

MODUL 3

Fransisca Sudargo T.

EVOLUSI PROKARIOT, PROTISTA DAN TUMBUHAN

PENDAHULUAN

Pada Modul 2, kita telah mempelajari tentang mekanisme evolusi, yang membahas tentang bagaimana mekanisme terjadinya evolusi pada kehidupan di bumi. Dalam modul ini kita akan membahas tentang evolusi prokariot, protista dan tumbuhan.

Prokariot merupakan organisme tertua yang paling awal menghuni bumi ini. Kemunculan prokariot merupakan awal dari evolusi biologi. Pada mulanya organisme ini berkembang dari sel protobiont, yaitu sel purba hasil dari evolusi kimia-fisik. Prokariot awal terus menerus berevolusi menyesuaikan diri dengan kehidupan awal di bumi yang kondisinya jauh berbeda dengan kondisi bumi saat ini. Suhu bumi saat itu masih sangat tinggi, tanpa oksigen, belum ada lapisan ozon, masih sering terjadi letusan vulkanik yang memuntahkan gas-gas beracun. Oleh karena itu prokariot awal hidup di laut, bukan di darat. Ya, kehidupan awal dimulai di lautan yang kaya akan bahan organik

Kehadiran prokariot di lautan yang kaya akan bahan organik merupakan awal dari keanekaragaman metabolisme sel-sel dan keanekaragaman cara makan. Prokariot merupakan organisme bersel tunggal yang paling mudah berkembang biak sehingga jumlah populasinya sangat banyak. Prokariot dapat hidup pada hampir semua habitat di bumi; yakni di air panas, air asin, air dingin, tanah, udara, dan habitat ekstrim lainnya. Selama bermilyar-milyar tahun prokariot terus menerus berevolusi dan menjadi cikal bakal bagi makhluk hidup bersel satu, eukariot sel hewan dan eukariot sel tumbuhan.

Ukurannya yang mikroskopis menyebabkan prokariot dikelompokkan sebagai mikroba. Keberadaan prokariot pada masa kini di bumi, memunculkan aneka jenis sel yang luar biasa manfaatnya. Meskipun ada pula yang menyebabkan penyakit pada hewan, tumbuhan dan manusia, namun sebagian besar sangat penting bagi kelangsungan hidup di bumi. Misalnya ada prokariot yang merombak bahan-bahan dari organisme yang mati, dan mengembalikan unsure kimia yang penting ke lingkungan agar dapat diserap oleh akar tumbuhan.

Manfaat dan Relevansi

Evolusi prokariot dapat memberikan gambaran kepada kita, bahwa dunia mikroba sangat diperlukan kehadirannya di bumi ini. Dunia tanpa prokariot akan menjadikan bumi kita lautan sampah. Evolusi prokariot juga menjelaskan kepada kita bahwa perubahan yang berlangsung dalam waktu lama ini menghasilkan keanekaragaman sel, baik sel prokariot sendiri, maupun sel eukariot yang kemudian berkembang menjadi makhluk hidup multiseluler.

Deskripsi / Cakupan Materi Modul

Modul ini terdiri atas dua kegiatan belajar yaitu:

Kegiatan Belajar 1: Dunia Bakteria, Arkheae, dan Protista

Kegiatan belajar ini membahas tentang evolusi prokariot menjadi bakteri dan arkheae, filogeni prokariot dan asal mula protista

Kegiatan belajar 2: Evolusi tumbuhan

Kegiatan belajar ini membahas tentang gambaran umum evolusi tumbuhan, asal mula evolusi tumbuhan dan evolusi tumbuhan berpembuluh

TIU dan TIK Modul

A. Tujuan Instruksional Umum:

1. Setelah mempelajari modul ini mahasiswa diharapkan memahami tentang evolusi protista
2. Setelah mempelajari modul ini mahasiswa dapat memahami tentang evolusi pada tumbuhan

A. Tujuan Instruksional Khusus:

Kegiatan belajar 1

Setelah membaca dan mempelajari isi modul, mahasiswa diharapkan dapat:

- 1.1. Menjelaskan tentang evolusi prokariota
- 1.2. Menjelaskan tentang percabangan evolusi prokariot menjadi bakteri dan arkheae
- 1.3. Membandingkan bakteri dan arkheae
- 1.4. Membedakan prokariot dengan eukariot
- 1.5. Mengelompokkan prokariot berdasarkan cara memperoleh energi
- 1.6. Menjelaskan klasifikasi filogeni protista
- 1.7. Menjelaskan asal mula protista

Kegiatan belajar 2

Setelah membaca dan mempelajari isi modul, mahasiswa diharapkan dapat:

- Menjelaskan tentang gambaran umum evolusi tumbuhan
- Menjelaskan tentang asal mula tumbuhan
- Menjelaskan tentang evolusi tumbuhan vaskuler tak berbiji
- Menjelaskan tentang evolusi tumbuhan vaskuler berbiji

KEGIATAN BELAJAR 1

DUNIA BAKTERIA, ARKHAEA, DAN PROTISTA

Ahli astronomi, geologi, dan biologi menyatakan bahwa usia bumi kira-kira 4,5 milyar tahun. Pada masa itu suhu di bumi jauh lebih tinggi dari pada suhu bumi saat ini. Kondisi bumi masih labil, merupakan kabut yang berpilin pada porosnya dan kemudian secara bertahap dalam waktu yang sangat lama berangsur-angsur bumi semakin padan dan kemudian mendingin dan menjadi planet bumi yang kita diami saat ini.

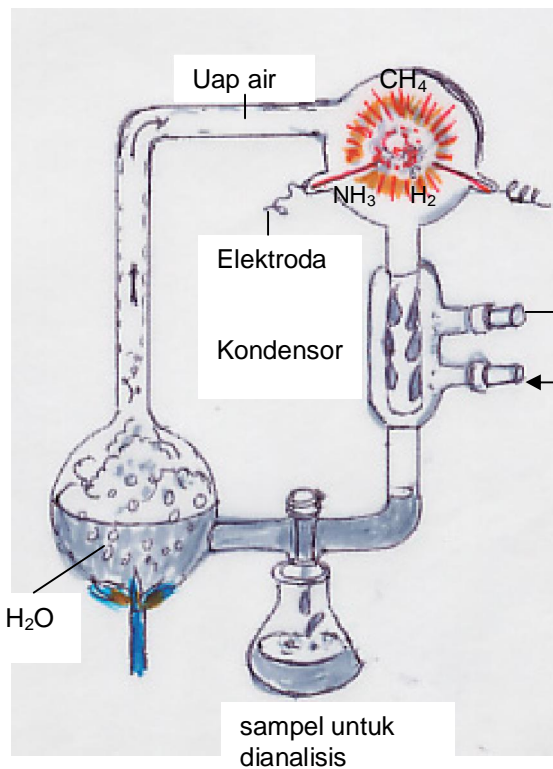
Suhu di atmosfer bumi saat itu juga sangat berbeda dengan suhu pada saat ini. Konon diyakini bahwa saat itu suhu bumi di atas 100⁰ C, di mana air akan berbentuk uap air. Kegiatan vulkanik mengeluarkan gas-gas beracun seperti hydrogen, ammonia, metana, karbondioksida, dan nitrogen, serta senyawa hidrokarbon lainnya. Akibat dari suhu yang sangat tinggi adalah, sama sekali tidak ada oksigen bebas di udara

Beberapa ahli biologi berpendapat bahwa kehidupan di bumi berasal dari bahan kimawi yang pada saat itu berlimpah di atmosfer bumi. Senyawa kimia tersebut membentuk senyawa kompleks yang mampu membelah diri dan bermetabolisme sendiri. Akan tetapi muncul pula pendapat bahwa kehidupan tidak dapat terjadi secara spontan dari bahan tak hidup. Tetapi pada saat itu banyak aktivitas vulkanik, petir, hujan meteor dan radiasi sinar ultra violet yang sangat kuat karena belum adanya lapisan ozon, memungkinkan terjadinya reaksi-reaksi kimia yang sangat luar biasa dalam kurun waktu yang sangat lama. Itulah penyebab tahap awal kelahiran sel biologis.

A. Evolusi Prokariot

Pada tahun 1920-an, A.I. Oparin dari Rusia dan J.B.S. Haldane dari Inggris membuat hipotesis tentang bumi primitif. Atmosfer bumi dan lautan purbakala pada masa itu memang jauh berbeda dengan kondisi bumi saat ini. Menurut Oparin dan

Haldane, pada masa itu banyak terjadi petir dan hujan meteorit yang memungkinkan terjadinya penggabungan molekul sederhana menjadi molekul yang lebih kompleks. Atmosfer bumi pada masa itu belum memiliki lapisan ozon, sehingga radiasi sinar ultra violet dapat menembus atmosfer bumi primitif sehingga memungkinkan terbentuknya molekul kompleks yang dapat membelah diri dan melakukan metabolisme.



Pada tahun 1953, Stanley Miller dan Harold Urey menguji hipotesis Oparin-Haldane melalui eksperimentasi di laboratorium. Kondisi percobaan disesuaikan dengan atmosfer bumi primitif. Atmosfer bumi dalam model Miller-Urey ini, terdiri atas gas-gas H₂O, H₂, CH₄ (metana), dan NH₃ (metana). Gas-gas ini dimasukkan ke dalam tabung lalu dipanaskan bersama dengan air. Dengan bantuan loncatan bunga api listrik dan radiasi UV, gas-gas tersebut akan bereaksi membentuk molekul organik sederhana seperti HCN dan HCHO (formaldehid). Di samping itu juga terbentuk senyawa-senyawa organik seperti asam amino, gula, asam lemak, dan nukleotida.

Gb 1.1. Model percobaan Harold Urey dan Stanley Miller
(Adaptasi dari Campbell 2003)

Meskipun eksperimen ini tidak dapat meniru dengan tepat kondisi bumi milyaran tahun yang lalu, namun eksperimen ini sangat menarik. Eksperimen ini telah dilakukan berulang kali oleh banyak laboratorium, dengan menggunakan susunan campuran yang berbeda-beda, yang meniru susunan atmosfer bumi primitif. Hasilnya adalah 20 macam asam amino, gula, lipida, basa purin dan pirimidin.

Secara umum reaksi senyawa anorganik sederhana menjadi senyawa-senyawa yang lebih kompleks yang dihipotesiskan terjadi dalam atmosfer bumi primitif adalah sebagai berikut:

(1) Tahap atom menjadi zat anorganik



(2) Tahap zat anorganik menjadi zat organik sederhana

- $CH_4 + H_2O \longrightarrow$ gula sederhana, asam lemak, gliserin
- $CH_4 + H_2O + NH_3 \longrightarrow$ asam amino
- $CH_4 + H_2O + NH_3 + HCN \longrightarrow$ Basa nitrogen (purin dan primidin)

(3) Tahap zat organik sederhana menjadi zat organik kompleks

- Gula + gula \longrightarrow karbohidrat/polisakarida
- Asam lemak + gliserin \longrightarrow lemak
- Basa nitrogen + gula + fosfat \longrightarrow adenosin fosfat, nukleotida
- Nukleotida + nukleotida \longrightarrow DNA, RNA

(4) Tahap zat organik kompleks \longrightarrow protoplasma \longrightarrow sel primitif

Interaksi molekul-molekul di atas menunjukkan tahap pembentukan senyawa organik yang semakin kompleks sehingga pada akhirnya membentuk molekul DNA dan RNA

Molekul DNA dan RNA merupakan molekul yang dihasilkan secara abiotik. Molekul ini kemudian membentuk koaservat, yaitu tetesan yang stabil yang cenderung bergabung dengan dengan sendirinya. Koaservat ini merupakan kumpulan makromolekul yang dikelilingi oleh molekul air, dan dapat menyerap substrat dari lingkungannya dan dapat melepaskan hasil reaksi metabolisme. Koaservat ini dikenal sebagai “protobiont” (proto=awal; bios= kehidupan). Jadi protobiont merupakan kumpulan molekul organik yang memiliki sejumlah ciri biologis, antara lain memiliki DNA dan RNA

Protobiont berkembang menjadi protoplasma dan kemudian berkembang menjadi sel prokariot awal. Prokariot merupakan sel yang mendominasi atmosfer bumi pada masa itu dan dapat hidup di berbagai tempat serta sangat mudah berkembang biak.

Prokariot dapat hidup di air panas, air dingin, air asin, asam, basa, di dalam tanah, dan pada sel lainnya. Kehadiran prokariot yang melimpah ruah di bumi selama milyaran tahun merupakan awal dari kehidupan di bumi kita. Prokariot berevolusi terus menerus, hingga menimbulkan keanekaragaman metabolisme dan cara makan.

Sebagian besar prokariot ini berukuran mikroskopik, namun demikian, dampaknya bagi kehidupan sejak dahulu hingga saat ini, sangat luar biasa. Prokariot sangat berperan dalam merombak bahan-bahan dari organisme yang sudah mati dan mengembalikan unsur kimia ke lingkungan (saprofit), ada yang menyebabkan penyakit (pathogen), ada yang bersifat parasit.

B. Filogeni Prokariota

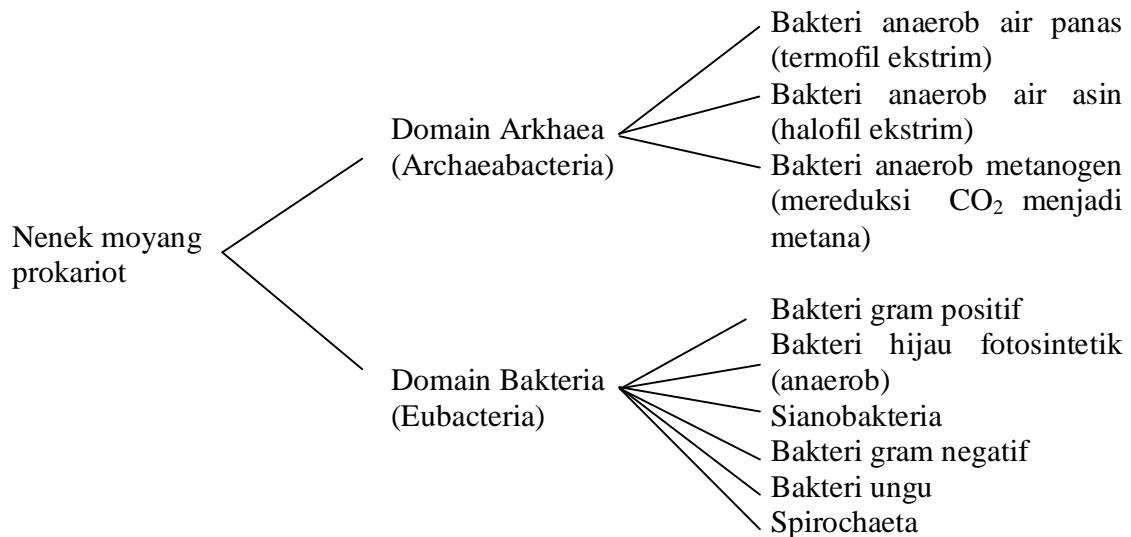
Sistem klasifikasi tradisional membagi makhluk hidup ke dalam 5 Kingdom berdasarkan perbedaan strukturalnya, yaitu:

- (1) Monera
- (2) Protista
- (3) Plantae /plantarum
- (4) Fungi
- (5) Animalia

Akan tetapi dengan membandingkan urutan RNA ribosomal dan genom dari spesies yang hidup pada masa kini, terdapat dua cabang dalam evolusi prokariot yaitu:

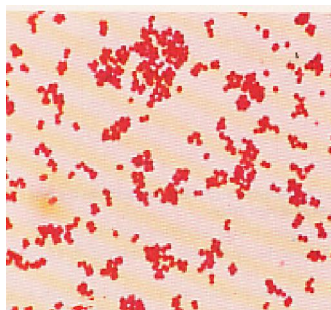
- (1) Kelompok bakteri : dulu dinamakan Eubacteria
- (2) Kelompok arkhaea : dulu dinamakan Archaeobacteria

Arkhaea berasal dari bahasa Yunani “Archais” (kuno), karena memang cara hidupnya dalam arti nutrisi dan metabolismenya sangat primitif. Sebagian besar arkhaea menempati habitat yang ekstrim. Filogeni prokariot yang berasal dari nenek moyang bersama dan kemudian berevolusi menjadi arkhaea dan bakteri digambarkan pada Gb. 1.2.berikut ini:

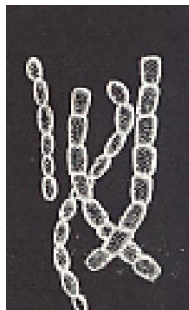


Gb 1.2. Filogeni prokariot
(Sumber: Albert et.al, 1989)

