Evolution Of Fungi Using A Six-Gene Phylogeny. *Nature*, 443(7113), 818–822.

John, W. R. W. S. W. (2007). *Introduction to Fungi*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kadri, T., Rouissi, T., Kaur, B., Satinder., Cledon, M., Sarma, S., Verma, dan Mausam. 2017. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by fungal enzymes: Reviews. *Journal of Environmental Sciences*. 51: 52–74.

- Kemdikbud, P. (2011). *Ciri-ciri Fungi*. <https://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/sumberbelajar/tampil/Jamur-2011/konten6.html>. Diakses pada 09 Oktober 2021 pukul 07.04.
- Khastini, R.O., Wahyuni, I., Lista, dan Saraswati, I. 2019. Inventory and Utilization of Macrofungi Species for Food in Cikartawana Inner Baduy Banten. *Biodidaktika: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*. 14(1): 7-13.
- Khayati, L, dan Warsito, H. 2018. Keanekaragaman Jamur Makro di Arboretum Inamberi. *Jurnal Mikologi Indonesia*. 2 (1) : 30-38.
- Kim, C. S., Han, S. K., Nam, J. W., Jo, J. W., Kwag, Y. N., Han, J. G., Sung, G. H., Lim, Y. W., & Oh, S. (2017). Fungal communities in a Korean red pine stand, Gwangneung Forest, Korea. *Journal of Asia-Pacific Biodiversity*, 10(4), 559–572. <https://doi.org/10.1016/j.japb.2017.08.002>
- Kirk, P.M., P. F., Cannon, J. C., S. (2001). *Ainsworth and Bisby`s Dictionary of Fungi*. 9th ed. CAB International.
- LIPI. (2019). *Status keanekaragaman hayati Indonesia : kekayaan jenis tumbuhan dan jamur Indonesia* . Ed: Retnowati A .., Rugayah, Rahajoe J. S .., Arifiani D ... LIPI Press.
- Liswara, N. (2012). *Pelatihan Pembuatan Preparat Histologis Dan Pengawetan Spesimen Bagi Guru-Buru Biologi Di Kota Palangka Raya*. Palangka Raya: Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Palangka Raya.
- Loron, C. C., François, C., Rainbird, R. H., Turner, E. C., Borensztajn, S., & Javaux, E. J. (2019). Early Fungi From The Proterozoic Era In Arctic Canada. *Nature*, 570(7760), 232–235.
- Lücking, R., Huhndorf, S., Pfister, D. H., Plata, E. R., & Lumbsch, H. T.

- (2009). Fungi Evolved Right On Track. *Mycologia*, 101(6), 810–822.
- Mahendra, I. (2017). *Inventarisasi Jamur Kelas Basidiomycetes di Hutan Mandahandesa Tumbang Manjul Kecamatan Seruyan Hulu Kabupaten Seruyan* (Jurusan MI).
- Malamassam. (2009). *Modul Pembelajaran Inventarisasi Hutan. Program Studi Kehutanan*. Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Mcknight., H Kent, M. B. V. (2006). A Field Guide To Mushrooms Of North America. In *Choice Reviews Online* (Vol. 44, Issue 02).
- Mediacoid. (2019). *Zygomycota dan Deutrimycota..* <https://materi.co.id/zygomycota/>. Diakses pada 12 Oktober 2021,pukul 09.17.
- Meitini, W. (2012). *Eksplorasi dan Identifikasi Jenis-Jenis Jamur Kelas Basidiomycetes Di Kawasan Bukit Jimbaran Bali*. Jurusan Biologi FMIPA Universitass Udayana.
- Melfiana, S. 2017. Inventarisasi Dan Identifikasi Jenis-Jenis Jamur Di Kawasan Taman Wisata Alam Sicike-Cike Sumatera Utara. *SKRIPSI*. Fakultas Biologi, Universitas Medan Area. Medan.
- Menggunakan Jamur Lapuk Putih *Daedaleopsis Eff. Confragosa*. *Jurnal Bumi Lestari*. 13(2): 288-296
- Moeleng dan Lexy, J. (2016). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. PT Remaja Rosdakarya.
- Molina, R., Pilz, D., Smith, J., Dunham, S., Dreisbach, T., O'Dell, T., & Castellano, M. (2001). Conservation and Management of Forest Fungi in The Pacific Northwestern United States: An Integrated Ecosystem Approach. *Fungal Conservation: Issues and Solutions*, 19–63.

