Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi

Sumber, Modul Pendidikan Profesi Guru

Modul 3. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi

Penulis. Lilit Rusyati, S.Pd., M.Pd.

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah guru P3K mampu menganalisis interaksi antar mahluk hidup dan lingkungan.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai komptensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi. Indikator pencapaian komptensi yang akan dicapai dalam Pembelajaran 2. Keanekaragaman Makhluk Hidup dan Ekologi adalah sebagai berikut.

- 1.1. Mengkorelasikan adaptasi struktural, kimiawi dan reproduksi dengan fakta asal mula tumbuhan
- 1.2. Mengkategorikan jenis tumbuhan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi
- 1.3. Membandingkan karakteristik pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji
- 1.4. Menafsirkan tipe reproduksi pada tumbuhan nonvaskuler, tumbuhan vaskuler tak berbiji dan tumbuhan berbiji
- 1.5. Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian di tumbuhan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.

- 2.1. Mendeskripsikan gambaran umum tentang filogeni dan keanekaragaman hewan
- 2.2. Mengkategorikan jenis hewan dengan menggunakan kunci dikotomi dan kunci determinasi
- 2.3. Membandingkan karakteristik pada hewan invertebrata dan vertebrata
- 2.4. Menafsirkan tipe reproduksi pada hewan invertebrata dan vertebrata
- 2.5. Menelaah objek permasalahan biologi berdasarkan kasus penelitian terhadaphewan pada salah satu tingkat organisasi kehidupan.
- 3.1. Mengkategorikan jenis-jenis simbiosis sebagai bentuk interaksi antar makhluk hidup
- 3.2. Mengkorelasikan hubungan antara populasi makhluk hidup dengan kebutuhan hidupnya.
- 4.1. Menganalisis penyebab terjadinya pencemaran lingkungan berdasarkan dampak yang ditimbulkannya.
- 4.2. Menganalisis peran mikroorganisme dalam menjaga kesuburan tanah berdasarkan sifat fisika atau kimianya.
- 4.3. Menemukan berbagai alternatif strategi atau solusi yang paling tepat untuk mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan

C. Uraian Materi

1. Klasifikasi dan Keanekaragaman Tumbuhan

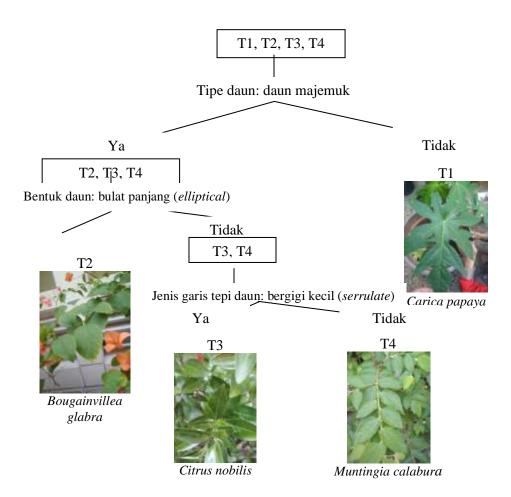
Kunci Dikotomi dan Kunci Determinasi untuk Tumbuhan

Kunci dikotomi atau kunci identifikasi biasanya terdiri atas dua keterangan yang berlawanan dari ciri-ciri yang dimiliki oleh suatu kelompok makhluk hidup. Ketika membuat kunci dikotomi, hal-hal yang perlu diperhatikan yaitu:

- a. Kunci harus dikotom (berlawanan), sehingga satu bagian dapat diterima sedangkan yang lain ditolak.
- b. Ciri yang dimasukkan mudah diamati.
- c. Deskripsi karakter dengan istilah umum sehingga dapat dipahami oleh orang lain.
- d. Menggunakan kalimat sesingkat mungkin.

Selain kunci dikotomi ada juga Kunci Determinasi. Kunci determinasi dibuat secara bertahap sampai bangsa saja, suku, marga atau jenis dan seterusnya. Ciri-ciri makhluk hidup disusun sedemikan rupa sehingga selangkah demi selangkah Anda akan memilih satu diantara dua atau beberapa sifat yang bertentangan. Demikian seterusnya sehingga Anda akan memperoleh suatu jawaban berupa identitas makhluk hidup yang diinginkan.

Berikut disajikan salah satu contoh bentuk Kunci Dikotomi untuk empat tumbuhan. Jika Anda memiliki kunci dikotomi yang berbeda, tidak apa-apa, semuanya benar asalkan dasar klasifikasinya menggunakan konsep yang tepat.



Gambar 83.Contoh Kunci Dikotomi pada Tumbuhan (Dokumen pribadi, 2019)

Berikut salah satu contoh Kunci Determinasi untuk klasifikasi tumbuhan.

Kunci Determinasi Tumbuhan

- 2. Tumbuhan dengan batang sejati atau memiliki alat tubuh yang menyerupai batang ... (2)
- 4. Pada batang terdapat jaringan pembuluh(3)
- 5. a. Tumbuhan tidak berbunga(4)
- 6. Tumbuhan berbunga atau memiliki organ yang berfungsi seperti bunga ... (4)
- a. Pada daun terdapat bintik kuning atau coklat, jika ditekan akan keluar serbuk kecilTumbuhan paku
- 8. Pada daun tidak diketemukan adanya bintik kuning atau coklat (5)
- 9. a. Tumbuhan tidak dengan bunga sejati, pada ujung ranting atau ketiak daun terdapat badan berbentuk kerucut yang menghasilkan bakal biji *Gymnospermae*
- 10. Tumbuhan dengan bunga sejati dan tidak mempunyai organ berbentuk kerucut pada ujung atau ketiak daunnya (6)
- 11. a. Berakar serabut(7)
- 12. Berakar tunggang(8)