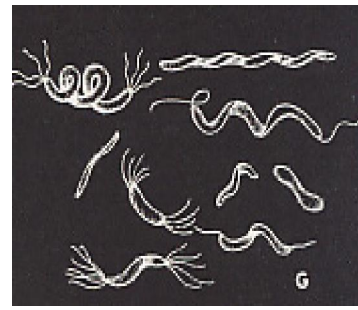
Istilah bakteria atau bakteri umumnya digunakan dalam biologi sebagai acuan prokariot, namun demikian, bakteri maupun arkhaea secara structural dikelompokkan sebagai prokariot. Sebagian besar prokariot bersifat uniseluler, tetapi ada beberapa spesies yang membentuk kumpulan atau koloni; bahkan ada beberapa prokariot yang menunjukkan kecenderungan adanya pembagian tugas antara dua jenis atau lebih yang telah terspesialisasi sehingga menjadi koloni sejati. Sel prokariot memiliki tiga bentuk umum yaitu: bentuk kokus (bola), bentuk basil (batang), bentuk spiral. Ketiga bentuk ini merupakan tahap penting dalam identifikasi prokariot



Bentuk coccus (bola)



Bentuk basil



Bentuk spiral

Gb 1.3. Bentuk umum sel prokariot
(Keeton 1980; Life 1979)

1. Cara Prokariot Memperoleh Energi

Secara umum ada dua macam cara memperoleh energi yaitu *autotrof* yaitu hanya memerlukan senyawa anorganik CO₂ sebagai sumber karbon dan *heterotrof* yaitu memerlukan senyawa organik sebagai sumber karbon untuk menyusun senyawa organik lain. Berdasarkan cara memperoleh energi sebagai nutrisi pokok, maka prokariot dikelompokkan menjadi:

- a. **Fotoautotrof:** sel fotosintetik yang memanfaatkan energi cahaya dan CO₂ untuk mensintesis senyawa organik lain.
- b. **Kemoautotrof:** memerlukan CO₂ sebagai sumber karbon dan mendapatkan energi dengan cara mengoksidasi bahan anorganik. Energi kimia diperoleh dari H₂S, amoniak (NH₃), dan ion Fero (Fe²⁺), contohnya bakteri Sulfur genus *Sulfolobus*
- c. **Fotoheterotrof:** menggunakan cahaya untuk menghasilkan ATP tetapi juga menggunakan senyawa karbon organik
- d. **Kemoheterotrof:** memerlukan molekul organik untuk sumber energi dan karbon misalnya: prokariot, protista, fungi, hewan, dan tumbuhan tertentu. Sebagian besar prokariot adalah kemoheterotrof, misalnya prokariot pengurai atau Saproba yang menyerap nutrient dari sisa bahan organik, prokariot parasit yang menyerap nutrient dari cairan tubuh inang yang masih hidup.

Cara makan prokariot juga mengalami evolusi, sehingga ada bakteri yang untuk pertumbuhannya memerlukan media yang mengandung 20 jenis asam amino, senyawa organik, dan vitamin, misalnya *Lactobacillus*. Ada bakteri yang memerlukan medium yang mengandung glukosa, misalnya *Escherichia coli*. Kemoheterotrof merupakan cara makan yang unik, karena hampir setiap molekul organik dapat berubah menjadi bahan makanan. Ada jenis bakteri yang mampu memetabolisme minyak bumi, sehingga bakteri ini dapat dimanfaatkan untuk membersihkan tumpahan minyak

2. Evolusi Cara Makan Prokariot

Evolusi cara makan prokariot memegang peranan penting dalam perubahan lingkungan bumi purbakala. Pada awalnya banyak prokariot yang bersifat parasit, karena lautan purbakala pada masa itu kaya akan bahan organik sebagai nutrisi bagi prokariot. Prokariot ini dapat dikatakan hidup sebagai parasit. Seiring dengan kemampuan berkembang biak prokariot, maka lautan purba dengan cepat dipenuhi oleh sel-sel prokariot, dan banyak pula sel-sel yang mati. Bahan organik pada sel-sel mati ini kemudian diuraikan oleh prokariot saprofit. Hasil penguraian ini adalah bahan-bahan anorganik yang dikembalikan ke lingkungan. Evolusi cara makan ini diikuti dengan evolusi metabolisme, sehingga muncul keanekaragaman prokariot

Pada beberapa jenis prokariot awal, terdapat pigmen penyerap cahaya matahari (UV). Sinar UV ini sangat berbahaya bagi sel yang tumbuh di permukaan air. Namun prokariot fotosintetik ini memiliki alat metabolik untuk menggunakan H₂O yang berlimpah sebagai pengganti H₂S. Hidrogen digunakan untuk mereduksi CO₂. Hasil fotosintesis adalah glukosa dan oksigen. Prokariot fotosintetik ini adalah sianobakteria awal. Sianobakteria berevolusi antara 2,5- 3,4 milyar tahun bersama prokariot lainnya. Banyaknya oksigen yang dihasilkan oleh sianobakteria ini kemudian mengubah lingkungan bumi awal. Bumi yang semula tanpa oksigen menjadi banyak mengandung oksigen. Saat itu lautan menjadi jenuh dengan oksigen bebas yang terakumulasi di permukaan laut. Sebagian oksigen bereaksi dengan besi terlarut menjadi oksida besi lalu mengendap. Hingga suatu saat ketika besi terlarut habis, maka O₂ dibebaskan ke atmosfer.

Perubahan secara bertahap menyebabkan atmosfer bumi menjadi kaya akan oksigen. terjadilah REVOLUSI OKSIGEN. Atmosfer yang kaya oksigen ini menyebabkan kepunahan prokariot anaerob yang tak dapat beradaptasi dengan lingkungan baru. Namun ada prokariot anaerob lain yang dapat bertahan hidup dalam habitat yang aerob hingga saat ini yaitu anaerob obligat. Di samping itu

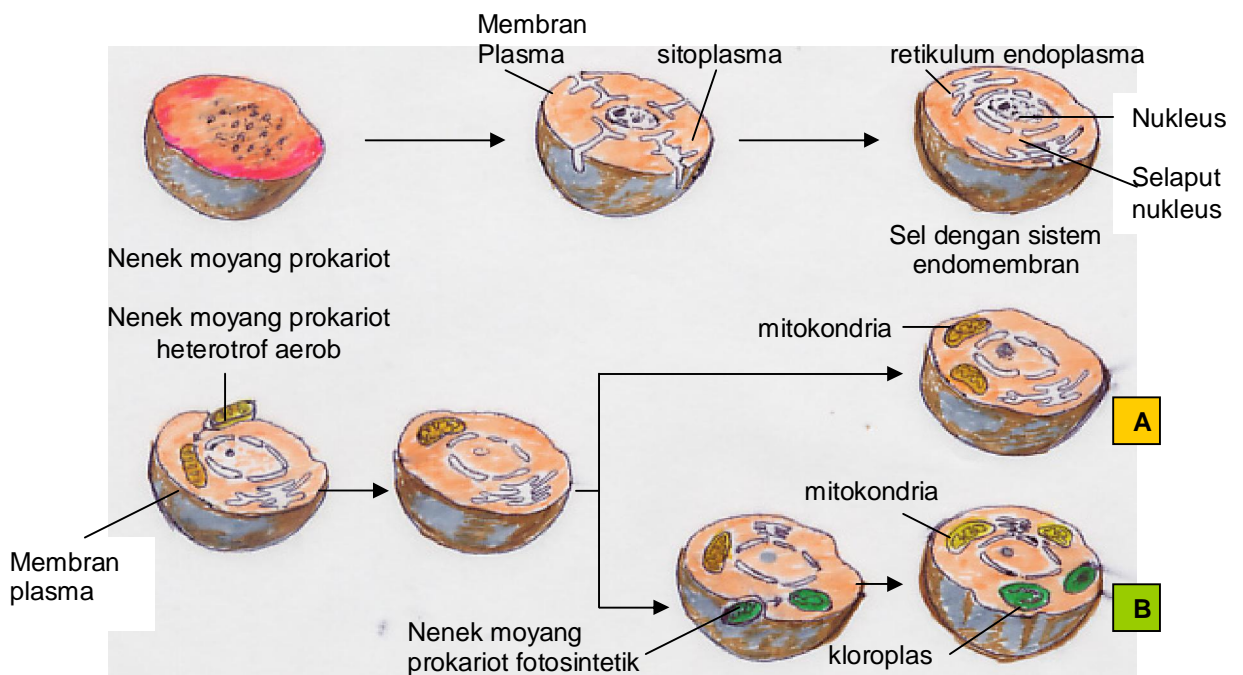
muncul sel prokariot yang bersimbiosis dengan prokariot aerob, lalu terjadilah evolusi antara simbion tersebut yang kemudian berkembang menjadi EUKARIOT

C. Asal-mula Protista (Eukariot)

1. Kemunculan Protista

Di atas telah dipaparkan tentang kemunculan eukariot sebagai akibat dari revolusi oksigen. Revolusi oksigen dianggap merupakan awal dari perubahan kehidupan di bumi, karena mengakibatkan tiga hal pokok bagi prokariot anaerob yaitu:

- **Musnah** : karena tidak mampu beradaptasi dengan habitat yang aerob
- **Beradaptasi**: tetap sebagai prokariot anaerob tetapi hidup di tempat yang anaerob, seperti di lumpur, bersembunyi di lubang yang dalam dan lain-lain
- **Bersimbiosis** dengan prokariot lain dan membentuk kehidupan baru sebagai sel eukariot yang kita kenal sebagai PROTISTA



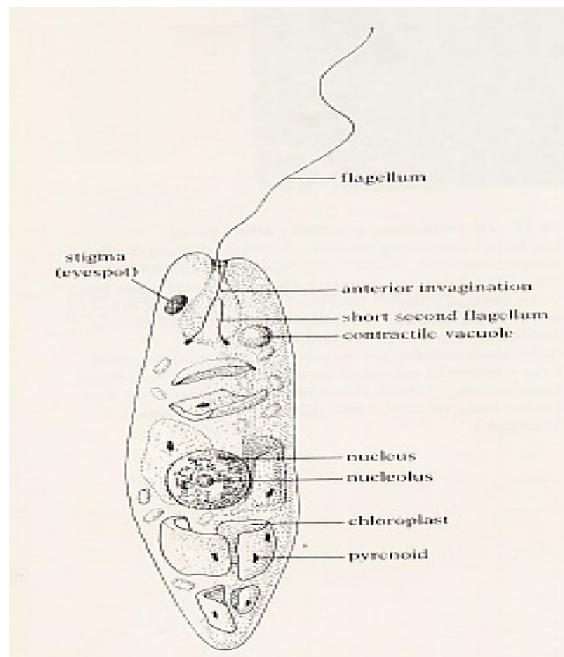
Gb. 1.4. Model tentang asal usul eukariota.

(A) sel eukariot heterotrofik (B) sel eukariot fotosintetik (Adaptasi dari Campbell et.al, 2003)

Pada gambar 1.4. di atas, dijelaskan bahwa simbiosis sel-sel prokariota menimbulkan keanekaragaman sel. Sel yang hanya memiliki mitokondria akan berkembang menjadi sel hewan (A). Sel yang memiliki kloroplas dan mitokondria akan berkembang menjadi sel tumbuhan (B). Baik mitokondria maupun kloroplas berkembang menjadi organel dari sel eukariot.

Protista mulai muncul di bumi sekitar 2 milyar tahun yang lalu dibuktikan oleh fosil tertua pada lapisan prekambrian. Fosil ini disebut acritarch (Bhs. Yunani: tak jelas asal usulnya). Semua jenis protista adalah eukariot. Protista sangat beragam ada yang uniseluler, tetapi ada pula yang multiseluler dalam bentuk koloni. Metabolisme protista juga sangat beragam karena:

- a. Sebagian memiliki sifat aerob karena memiliki mitokondria untuk respirasi selulemya.
- b. Beberapa protista tidak memiliki mitokondria karena mengandung bakteri yang bersimbiosis untuk melakukan respirasi seluler, protista ini dapat hidup di lingkungan yang anaerob.
- c. Ada protista yang fotoautotrof dengan kloroplas sebagai organel untuk melakukan fotosintesis.
- d. Ada protista yang heterotrof yaitu protista yang menyerap molekul organik atau menelan partikel makanan yang lebih
- e. Ada protista yang miksotrof (mix= campuran), karena dapat melakukan fotosintesis dan nutrisi heterotrof, misalnya *Euglena* (Gb 1.5)

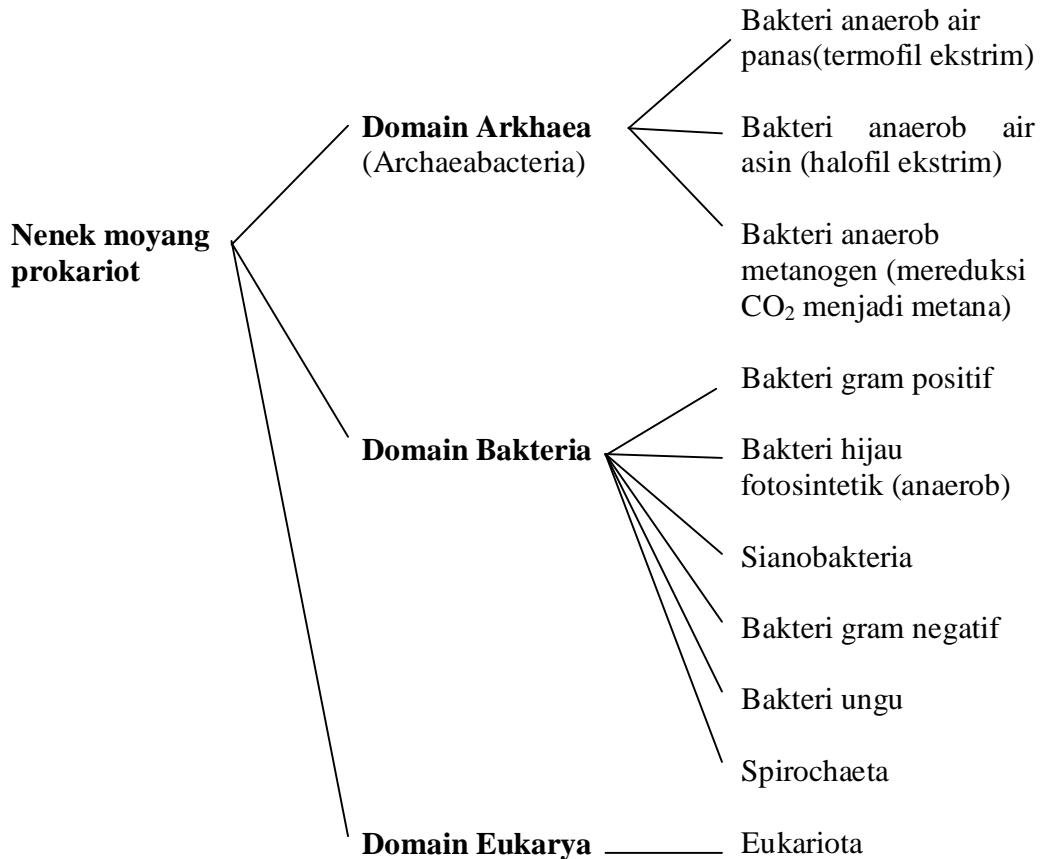


Gb. 1.5. *Euglena*
(Sumber: Keeton, 1980)

Sebagian besar protista dapat bergerak bebas (motil), mempunyai flagel atau silia sebagai alat gerak. Reproduksi dan siklus hidup protista sangat bervariasi yaitu secara:

- **Aseksual** yaitu membelah diri, mengalami pembelahan secara mitosis
- **Seksual**: penyatuan dua gamet
- **Syngami**: yaitu pertukaran gen-gen antara dua individu lalu berpisah dan kemudian meneruskan pembiakan aseksual

Berdasarkan asal usul protista (eukariot) dari sel prokariot yang bersimbiosis, maka terdapat tiga domain yaitu domain Arkhaea, Bakteri, dan Eukarya. Secara filogeni hubungan prokariot dengan eukariot digambarkan sebagai berikut.