- Muchroji., & A., C. Y. (2004). *Budidaya Jamur Kuping*. Jakarta: PT. Penebar Swadaya.
- Mueller, G. M., Schmit, J. P., Leacock, P. R., Buyck, B., Cifuentes, J., Desjardin, D. E., Halling, R. E., Hjortstam, K., Iturriaga, T., Larsson, K. H., Lodge, D. J., May, T. W., Minter, D., Rajchenberg, M., Redhead, S. A., Ryvarden, L., Trappe, J. M., Watling, R., & Wu, Q. (2007). Global diversity and distribution of macrofungi. *Biodiversity and Conservation*, 16(1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9108-8>
- Myasari, I., Linda, R., & Khotimah, S. (2015). Jenis-Jenis Jamur Basidiomycetes di Hutan Bukit Beluan Kecamatan Hulu Gurung Kabupaten Kapuas Hulu. *Protobiont*, 4(1),22–28. <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jprb/article/view/8711>
- Napitu, J. P., Rahayungtyas, Ekasari, I., Basuki, T., Basori, A. F., Amri, U., dan Kurnia, D. Q. (2007). *Konservasi Satwa Langka*. Universitas Yogyakarta.
- Naranjo-Ortiz, M. A., & Gabaldón, T. (2020). Fungal Evolution: Cellular, Genomic and Metabolic Complexity. *Biological Reviews*, 95(5), 1198–1232.
- Nasiti, E. F., dan Kusumawati, N. (2014). Sistem Informasi Inventarisasi Sarana dan Prasaranan Sekolah. *Jurnal: Sistem Komputer*, 4(2), 43–59.
- Niego, A.G., Rapine, S., Thongklang, N., Raspe, O., Jaidee, W., Lumyong, S., dan Hyde, K.D. 2021. Macrofungi as a Nutraceutical Source: Promising Bioactive Compounds and Market Value. *Journal of Fungi*. 7(397): 1-32.
- Noverita, Armanda, D. P., Matondang, I., Setia, T. M., & Wati, R. (2019).

- Keanekaragaman Dan Potensi Jamur Makro Di Kawasan Suaka Margasatwa Bukit Rimbang Bukit Baling (Smbrbb) Propinsi Riau, Sumatera. *Pro-Life*, 6(1), 26. <https://doi.org/10.33541/pro-life.v6i1.935>
- Noverita, N., & Ilmi, F. (2020). Inventarisasi Dan Potensi Fungi Makro Di Kawasan Taman peNasional Ujung Kulon Banten. *Al-Kauniah: Jurnal Biologi*, 13(1), 63–75. <https://doi.org/10.15408/kauniah.v13i1.12564>.
- Noverita, N., Sinaga, E., & Setia, T. M. (2017). Fungi Makro Berpotensi Pangan dan Obat di Kawasan Cagar Alam Lembah Anai dan Cagar Alam Batang Palupuh Sumatera. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 1.(1), 15. <https://doi.org/https://doi.org/10.46638/jmi.v1i1.10>.
- Nurhalimah, S., Nurhatika, S dan Muhibuddin, A. 2014. Eksplorasi Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) Indigenous Pada Tanah Regosol Di Pamekasan, Madura. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 3(1):2337–3520.
- Nurtjahja, K. dan R. Widhiastuti. 2015. Biodiversitas Cendawan Makroskopik di Taman Wisata Alam Sibolangit dan Sicikeh cikeh, Sumatera Utara. *Prosiding Seminar Nasional Biologi 2011*. Departemen Biologi FMIPA USU. Medan.
- Octavianti, N dan Dini Ermavitalini. 2014. Identifikasi Mikoriza Dari Lahan Desa Poteran, Pulau Poteran, Sumenep Madura. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*. 3(2):53–57.
- Pacioni, G. (1981). *Simon and Schuster`s guide to mushrooms*. New York : Simon and Schuster`s Inc.
- Payangan, R, Y., Gusmiaty, & Restu, M. (2019). Exploration Of Rhizosphere Fungi In Suren Private Forest. *Jurnal Biologi Makassar*, 4(2), 153–160.