- 16. Bunga berbentuk terompet *Terong*

Gambar 1.3 Contoh Kunci Determinasi pada Tumbuhan (https://www.gurupendidikan.co.id/, 2019)

Beberapa tahapan cara menggunakan Kunci Determinasi yaitu:

- a. Bacalah dengan teliti Kunci Determinasi mulai dari permulaan yaitu nomor 1a.
- b. Cocokkan ciri-ciri tersebut pada Kunci Determinasi dengan ciri yang terdapat pada makhluk hidup yang diamati.
- c. Jika ciri-ciri pada kunci tidak sesuai dengan ciri makhluk hidup yang diamati, harus beralih pada pernyataan yang ada dibawahnya dengan nomor yang sesuai. Misalnya pernyataan 1a tidak sesuai, beralihlah ke pernyataan 1b.
- d. Jika ciri-ciri yang terdapat pada Kunci determinasi sesuai dengan ciri yang dimiliki organisme yang diamati, catatlah nomornya. Lanjutkan pembacaan kunci pada nomor yang sesuai dengan nomor yang tertulis di belakang setiap pernyataan pada kunci.
- e. Jika salah satu pernyataan ada yang cocok atau sesuai dengan makhluk hidup yang diamati, alternatif lainnya akan gugur.
- f. Begitu seterusnya hingga diperoleh nama famili, ordo, kelas, dan divisio atau filum dari makhluk hidup yang diamati.

Saat ini ada aplikasi bernama PlantNet yang dapat membantu Anda dan peserta didikuntuk menemukan nama ilmiah suatu tumbuhan. Selain itu, Anda juga dapat berkontribusi untuk menambahkan atau merevisi informasi atau nama ilmiah pada aplikasi tersebut.

• Asal Mula Tumbuhan: Adaptasi Struktural, Kimiawi, dan Reproduksi Para ahli sitematika telah melakukan kajian dan penelitian untuk mencari hubungan kekerabatan kingdom Plantae (tumbuhan) dengan kingdom lainnya. Berikut adalah hasil penelitian tersebut yang terdiri atas adaptasi secara struktural, kimiawi dan reproduksi tumbuhan.

a. Tumbuhan kemungkinan berevolusi dari alga hijau yang disebut karofita

Selama beberapa dekade, para ahli telah mengakui bahwa alga hijau (karofita) adalah protista fotosintetik yang paling dekat kekerabatannya dengan tumbuhan. Dengan membandingkan ultrastruktur sel, biokimia, dan informasi hereditas (DNA dan RNA serta produk proteinnya), para peneliti telah menemukan homologi antara tumbuhan dan karofita, di antaranya:

1) Kloroplas yang homolog.

Alga hijau memiliki klorofil *b* dan beta karoten seperti halnya dengan tumbuhan. Kloroplas alga hijau juga mirip dengan kloroplas tumbuhan dalam hal terdapatnya membran tilakoid yang menumpuk sebagai grana. Ketika para ahli sistematika molekuler membandingkan DNA kloroplas dari berbagai macam alga hijau dengan DNA kloroplas pada tumbuhan, kesamaan yang paling dekat terdapat antara karofita dan tumbuhan.

2) Kemiripan Biokimiawi.

Selulosa adalah komponen struktural dinding sel pada sebagian besar alga hijau, suatu karakteristik yang juga dimiliki oleh tumbuhan. Diantara alga hijau, karofita adalah yang paling mirip dengan tumbuhan dalam komposisi dinding sel, yaitu selulosanya menyusun 20-26 % dari total bahan pembentuk dinding sel, baik pada karofita maupun pada tumbuhan. Karofita juga merupakan satu-satunya alga yang memiliki peroksisom yang komposisi enzimnya sama dengan peroksisom pada tumbuhan

3) Kemiripan dalam mekanisme mitosis dan sitokinesis.

Selama pembelahan sel pada tumbuhan dan karofita, seluruh selubung nukleus menyebar selama akhir profase, dan gelondong mitosis tetap bertahan sampai sitokinesis dimulai. Pada beberapa karofita, seperti tumbuhan, sitokenesis melibatkan kerjasama dengan mikrotubul, mikrofilamen aktin, dan vesikula dalam pembelahan suatu lempengan sel.

4) Kemiripan dalam ultrastruktur sperma.

Dalam rincian ultrastruktur sperma, karofita lebih mirip dengan tumbuhan tertentu daripada dengan alga hijau lainnya.

5) Hubungan genetik.

Para ahli sistematika molekuler telah meneliti gen nukleus tertentu dan RNA ribosom pada karofita dan tumbuhan. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan bukti-bukti lainnya yang menempatkan karofita sebgai kerabat terdekat tumbuhan.

b. Pergiliran generasi pada tumbuhan diawali dari pembelahan meiosis yang tertunda

Pergiliran generasi tidak terjadi pada karofita modern, akan tetapi kita dapat menemukan petunjuk pada beberapa alga tersebut, diantaranya pada anggota genus *Coleochaete*. Thallus (badan) *Coleochaete* adalah haploid. Cara reproduksi seksualnya sangat tidak umum dibandingkan dengan cara reproduksi seksual pada alga lainnya. Sebagaian besar alga melepaskan gametnya ke dalam air di sekelilingnya, dimana fertilisasi berlangsung. Perbedaannya, induk thallus *Coleochaete* mempertahankan sel telurnya, dan setelah fertilisasi terjadi, zigot masih tetap menempel pada induknya. Sel-sel non reproduktif pada thallus tersebut tumbuh di sekitar masing-masing zigot. Kemungkinan karena diberi makan oleh sel-sel di sekitarnya. Zigot yang tumbuh tersebut kemudian membelah secara meiosis, melepaskan spora haploid yang berkembang menjadi individu baru.