Gb 1.6 Bagan Hubungan filogeni prokariot dengan eukariot

2 Tempat Hidup Protista

Protista ditemukan di berbagai tempat yaitu pada tempat yang berair, tanah yang basah, sampah, dedaunan, dan habitat yang lembab. Protista juga merupakan organisme penyusun plankton, antara lain sebagai fitoplankton yang merupakan komponen dasar ekosistem perairan. Beberapa jenis protista hidup sebagai simbiosis bersama inangnya, baik dalam bentuk hubungan mutualistik hingga hubungan parasitik

Protista (eukariot) berbeda dengan prokariot karena protista memiliki inti sel (nukleus) yang terbungkus membran, mitokondria, kloroplas, sistem endomembran, dan sitoskeleton. Bukti-bukti yang mendukung evolusi prokariot

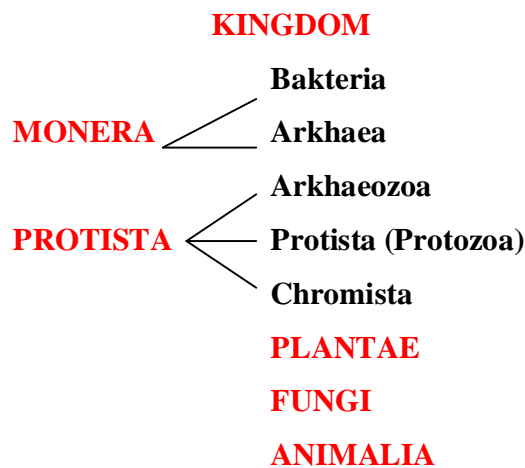
menjadi eukariot adalah bahwa kloroplas dan mitokondria diduga merupakan evolusi dari bakteri prokariot yang bergabung secara endosimbiotik (lihat Gb 1.4). Dugaan ini diperkuat karena baik mitokondria maupun kloroplas memiliki genom yang terdiri atas molekul DNA sirkuler, RNA, dan ribosom. Ribosom kloroplas mirip dengan ribosom prokariot, begitu pula ribosom mitokondria juga mirip dengan prokariot.

3. Filogeni Protista

Hingga saat ini dikenal beberapa sistem klasifikasi, yaitu sistem klasifikasi 5 kingdom, 8 kingdom, dan sistem domain. Robert Whittaker memperkenalkan sistem klasifikasi 5 kingdom pada tahun 1969 yaitu:

- (1) Monera
- (2) Protista
- (3) Plantae
- (4) Fungi
- (5) Animalia

Sistem 5 kingdom mengklasifikasikan semua organisme uniseluler satu kingdom yaitu protista. Sementara itu dalam sistem 8 kingdom terdapat perluasan pada kingdom monera dan protista, sebagai berikut:

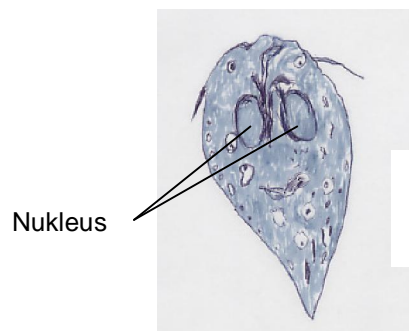


Gb. 1.7. Sistem 8 kingdom

Dasar dari sistem 8 kingdom adalah bahwa sistem 5 kingdom dianggap sudah kuno, dan kingdom protista bersifat polifiletik (lebih dari dua nenek moyang). Sistem 8 kingdom juga memperkenalkan pemecahan kingdom protista menjadi tiga kingdom baru yaitu Arkhaeozoa, Protista dan Chromista.

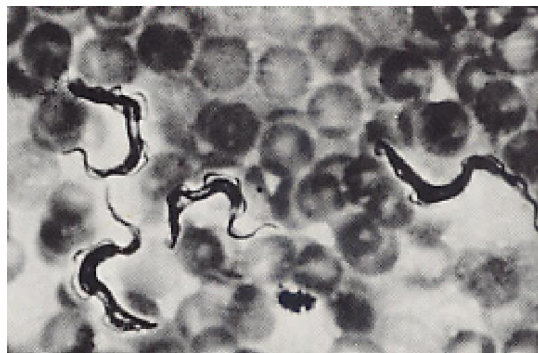
Dalam sistem domain, kelompok protista diuraikan lagi menjadi beberapa kelompok berdasarkan perbedaan yang muncul. Perbedaan pada kingdom protista menunjukkan bahwa telah terjadi perkembangan evolusi protista sehingga terbentuk keanekaragaman protista. Dalam sistem domain, kingdom protista diuraikan lagi menjadi 5 calon kingdom, yaitu:

- (1) **Kelompok Arkhaeozoa:** merupakan kelompok protista yang tidak memiliki mitokondria. Diduga memang sejak awal evolusinya, Arkhaeozoa tidak memiliki mitokondria, atau organel tersebut hilang dalam perjalanan evolusinya. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa Arkhaeozoa berasal dari protista anaerob atau protista parasit. Salah satu contoh Arkhaeozoa adalah *Giardia lamblia*, yaitu diplomonad yang hidup sebagai parasit dalam usus manusia, yang dapat menyebabkan diare dan kejang perut. *Giardia* adalah protista yang tidak memiliki mitokondria dan plastida, memiliki 2 flagela dan 2 inti terpisah. Namun, hasil analisis RNA ribosom menunjukkan bahwa *Giardia* memiliki gen yang pernah mengkode mitokondria. Dengan demikian mitokondria pernah ada sebagai endosimbiotik, namun menghilang dalam proses evolusinya



Gb.1.8. Giardia
(Adaptasi dari: Campbell 2003)

- (2) **Kelompok Euglenozoa:** memiliki flagel (kelas flagelata), ada yang bersifat fotosintetik (misalnya: *Euglena*), ada yang bersifat parasit (misalnya: *Trypanosoma*). *Euglena* dan kerabatnya bersifat autotrof, tetapi ada pula yang heterotrof, yaitu menyerap molekul organik dari lingkungannya atau menelan mangsa secara fagositik. Euglenozoa yang parasitik mempunyai mitokondria yang relatif besar yang berhubungan dengan organel kinetoplas yang menyimpan DNA inti. Oleh karena itu dikelompokkan sebagai Kinetoplastida. Kelompok kinetoplastida ini bersimbiosis dan bersifat pathogen terhadap inangnya dan menyebabkan penyakit tidur pada manusia. Penyakit ini menyebar melalui gigitan lalat tsetse



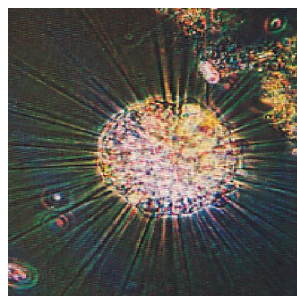
Gb 1.9. *Trypanosoma* di dalam darah manusia
(Sumber: Keeton, 1980)

- (3) **Kelompok Alveolata:** merupakan kelompok flagelata dan ciliata yang bersifat uniseluler, parasit, dan memiliki alveoli. Adanya rongga/ alveoli ini merupakan cirri khas Alveolata. Alveolata menyatukan beberapa protista yang bersifat:
- Fotosintetik:** misalnya Dinoflagelata yang merupakan komponen fitoplankton di lautan. Ledakan populasi Dinoflagelata menyebabkan “pasang merah” pada perairan pantai. Warna kemerahan ini disebabkan oleh pigmen xantofil yang ada di dalam kloroplas Dinoflagelata yang berbahaya bagi invertebrata dan ikan (bersifat racun) dan juga dapat menimbulkan kematian pada manusia. Racun yang terdapat pada Dinoflagelata menyebabkan ikan menjadi kaku karena cairan tubuhnya

diserap oleh salah satu spesies dinoflagelata yaitu *Pfiesteria piscicida*. Ada pula dinoflagelata yang hidup secara simbiosis mutualistik dengan *Cnidaria* dan membangun terumbu karang. Dinoflagelata heterotrof seperti *Pfisteria* dapat menjadi autotrof untuk sementara dengan mengekstraksi kloroplas dari protista fotosintetik

- b. Apikompleksa: merupakan parasit pada hewan dan menyebabkan penyakit pada manusia. Apikompleksa dikenal pula sebagai **Sporozoa** yang memiliki siklus hidup yang rumit dengan tahap seksual dan aseksual. Salah satu contoh adalah *Plasmodium* yang menyebabkan penyakit malaria, memiliki siklus hidup seksual dalam tubuh nyamuk *Anopheles*, dan siklus aseksual di dalam darah manusia.
- c. Ciliata (Ciliophora): menggunakan silia untuk bergerak dan umumnya hidup soliter di air tawar. Ada ciliata yang seluruh selnya ditutupi oleh barisan silia seperti *Paramecium*, dan ada pula yang memiliki silia secara berkelompok yang membentuk berkas-berkas silia misalnya *Stentor*
- d. Rhizopoda (Amoeba): Pada umumnya uniselular dan bergerak dengan menggunakan pseudopodia (pseudo= semu; podos= kaki). Bentuk Amoeba tidak tetap karena pseudopodia dapat muncul dari mana saja pada bagian permukaan selnya. Pada saat menjulurkan pseudopodia untuk bergerak, maka selnya lebih banyak mengeluarkan sitoplasma ke dalam pseudopodia, sehingga mirip akar, oleh karena itu disebut rhizopoda (rhiza= akar; podos= kaki; berkaki mirip akar). Salah satu contoh adalah *Amoeba proteus* yang hidup bebas. Amoeba hidup di lingkungan air tawar, air laut, dan di tanah. Namun ada pula yang hidup parasit yaitu *Entamoeba histolytica* yang menyebabkan penyakit disentri amoeboid pada manusia. *Amoeba* bereproduksi secara aseksual melalui pembelahan sel.

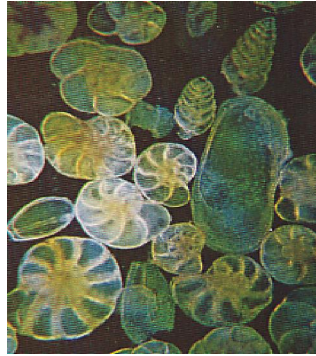
- e. Aktinopoda: Dibandingkan dengan *Amoeba* dengan pseudopodia yang dapat muncul dari permukaan sel, maka “kaki” pada aktinopoda mirip “berkas” dan disebut juga aksopodia. Aksopodia berkembang dari sitoskeleton yang diperkuat oleh bundel mikrotubul yang ditutupi lapisan tipis sitoplasma. Aktinopoda umumnya merupakan komponen plankton di permukaan air. Makanannya adalah protista yang lebih kecil dan mikroorganisme yang menempel pada aksopodia dan kemudian ditelan secara fagositosis. Contohnya adalah heliozoa (“hewan matahari”) dan radiolaria (Gb 1.10.a dan b). Kedua protista ini memiliki rangka yang mengandung silika atau khitin
- f. Foraminifera: (foramen= lubang kecil; ferre= mengandung); merupakan protista yang memiliki cangkang yang mengandung kalsium karbonat. Foraminifera hidup di laut, pseudopodianya keluar melalui lubang-lubang kecil (pori) dan berfungsi untuk berenang. (Gb 1.10c) Hampir semua foraminifera merupakan fosil dan merupakan komponen sedimen di lautan yang meliputi batuan sedimen pembentuk tanah
- g. Jamur lendir: Merupakan kelompok protista mirip fungi, berlendir. Kemiripannya dengan fungi sejati merupakan hasil evolusi konvergen. Jamur lendir kemungkinan berkerabat dengan protista amoeboid. Terdapat dua jenis jamur lendir, yaitu jamur lendir plasmodial dan jamur lendir seluler. Salah satu contohnya adalah *Dictyostelium* yang merupakan jamur lendir seluler. (Gb 1.10.d)



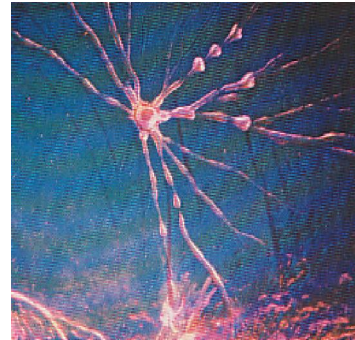
a) Heliozoa



b) Radiolaria



c) Foraminifera



d) *Dictyostelium* (jamur lendir)

Gb.1.10 Heliozoa, Foraminifera, Radiolaria, dan Dictyostelium
(Sumber: Keeton, 1980)

- (4) **Kelompok Stramenopila:** merupakan kelompok monofiletik yang terdiri atas eukariot fotosintetik dan heterotof (Bhs. Latin: Stramen= ‘jerami’, pilos=’rambut’). Dalam sistem klasifikasi 8 kingdom, stramenopila diklasifikasikan dalam Kingdom Chromista, namun karena memiliki sejumlah ciri yang tak sesuai, yaitu ada stramenopila yang tak berpigmen, maka nama “Chromista” (Chromos= warna) menjadi diragukan. Jamur air merupakan stramenopila tak berpigmen, tak berplastida dan heterotrof. Stramenopila fotosintetik memiliki kloroplas yang diliputi oleh dua lapis membran, sedikit sitoplasma dan sisa nucleus. Calon kingdom Stramenopila terdiri dari beberapa kelompok berikut ini.

- a. Diatomae: Berwarna kuning keemasan, dindingnya unik terdiri dari silica yang terjalin dalam matriks senyawa organik. Dinding sel ini terdiri atas dua bagian yang menyerupai kotak dan tutupnya yang saling tumpang tindih. Diatomae umumnya merupakan komponen plankton di permukaan air tawar dan air laut, berkembang biak secara aseksual melalui pembelahan mitosis. Masing-masing sel anakan menerima separuh dinding sel dari induknya dan kemudian sel anak menghasilkan sendiri dinding sel separuh lagi. Pembelahan secara seksual sangat

jarang terjadi. Dalam proses ini terbentuk sel sperma berflagel tunggal dan sel telur. Fosil dinding diatomae dalam jumlah banyak merupakan penyusun sedimen tanah diatomae yang pada masa kini ditambang untuk berbagai kegunaan

- b. Chrysophyta: (Bhs. Yunani: chryso=keemasan) karena mengandung karoten kuning-coklat dan pigmen xantofil. Umumnya hidup sebagai plankton air tawar dan air laut. Beberapa spesies bersifat mikсотrofik, yaitu menyerap senyawa organik terlarut dan juga dapat menjulurkan pseudopodia untuk menelan partikel makanan atau bakteri. Umumnya uni seluler tetapi ada juga yang membentuk koloni misalnya genus *Dynobryon* yang hidup di air tawar
- c. Jamur air (Oomycota): terdiri atas jamur air, jamur karat putih, dan jamur berbulu halus. Jamur ini merupakan stramenopila yang tidak berklorofil, mempunyai hifa seperti halnya fungi sejati, dan dinding selnya terdiri dari selulosa. Oomycota (“jamur telur”) bereproduksi secara seksual, menghasilkan sel telur yang relatif besar, yang dibuahi oleh inti sperma yang kecil dan kemudian membentuk zigot yang berdinding tebal. Sebagian besar oomycota merupakan pengurai (saprofit) dalam ekosistem air. Jamur ini menguraikan hewan dan tanaman yang mati di air. Tetapi ada pula yang hidup parasit pada insang dan sisik ikan di kolam atau akuarium yang menyerang jaringan yang terluka. Jamur karat putih hidup di tanah sebagai parasit pada tumbuhan, dan ada yang patogen pada tanaman kentang dan anggur. Jamur ini menghasilkan spora yang disebarkan oleh angin, tetapi kadang-kadang menghasilkan zoospora.
- d. Alga coklat (*Phaeophyta*): (bahasa Yunani: Phaios=coklat). Warna coklat disebabkan oleh pigmen coklat dan juga kloroplas. Hidup di daerah perairan pantai yang beriklim sejuk

- (5) **Alga merah:** merupakan calon **Kingdom Rhodophyta** (Bhs Yunani: Rhodos=merah). Merupakan alga yang tidak memiliki flagella. Diduga flagella ini hilang selama proses evolusinya dan pengurutan asam nukleat menunjukkan bahwa alga merah ini merupakan takson yang monofiletik. Warna merah disebabkan oleh pigmen fikoeritrin yang termasuk golongan pigmen fikobilin. Warna merah pada rhodophyta bervariasi sesuai dengan kedalaman air. Rhodophyta yang hidup di laut dalam berwarna kehitaman, pada kedalaman sedang berwarna merah cerah, dan pada laut dangkal berwarna kehijauan. Hal ini disebabkan kadar fikoeritrin dipengaruhi oleh kedalaman air semakin mendekati permukaan maka kadarnya semakin sedikit sehingga kloroplas lebih dominan. Populasi alga merah sangat berlimpah di perairan pantai daerah tropika. Tetapi ada pula yang ditemukan hidup di laut dalam. Alga merah umumnya multiseluler, dan menjadi bagian dari “rumput laut” (karena sebenarnya bukan rumput/tumbuhan tinggi) bersama dengan alga coklat. Siklus hidup alga merah sangat rumit, mengalami pergiliran generasi. Sel gamet tidak memiliki flagella sehingga mengandalkan arus air untuk bersatu membentuk zigot.

LATIHAN

Setelah anda mempelajari tentang Bakteria, Arkaea dan protista, marilah mencoba soal latihan berikut ini untuk memantapkan pemahaman anda.