- Pousette, A., Larsman, P., Hemlin, S., Kauth, M. R., Sullivan, G., Blevins, D., Cully, J. A., Landes, R. D., Said, Q., Teasdale, T. A., Boasberg, J., The Department of Education, Academy, T., Academy, R., Trakt, S. S., Quinot, G., Liebenberg, S., Miller J, J. (2014).. *Implementation Science*, *39(1)*, 1–15. <https://doi.org/10.4324/9781315853178>
- Prasetyaningsih, A., & Rahardjo, D. (2015). Keanekaragaman Dan Potensi Makrofungi Taman Nasional Gunung Merapi. *The 2nd University Research Coloquium 2015*, 471–481.
- Pratama, B. P. (2017). Inventarisasi Jamur Makroskopis di Cagar Alam Nusakambangan Timur Cilacap Jawa Tengah. *Proceeding Biology Education Conference*, *14(1)*, 79–82.
- Pribady, M. A., Azizah, N., & Suwasono, Y. B. (2018). *Pengaruh Komposisi Media Serbuk Gergaji dan Media Tambahan (Bekatul dan Tepung Jagung) pada Pertumbuhandan Produksi Jamur Tiram Putih (Pleurotus ostreatus) The Effect of Sawdust Composition and Additional Media (Rice Branand Corn Flour) on Growth and*. *6(10)*, 2648–2654.
- Proborini, M. W. (2012). Eksplorasi dan Identifikasi Jenis-Jenis Jamur Kelas Basidiomycetes di Kawasan Bukit Jimbaran Bali. *Jurnal Biologi*, *16(2)*, 45–47.
- Purahong, W., Wubet, T., Krüger, D., & Buscot, F. (2018). Molecular Evidence Strongly Supports Deadwood-Inhabiting Fungi Exhibiting Unexpected Tree Species Preferences In Temperate Forests. *ISME Journal*, *12(1)*, 289–295.
- Purwanto, P.B., Nurzaman, M, dan Yusuf, M. 2017. Inventarisasi Jamur Makroskopis di Cagar Alam Nusakambangan Timur Kabupaten

- Cilacap Jawa Tengah. *Proceeding Biology Education Conference*. 14(1): 79 – 82.
- Putra, I. van P., Mardiyah, E. R. A., Amalia, N. S., & Mountara, A. (2017). Ragam Jamur Asal Serasah dan Tanah di Taman Nasional Ujung Kulon Indonesia Biodiversity of Mushroom from Litter and Soil in Ujung Kulon National Park, Indonesia. *Sumberdaya Hayati*, 3 No.1(December), 1–7. <https://doi.org/10.29244/jsdh.3.1>.
- Putra, IP., Sitompul, R dan Chalisya. 2018. Ragam Dan Potensi Jamur Makro Asal Taman Wisata Mekarsari Jawa Barat. *Al- Kaunyah*. 11(2):133–50.
- Putra, N. (2013). *Metode Penelitian Kualitatif Pendidikan*. Rajawali Grafindo.
- Putri, A., & Mutiara, H. (2015). Potensi Jamur Tiram Putih (*Pleurotus ostreatus*) sebagai Hepatoprotektor. *Medical Profession Journal Of Lampung [MEDULA]*, 4(1), 501–508.
- Rachmi, A., Herkules, M., Sella, S., Oppy, M., dan Zidni, I. N. (2020). Keragaman Jenis Jamur Makroskopis Pada Perkebunan Masyarakat Kampung Lengkong, Kota Langsa. *Prosiding Seminar Nasional Peningkatan Mutu Pendidikan*, 1(1), 266–270.
- Rahma, K., Mahdi, N., & Hidayat, M. (2018). Karakteristik Jamur Makroskopis di Perkebunan Kepala Sawit Kecamatan Meureubo Aceh Barat. *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2018*, 6(1), 157–164. <https://www.jurnal.ar-raniry.ac.id/index.php/PBiotik/article/view/4252>.
- Rahmawati, Linda, R., & Tanti, N. Y. (2017). *Jurnal Mikologi Indonesia*. *Jurnal Mikologi Indonesia*, 1(1), 28–37.