Perhatikan bahwa tahapan diploid satu-satunya dalam siklus hidup *Coleochaete* adalah zigot; pergiliran generasi diploid multiselular dan generasi haploid multiselular tidak terjadi. Tetapi bayangkanlah nenek moyang tumbuhan yang pembelahan meiosisnya tertunda sampai setelah zigot pertama membelah secara mitosis untuk meningkatkan jumlah sel-sel diploid yang menempel pada

induk haploidnya. Sikulus hidup seperti ini sesuai dengan definisi pergiliran generasi. Pada kasus ini, sporofita yang belum sempurna (kumpulan sel-sel diploid) akan bergantung pada gametofit (induk haploid). Jika sel-sel khusus gametofit membentuk lapisan pelindung di sekitar sporofit yang sangat kecil tersebut, maka nenek moyang hipotetis seperti itu dapat dikualifiaksikan sebagai embriofita primitif.

Apakah keuntungan menunda pembelahan meiosis dan membentuk kumpulan sel-sel diploid? Jika zigot mengalami pembelahan meiosis secara langsung, maka setiap fertilisasi hanya menghasilkan beberapa spora haploid. Akan tetapi pembelahan mitosis pada zigot untuk membentuk suatu sporofita akan memperbanyak produk seksual, dengan pembelahan meiosis yang menyebabkan banyak sel diploid menghasilkan banyak spora haploid. Ini merupakan adapatasi yang penting untuk memaksimumkan hasil reproduksi seksual pada lingkungan dimana kondisi kekurangan air menurunkan peluang dari sperma yang berenang untuk membuahi telur.

c. Adaptasi pada air yang dangkal merupakan pra-adaptasi tumbuhan untuk kehidupan di daratan

Banyak spesies karofita modern ditemukan di perairan yang dangkal di sekitar ujung kolam dan danau. Sejumlah karofita kuno yang hidup di sekitar daratan, kemungkinan telah menempati habitat di air dangkal yang dapat mengalami kekeringan. Seleksi alam akan lebih memilih individu alga yang dapat bertahan hidup melewati periode ketika alga tidak berada di bawah permukaan air. Perlindungan pada gamet-gamet dan embrio yang sedang berkembang di dalam organ yang terlindungi (gametangia) pada induknya merupakan salah satu contoh adaptasi dengan kehidupan di air dangkal yang akan terbukti ternyata berguna juga di daratan. Contoh lainnya adalah resistensi yang ditambahkan oleh sporollenin pada spora.

• Tumbuhan Non Vaskuler : Tumbuhan Lumut (Bryophyta)

Tumbuhan lumut termasuk kategori Thallophyta (tumbuhan bertalus) karena belum dapat dibedakan mana akar, batang, dan daun. Tumbuhan nonvaskuler (lumut daun, lumut hati, dan lumut tanduk) dikelompokan bersama dalam satu

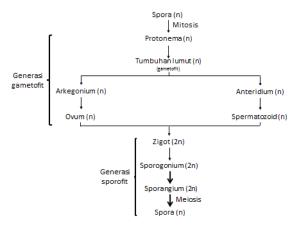
divisi tunggal, bryophyta (Bahasa Yunani bryon, "lumut"). Bryophyta menunjukkan adaptasi penting yang pertama kali membuat perpindahan ke daratan menjadi mungkin yaitu kondisi embriofita tersebut. Gamet pada briofita berkembang di dalam gametangia. Gametangium jantan, dikenal sebagai anteridium, menghasilkan sperma berflagela. Setiap gametangium betina, atau arkegonium, menghasilkan satu telur (ovum). Sel telur tersebut dibuahi dalam arkegonium dan zigot berkembang menjadi suatu embrio di dalam selubung pelindung organ betina. Penyimpanan zigot dan sporofita yang berkembang dari zigot merupakan versi yang diperbaharui.



Gambar 84.Tumbuhan Lumut (https://www.thetimes.co.uk/, 2019)

Bahkan dengan embrio yang terlindungi, briofita tidak sepenuhnya terbebas dari habitat perairan nenek moyangnya. Pertama, tumbuhan bryophyta memerlukan air untuk bereproduksi; spermanya, seperti sperma alga hijau, memiliki flagella dan harus berenang dari anteridium ke arkegonium untuk membuahi sel telur. Pada banyak spesies briofita, lapisan tipis air hujan atau embun sudah cukup untuk memungkinkan terjadinya pembuahan dan dengan demikian beberapa spesies brofita dapat hidup bahkan di padang gurun. Selain itu, sebagian besar bryophyta tidak memiliki jaringan pembuluh untuk membawa air dari tanah ke bagian tumbuhan yang berada di atas permukaan tanah (pengecualiannya, seperti yang disebutkan sebelumnya, adalah bryophyta tertentu dengan sel pengangkut air yang memanjang). Ketika air mengalir pada permukaan sebagian besar bryophyta, mereka harus mengimbibisinya seperti karet busa dan menyebarkannya ke seluruh tubuh tumbuhan melalui proses difusi yang relatif lambat, kerja kapiler, dan aliran sitoplasmik. Cara hidrasi tersebut membantu menjelaskan mengapa tempat lembap dan teduh merupakan habitat briofita yang paling umum.