1. Cobalah jelaskan, mengapa kemunculan prokariota di lautan yang kaya bahan organik merupakan awal dari kehidupan baik bagi mahluk hidup bersel satu, eukariot sel hewan dan eukariot sel tumbuhan?
2. Mengapa kehadiran sebagian prokariot di bumi ini sangat diperlukan bagi kehidupan di bumi?
3. Cobalah jelaskan bahwa kemunculan sel biologi diawali oleh kelimpahan senyawa organik dan suhu atmosfer bumi yang sangat tinggi.
4. Benarkah bahwa percobaan Stanley Miller dan Harold Urey sesungguhnya menunjang teori abiogenesis? Jelaskan pendapat anda.
5. Bagaimanakah tahapan perkembangan kemunculan sel protobiont dari reaksi senyawa-senyawa kimia yang sangat melimpah dan kondisi suhu yang sangat tinggi di atmosfer purbakala?
6. Dalam evolusinya, prokariot bercabang menjadi dua kelompok-kelompok apakah?
7. Mengapa dikatakan bahwa evolusi cara makan prokariot memegang peranan penting dalam perubahan lingkungan bumi purbakala?
8. Apa akibat revolusi oksigen terhadap kehidupan sel prokariot anaerob?
9. Mitokondria dan kloroplas diduga merupakan prokariot endosimbiotik yang menimbulkan keanekaragaman sel. Beri penjelasan
10. Berikan penjelasan dalam sistem klasifikasi filogenetik: Mengapa sistem 5 kingdom dikatakan sudah kuno sehingga berkembang menjadi sistem 8 kingdom dan sistem tiga domain?

RANGKUMAN

1. Prokariot merupakan organisme yang paling awal menghuni bumi, dan tetap bertahan hidup hingga sekarang dengan jumlah terbanyak dan rentang habitat yang paling luas
2. Prokariot berevolusi menjadi dua cabang utama yaitu Domain Bakteria dan Arkhaea. Domain ketiga adalah Eukariota.
3. Secara umum, prokariot adalah organisme bersel tunggal, namun ada pula yang membentuk koloni. Bentuk umum Prokariot adalah bulat (kokus), batang (basilus) dan spiral.
4. Populasi prokariot tumbuh dalam jumlah yang sangat banyak dan cepat karena pembiakannya secara membelah diri (aseksual).
5. Sel prokariot merupakan sel dengan struktur yang rumit dan lengkap
6. Prokariot dikelompokkan menjadi 4 kelompok utama berdasarkan cara memperoleh energi, yaitu Fotoautotrof, Fotoheterotrof, Kemoautotrof, dan kemoheterotrof
7. Evolusi cara makan dan metabolisme sel prokariot menyebabkan perubahan lingkungan di bumi, karena prokariot fotosintetik menyebabkan terjadinya revolusi oksigen.
8. Dampak revolusi oksigen bagi prokariot anaerob adalah: (1) musnah, (2) beradaptasi dengan lingkungan tetapi tetap sebagai prokariot anaerob, (3) bersimbiosis dengan sel prokariot lainnya dan menjadi sel eukariot.
9. Protista merupakan eukariot yang beraneka ragam yang berasal dari prokariot yang melakukan endosimbiosis.
10. Protista ditemukan hidup di air sebagai komponen plankton, di tanah yang lembab, sebagai saprofit, dan sebagai parasit dalam tubuh inangnya.
11. Calon Kingdom Arkhaeozoa tidak memiliki mitokondria, menunjukkan garis filogeni yang primitif.
12. Calon kingdom Euglenozoa meliputi flagelata autotrof dan heterotrof
13. Calon kingdom Alveolata memiliki ciri khas yaitu mirip rongga alveoli.
14. Calon kingdom Stramenopila terdiri dari diatom, alga pirang, alga coklat, dan jamur air
15. Calon kingdom Rhodophyta merupakan organisme multiseluler, memiliki pigmen asesori fikoeritrin, pada umumnya hidup di laut, tidak berflagela

TES FORMATIF

Pilihlah jawaban yang paling tepat

1. Proses terbentuknya protobiont sebagai hasil evolusi kimia fisik yang terjadi selama bermiliar tahun, didukung oleh kondisi bumi pada masa itu yang digambarkan sebagai berikut :
 - a. Suhu sangat tinggi, senyawa organik berlimpah, banyak petir, tidak ada lapisan ozon
 - b. Suhu sangat tinggi, revolusi oksigen, banyak petir, dan perubahan metabolisme
 - c. Tidak ada lapisan ozon, munculnya keanekaragaman sel, banyak petir, suhu bumi yang tinggi
 - d. Lingkungan bumi yang labil, banyaknya oksigen dari letusan gunung berapi, banyak petir
 - e. Munculnya sel anaerob yang menyesuaikan diri dengan kondisi bumi pada masa itu

2. *Euglena* merupakan protista yang miksotrof, karena dapat ...
 - a. melakukan fotosintesis dan memperoleh nutrisi sebagai saproba
 - b. berfotosintesis dan hidup sebagai parasit dalam darah
 - c. berfotosintesis dan memperoleh nutrisi heterotrof
 - d. berfungsi sebagai saprofit dan parasit pada inang
 - e. berfungsi sebagai pengurai dalam ekosistem dan berkoloni

3. Sel prokariot, protista, fungi, dan hewan umumnya hidup secara kemoheterotrof, artinya...
 - a. Memerlukan molekul anorganik untuk sumber energi metabolisme
 - b. Memerlukan molekul organik sebagai sumber energi dan karbon
 - c. Dapat menghasilkan energi berupa CO₂ ke lingkungan
 - d. Menyusun senyawa karbon yang berasal dari lingkungan
 - e. Menggunakan hydrogen dari lingkungan untuk menghasilkan oksigen

4. Ada jenis bakteri yang mampu memetabolisme minyak bumi. Bakteri ini melakukan metabolisme secara...

a. Heterotrof	d. Fotoheterotrof
b. Kemoautotrof	e. Kemoheterotrof
c. Fotoautotrof	

5. Prokariot saprofit sangat bermanfaat bagi lingkungan dan diperlukan hingga saat ini karena...
 - a. menguraikan bahan organik menjadi bahan anorganik yang dikembalikan ke lingkungan

- b. menguraikan sel-sel makhluk hidup sehingga dapat bermanfaat bagi lingkungan
 - c. mengubah senyawa anorganik menjadi senyawa organik
 - d. mengubah senyawa organik menjadi anorganik dengan menghasilkan energi
 - e. menghasilkan energi bahan anorganik bagi tumbuhan
6. “Pasang merah” yang terjadi di laut merupakan akibat dari ledakan populasi...
- a. ganggang merah uniseluler yang memiliki pigmen fikoeiritrin
 - b. Dinoflagellata yang memiliki xantofil dalam kloroplasnya
 - c. *Euglena* yang berkembang biak dalam kondisi tertentu
 - d. Foraminifera yang mendominasi pantai
 - e. Radiolaria yang kemudian membentuk sediment pantai
7. Jamur lendir merupakan kelompok protista mirip fungi diduga...
- a. berkerabat dengan protista amoeboid yang berevolusi secara konvergen
 - b. berkerabat dengan fungi kemudian berevolusi menjadi jamur lendir
 - c. merupakan hasil evolusi monofiletik dari nenek moyangnya
 - d. merupakan hasil evolusi amoeba secara konvergen
 - e. peralihan dari jamur ke protista
8. Salah satu bukti bahwa kondisi bumi purba sangat berbeda dengan bumi saat ini, yaitu suhu sangat tinggi, dan kehidupan di mulai di lautan adalah bahwa hingga saat ini masih ditemukan ...
- a. bakteri gram positif dan gram negatif
 - b. bakteri termofil, halofil, dan metanogen
 - c. bakteri fotosintetik, kemosinetik, dan heterotrof
 - d. adanya protista miksotrof di lautan
 - e. ada sel yang berkloroplas dan ada yang bermitokondria
9. Calon kingdom Stramenopila terdiri dari kelompok...
- a. jamur lendir, alga merah, alga coklat dan diatomae
 - b. jamur air, jamur lendir, alga pirang, alga merah
 - c. diatomae, alga pirang, alga coklat, jamur air
 - d. diatomae, alga pirang, alga merah, jamur lendir
 - e. diatomae, *Euglena*, foraminifera, radiolaria
10. Alga merah menjadi calon Kingdom Rhodophyta, karena alasan berikut ini, kecuali...
- a. Semua anggotanya bersifat multiseluler
 - b. Tidak memiliki flagella

- c. Reproduksi sudah lebih maju (secara seksual)
- d. Tidak berflagella
- e. Pengurutan asam nukleat menunjukkan bahwa alga merah merupakan takson monofiletik

RAMBU-RAMBU JAWABAN SOAL LATIHAN

- 1. Anda dapat mencari jawabannya di halaman 6 tentang Evolusi Prokariota yang kemunculannya dimulai di lautan yang kaya bahan organik
- 2. Silakan anda membaca halaman 7 tentang evolusi prokariot
- 3. Anda dapat menemukan jawabannya di halaman 4, bagian Pendahuluan
- 4. Cobalah anda membacanya pada halaman 5, kemudian renungkan dan simpulkan jawabannya menurut pendapat anda.
- 5. Anda dapat menemukan jawabannya di halaman 6 yang menjelaskan tentang tahapan reaksi pada evolusi kimia fisik.
- 6. Silakan anda membaca halaman 7-8 tentang filogeni prokariot.
- 7. Anda dapat mencari jawabannya di halaman 9 tentang evolusi cara makan prokariot
- 8. Anda dapat menemukan jawabannya di halaman 11 tentang kemunculan protista
- 9. Perhatikan Gb 1.4 beserta penjelasannya di halaman 11-12
- 10. Silakan anda membaca halaman 15-16 tentang filogeni protista

.KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

- 1. a Suhu sangat tinggi, senyawa organik berlimpah, banyak petir, tidak ada lapisan ozon
- 2. c Karena Euglena berfotosintesis dan memperoleh nutrisi secara heterotrof
- 3. b Kemoheterotrof artinya memerlukan molekul organik sebagai sumber energi dan karbon
- 4. e Kemoheterotrof
- 5.a. Karena prokariot saprofit menguraikan bahan organik menjadi bahan anorganik yang dikembalikan ke lingkungan
- 6.d. Foraminifera yang mendominasi pantai
- 7.a Jamur lendir berkerabat dengan protista amoeboid yang berevolusi secara konvergen
- 8.b Kelompok bakteri termofil, halofil, dan metanogen
- 9.c Diatomae, alga pirang, alga coklat, jamur air
- 10 d Reproduksi sudah lebih maju (secara seksual)

Cara penskoran :

$\frac{\text{Jumlah jawaban benar}}{10} \times 100\%$

Bagaimanakah hasil jawaban anda?

Bila skor anda mencapai $\geq 80\%$, berarti anda telah mencapai ketuntasan belajar. Oleh karena itu anda dapat melanjutkan ke kegiatan belajar 2 yaitu tentang EVOLUSI TUMBUHAN, namun bila belum, anda diharapkan mempelajarinya kembali

GLOSSARY

Archaeobacteria, “archais”- bhs. Yunani: kuno; kelompok bakteri yang hidupnya sangat primitif dan umumnya menempati habitat yang ekstrim

Eubacteria, nama lain untuk kelompok “bakteri” yang lebih maju dibandingkan dengan archaeobacteria

Fotoautotrof, photos= cahaya; sel fotosintetik yang memanfaatkan energi cahaya dan CO_2 untuk mensintesis senyawa organik lain

Fotoheterotrof, sel prokariot yang menggunakan cahaya untuk menghasilkan ATP tetapi juga menggunakan senyawa karbon organik

Kemoautotrof, prokariot yang memerlukan CO_2 sebagai sumber karbon dan mendapatkan energi dengan cara mengoksidasi bahan anorganik. Energi kimia diperoleh dari H_2S , amoniak (NH_3), dan ion Fero (Fe^{2+}), contohnya bakteri Sulfur genus *Sulfolobus*

Kemoheterotrof, organisme yang memerlukan molekul organik untuk sumber energi dan karbon misalnya: prokariot, protista, fungi, hewan, dan tumbuhan tertentu

Koaservat, kumpulan makromolekul yang dikelilingi molekul air, dapat menyerap substrat dari lingkungannya dan dapat melepaskan reaksi hasil metabolisme ke lingkungannya. Koaservat merupakan tetesan yang stabil

Protobiont, sel prokariot awal yang berasal dari koaservat

Syngami, merupakan cara reproduksi yang tidak menghasilkan keturunan baru; dua individu saling mendekat, lalu terjadilah pertukaran gen antara kedua individu tersebut. Setelah itu berpisah dan kemudian meneruskan pembiakan aseksual

DAFTAR PUSTAKA

Albert Bruce, et.al. (1989), *Molecular Biology of the Cell*, New York, London: Garland Publishning Inc.

Campbell, Reece, Mitchell, (2003) *Biologi*, edisi ke 5, Jakarta: Erlangga

Keeton, William T., (1980), *Biological Science*, 3rd ed., New York: W.W Norton & Company

Price, John T., (1971), *The Origin and Evolution of Life*, London: the English Universities Press.ltd.

KEGIATAN BELAJAR 2

Evolusi tumbuhan

Dalam Kegiatan Belajar 1, anda telah mempelajari tentang Dunia Bakteria, Arkhaea, dan Protista yang membahas tentang asal mula terjadinya kehidupan di bumi milyaran tahun yang lalu. Anda telah mempelajari pula bahwa kehidupan awal di bumi kita dimulai dari prokariota yang berevolusi selama bermilyar tahun. Perubahan cara makan dan metabolisme menyebabkan terjadinya evolusi cara makan yang pada akhirnya muncul revolusi oksigen. Sel prokariot umumnya uniseluler, tetapi ada pula yang hidup berkoloni.

Munculnya sel fotosintetik tampaknya mengubah kondisi bumi yang semula tanpa oksigen menjadi beroksigen, terbentuknya lapisan ozon, dan kemudian menimbulkan perubahan pada prokariot yang anaerob. Salah satu akibatnya adalah sel prokariot melakukan simbiosis sehingga muncullah sel yang mempunyai inti yang dikenal sebagai sel eukariota. Eukariota berevolusi selama jutaan tahun sehingga terbentuklah keanekaragaman Protista yaitu eukariot awal. Perkembangan protista menjadi berbagai kelompok yang mempunyai ciri khas menyebabkan perkembangan sel eukariot uniseluler, menjadi eukariot multiseluler, hingga struktur yang makroskopik. Oleh karena itu sistem klasifikasi juga berkembang seiring dengan kemajuan temuan secara molekuler. Dari sistem 5 kingdom menjadi sistem 8 kingdom, dan kemudian muncul calon-calon kingdom baru, sehingga terbentuklah sistem 3 domain

Berdasarkan uraian di atas, maka ikhtisar dari sistematika dan filogeni eukariot berdasarkan sistem tiga domain dipaparkan dalam tabel 2.1. berikut ini, di mana tergambar pula bahwa alga hijau secara filogenetik lebih maju dari pada alga merah. Kemajuan alga hijau dari segi struktural, anatomi, dan fisiologi, menyebabkan alga hijau dimasukkan dalam kelompok Plantae

Tabel 2.1. Sistematika dan Filogeni Eukariot Berdasarkan Sistem TIGA DOMAIN:

Nenek Moyang Bersama	DOMAIN BAKTERIA		D O M A I N E U K A R I O T A
	DOMAIN ARKHAEA		
	Diplomonad	Arkhaeozoa	
	Trikomonad		
	Mikrosporidia		
	Euglenoid	Euglenozoa	
	Kinetoplastida		
	Dinoflagelata	Alveolata	
	Apikompleksa		
	Ciliata		
	Diatomae	Stramenopila	
	Alga pirang		
	Alga coklat		
	Jamur air		
	Alga merah	Rhodophyta	
	Alga hijau	Plantae	
	Tumbuhan		
Fungi	Fungi		
Hewan	Animalia		

(Sumber: Adaptasi dari Campbell, 2003)

Dengan memperhatikan Tabel 2.1. di atas, kita dapat melihat bahwa karena ciri-ciri yang ada, maka kelompok Plantae terdiri atas Alga hijau dan Tumbuhan

Studi evolusi tumbuhan didasarkan pada kesamaan bukti dan umumnya memiliki keterbatasan yang secara umum hampir sama dengan studi evolusi pada hewan, yaitu adanya kenyataan berikut ini:

- (1).Tumbuhan tinggi tidak dapat berpindah tempat sehingga kecil kemungkinan terjadinya fosilisasi apabila tumbuh di tempat yang tidak memungkinkan

terjadinya proses fosilisasi. Pada hewan misalnya, bangkainya dapat terbawa arus sungai atau tenggelam di rawa yang kemudian akan mengawetkannya melalui peristiwa fosilisasi. walaupun “kecelakaan” ini terjadi jauh dari habitatnya.