- Redecker, D., & Schüßler, A. (2014). *Glomeromycota*. In: McLaughlin DJ, Spatafora JW, eds. *Mycota VII. Part A. Systematics and Evolution*. (Springer-Verlag, Ed.). New York.
- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, L. E. (2000). Glomalean Fungi From The Ordovician. *Science*, 289(5486), 1920–1921.
- Retnowati, A. (2015). *Lepiota viriditincta* (berk. & broome) sacc.: a species from bali with grey green colour changing when drie d. *Floribunda*, 5(3), 111–113.
- Riastuti, R. D., Susanti, I., & Rahmawati, D. (2018). Eksplorasi Jamur Makroskopis di Perkebunan Kelapa Sawit. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi Dan Sains*, 1(2), 126–135. <https://doi.org/10.31539/bioedusains.v1i2.454>
- Richard, J.L. 2007. Some Mycotoxins and Their Mycotoxsis are Commonly Described. *Int. J. Food Mikrobiol.* 119 (1–2): 3–10.
- Roosheroe, Indrawati Gandjar., Sjamsuridzal, Wellyzar., Oetari, A. (2006). *Mikologi Dasar dan Terapan* (ed. 2). Yayasan Pustaka Obor.
- Santa, D. (2010). *Keanekaragaman Jamur Makroskopis Di Hutan Pendidikan Universitas Sumatera Utara Desa Tongkoh Kabupaten Karo Sumatera Utara*. Program Studi Kehutanan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara.
- Santosa, A. A., Uno, W. D., & S.R.Rahman. (2013). Identifikasi Jamur Makroskopis di Cagar Alam Tenggale Kecamatan Gorontalo. *Skripsi. Universitas Negeri Gorontalo*.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A New Fungal Phylum, The Glomeromycota: Phylogeny And Evolution*
Dedicated To Manfred Kluge (Technische Universität Darmstadt) On The Occasion

- Of His Retirement. *Mycological Research*, 105(12), 1413–1421.
- Simanungkalit, H Astri., Hanafiah, S Asmarlaili., Sabrina, T. (2019). Uji Potensi Beberapa Jenis Jamur Mikoriza Vesikular Arbuskular (MVA) terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung (*Zea mays L.*) di Tanah Inseptisol. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 7 No.1, 213–222. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sinaga, M.S. 2005. *Jamur Merang Dan Budidayanya*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Sinaga, S. (2011). Pengaruh Substitusi Tepung Terigu Dan Jenis Penstabil Dalam Pembuatan Cookies Labu Kuning. [Skripsi]. Universitas Sumatera Utara.
- Singh, R. dan Eltis, L.D. 2015. Multihued pallets of coloring deodorant peroxidase. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 574: 56–65.
- Sofiana, U. R., Sulardiono, B., & Nitisupardjo, M. (2016). Relationship between Organic of Sediment Matter with Infauna Abundance in Different Seagrass Density , Bandengan Beach Jepara. *Management of Aquatic Resources*, 5(3), 135–141.
- Spatafora, J., Chang, Y., Benny, L. and, & Lazarus, K. (2016). Phylum-Level Phylogenetic Classification Of Zygomycete Fungi Based On Genome-Scale Data. *Mycologia*, 108(5), 1028–1046.
- Starr, C., Ralph, T., Christine, E., & Lisa, S. (2012). *Biologi : Kesatuan dan Keragaman MakhluK Hidup*. Salemba Teknika.
- Subowo, Y. B. (1992). Inventarisasi Jamur Kayu di Habema. *Jurnal Penelitian*, 9(6), 793–799.
- Suhaenah, A., & Nuryanti, S. (2017). Skrining Fitokimia Ekstrak Jamur