Dalam siklus hidup briofita, seperti lumut daun, kita melihat suatu contoh spesifik suatu pergiliran generasi haploid dan diploid. Ingat, gametofit haploid merupakan generasi dominan pada lumut dan briofita lainnya. Sporofita umumnya lebih kecil dan hidupnya lebih pendek dan bergantung pada gametofit untuk memiliki kebutuhan air dan zat hara. Sporofit diploid menghasilkan spora haploid melalui pembelahan meiosis dalam suatu struktur yang disebut sporangium. Spora yang sangat kecil, yang terlindungi oleh sporopollenin, menyebar dan berkembang menjadi gametofit baru. Siklus hidup briofita berbeda dengan siklus hidup yang didominasi gametofit pada tumbuhan vaskuler, di mana sporofit diploid merupakan generasi yang dominan. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 85.Metagenesis (pergiliran keturunan) pada tumbuhan lumut (https://www.britannica.com/, 2018)

Agar memperjelas tentang siklus hidup (pergiliran keturunan atau metagenesis) Briofita atau tumbuhan lumut, Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=JrqL5JzeG-o. Tumbuhan lumut terdiri atas tiga divisi yaitu lumut daun atau *moss* (Divisi Bryophyta), lumut hati atau *liverwort* (Divisi Hepatofita) dan lumut tanduk atau *hornwort* (Divisi Anthoserofita). Berikut disajikan gambar perbandingan ketiga divisi lumut tersebut.



Gambar 86.Klasifikasi Tumbuhan Lumut (Bryophyta)



(a) lumut daun (Divisi Briofita) (b) lumut hati (Divisi Hepatofita) (c) lumut tanduk (Divisi Anthoserofita)
(Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

a. Lumut Daun atau Moss (Divisi Bryophyta)

Bryophyta yang paling terkenal adalah lumut daun (*moss*). Hamparan lumut daun dan sesungguhnya terdiri dari banyak tumbuhan yang tumbuh dalam kelompok yang padat, yang saling menyokong satu sama lain. Hamparan tersebut memiliki sifat seperti karet busa, yang memungkinkan untuk menyerap dan menahan air. Masing-masing tumbuhan yang ada dalam hamparan tersebut melekat pada substrat dengan sel yang memanjang atau filamen seluler yang disebut rizhoid. Berikut adalah contoh-contoh dari lumut daun.



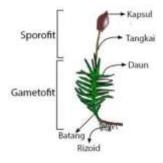


Polytrichum

Archidium

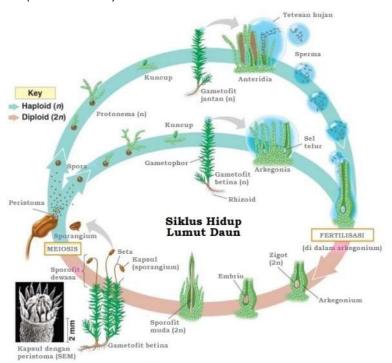
Gambar 87. Contoh lumut daun (https://www.britannica.com/, 2018)

Sebagian besar fotosintesis terjadi pada bagian atas tumbuhan, yang memiliki banyak tambahan seperti batang dan seperti daun. Akan tetapi, "batang", "daun" dan "akar" (rhizoid) lumut daun tidak homolog dengan struktur yang sama pada tumbuhan vaskuler. Berikut disajikan gambar struktur morfologi lumut daun.



Gambar 88. Struktur morfologi hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)

Meskipun lumut daun memiliki ukuran tubuh pendek, dampak kolektifnya pada Bumi sangat besar. Sebagai contoh, lumut gambut, atau *Sphagnum*, menutupi paling tidak 3% permukaan daratan Bumi seperti karpet, dengan kerapatan tertinggi pada garis lintang utara. Tumbuhan "gambut", hamparan tebal tumbuhan hidup dan mati di tanah yang basah, mengikat banyak sekali karbon organik karena berlimpahnya bahan-bahan resisten pada gambut tersebut yang tidak mudah diurai oleh mikroba. Sebagai tempat menyimpan karbon, rawa gambut tersebut berperan penting dalam menstabilkan konsentrasi karbon dioksida di atmosfer Bumi, dan demikian pula iklim Bumi, melalui efek rumah kaca yang berkaitan dengan CO₂. Berikut disajikan gambar siklus hidup lumut daun atau *moss* (divisi Briofita).



Gambar 89. Siklus hidup lumut daun atau moss (divisi Briofita)

b. Lumut Hati atau Liverwort (Divisi Hepatofita)

Lumut hati (*liverwort*) merupakan tumbuhan yang kurang menyolok mata dibandingkan dengan lumut daun. Tubuh lumut hati dibagi menjadi beberapa lobus, yang bentuknya pasti mengingatkan seseorang akan lobus hati pada hewan (*wort* artinya "heba"). Hutan tropis merupakan rumah bagi spesies lumut

hati dengan keanekaragaman yang paling besar. Berikut adalah contoh-contoh dari lumut hati.



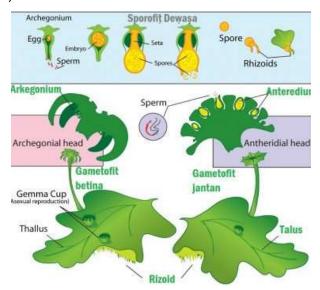
Marchantia polymorpha

Lunularia

Metzgeria

Gambar 90.Contoh lumut hati (https://www.britannica.com/, 2018)

Siklus hidup lumut hati sangat mirip dengan siklus hidup lumut daun. Di dalam sporangia beberapa lumut hati sel-selnya berbentuk kumparan yang muncul dari kapsul ketika kapsul tersebut membuka, yang membantu menyebarkan spora. Lumut hati juga dapat bereproduksi secara aseksual dari berkas sel-sel kecil yang disebut *gemmae* yang terpelanting keluar dari mangkuk yang ada pada permukaan gametofit oleh tetesan hujan. Berikut disajikan gambar siklus hidup lumut hati (*liverwort*).