- (2) Tumbuhan cenderung menggugurkan bagian-bagiannya misalnya daun, batang, bunga, dan biji. Jadi daun dan pollen yang mengalami fosilisasi mungkin dapat dinyatakan sebagai spesies yang berbeda, karena sepiintas lalu tidak tampak adanya hubungan organik satu sama lain. Meski dalam kenyataannya berasal dari tumbuhan yang sama.
- (3) Tumbuhan tidak memiliki bagian tubuh yang keras seperti halnya rangka pada hewan sehingga kemungkinan terawetkan juga tidak terlalu besar.
- (4) Rentang bentuk struktur tumbuhan sangat kecil jika dibandingkan dengan hewan.

Kenyataan di atas sesungguhnya merupakan kerugian dan juga keuntungan bagi tumbuhan, karena tidak ada kelompok tumbuhan yang kesamaannya sungguh sungguh tidak dikenal. Meskipun hubungan kekerabatan dalam kelompoknya kadang-kadang tidak jelas

A. Gambaran Umum Evolusi Tumbuhan

Semua tumbuhan merupakan eukariot multiseluler yang autotrof fotosintetik. Sel tumbuhan mempunyai dinding sel yang tersusun dari selulosa, dan tumbuhan dapat menyimpan kelebihan karbohidratnya dalam bentuk pati. Alga hijau multiseluler memiliki lebih banyak persamaan dengan tumbuhan daripada dengan kelompok alga lainnya. Kloroplas tumbuhan dan kloroplas alga hijau memiliki pigmen klorofil *a* dan *b*. Perbedaan antara kelompok tumbuhan dengan kelompok alga hijau adalah habitatnya. Hampir semua tumbuhan hidup di darat meskipun ada juga tumbuhan yang hidup di air dan di tempat yang lembab. Sedangkan semua alga hijau hidup di air.

Perbedaan tempat hidup ini sangat penting untuk menelusuri evolusinya, karena kehidupan di darat memerlukan adaptasi secara struktural, kimiawi, dan sistem reproduksi

1. Adaptasi Struktural

Kehidupan di darat berbeda dengan kehidupan di air, karena cahaya dan sebagian besar karboksida diambil dari udara atau di atas permukaan tanah, sedangkan air dan zat mineral diserap dari dalam tanah. Adaptasi ini menyebabkan tumbuhan memiliki struktur tubuh yang kompleks dan beragam. Ada organ yang berada di dalam tanah yaitu akar. Ada organ yang berada di atas tanah yaitu batang dan tunas yang akan menjadi daun. Daun memegang peranan penting dalam proses fotosintesis. Pertukaran gas karbondioksida dari atmosfer dan oksigen hasil fotosintesis terjadi melalui stomata (mulut daun). Begitu pula dengan proses transpirasi, yang terjadi melalui stomata.

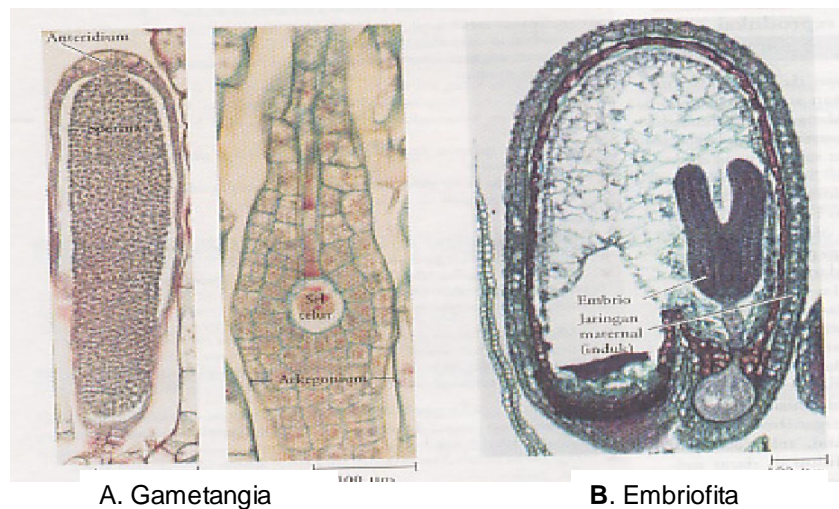
2. Adaptasi Kimiawi

Di samping adaptasi struktural, tumbuhan juga mengalami adaptasi kimiawi. Daun yang memegang peranan penting mengalami adaptasi kimiawi. Untuk mencegah hilangnya air secara berlebihan melalui proses transpirasi, maka daun dilapisi oleh kutikula. Proses transpirasi pada tumbuhan merupakan masalah utama yang dihadapi oleh tumbuhan yang hidup di darat. Kutikula atau lapisan lilin ini dihasilkan melalui proses metabolisme sekunder. Produk metabolisme sekunder lainnya adalah lignin (zat kayu) untuk mengokohkan batang pada tumbuhan berkayu. Jenis metabolisme sekunder lainnya adalah sporopolenin, yaitu senyawa polimer yang resisten terhadap kerusakan lingkungan. Sporopolenin juga ditemukan pada dinding zigot beberapa jenis alga.

3. Adaptasi Sistem Reproduksi

Struktur alat reproduksi pada tumbuhan mengalami adaptasi untuk mencegah kekeringan pada gamet dan embrio. Pada tumbuhan lumut, gamet terlindung di dalam gametangia yang selalu lembab, agar tidak kekeringan. Adaptasi ini juga terjadi pada tumbuhan lumut dan paku, sperma berkembang di dalam anteridium dan ovum berkembang di dalam arkegonium. Bila telah masak, maka sperma berflagela akan dilepaskan dari anteridium dan akan

membuahi ovum di dalam arkegonium. Kemudian terbentuklah zigot yang akan berkembang menjadi zigot di dalam arkegonium. Pada tumbuhan tinggi, embrio dilindungi oleh jaringan induk. Cara ini merupakan bentuk adaptasi kehidupan darat. Karena tumbuhan melindungi embrio sedemikian rupa di dalam jaringan induk maka tumbuhan darat disebut embriofita (phyta=tumbuhan). Pada alga hijau embrio tidak diipertahankan oleh tubuh induknya, melainkan dilepaskan ke air.



Gb.2.1. Adaptasi reproduksi pada tumbuhan darat

- A. Gamet tumbuhan lumut berkembang di dalam gametangia yang lembab
- B. Pada embriofita, embrio dilindungi oleh jaringan maternal tumbuhan induk

(Sumber: Campbell, 2003)

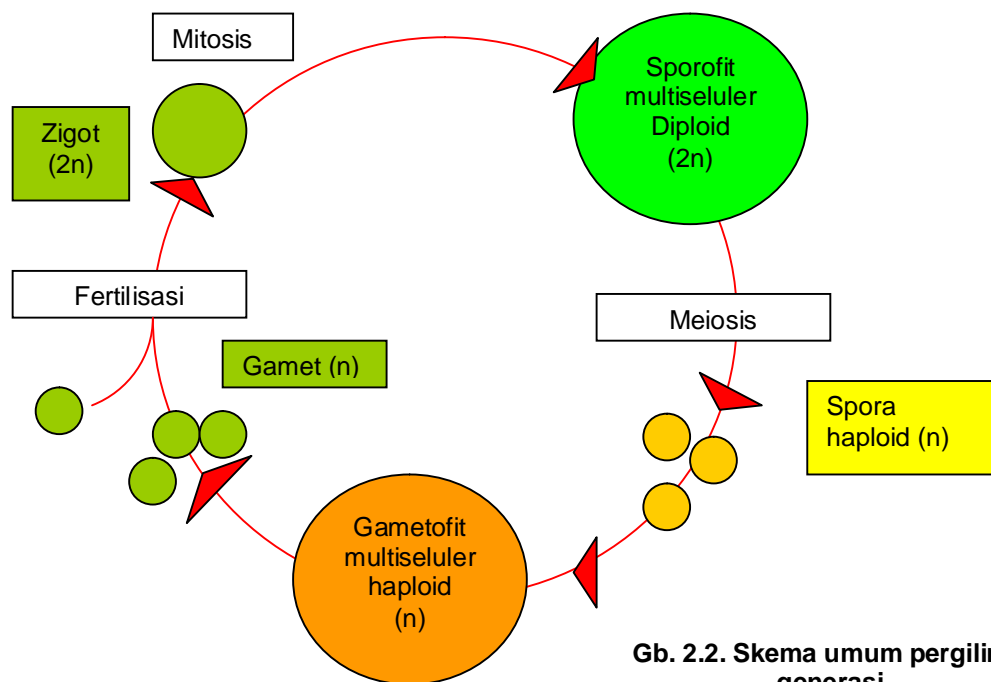
5. Pergiliran Generasi pada Tumbuhan

Secara umum, tumbuhan mempunyai pergiliran keturunan atau dikenal sebagai siklus hidup. Dalam pergiliran keturunan ini terdapat generasi gametofit yaitu individu multiseluler yang memiliki sel-sel yang haploid (n kromosom), dan generasi sporofit yaitu individu multiseluler dengan sel-sel diploid ($2n$ kromosom). Generasi gametofit menghasilkan gamet-gamet haploid (n), yang kemudian akan menyatu membentuk zigot yang diploid ($2n$). Zigot kemudian berkembang menjadi sporofit diploid. Sporofit diploid ini akan

mengalami pembelahan secara meiosis dan akan menghasilkan generasi gametofit berikutnya. Demikianlah pergiliran keturunan ini akan terus menerus terjadi.

Siklus hidup sporofit dan gametofit merupakan siklus yang heteromorfik (hetero=berbeda; morph= bentuk), yang berarti memiliki tahapan yang berbeda bentuk. Pada kelompok tumbuhan lumut, gametofit haploid merupakan tumbuhan yang lebih besar ukurannya atau lebih dominan daripada sporofit, tahapannya juga lebih rumit

Pada kelompok Paku-pakuan, Konifer (misalnya pinus), dan tumbuhan bunga, generasi sporofit yang diploid adalah tahapan yang dominan dan mudah teramati. Siklus hidup yang beraneka ragam ini merupakan ciri yang diturunkan oleh nenek moyang tumbuhan. Kingdom Plantae adalah monofiletik, yang berarti diturunkan oleh satu nenek moyang (nenek moyang bersama). Perbedaan siklus hidup ini merupakan bentuk adaptasi reproduktif dari kelompok tumbuhan. Secara evolusi, tumbuhan mengalami adaptasi dengan kehidupan darat



Gb. 2.2. Skema umum pergiliran generasi
(Adaptasi dari Campbell, 2003)

B. Asal Mula Tumbuhan Vaskuler

Perkembangan evolusi tumbuhan vaskuler dimulai sejak kira-kira 475 juta tahun yang lalu, yang terbagi menjadi beberapa periode evolusi .

Periode pertama evolusi, yaitu selama masa Ordovisian, zaman Palaeozoikum, sekitar 475 juta tahun yang silam, asal mula tumbuhan diduga berasal dari nenek moyang akuatik. Adaptasi terhadap kehidupan darat (terrestrial) dibuktikan oleh adanya sporopolenin dan gametangia berlapis yang melindungi gamet dan embrio. Adaptasi ini terjadi pada bryofita yang merupakan tumbuhan darat pertama. Bryofita atau tumbuhan lumut ini berkembang menjadi berbagai variasi dalam kelompoknya. Jaringan pembuluh yang terdiri atas sel-sel membentuk pembuluh untuk mengangkut air dan zat hara ke seluruh tubuh tumbuhan. Evolusi bryofita merupakan evolusi yang relatif dini dalam sejarah tumbuhan. Oleh karena sebagian besar bryofita tidak memiliki jaringan pembuluh maka bryofita disebut sebagai tumbuhan yang “non vaskuler” atau tumbuhan “tidak berpembuluh”. Namun ada sebagian kecil bryofita yang memiliki jaringan pembuluh pengangkutan air. Dengan demikian pengelompokan bryofita sebagai tumbuhan non vaskuler tidak seluruhnya benar

Periode kedua evolusi tumbuhan ditandai oleh diversifikasi tumbuhan vaskuler (tumbuhan berpembuluh) selama masa Devon sekitar 400 juta tahun silam. Tumbuhan vaskuler awal ini merupakan tumbuhan tak berbiji, misalnya pada jenis paku-pakuan serta kelompok tumbuhan tak berbiji lainnya.

Periode ketiga evolusi tumbuhan dimulai dengan kemunculan biji, yaitu struktur yang melindungi embrio dari kekeringan dan ancaman perubahan lingkungan. Kemunculan tumbuhan biji ini mempercepat perluasan kolonisasi tumbuhan di daratan. Biji tumbuhan terdiri atas embrio dan cadangan makanan yang terlindungi oleh suatu penutup. Tumbuhan vaskuler berbiji muncul kira-kira 360 juta tahun yang lalu dengan kemunculan **Gymnospermae** (Bhs. Yunani: Gymnos= ‘terbuka’ atau ‘telanjang’; sperma= benih atau biji). Gymnospermae

terdiri atas Konifer dengan berbagai variasi jenisnya. Konifer dan Paku-pakuan mendominasi kehidupan di hutan belantara selama lebih dari 200 juta tahun.

Periode keempat dalam evolusi tumbuhan terjadi pada masa Kreta, zaman Mesozoikum sekitar 130 juta tahun yang lalu. Periode ini ditandai dengan kemunculan tumbuhan berbunga yang memiliki struktur reproduksi yang agak rumit di mana biji dilindungi oleh ruangan yang disebut ovarium. Karena biji terlindung sedemikian rupa maka kelompok ini disebut Tumbuhan berbiji tertutup atau **Angiospermae** (Bhs. Yunani: Angion= “wadah”; spermae= benih atau biji)

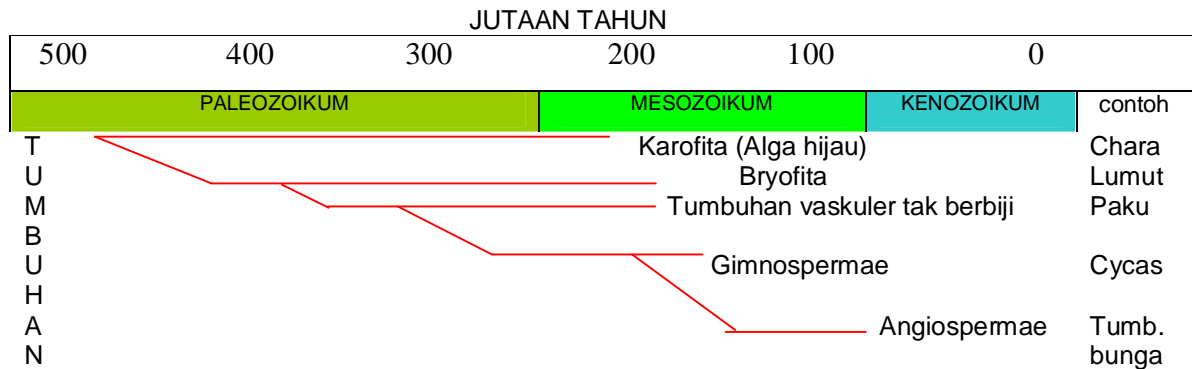
Betapapun juga telah lama diyakini bahwa tumbuhan berevolusi dari alga hijau, yaitu protista fotosintetik yang hidup di air. Kelompok alga hijau berkembang sangat pesat sehingga keanekaragamannya juga tinggi. Kini banyak bukti yang mengarahkan kekerabatan jenis alga hijau yang termasuk karofita dengan tumbuhan karena adanya

- (1) Kesamaan DNA kloroplas alga hijau karofita dengan tumbuhan
- (2) Kesamaan biokimiawi, yaitu komponen selulosa penyusun dinding sel dan komposisi enzim peroksisom pada alga dan tumbuhan
- (3) Kemiripan dalam mekanisme mitosis dan sitokinesis, yaitu adanya organel-organel mikrotubul, mikrofilamen aktin dan vesikula pada prose pembelahan sel.
- (4) Kemiripan dalam ultra struktur sperma
- (5) Adanya hubungan kekerabatan (genetik) berdasarkan kesamaan gen dan RNA.

Karofita yang diwakili oleh ganggang karangan (Characeae) menunjukkan bahwa karofita dan tumbuhan memiliki nenek moyang yang sama. Karofita modern umumnya hidup di perairan dangkal, sementara karofita primitif diduga juga telah hidup di air dangkal yang mudah terancam kekeringan. Seleksi alam terjadi sehingga alga ini bertahan hidup di laut dangkal. Perlindungan terhadap embrio yang berkembang di dalam gametangia merupakan cara adaptasi terhadap

Evolusi Tumbuhan

kekeringan, dan ternyata cara ini berguna pada saat mereka hidup di darat. Pada masa ordovisian terjadi akumulasi adaptasi sehingga organisme tersebut dapat hidup di darat.