- Kancing (*Agaricus bisporus*). *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 4(1), 199–204.
- Suharno, S., Irawan, C., Qomariah, E. N., Putri, I. A., & Sufaati, S. (2018). Keragaman Makrofungi di Distrik Warmare Kabupaten Manokwari, Papua Barat. *Jurnal Biologi Papua*, 6(1), 38–46. <https://doi.org/10.31957/jbp.451>
- Suharno, S., Irawan, C., Qomariah, E.N, Putri, I.A, dan Sufaati, S. 2014. Keragaman Makrofungi di Distrik Warmare Kabupaten Manokwari, Papua Barat. *Jurnal Biologi Papua*. 6(1): 38–46.
- Sulastri, M. P., & Basri, H. (2019). Identifikasi Makrofungi Di Taman Wisata Alam Gunung Tunak Kabupaten Lombok Tengah Meilinda. *Jurnal Avesina*, 13(1).
- Sunaryo, Uji, T., Tihurua, E. . (2012). Komposisi Jenis dan Potensi Ancaman Tumbuhan Asing Invasif di Taman Nasional Gunung Halimun-Salak, Jawa Barat. *Berita Biologii*, 11, 2.
- Suryani, Y., dan Taupiqurrahman, O. 2021. *Mikrobiologi Dasar*. LP2M UIN SGD Bandung: Bandung.
- Suryani, Y., Taupiqurrahman, O., dan Kulsum, Y. 2020. *Mikologi*. PT. Freeline Cipta Ganesha: Padang.
- Susan, D., & Retnowati, A. (2017). Catatan Beberapa Jamur Makro Dari Pulau Enggano: Diversitas Dan Potensinya. *Jurnal Ilmu-Ilmu Hayati*, 16(3), 243–256.
- Syafrizal, S. (2014). *Inventarisasi Jamur Makroskopis Di Hutan Adat Kantuk dan Implementasinya Dalam Pembuatan Flipbook*. Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan PMIPA Universitas Tanjungpura.

- Tampubolon, S. D. (2012). *Keanekaragaman Jamur Makroskopis Di Hutan Pendidikan Universitas Sumatera Utara Desa Tongkoh Kabupaten Karo Sumatera Utara*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Tang, X., Mi, F., Zhang, Y., He, X., Cao, Y., Wang, P., Liu, C., Yang, D., Dong, J., Zhang, K., dan Xu, J. 2015. Diversity, Population Genetics, and Evolution of Macrofungi Associated with Animals. *Mycology: An International Journal on Fungal Biology*. 6(2): 94-109.
- Taylor, J. W. (2011). One Fungus = One Name: DNA and fungal nomenclature twenty years after PCR. *IMA Fungus*, 2(2), 113–120. <https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.02.01>
- Taylor, T. N., Krings, M., & Kerp, H. (2006). *Hassella Monospora* Gen. Et Sp. Nov., A Microfungus From The 400 Million Year Old Rhynie Chert. *Mycological Research*, 110(6), 628–632.
- Thines, M. 2018. Oomycota. *Current Biology*. 28: R803-R825.
- Tianara, A., Susan, D., & Sjamsuridzal, W. (2020). New Recorded Species Of Polypore For Indonesia Found In Universitas Indonesia Depok Campus. *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 457, 012010.
- Tortora, 2001. *Mikrobiologi Umum*. UMM Press. Jakarta.
- Turner, N.W., Subrahmanyam, S, dan Piletsky, S.A. 2009. A review: Analytical Methods for Mycotoxin Determination. *Anal Chim.Acta*. 632 (2): 168–80.
- Tyaningsih, S. (2014). Inventarisasi Jamur Makroskopis Di Kawasan Penyangga (Buffer Zone) Perkebunan Kelapa Sawit Kiliran Jao Kecamatan Kamang Baru Kabupaten Sijunjung. *Skripsi*.