Gambar 91. Siklus hidup lumut hati (liverwort)

c. Lumut Tanduk atau Hornwort (Divisi Anthoserofita)

Lumut tanduk (hornwort) mirip dengan lumut hati, tetapi dibedakan melalui sporofitnya, yang membentuk kapsul memanjang yang tumbuh seperti tanduk dari hamparan gametofit yang menyerupai keset. Bukti terbaru yang didasarkan pada urutan asam nukleat menunjukkan bahwa lumut tanduk, di antara semua briofita, adalah yang paling dekat hubungan kekerabatannya dengan tumbuhn vaskuler. Berikut adalah contoh dari lumut tanduk.



Gambar 92.Contoh lumut tanduk (Anthoceros sp)

Ketiga divisi Briofita (lumut daun, lumut hati, dan lumut tanduk) terus berhasil hidup di darat, bertahan hidup dan beradaptasi selama lebih dari 450 juta tahun. Bahkan sampai saat ini, *Sphagnum*, lumut gambut, mungkin merupakan tumbuhan paling berlimpah di Bumi. Dan paling tidak selama 50 juta tahun pertama sejak komunitas darat ada, kemugkinan briofita-lah satu-satunya tumbuhan yang ada. Kemudian bentang alam mulai berubah sekali lagi, dengan vegetasi yang profilnya lebih tinggi seiring berevolusinya tumbuhan vaskuler (berpembuluh). Contoh lumut hati diantaranya *Marchantia, Lunularia, Riccia nutans, Monoclea, Metzgeria*; lumut daun yaitu *Sphagnum, Polytrichum, Archidium, Andreaea*; sedangkan contoh lumut tanduk yaitu *Anthoceros sp., Notothylas*.

• Tumbuhan Vaskuler Tak Berbiji : Tumbuhan Paku

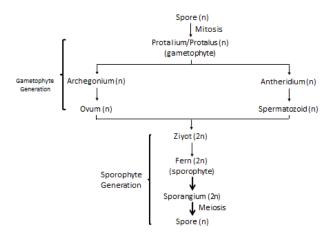
Apakah Anda pernah mengkonsumsi tumis pakis? Atau Anda memiliki suplir, paku tanduk rusa atau paku sarang burung di taman? Bagaimanakah ciri yang mudah dilihat dari tumbuhan tersebut? Ya benar, tumbuhan tersebut menghasilkan spora sebagai alat reproduksinya. Tumbuhan tersebut adalam

tumbuhan paku yang termasuk Chormophyta (tumbuhan berkormus) artinya sudah dapat dibedakan mana akar, batang dan daun. Perhatikan gambar berikut. Ciri khas apa yang dapat Anda temukan dari tumbuhan paku? Ya benar, daun muda yang menggulung. Istilahnya adalah *Circinnatus*.



Gambar 93. Tumbuhan Paku

Tumbuhan vaskuler (berpembuluh) tak berbiji mendominasi pemandangan hutan selama masa Karboniferus, yang dimulai sekitar 360 juta tahun silam. Di antara turunan organisme tersebut terdapat tiga divisi tumbuhan vaskuler tak berbiji yang masih hidup saat ini: likofita, ekor kuda (horsetail), dan pakis (fern). Dari Cooksonia dan tumbuhan vaskuler awal lainnya sampai ke semua tumbuhan vaskuler yang hidup sampai saat ini, generasi sporofit (diploid) adalah tumbuhan yang lebih besar dan lebih kompleks dalam pergiliran generasi tersebut. Sebagai contoh, tumbuhan pakis berdaun yang sangat kita kenal adalah sporofit. Anda harus membungkuk dan berjongkok, dan mencari-cari dengan tangan yang cermat serta mata yang tajam untuk menemukan gametofit pakis, yaitu tumbuhan kecil yang tumbuh persis di bawah permukaan tanah. Sampai Anda mempunyai kesempatan untuk melaksanakan hal tersebut, Anda dapat mempelajari siklus hidup tumbuhan vaskuler tak berbiji yang didominasi oleh sporofit, yang menggunakan pakis sebagai contoh. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 94. Metagenesis pada tumbuhan paku

Agar memperjelas tentang siklus hidup tumbuhan paku, Anda dapat melihat https://www.youtube.com/watch?v=8vgjWqAlpuU.Kita tautan menggunakan pakis untuk menggambarkan suatu variasi penting di antara siklus hidup tumbuhan vaskuler: perbedaan di antara tumbuhan homospora dan heterospora. Sporofit tumbuhan homospora menghasilkan satu jenis spora saja. Pakis adalah suatu contoh. Perhatikan bahwa masing-masing spora berkembang menjadi gametofit biseksual yang memiliki dua organ kelamin jantan dan betina, gametangia yang secara berturut-turut disebut sebagai arkegonium dan anteridium. Kebalikannya, sporofit tumbuhan heterospora memghasilkan dua jenis spora: megaspora yang berkembang menjadi gametofit betina dengan arkegonium dan mikrospora yang berkembang menjadi gametofit jantan dengan anteridium. Diantara pakis, pakis yang kembali ke habitat air selama evolusinya (pakis air) adalah satu-satunya spesies heterospora. Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=E1SMOHrJE0Q untuk menambah informasi tentang ciri-ciri tumbuhan paku. Berikut disajikan gambar tentang struktur morfologi tumbuhan paku.





Gambar 95.Struktur Morfologi Tumbuhan Paku

a. Paku Purba (Psilotinae)

Paku purba merupakan salah satu jenis tumbuhan paku yang hampir punah. Tumbuhan ini hidup di zaman purba dan sekarang ditemukan dalam bentuk fosil. Daunnya kecil, terkadang tidak berdaun. Spesies yang masih ada adalah *Psilotum*.