Gb. 2.3. Evolusi Tumbuhan
(Adaptasi dari: Campbell, 2003)

Berdasarkan Gb. 2.3 di atas, Bryofita merupakan tumbuhan “darat” awal yang berevolusi dari jenis yang hidup di air. Adaptasi ini belum sempurna, sehingga bryofita memerlukan tempat hidup yang lembab. Bryofita (Bhs Yunani+ “lumut”) menunjukkan adaptasi penting dengan kehidupan darat yaitu adanya **arkegonium (gametangium betina)** dan **anteridium (gametangium jantan)**. Arkegonium menghasilkan satu sel telur (ovum), anteridium menghasilkan sperma berflagela. Sel telur dibuahi di dalam arkegonium dan kemudian berkembang menjadi zigot. Zigot kemudian berkembang menjadi embrio di dalam selubung pelindung organ betina. Sekalipun embrio telah terlindung sedemikian rupa, namun bryofita belum sepenuhnya terbebas dari kehidupan air. Untuk bereproduksi, sperma berflagela (ciri kehidupan air) masih tetap memerlukan air untuk dapat membuahi sel telur. Bryofita juga tidak memiliki jaringan ‘lignin’ dan tidak memiliki jaringan vaskuler, sehingga air dari lingkungan berdifusi dan diserap oleh sel. Tinggi tumbuhan lumut umumnya 1-2 cm, namun ada yang mencapai 20 cm.

Bryofita terdiri atas 3 divisi, yaitu:

(1) Divisi Lumut Daun (Divisi Bryofita)

Lumut daun merupakan bryofita yang sangat dikenal, tumbuhan lumut ini hidup berkelompok seperti hamparan yang lunak yang bersifat menyerap air. Masing-masing tumbuhan memiliki rhizoid (rhiza= akar;-oid= mirip) sebagai alat untuk melekat pada substrat. Lumut daun mempunyai bagian yang mirip akar, mirip daun dan mirip batang. Bagian “akar”, “batang”, dan “daun” ini memang berbeda strukturnya dengan akar, batang, dan daun sejati pada tumbuhan tinggi. Namun bagian “daun”-nya dapat menyelenggarakan fotosintesis. Lumut daun berukuran kecil (pendek), meski demikian, hamparan *Sphagnum* (lumut gambut) yang sangat tebal dapat menutupi kira-kira 3 % permukaan bumi kita. *Sphagnum* yang mati di tanah yang basah menyimpan karbon organik yang tak mudah diuraikan oleh mikroba.

(2) Divisi Lumut hati (Divisi Hepatofita)

Lumut hati banyak tumbuh di hutan tropika yang sarat dengan keanekaragaman. Disebut lumut hati karena tubuhnya terdiri dari beberapa lobus yang mengingatkan kita pada lobus hati. Siklus hidupnya mirip dengan lumut daun yaitu memiliki fase seksual dan aseksual. Secara aseksual dengan membentuk *gemmae* yang terdapat di dalam “mangkuk” dan kemudian akan terpelempar ke luar dari mangkuk oleh tetesan air hujan.

(3) Divisi Lumut tanduk (Anthoserofita)

Lumut ini disebut lumut tanduk karena sporofitnya membentuk kapsul yang memanjang mirip tanduk. Berdasarkan penelitian asam nukleat diperoleh bukti bahwa lumut tanduk merupakan kelompok bryofita yang paling dekat kekerabatannya dengan tumbuhan vaskuler.

Ketiga divisi bryofita tersebut telah berhasil hidup di darat dan beradaptasi selama lebih dari 450 juta tahun. Bahkan diyakini bahwa pada 50 juta tahun

pertama sejak lahirnya komunitas darat, lumut merupakan satu-satunya tumbuhan yang mendominasi daratan



A. *Musci* (lumut daun)



B. *Marchantia* (lumut hati)



C. *Anthoceros* (lumut tanduk)

Gb. 2.4. Contoh Divisi Bryofita
(Sumber: Keeton, 1980)

C. Evolusi Tumbuhan Vaskuler

Di atas telah diuraikan bahwa kelompok bryofita telah berhasil beradaptasi dengan kehidupan darat, sekalipun tidak sepenuhnya dapat hidup di tempat yang kurang air. Pada bagian “daun”nya terdapat stomata dan kutikula yang mirip dengan tumbuhan vaskuler. Keberadaan stomata dan lapisan kutikula ini merupakan tahap evolusi bryofita terhadap kehidupan di darat. Tubuh tumbuhan bryofita juga telah mengalami diferensiasi menjadi bagian-bagian yang mirip akar, mirip batang dan mirip daun.

Pada tumbuhan vaskuler, tubuhnya juga berdiferensiasi menjadi akar, batang, dan daun sejati. Sistem perakaran di bawah permukaan tanah berfungsi

untuk menyerap air dan zat hara. Sistem tunas di atas permukaan tanah akan menghasilkan daun yang berfungsi untuk menyelenggarakan proses fotosintesis. Pada bagian batang terdapat jaringan vaskuler yang membentuk sistem pembuluh angkut. Sistem pembuluh angkut terdiri atas **xylem** (pembuluh kayu) dan **floem** (pembuluh tapis). Pembuluh kayu yang berbentuk tabung sebenarnya merupakan sel mati, namun dindingnya masih merupakan sistem pipa kapiler mikroskopis untuk mengangkut air dan zat hara dari akar ke bagian tubuh tanaman. Floem merupakan jaringan sel hidup yang berfungsi menghantarkan makanan, yang mendistribusikan gula, asam amino, dan zat-zat lain dari daun ke seluruh bagian tubuh tanaman.

Adaptasi terhadap kehidupan darat lainnya adalah **lignin** (zat kayu) yang terdapat di dalam matriks selulosa dinding sel, sifatnya keras, dan berfungsi untuk menyokong batang tumbuhan agar kokoh. Adanya lignin sangat penting bagi tumbuhan darat, karena lingkungan darat tidak memberikan sokongan eksternal seperti lingkungan air. Alga yang tumbuh di air tidak memerlukan zat lignin karena lingkungan sekitarnya menunjang tubuhnya sedemikian rupa.

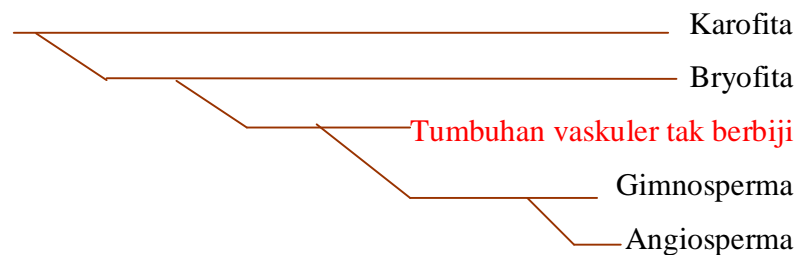
Sel-sel pembuluh kayu memiliki dinding berlignin yang memiliki dua fungsi yaitu (1) sebagai jaringan vaskuler dan (2) sebagai penyokong tubuh tanaman. Pada tumbuhan yang kecil dan tak berkayu, maka tekanan turgor membantu agar tumbuhan tetap tegak, namun pada pohon dan tumbuhan yang besar harus ada lignin agar dapat tegak.

Berbagai fosil tumbuhan ditemukan pada lapisan sedimen masa Silur dan Devon. Tumbuhan ini terfosilkan dengan sangat indah, hingga tampak susunan jaringan mikroskopiknya. Fosil tumbuhan tertua adalah *Cooksonia* yang ditemukan di lapisan Silur di Eropa dan Amerika Utara. Temuan di dua benua yang berbeda ini menunjukkan bahwa dahulu kala kedua benua ini masih bersatu. Perbedaan *Cooksonia* dengan bryofita adalah pada siklus hidupnya. Pada bryofita tahap gametofit merupakan tahap dominan. Pada tumbuhan vaskuler awal, tahap sporofit-lah yang dominan, yang ditandai oleh

adanya sporangia. Sporofit *Cooksonia* bercabang, hal ini menunjukkan kemajuan dibandingkan dengan sporofit bryofita yang tak bercabang. Percabangan berfungsi untuk meningkatkan jumlah sporangia dan spora yang dihasilkan oleh tubuh tumbuhan, sehingga dapat lebih banyak menghasilkan keturunan. Percabangan ini juga merupakan bahan mentah bagi evolusi tumbuhan vaskuler. Daun pada tumbuhan vaskuler diduga berevolusi dari terbentuknya jalinan jaringan beberapa cabang yang tumbuh berdekatan.

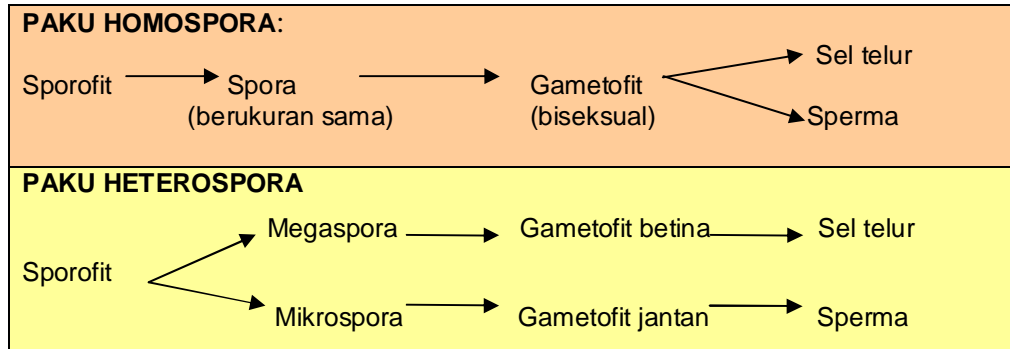
1. Tumbuhan vaskuler tak berbiji

Tumbuhan vaskuler atau tumbuhan berpembuluh terdiri atas **tumbuhan vaskuler tak berbiji** dan **tumbuhan vaskuler berbiji**. Tumbuhan vaskuler tak berbiji dimulai sejak 360 juta tahun silam yaitu pada masa Karbon. Filogeninya digambarkan sebagai berikut:



Gb. 2.5. Filogeni tumbuhan vaskuler tak berbiji
(Adaptasi dari: Campbell 2003)

Baik pada *Cooksonia* maupun tumbuhan vaskuler tak berbiji, siklus hidupnya didominasi oleh generasi sporofit. Generasi gametofitnya sangat kecil dan terdapat di permukaan tanah. Berkurangnya dominasi generasi gametofit dalam evolusi tumbuhan merupakan bentuk kecenderungan tumbuhan untuk beradaptasi dengan kehidupan darat. Pada jenis paku-pakuan, ada dua macam tumbuhan sporofit, yaitu paku homospora dan paku heterospora. Perhatikan skema berikut ini:



Gb. 2.6. Perbandingan antara paku homospora dan heterospora

Pada Gb. 2.8. di atas, paku homospora menghasilkan spora yang sama bentuk dan ukurannya, sementara paku heterospora menghasilkan dua jenis spora yaitu megaspora dan mikrospora. Megaspora menghasilkan gametofit betina (arkegonium) sedangkan mikrospora menghasilkan gametofit jantan (anteridium). Anggota paku heterospora diantaranya ada yang berevolusi kembali ke air.

Tumbuhan vaskuler tak berbiji terdiri atas tiga divisi:

1.1.Divisi Lycophyta (likofita)

Paku likofita berevolusi selama masa Devon dan mendominasi daratan selama masa Karbon. Pada masa itu, divisi Lycophyta berevolusi menjadi dua kelompok yaitu:

- (1) Kelompok yang berevolusi menjadi pohon berkayu dengan diameter batang 2 meter dan tinggi lebih dari 40 meter.
- (2) Kelompok yang tetap berukuran kecil, berbentuk herba (tak berkayu), contohnya *Lycopodium* (paku “lumut”, paku kawat, “pinus tanah”)

Spesies Lycophyta raksasa mendominasi rawa Karboniferous selama jutaan tahun, dan kemudian punah ketika terjadi perubahan suhu di bumi dan rawa-rawa mengering pada akhir periode Karbon. Spesies Lycophyta

yang berukuran kecil hidup dekat permukaan tanah di dasar hutan atau hidup sebagai epifit pada pohon lain. Penyebarannya mulai dari hutan beriklim sedang hingga hutan tropika.

Divisi Sphenophyta (paku ekor kuda)

Kelompok sphenophyta dikenal sebagai paku ekor kuda (*horse tail*), contohnya *Equisetum*. Tumbuhan paku ini termasuk kelompok tumbuhan vaskuler primitif yang telah menghuni daratan sejak masa Devon. Kelompok ini mendominasi daratan pada masa karbon, beberapa spesies diantaranya mencapai tinggi 15 meter. Paku ekor kuda yang bertahan hingga masa kini adalah genus tunggal *Equisetum* dengan kira-kira 15 spesies yang tersisa. Hidup di bumi belahan utara hingga daerah tropika di tepian aliran sungai. Paku ekor kuda merupakan paku homospora. Tumbuhan yang terlihat adalah generasi sporofit. Pembelahan meiosis terjadi di dalam sporangia dan menghasilkan spora haploid. Gametofit berkembang dari spora, berukuran sangat kecil hanya beberapa millimeter saja.

1.3.Divisi Pterophyta (Pakis)

Divisi ini sangat beraneka ragam, dikenal sebagai “pakis” dengan jumlah spesies lebih dari 12.000 spesies yang hidup hingga masa kini. Jumlah spesies terbanyak terdapat di daerah tropika, tetapi ada beberapa spesies yang hidup di daerah beriklim sedang. Daun pakis berukuran besar, berbeda dengan daun lycophyta. Diduga bentuk daun mengalami evolusi, setiap daun pakis yang disebut megafil kemungkinan berasal dari beberapa daun-daun kecil yang berdekatan. Daun pakis merupakan daun majemuk, ketika masih muda menggulung dan ujungnya membentuk seperti ujung biola, dan kemudian berangsur sempurna seiring dengan membukanya gulungan daun tersebut. Ada pohon pakis yang berukuran besar yang hidup di daerah tropika, misalnya “pakis haji”.

Evolusi Tumbuhan

Tumbuhan vaskuler tak berbiji sangat dominan pada masa karboniferous sekitar 290-360 juta tahun silam, dan pada masa kini meninggalkan spesies yang masih hidup dan juga bahan bakar fosil dalam bentuk batu bara



A. *Lycopodium*



A. *Equisetum*

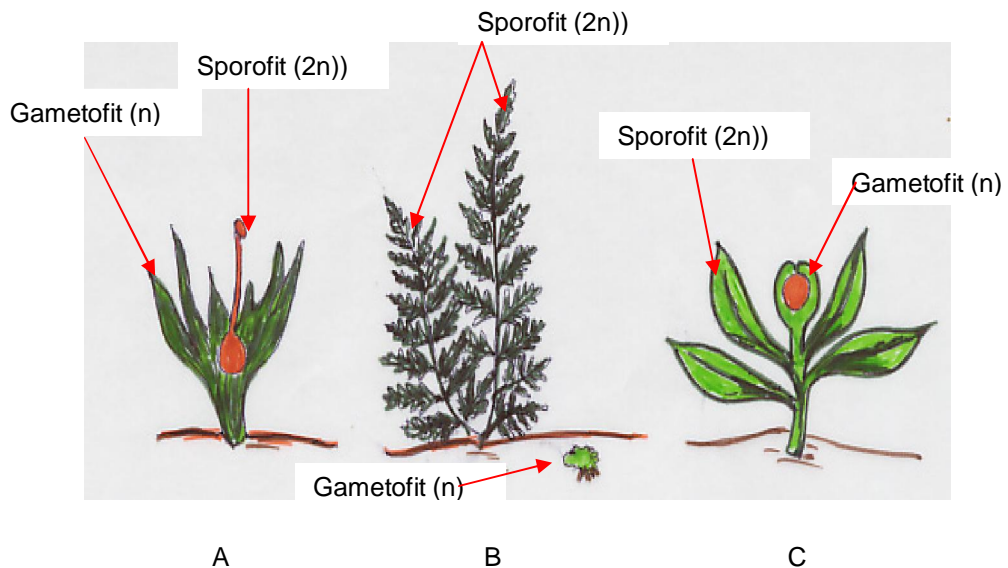


C. Pakis

Gb.2.7. Tumbuhan vaskuler tak berbiji
(Sumber : Keeton, 1980)

2. Tumbuhan vaskuler berbiji

Dibandingkan dengan bryofita dan paku-pakuan, maka gametofit tumbuhan vaskuler berbiji semakin kecil, terlindung di dalam jaringan reproduktif yang lembab pada generasi sporofit. Pergeseran dari haploid ke arah diploid pada tumbuhan darat diduga merupakan dampak radiasi ionisasi cahaya matahari (sinar UV) yang menimbulkan mutasi. Bentuk sporofit yang diploid diduga dapat lebih baik mengatasi radiasi yang bersifat mutagenik tersebut.