- Wahyudi, Eko, A., Linda, R., & Khotimah, S. (2012). Inventarisasi Jamur Makroskopis di Hutan Rawa Gambut Desa Teluk Bakung Kecamatan Sungai Ambawang Kabupaten Kubu Raya. *Protobiont*, 1(1), 8–11.
- Wahyudi, Tri Roh. Sri Rahayu., dan A. (2016). Keanekaragaman Jamur Basidiomycota di Hutan Tropis Dataran Rendah Sumatera, Indonesia. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 11(2), 21–33.
- Wahyudi, Tri Roh. Sri Rahayu., dan A. (2016). Keanekaragaman Jamur Basidiomycota di Hutan Tropis Dataran Rendah Sumatera, Indonesia. *Wahana Forestra: Jurnal Kehutanan*, 11(2), 21–33.
- Wang, D. Y. C., Kumar, S., & Hedges, S. B. (1999). Divergence Time Estimates For The Early History Of Animal Phyla And The Origin Of Plants, Animals And Fungi. *Proceedings Of The Royal Society B: Biological Sciences*, 266(1415), 163–171.
- Webster, J., dan Weber, W.S. 2007. *Introduction to Fungi*. Cambridge University Press: New York.
- Welly, D. (2011). Inventarisasi Jamur yang Dapat Dikonsumsi dan Beracun yang Terdapat di Hutan dan Sekitar Desa Tanjung Kemuning Kaur Bengkulu. *Jurnal Ilmiah*, 7(2).
- Widayati, T.M. 2011. Karakteristik Basidiomycota. <http://fungibasidiomycota.blogspot.com>. Diakses pada [4 Juni 2020] Pukul [14.13 WIB].
- Willis, K. J. (2018). Report. Royal Botanic Gardens, Kew, UK.. In *State of the world's fungi 2018*. (p. 92).

- Wood, M. 2020. *Lactarius rufulus* Peck.
https://www.mykoweb.com/CAF/species/Lactarius_rufulus.html.
Diakses pada 26 November 2021.
- Wulandari, E. Y., Faturrahman, & S. (2016). Jenis-jenis Makrofungi Polyporaceae di TWA Suranadi Kecamatan Narmada Kabupaten Lombok Barat. *Bio Wallacea Jurnal Ilmiah Ilmu Biologi*, 2(2), 132–136.
- Yunida, N. 2014. *Inventarisasi Jamur di Gunung Senujuh Kabupaten Sambas dan Implementasinya dalam Pembuatan Flash Card*.
<http://download.portalgaruda.org/article.php?article=266562>. Diakses pada 28 Februari 2020.
- Yuvaraj, M., dan Ramasamy, M. 2020. Role of Fungi in Agriculture. *Biostimulant in Plant Science*. 1-12.
- Zafitra1, Elfina, Y., & Ali, M. (2017). Antagonistic Assessment Of Trichoderma, Verticillium And Torulomyces To Control Ganoderma Boninense Pat. In Vitro. *Jom Faperta*, 4(1), 1–6.



PENGANTAR
Jamur Makroskopis

ISBN 979-620-9955-2-4



9 786239 955526