Gambar 1.14*Psilotum* (https://www.gurupendidikan.co.id/, 2019)

b. Paku Kawat (Lycopodiinae)

Nama umum untuk tumbuhan ini adalah *club moss* (lumut gada) atau *ground pine* (pinus tanah), meskipun tumbuhan itu sebenarnya bukan lumut dan bukan juga pinus. Banyak spesies likofita adalah tumbuhan tropis yang tumbuh pada pohon sebagai epifit-tumbuhan yang menggunakan organisme lain sebagai subtrat, akan tetapi bukan parasit. Spesies likofita lainnya tumbuh dekat dengan tanah di dasar hutan di daerah beriklim sedang, yang meliputi daerah timur laut Amerika Serikat. Likofita adalah sporofit, generasi diploid. Sporangia terletak pada sporofil, daun yang dikhususkan untuk reproduksi. Setelah dilepaskan, spora tersebut berkembang menjadi gametofit yang tidak mudah terlihat, yang dapat hidup di bawah tanah selama puluhan tahun atau bahkan lebih lama lagi. Tumbuhan haploid kecil itu tidak berfotosintesis dan diberi makan oleh fungi

simbiotik. Pada spesies homospora, setiap gametofit membentuk arkegonia dengan sel telur dan anteridia yang membuat sperma berflagela. Setelah serma yang berenang tersebut membuahi sel telur, zigot diploid tersebut menjadi suatu sporofit baru. Likofita yang heterospora ada juga yang membentuk gametofit jantan dan betina yang terpisah. Perhatikan gambar berikut.





Lycopodium

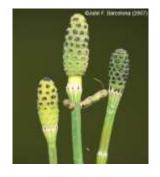
Selaginella

Gambar 96. Contoh paku kawat

c. Paku Ekor Kuda (Equisetinae)

Sfenofita/Equisetinae, yang anggotanya umum disebut ekor kuda(horsetail), adalah garis keturunan tumbuhan tak berbiji kuno lainnya yang sampai ke radiasi tumbuhan vaskuler awal pada masa Devon. Kelompok tersebut mencapai masa kejayaannya selama masa Karboniferus, ketika banyak spesiesnya tumbuh hingga setinggi 15 m. Yang bertahan hidup dari divisi tumbuhan ini hanyalah sekitar 15 spesies dari genus tunggal yang tersebar sangat luas, *Equisetum*, yang paling umum ditemukan di Bumi Belahan Utara, umumnya di lokasi yang lembap seperti tepian aliran air sungai. Perhatikan gambar berikut.





Gambar 97.Contoh paku ekor kuda (Equisetum debile) (https://www.britannica.com/, 2018)

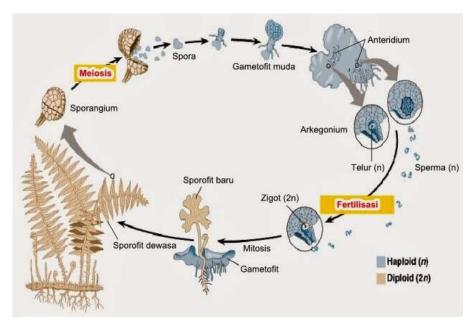
Tumbuhan ekor kuda yang mudah terlihat adalah generasi sporofit. Pembelahan meiosis terjadi dalam sporangia, dan spora haploid dilepaskan. Ekor kuda adalah

homospora. Gametofit biseksual yang berkembang dari spora hanya memiliki panjang beberapa milimeter, tetapi tumbuhan ekor kuda berfotosintesis dan hidup bebas (tidak bergantung pada sporofit untuk makanan).

d. Paku Sejati (Filicinae)

Sebagian besar pakis memiliki daun, yang umum disebut *frond*, yang majemuk, yang berarti masing masing daun terbagi menjadi beberapa lembaran daun pakis tumbuh seiring membukanya gulungan ujungnya yang melingkar seperti kepala biola. Daun kemungkinan akan berkecambah langsung dari batang yang dekat dengan tanah, seperti terjadi pada pakis *bracken* dan pakis pedang. Pakis pohon tropis yang besar, kebalikannya, memiliki batang tegak beberapa meter tingginya.

Beberapa daun adalah sporofil yang mengalami spesialisasi dengan sporangia pada permukaan bawahnya. Sporangia pada banyak pakis tersusun dalam kelompok yang disebut sori dan dilengkapi dengan peranti yang menyerupai pegas yang melemparkan spora beberapa meter jauhnya. Setelah berada di udara, spora tersebut dapat ditiup angin ke tempat yang jauh. Spora, yang terlindungi oleh sporopollennin, adalah cara penyebaran tumbuhan tak berbiji. Berikut disajikan gambar siklus hidup tumbuhan paku.



Gambar 98. Siklus hidup tumbuhan paku

Berdasarkan tempat hidupnya, paku sejati dikelompokan menjadi:

- Tumbuhan paku yang hidup di tanah seperti pada lereng pegunungan.
 Contoh: paku tiang (Alsophilla glauca), suplir (Adiantum cuneatum) dan pakis (Nephrolepis sp.)
- 2. Tumbuhan paku yang tumbuh di perairan. Contoh: semanggi (*Marsilea crenata*) dan paku air (*Azolla pinnata*).
- 3. Tumbuhan paku yang menempel pada tumbuhan lain/epifit. Contoh: paku tanduk rusa (*Platycerium bifurcatum*) dan paku sarang burung (*Asplenium nidus*).