Gb 2.8. Perbandingan pergiliran keturunan pada (A) bryofita, (B) pteridophyta dan (C) tumbuhan biji
(Sumber: adaptasi dari Campbell, 2003)

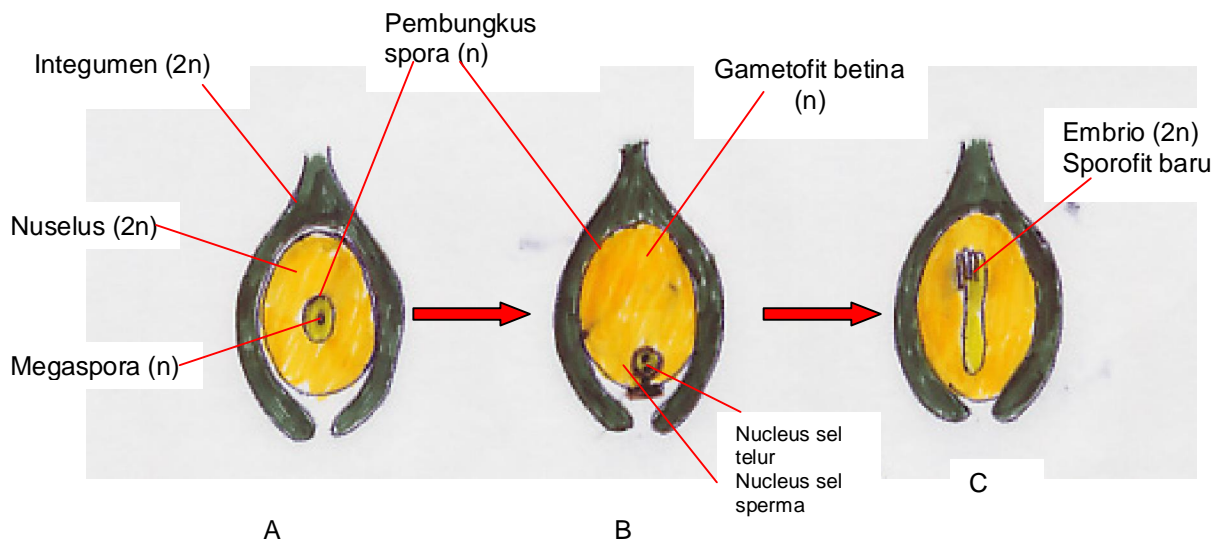
Gametofit, meskipun kecil namun secara umum masih diperlukan oleh tumbuhan berbiji sebagai tempat berlindungnya embrio sporofit sampai keadaan tertentu pada jaringan gametofit maternal. Apabila pada tumbuhan lumut dan paku, spora memegang peranan penting dalam penyebaran, maka pada tumbuhan berbiji peran spora digantikan oleh biji. Spora berukuran mikroskopis dan bersel tunggal, berbeda dengan struktur biji yang

multiseluler dan makroskopis. Di dalam biji terdapat embrio sporofit yang terbungkus oleh cadangan makanan di dalam suatu jaringan pelindung.

Semua tumbuhan biji adalah heterospora, yang menghasilkan megasporangia dan mikrosporangia. Megasporangia menghasilkan megaspora (gametofit betina) yang mengandung sel telur. Mikrosporangia menghasilkan mikrospora (gametofit jantan) yang mengandung sperma. Evolusi biji terjadi pada megasporangium yang berbeda dengan megasporangium pada paku air. Megasporangium merupakan struktur berdaging padat yang disebut **nuselus**, dan mempunyai lapisan tambahan yang disebut **integumen** yang membungkus megasporangium (lihat Gb. 2.9), keseluruhan struktur ini disebut **bakal biji (ovul)**. Di dalam bakal biji terdapat gametofit betina yang mengandung satu sel telur, yang berkembang di dalam dinding megaspora dan diberi makan oleh nuselus. Jika sel telur dibuahi oleh sebuah sperma maka akan menjadi **zigot**, dan zigot akan berkembang menjadi **embrio sporofit**. Bakal biji berkembang menjadi **biji**. Biji dapat dorman selama beberapa waktu lamanya, bila kondisinya sesuai maka biji akan berkecambah, embrio sporofit akan muncul dari lapisan biji sebagai **benih** atau **kecambah**.

Bagaimana dengan mikrospora? Mikrospora berkembang menjadi **butir-butir serbuk sari**. Bila sudah matang, maka serbuk sari akan menjadi gametofit jantan. Serbuk sari dilindungi oleh lapisan keras yang mengandung **sporopolenin**, yang setelah dilepaskan oleh mikrosporangium dapat terbawa angin atau hewan.

Apabila butir serbuk sari jatuh di sekitar bakal biji akan membentuk **buluh serbuk sari**, yang akan melepaskan satu atau lebih sperma ke dalam gametofit betina di dalam bakal biji tersebut. Pada tumbuhan biji, keberadaan serbuk sari yang tersebar di udara dan berdaya tahan tinggi merupakan adaptasi terhadap kehidupan darat.



Gb 2.9 Perkembangan bakal biji menjadi biji. (A) sayatan bakal biji (B) bakal biji yang dibuahi, dan (C) Biji (embrio sporofit)
(Adaptasi dari: Campbell 2003)

2.1. Gimnosperma

Berdasarkan catatan fosil, gimnosperma telah lebih dahulu menghuni bumi dibandingkan angiosperma. Gimnosperma diduga berasal dari nenek moyang dari kelompok tumbuhan yang hidup di masa Devon, yaitu **Progimnosperma**, yang awalnya merupakan tumbuhan tak berbiji. Evolusi menjadi gimnosperma yang berbiji terjadi secara radiasi adaptif pada masa Karbon. Masa Permian merupakan masa perubahan iklim di bumi. Suhu bumi naik sehingga terjadilah perubahan flora dan fauna di bumi. Banyak habitat yang semula berair menjadi kering, sehingga ada kelompok organisme yang hilang dan ada yang baru muncul. Perubahan kehidupan terutama terjadi di lautan, akan tetapi kehidupan di darat juga terpengaruh. Di lautan, keanekaragaman amphibian menurun, dan digantikan oleh kemunculan reptilia. Pada tumbuhan, juga terjadi perubahan. Jenis paku-pakuan yang semula mendominasi rawa-rawa di masa Karbon, menjadi berkurang dan digantikan oleh kelompok gimnosperma.

Secara geologi, akhir masa Permian kira-kira 245 juta tahun silam merupakan batas antara zaman Paleozoikum dan Mesozoikum. Zaman Paleozoikum didominasi oleh kehidupan di lautan, sedangkan zaman Mesozoikum merupakan masa yang ditandai oleh reptilia raksasa. Keberadaan reptilia didahului oleh kemunculan vegetasi di darat yang didominasi oleh sikas yang mirip palem dan conifer. Keduanya adalah dua divisi gimnosperma.

Gimnosperma yang masih hidup hingga saat ini terdiri atas 4 divisi yaitu:

- (1) **Divisi Cycadophyta:** mirip palem, namun bukan palem sejati, karena merupakan tumbuhan biji terbuka. Biji terdapat di dalam sporofil, yaitu daun yang berfungsi untuk reproduksi
- (2) **Divisi Ginkgophyta:** memiliki daun yang berbentuk kipas, yang warnanya berubah keemasan dan rontok di musim gugur. Umumnya gimnosperma tidak menggugurkan daunnya pada musim gugur. Spesies yang masih hidup adalah *Ginkgo*
- (3) **Divisi Gnetophyta:** Terdiri atas 3 genus yang tampaknya berbeda dan tidak berkerabat satu sama lain, yaitu; (i) genus *Welwitschia* (ii) genus *Gnetum* yang hidup di daerah tropika, dan (iii) genus *Ephedra* yang berupa semak.
- (4) **Divisi Coniferophyta** (Bhs. Latin: “conus”= kerucut, “ferre”=membawa). Kelompok ini memiliki bunga yang berupa konus; yang merupakan kumpulan sporofil, yang mirip sisik. Conifer yang masih hidup hingga saat ini adalah: Pinus, cemara, *Juniper*, *Cedar*, sipres dan redwood (kayu merah). Semua conifer merupakan tumbuhan “*evergreen*” yang tidak menggugurkan daunnya di musim dingin. Selama musim dingin, fotosintesis terjadi hanya pada hari-hari cerah. Daun berbentuk jarum, merupakan adaptasi terhadap kondisi kering, daun dilapisi kutikula yang tebal, stomata di bagian bawah. Semua conifer merupakan tumbuhan yang besar. Ada yang tingginya lebih dari 110 meter

2.2. Angiosperma (Tumbuhan berbunga)

Dibandingkan dengan Gimnosperma, Angiosperma merupakan tumbuhan yang penyebarannya sangat luas, hampir di seluruh dunia dengan jumlah spesies sekitar 250.000 (bandingkan dengan gimnosperma sekitar 720 spesies). Angiosperma digolongkan sebagai divisi tunggal Anthophyta (Bhs. Yunani : “anthos”=bunga). Divisi anthophyta dibagi menjadi dua kelas, yaitu (1) **Monokotiledon** (berkeping tunggal)

(2) **Dikotiledon** (berkeping genap)

Sebagai tumbuhan yang beradaptasi dengan kehidupan darat, maka angiosperma mengalami evolusi pada sel-sel xylem, bunga, buah, dan siklus hidup

Struktur sel xilem lebih sesuai untuk pengangkutan air dari akar ke bagian tumbuhan di atasnya. Xilem pada angiosperma berevolusi menjadi **pembuluh**, yang merupakan perkembangan dari trakeid pada gimnosperma, sehingga lebih terspesialisasi sebagai pengangkut air. Xylem angiosperma juga diperkuat oleh **serat** yang berkembang dari trakeid, dindingnya tebal dan mengandung lignin. Pada gimnosperma, unsur serat juga berkembang, namun unsur pembuluh tidak berkembang. Fungsi serat ini adalah untuk membantu proses mekanis.

Di samping evolusi pembuluh, angiosperma juga mengalami evolusi **bunga**. Bunga merupakan organ reproduksi yang memiliki empat lingkaran daun yaitu: kelopak bunga (umumnya berwarna hijau), mahkota bunga (berwarna warni cerah), benang sari dan putik. Kelopak bunga melindungi bunga sebelum mekar dengan membungkus kuncupnya. Mahkota bunga umumnya berwarna cerah untuk menarik perhatian serangga hewan penyerbuk. Ada pula bunga yang tidak dilengkapi mahkota atau mahkotanya tidak menarik, misalnya jenis bunga rumput-rumputan. Di dalam mahkota bunga terdapat organ reproduksi yaitu **benang sari** (stamen) dan **putik**

(karpel). Benang sari merupakan organ reproduksi jantan yang terdiri atas **tangkai sari** (filamen) dan **kepala sari** (antera) yang menghasilkan serbuk sari. Putik merupakan organ reproduksi betina yang terdiri atas **tangkai putik** (stilus), yang mengarah ke **ovarium** (terletak di bagian dasar bunga), dan **kepala putik** (stigma). Kepala putik bersifat lengket, sebagai tempat melekatnya serbuk sari bila terjadi penyerbukan

Buah pada angiosperma mengalami modifikasi yang membantu penyebaran biji. Ada biji yang sangat ringan, berbentuk baling-baling yang disebarkan oleh angin, ada buah yang bermodifikasi menjadi duri yang dapat menempel pada tubuh hewan atau pakaian manusia untuk membantu penyebaran. Ada pula yang buahnya dapat dimakan oleh hewan namun bijinya tidak tercerna, sehingga lolos bersama dengan kotorannya. Penyebaran semacam ini dapat terjadi pada tempat yang sangat jauh dari induknya.

Siklus hidup angiosperma juga lebih maju dibandingkan dengan gimnosperma. Semua angiosperma adalah heterospora. Bunga sporofit menghasilkan megaspora yang membentuk gametofit betina dan mikrospora yang menghasilkan gametofit jantan. Gametofit jantan yang belum matang adalah butir serbuk sari yang berkembang di dalam kepala sari. Bakal biji berkembang di dalam ovarium yang mengandung sel telur (gametofit betina) yang disebut kantung embrio. Pada angiosperma umumnya, megaspora membelah tiga kali sehingga menghasilkan delapan nukleus haploid. Dua nukleus diantaranya menuju ke bagian tengah dan berdempetan. Salah satu nukleus adalah **nukleus sel telur**.

Setelah serbuk sari dilepaskan dari kepala sari dan kemudian melekat pada kepala putik, maka terjadilah penyerbukan. Butir serbuk sari menjadi gametofit jantan, kemudian berkecambah membentuk buluh serbuk sari masuk ke tangkai putik menuju ke ovarium. Setelah mencapai ovarium, maka buluh serbuk melepaskan dua nukleus sel sperma yang akan masuk ke dalam

ovarium melalui mikropil. Satu nucleus sperma akan membuahi sel telur, lalu membentuk **zigot yang diploid**. Nucleus sperma lainnya menyatu dengan dua nucleus yang ada di tengah kantung embrio, lalu membentuk sel dengan nucleus triploid (3 n). inilah yang disebut **pembuahan ganda**.

Melalui pembuahan ganda, terjadilah keselarasan antara perkembangan cadangan makanan dalam biji dengan perkembangan embrio, nucleus triploid akan menjadi cadangan makanan bagi embrio diploid. Bakal biji yang telah matang terdiri atas embrio, endosperma, dan selaput biji yang berasal dari integumen. Ovarium akan berkembang menjadi buah pada saat bakal biji berkembang menjadi biji. Bila buah telah masak, biji akan berkecambah di lingkungan yang cocok, selaputnya akan pecah, embrio akan keluar sebagai kecambah. Embrio dalam proses perkecambahannya menggunakan dari endosperma dan kotiledon.

Evolusi Angiosperma

Fosil tertua angiosperma diperkirakan hidup sekitar 130 juta tahun yang lalu. Fosilnya ditemukan di lapisan batuan Kreta. Jika dibandingkan dengan fosil paku dan gimnosperma, maka fosil angiosperma sangat jarang ditemukan. Pada akhir masa Kreta sekitar 65 juta tahun silam, angiosperma mulai mendominasi daratan di bumi hingga saat ini.

Bumi kita pernah dilanda kepunahan masal, yaitu pada akhir masa Permian sekitar 200 juta tahun yang lalu, dan akhir masa Kreta. Masa ini merupakan periode krisis karena banyak kelompok organisme mati dan kemudian digantikan kelompok baru. Frekuensi kepunahan tertinggi terjadi di lautan, namun flora dan fauna di darat juga mengalami kepunahan yang cukup besar. Kelompok reptilia raksasa seperti Dinosaurus berangsur-angsur punah, begitu pula kelompok sikad dan conifer yang mendominasi hutan zaman Mesozoikum juga ikut punah. Setelah kepunahan itu, maka nicia-nya digantikan oleh mamalia dan tumbuhan berbunga. Perubahan ini tampak dari

perubahan fosil selama akhir masa Kreta. Para ahli geologi menggunakan akhir masa Kreta sebagai batas antara zaman Mesozoikum dan Kenozoikum.

Evolusi angiosperma juga mempengaruhi evolusi hewan, karena beberapa hewan yang menghuni daratan menyesuaikan kebutuhan makanannya dengan tumbuhan bunga yang mendominasi hutan masa itu mulai dari dasar hutan hingga bagian tudungnya dimana terdapat tumbuhan epifita. Hewan pemakan tumbuhan menjadi terspesialisasi untuk memakan jenis tumbuhan tertentu. Serangga yang mencari madu bunga, kemudian berkembang menjadi hewan penyerbuk. Hewan penyerbuk ini kemudian menjadi faktor yang meningkatkan keanekaragaman tanaman bunga, hewan ini menjadi ko-evolusi bagi angiosperma.

Berbagai jenis bunga kemudian mengembangkan keunikannya untuk menarik perhatian hewan penyerbuk, misalnya warna tertentu menjadi daya tarik hewan serangga, burung dan hewan lainnya. Aroma bunga juga menjadi daya tarik bagi hewan. Dengan demikian terbentuk suatu pola interaksi khusus antara hewan penyerbuk dengan bunga yang diserbuknya. Begitu pula dengan penyebaran biji. Buah yang telah masak umumnya berwarna mencolok atau menebarkan aroma yang menarik perhatian hewan pemakan buah tersebut. Daging buahnya dimakan, namun bijinya tak dapat hancur dalam sistem pencernaan hewan, kemudian keluar bersama fesesnya atau dikeluarkan lagi dari paruhnya (jika hewan pemakannya adalah burung), sehingga dapat tumbuh di tempat yang jauh dari induknya. Dalam hal ini hewan menjadi perantara dalam penyebaran biji tumbuhan. Inilah salah satu faktor yang menyebabkan angiosperma berhasil dalam penyebarannya di darat.