Platycerium bifurcatum

Asplenium nidus

Adiantum cuneatum

Gambar 99.Contoh tumbuhan paku sejati (https://www.britannica.com/, 2018)

Tumbuhan Berbiji

a. Gymnospermae (Gimnosperma)

Gismnosperma (istilah tersebut berarti "biji telanjang/terbuka") tidak memiliki ruangan pembungkus (ovarium) tempat biji Angiosperma berkembang. Di antara dua kelompok tumbuhan berbiji, Gimnosperma terlihat dalam catatan fosil jauh lebih awal dibandingkan dengan Angiosperma. Gimnosperma yang paling terkenal adalah konifer, tumbuhan pinus yang memiliki konus. Perhatikan gambar berikut.







Gnetum gnemon (melinjo)



Cycas rumphii (pakis haji)

Pinus merkusii (pinus)

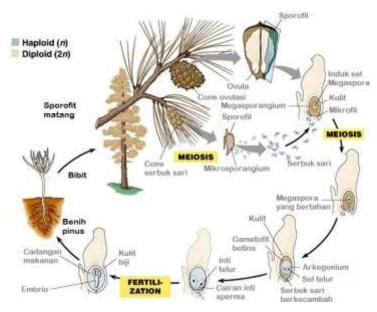


Ginkgo biloba

Gambar 100.Contoh Tumbuhan Gimnosperma (https://www.eduspensa.id/, 2019)

Dari sebelas divisi dalam kingdom tumbuhan, empat dikelompokkan sebagai Gimnosperma. Tiga di antaranya adalah divisi yang relatif kecil: Cycadophyta, Ginkgophyta, dan Gnetophyta. Sikad (divisi Cycadophyta) menyerupai palem, namun bukan palem sejati, yang merupakan tumbuhan berbunga. Karena merupakan Gimnosperma, sikad memiliki biji terbuka yang terdapat dalam sporofil, yaitu daun yang terspesilisasi untuk reproduksi. Ginkgo adalah satusatunya spesies yang masih hidup dari divisi Ginkgophyta. Tumbuhan ini memiliki daun seperti kipas yang warnanya berubah keemasan dan rontok pada musim gugur, suatu sifat yang tidak umum bagi gimnosperma. Divisi Gnetophyta terdiri atas tiga genus yang kemungkinan tidak berkerabat dekat satu sama lain. Satu di antaranya, *Weltwitschia*. Tumbuhan-tumbuhan dari genus kedua, *Gnetum*, tumbuh di daerah tropis sebagai tumbuhan merambat. *Ephedra* (teh Mormon), genus ketiga Gnetophyta, adalah semak di gurun Amerika.

Sejauh ini yang paling besar di antara empat divisi Gimnosperma adalah Coniferophyta, yaitu konifer. Istilah konifer (Bahasa Latin, *conus*, "kerucut", dan *ferre*, "membawa") berasal dari struktur reproduktif tumbuhan ini, konus, yang merupakan kumpulan sporofit yang menyerupai sisik. Daun berbentuk jarum pada pinus dan ara diadaptasi dengan kondisi kering. Suatu kutikula tebal menutupi daun, dan stomata terletak dibagian bawah, mengurangi kehilangan air. Kita mendapatkan sebagian besar papan dan bubur kertas dari kayu konifer. Apa yang kita sebut kayu sesungguhnya adalah akumulasi jaringan xylem berlignin, yang memberi sokongan struktural bagi pohon.



Gambar 101. Siklus hidup pinus

Pohon pinus adalah suatu sporofit. Sporangia terletak pada sporofil yang mirip sisik yang terkumpul secara padat dalam struktur yang disebut konus. Generarasi gametofit berkembang dari spora haploid yang tetep disimpan dalam sporangia. Konifer, seperti semua tumbuhan beribji, adalah heterospora; gametofit jantan dan betina berkembang dari jenis spora yang berbeda, yang dihasilkan oleh konus yang berbeda. Konus serbuk sari kecil menghasilkan mikrospora yang berkembang menjadi gametofit jantan, atau butiran serbuk sari. Konus yang berovulasi, yang lebih besar, umumnya berkembang pada cabang pohon yang berbeda dan membuat megaspora yanng berkembang menjadi gamtofit betina. Sejak konus muda muncul pada pohon, pohon tersebut memerlukan hampir tiga tahun untuk menghasilkan gamet jantan dan betina, dan menyatukan mereka melalui polinasi, dan membentuk biji dewasa dari bakal biji yang telah dibuahi. Sisik konus yang berovulasi ini kemudian terpisah, dan biji bersayap itu kemudian akan mengembara mengikuti angin. Biji yang jatuh ditempat yang dapat didiami akan berkecambah, dan embrionya akan muncul sebagai bibit pinus. Berikut disajikan gambar siklus hidup pinus.

b. Angiospermae (Angiosperma)

Angiosperma merupakan tumbuhan berbiji tertutup. Angiosperma atau tumbuhan berbunga merupakan tumbuhan yang paling beraneka ragam dan secara

geografis paling tersebar luas. Ada sekitar 250.000 spesies angiosperma, dibandingkan dengan Gimnosperma yang dikenali sebanyak 720 spesies.

Semua Angiosperma ditempatkan dalam sebuah divisi tunggal, Anthophyta (Bahasa Yunani antho, "bunga"). Divisi itu dibagi menjadi dua kelas: Monokotiledon (monokotil) dan Dikotiledon (dikotil), yang berbeda dalam beberapa hal. Contoh-contoh monokotil adalah lili, anggrek, *yucca*, palem, dan rumput-rumputan, yang meliputi rumput lapangan,tebu, tumbuhan berbiji (jagung, gandum, padi, dan lain-lain). Di antara banyak famili dikotil adalah mawar, kacang-kacangan, bunga mentega, bunga matahati, jati, dan mapel.