Pada saat ini boleh dikatakan angiosperma merupakan tumpuan harapan bagi ketersediaan sumber makanan di bumi, karena sebagian besar tanaman pertanian merupakan angiosperma. Mulai dari tumbuhan penghasil karbohidrat seperti padi, jagung, ketela, kentang, tumbuhan penghasil buah-buahan seperti apel, jeruk, tomat, durian dan lain-lain, hingga tumbuhan penghasil komoditas

lainnya. Semuanya ini tak terlepas dari adanya campur tangan manusia dalam menyebarkan benih dan membudidayakan tumbuhan. Manusia tentu saja berperan sangat besar dalam evolusi tumbuhan angiosperma melalui proses pemuliaan, seleksi, dan hibridisasi untuk memperbaiki mutu tanaman pertanian dan budidaya.

Tumbuhan juga berperan dalam mempengaruhi iklim di bumi, karena menurunkan jumlah CO₂ di atmosfer bumi sehingga iklim di bumi menjadi lebih sejuk. Karbondioksida di atmosfer menyebabkan terjadinya pemanasan di permukaan bumi, sehingga disebut sebagai “efek rumah kaca”, dan gas CO₂ disebut “gas rumah kaca”. Peranan tumbuhan terhadap iklim global diduga telah terjadi sejak zaman Paleozoikum karena :

- (1) Tumbuhan menggunakan CO₂ sebagai sumber karbon untuk proses fotosintesis
- (2) Tumbuhan mengembalikan sebagian CO₂ hasil respirasinya ke udara, dan juga hasil respirasi dari organisme heterotrof yang hidup di masa itu.

Sebagian besar karbon yang digunakan untuk asimilasi tersimpan di dalam tanah sebagai cadangan makanan yang terbenam untuk waktu yang relatif lama dalam bentuk **sporopolenin**, **lignin**, dan **lilin** setelah tumbuhan tersebut mati. Berdasarkan postulat **Berne**, pengaruh tumbuhan terhadap kadar karbondioksida di atmosfer terjadi melalui kegiatan tumbuhan vaskuler di dalam tanah, karena akar tumbuhan vaskuler dapat menyebar hingga ke tempat yang jauh yang berbatu-batu. Akar ini mampu memecah bebatuan dan mengeluarkan senyawa asam yang membebaskan mineral dan partikel tanah. Apabila terjadi pembasuhan maka CO₂ akan bereaksi dengan mineral terutama setelah mineral mengalir ke laut, sehingga reaksi ini akan menurunkan kadar CO₂ di atmosfer.

LATIHAN

Setelah anda mempelajari tentang evolusi tumbuhan, marilah mencoba soal latihan berikut ini untuk memantapkan pemahaman anda.

1. Jelaskan, mengapa tumbuhan diduga berevolusi dari alga hijau karofita?
2. Mengapa untuk dapat berhasil menghuni daratan, tumbuhan harus mengalami adaptasi struktural, kimiawi dan reproduksi?
3. Berilah penjelasan mengapa evolusi bryofita merupakan gambaran dari adaptasi embriofita terhadap kehidupan darat?
4. Bagaimanakah perbedaan antara siklus hidup tumbuhan lumut dengan siklus hidup tumbuhan paku?
5. Bryofita terdiri atas 3 divisi, sebutkan!
6. Bagaimanakah evolusi siklus hidup pada tumbuhan vaskuler tak berbiji?
7. Tumbuhan vaskuler tak berbiji terdiri atas 3 divisi, sebutkan!
8. Bagaimanakah perbedaan antara gametofit tumbuhan vaskuler tak berbiji dengan tumbuhan berbiji?
9. Apa keistimewaan cara penyebaran keturunan pada tumbuhan berbiji?
10. Sebutkan divisi gimnosperma yang masih ada hingga saat ini, dan divisi manakah yang paling beranekaragam?
11. Bagaimanakah bentuk adaptasi angiosperma terhadap kehidupan darat?
12. Bagaimanakah susunan umum bunga angiosperma sehingga dikatakan lebih maju dari pada gimnosperma?
13. Mengapa siklus hidup angiosperma dikatakan paling maju jika dibandingkan dengan gimnosperma, pteridofita dan bryofita?
14. Jelaskan, bahwa hewan dan tumbuhan saling berinteraksi sehingga satu sama lain dan saling mempengaruhi evolusinya.
15. Bagaimanakah tumbuhan dapat berperan dalam mempengaruhi iklim global di bumi kita?

RANGKUMAN

1. Tumbuhan mengalami adaptasi struktural, kimiawi dan reproduksi sehingga dapat beradaptasi dengan kehidupan di darat
2. Terdapat empat periode penting dalam evolusi tumbuhan yaitu: (a) asal mula embriofita dari alga hijau karofita, (b) evolusi tumbuhan berpembuluh (vaskuler) (c) asal mula tumbuhan biji, dan (d) keanekaragaman tumbuhan bunga.
3. Adaptasi karofita pada perairan dangkal merupakan awal keberhasilan kehidupan tumbuhan di daratan.
4. Pada bryofita, embrio berkembang di dalam arkegonium. Karena itu tumbuhan lumut merupakan embriofita.
5. Dalam siklus hidup bryofita, generasi gametofit lebih dominant daripada generasi sporofit
6. Bryofita terdiri atas 3 divisi: (a) lumut daun(Bryofita), (b) lumut hati (Hepatofita), dan (c) lumut tanduk (Anthoserofita).
7. Adaptasi Tumbuhan vaskuler sebagai tumbuhan darat sejati dijelaskan oleh adanya (a) jaringan xylem untuk sistem pengangkutan air dan mineral, (b) jaringan floem untuk sistem pengangkutan hasil fotosintesis ke seluruh tubuh tanaman, (c) lignin dan dinding sel yang keras pada jaringan vaskuler.
8. Pada siklus hidup tumbuhan vaskuler tak berbiji, sporofit lebih dominan daripada gametofit.
9. Tumbuhan vaskuler tak berbiji terdiri atas tiga divisi yaitu (a) Lycophyta (b) Sphenophyta, dan (c) Pterophyta.
10. Tumbuhan vaskuler tak berbiji membentuk hutan batu bara pada masa Karboniferous
11. Pada tumbuhan berbiji, biji merupakan alat penyebaran keturunan
12. Gimnosperma mendominasi kehidupan darat pada zaman mesozoikum.
13. Gimnosperma yang masih bertahan hingga masa kini adalah divisi (a) Cycadophyta (b) Ginkgophyta (c) Gnetophyta, dan (d) Coniferophyta
14. Angiosperma mendominasi kehidupan darat pada zaman Kenozoikum
15. Siklus hidup angiosperma paling maju dibandingkan dengan tumbuhan lainnya
16. Evolusi angiosperma mempengaruhi seleksi dan adaptasi hewan penyerbuk
17. Keanekaragaman angiospermae merupakan sumberdaya alam yang penting dalam pengembangan tanaman budidaya
18. Tumbuhan dapat mempengaruhi iklim dan atmosfer bumi dengan cara menurunkan konsentrasi gas CO₂ di udara.

TES FORMATIF

Pilihlah Jawaban yang Paling Tepat

1. Adaptasi bryofita terhadap kehidupan darat dikatakan belum sempurna karena alasan berikut ini, kecuali...
 - a. Tidak mempunyai jaringan lignin
 - b. Hanya dapat hidup di tempat lembab
 - c. Belum memiliki klorofil a dan b
 - d. Anteridium menghasilkan sperma yang berflagela
 - e. Memerlukan media air untuk terjadinya pembuahan

2. Manakah dari pernyataan berikut yang tidak sesuai dengan ciri-ciri Bryofita?
 - a. Memiliki sporofit yang bercabang
 - b. Sporofitnya tidak bercabang
 - c. Terdapat pergiliran keturunan
 - d. Dinding selnya tidak berlignin
 - e. Belum mempunyai akar sejati

3. Divisi Anthoceroophyta (lumut tanduk) dianggap lebih dekat kekerabatannya dengan tumbuhan vaskuler, karena...
 - a. telah memiliki akar sejati
 - b. memiliki stomata dan kutikula pada sporofitnya
 - c. telah mempunyai xylem dan floem
 - d. terdapat matriks selulosa pada struktur selnya
 - e. gametofitnya lebih dominan

4. “Hutan batu bara” terbentuk dari...
 - a. hutan *Sphagnum* yang mendominasi daratan pada masa Karbon
 - b. hutan paku *Equisetum* yang hidup pada masa Devon
 - c. tumbuhan vaskuler berbiji yang hidup pada masa Devon
 - d. tumbuhan vaskuler tak berbiji yang hidup di masa Karbon
 - e. gambut yang mengalami fosilisasi di masa Devon

5. Tumbuhan vaskuler telah beradaptasi sepenuhnya dengan kehidupan darat karena alasan berikut ini, kecuali...
 - a. Memiliki sistem pembuluh angkut xylem untuk mengangkut air dan mineral
 - b. Memiliki floem sebagai untuk pengangkutan hasil fotosintesis
 - c. Terdapat lignin yang memperkuat struktur pembuluh angkut
 - d. Dinding sel mengandung selulosa
 - e. Sporofit tak bercabang, gametofit lebih dominan

6. *Cooksonia* merupakan fosil tumbuhan yang digolongkan sebagai tumbuhan vaskuler tak berbiji dan bukan sebagai bryofita, karena memiliki ciri...
 - a. siklus hidupnya didominasi oleh generasi sporofit
 - b. siklus hidupnya didominasi oleh generasi gametofit
 - c. generasi gametofit berukuran besar
 - d. embrio berkembang di dalam sporofit
 - e. sporofitnya tak bercabang

7. Berikut ini adalah pernyataan tentang *Lycopodium*, kecuali:
 - a. berukuran kecil dan hidup di tanah (pinus tanah)
 - b. beberapa spesies hidup sebagai epifit
 - c. merupakan tumbuhan berkayu yang tingginya lebih dari 40 meter
 - d. umumnya tidak hidup sebagai parasit
 - e. terdapat spesies homospora dan spesies heterospora

8. Pada tumbuhan vaskuler berbiji, mikrospora berkembang menjadi...
 - a. buluh serbuk sari
 - b. kantung embrio
 - c. anthera
 - d. butir serbuk sari
 - e. bakal biji

9. Evolusi Angiosperma dan hewan bersifat saling mempengaruhi, sehingga hewan dianggap sebagai faktor ko-evolusi bagi tumbuhan bunga karena beberapa hal berikut, selain...
 - a. Bunga angiosperma memiliki warna atau aroma yang menarik hewan penyerbuk tertentu
 - b. Tumbuhan angiosperma merupakan produsen dalam ekosistem alami
 - c. Terdapat pola interaksi spesifik antara bunga dan hewan penyerbuknya
 - d. Hewan penyerbuk menjadi faktor yang meningkatkan keanekaragaman tumbuhan bunga
 - e. Hewan membantu penyebaran biji tumbuhan bunga.

10. Tumbuhan berperan dalam perubahan iklim global di bumi, karena ...
 - a. kemampuannya memanfaatkan CO₂ di atmosfer untuk fotosintesis
 - b. kemampuannya mengubah CO₂ menjadi zat tepung
 - c. menghalangi hilangnya panas di atmosfer
 - d. merupakan sumberdaya alam terbarui
 - e. beberapa jenis tumbuhan mengalami kepunahan

RAMBU-RAMBU JAWABAN SOAL LATIHAN

1. Anda dapat menemukan jawabannya pada penjelasan di halaman 36 – 37 termasuk Gb 2.3.
2. Silakan anda membaca penjelasan di halaman 31-32 tentang gambaran umum evolusi tumbuhan
3. Penjelasannya ada di halaman 35 tentang asal mula tumbuhan vaskuler periode pertama
4. Paparan tentang perbedaannya dapat ditemukan di halaman 40-41 tentang evolusi tumbuhan vaskuler
5. Jawabannya ada di halaman 37 tentang bryofita
6. Anda dapat menemukan jawabannya di halaman 41-42 pada penjelasan tentang tumbuhan vaskuler tak berbiji
7. Paparannya ada di halaman 42-44
8. Silakan anda membaca uraiannya di halaman 45-46 dan Gb 2.8
9. Penjelasannya ada di halaman 46-47 serta gb 2.9
10. Silakan anda membaca halaman 48 tentang Gimnospermae
11. Silakan anda membaca uraiannya ada di halaman 49 tentang Angiospermae
12. Uraiannya ada di halaman 49-50 tentang bunga angiospermae
13. Jawabannya dapat ditemukan di halaman 50 tentang siklus hidup
14. Penjelasannya ada di halaman 52 tentang evolusi angiospermae
15. Anda dapat membaca uraian di halaman 53 tentang evolusi angiospermae

KUNCI JAWABAN TES FORMATIF

1. c. Karena bryofita telah memiliki klorofil a dan b
2. a. Sporofit bryofita tidak bercabang
3. b. Karena memiliki stomata dan kutikula pada sporofitnya
4. d. Berasal dari tumbuhan vaskuler tak berbiji yang hidup di masa Karbon
5. e. Sporofit tak bercabang, gametofit lebih dominan. (Sporofit tumbuhan vaskuler berbiji bercabang)
6. a. Siklus hidup *Cooksonia* didominasi oleh generasi sporofit
7. c. Lycopodium bukan tumbuhan berkayu yang tingginya lebih dari 40 meter
8. d. Mikrospora berkembang menjadi butir serbuk sari
9. b. Tumbuhan angiosperma merupakan produsen dalam ekosistem alami
10. a. Kemampuannya memanfaatkan CO₂ di atmosfer untuk fotosintesis

Cara penskoran :

$\frac{\text{Jumlah jawaban yang benar}}{10} \times 100\%$
--

Bagaimanakah hasil jawaban anda?

Bila skor anda mencapai $\geq 80\%$, berarti anda telah mencapai ketuntasan belajar. Oleh karena itu anda dapat melanjutkan ke kegiatan belajar Modul 4 tentang EVOLUSI FUNGI dan HEWAN namun bila belum, anda diharapkan mempelajarinya kembali

GLOSSARY

Antheridium, organ kelamin “jantan” pada fungi, alga, briofita, likofita, sfenofita, dan pterofita

Arkhegonium, organ kelamin “betina” pada fungi, alga, briofita, likofita, sfenofita, dan pterofita serta sebagian besar gimnosperma. Multiseluler, dengan leher terdiri atas satu deret sel atau lebih, bagian pangkalnya membengkak mengandung sel telur

Fosilisasi, fosil: sisa suatu organisme atau bukti tentang keberadaan suatu organisme yang terawetkan dalam batuan, es, ter, gambut, atau abu vulkanik; Fosilisasi: berproses menjadi fosil

Gametangia, gametangium, sel penghasil gamet

Gas rumah kaca, gas CO₂, yang bila terdapat dalam jumlah banyak di atmosfer menyebabkan terjadinya pemanasan di permukaan bumi, sehingga disebut sebagai “efek rumah kaca”, dan gas CO₂ disebut “gas rumah kaca”.

Generasi gametofit, Tahap pergiliran keturunan pada tumbuhan, pergiliran generasi, fase haploid (n); selama generasi gametofit, gamet dihasilkan melalui mitosis

Generasi sporofit, Tahap pergiliran keturunan, fase diploid (2n). generasi sporofit dapat menghasilkan spora haploid melalui meiosis

Heterospora, Individu yang menghasilkan dua macam spora, yaitu mikrospora dan megaspore, yang masing-masing akan berkembang menjadi gametofit jantan dan gametofit betina yang berbeda, misalnya pada paku-pakuan dan tumbuhan biji

Homospora, mempunyai satu macam spora yang menghasilkan gametofit yang menyangga organ reproduksi jantan dan betina, misalnya pada paku-pakuan

Lignin, zat kayu, polimer tumbuhan yang terdapat dalam dinding sel sklerenkim, pembuluh xylem, dan trakeid sehingga bagian tersebut menjadi kuat dan kaku

Sporopolenin, Bahan pembentuk dinding luar (eksin) dari spora dan serbuk sari. Merupakan bahan organik yang paling kuat yang tahan terhadap asam atau basa pekat

Daftar Pustaka

- Abercrombie M., et al.,(1993). *Kamus Lengkap Biologi*, Jakarta: Erlangga
- Albert Bruce, et.al. (1989), *Molecular Biology of the Cell*, New York, London: Garland Publishing Inc.
- Campbell, Reece, Mitchell, (2003) *Biologi*, edisi ke 5, Jakarta: Erlangga
- Keeton, William T., (1980), *Biological Science*, 3rd ed., New York: W.W Norton & Company
- Otto, James & Towle Albert, (1975), *Modern Biology*, New York: Holt, Rinehart and Winston
- Price, John T., (1971), *The Origin and Evolution of Life*, London: the English Universities Press.Ltd.