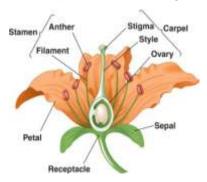
Xilem menjadi lebih terspesialisasi untuk pengangkutan air selama evolusi Angiosperma. Sel-sel yang menghantarkan air pada konifer adalah trakeid, yang diyakini merupakan jenis sel xilem awal. Trakeid adalah sel yang memanjang dan meruncing yang berfungsi membantu proses mekanis dan pergerakan air ke bagian atas tumbuhan tersebut. Pada sebagian besar angiosperma, sel-sel yang lebih pendek dan lebih luas disebut unsur pembuluh(*vessel element*), yang berkembang dari trakeid. Unsur pembuluh tersusun dari ujung yang satu ke ujung lain, membentuk saluran yang bersambung yang lebih terspesialisasi dibandingkan dengan trakeid untuk mengangkut air, akan tetapi kurang terspesialisasi untuk membantu proses mekanis. Xilem Angiosperma diperkuat oleh jenis sel yang kedua, serat (*fiber*), yang juga berkembang dari trakeid. Dengan dindingnya yang tebal dan berlignin, serat xilem dispesialisasikan untuk membantu proses mekanis. Sel-sel serat berkembang pada konifer, akan tetapi unsur pembuluh tidak berkembang.

Perbaikan dalam jaringan vaskuler dan perkembangan dalam struktur lainnya sudah pasti memberikan sumbangan pada keberhasilan Angiosperma, akan tetapi faktor terbesar dalam kebangkitan Angiosperma bisa jadi adalah evolusi bunga, suatu alat yang luar biasa, yang meningkatkan efisiensi reproduksi dengan cara menarik dan memberi keuntungan bagi hewan pembawa serbuk sari.

Bunga (*flower*) adalah struktur reproduksi Angiosperma. Pada sebagian besar Angiosperma, serangga dan hewan lain mengangkut serbuk sari dari satu bunga ke organ kelamin betina pada bunga lain, yang membuat penyerbukan kurang

acak dibandingkan dengan penyerbukan yang bergantung pada angin pada Gimnosperma. Beberapa tumbuhan berbunga mengadakan penyerbukan dengan bantuan angin, akan tetapi kita tidak mengetahui apakah kondisi ini primitif ataukah dievolusikan secara sekunder dari nenek moyang yang telah mengadakan penyerbukan dengan bantuan hewan.

Bunga adalah suatu tunas yang mampat dengan empat lingkaran daun yang termodifikasi; kelopak (sepal), mahkota (petal), benang sari (stamen), dan putik (karpel). Dimulai dari bagian bawah bunga, terdapat kelopak (sepal) yang umumnya berwarna hijau. Kelopak membungkus bunga sebelum bunga merekah (bayangkan sebuah kuncup bunga mawar). Di atas kelopak daun adalah mahkota (petal), berwarna carah pada sebagian besar bunga. Mahkota membantu menarik serangga dan penyerbuk lainnya. Bunga yang diserbukkan oleh angin, seperti rumput-rumputan, umumnya berwarna tidak menarik. Kelopak dan mahkota merupakan bagian bunga yang steril, yang berarti bahwa bagianbagian itu tidak secara lagsung terlibat dalam reproduksi. Di dalam cincin mahkota terdapat organ reproduksi benang sari (stamen) dan putik (carpel), yang secara berturut-turut adalah bagian dari bunga "jantan" dan "betina". Suatu benang sari terdiri dari sebuah batang yang disebut tangkai sari (filament) dan suatu kantong yang terletak di ujung, kepala sari (anther), tempat serbuk sari dihasilkan. Pada ujung putik adalah kepala putik (stigma) yang lengket untuk menerima serbuk sari. Tangkai putik (style) mengarah ke ovarium (ovary) pada bagian dasar putik. Bakal biji, yang berkembang menjadi biji setelah fertilisasi, terlindung dalam ovarium. Berikut disajikan struktur bunga pada Angiosperma.



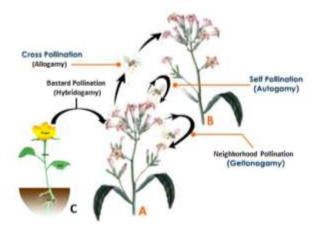
Gambar 102.Struktur bunga (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

^{*}Keterangan gambar: receptacle (dasar bunga), petal (mahkota), stamen (benang sari), filament (tangkai sari), anther (kepala sari), carpel (putik), stigma (kepala putik), style (tangkai putik), ovary (ovarium/bakal buah), sepal (kelopak).

Buah (fruit) adalah ovarium yang sudah matang. Setelah biji berkembang selepas pembuahan, dinding ovarium menebal. Kacang polong adalah contoh buah, dengan biji (bakal biji yang sudah matang, polong itu sendiri) terbungkus dalam ovarium yang telah mantang (kulit polong). Buah melindungi biji yang dorman dan membantu penyebarannya.Berbagai modifikasi pada buah membantu menyebarkan biji. Beberapa tumbuhan berbunga, seperti dandelion dan mapel, memiliki biji pada buah yang terbentuk seperti baling-baling, yang meningkatkan penyebaran biji oleh angin. Namun demikian sebagian besar Angiosperma menggunakan hewan untuk membawa biji. Beberapa tumbuhan Angiosperma memiliki buah yang dimodifikasi sebagai duri yang menempel pada bulu hewan (atau pada pakaian manusia). Angiosperma lain menghasilkan buah yang dapat dimakan. Ketika memakan buah tersebut, hewan mencerna bagian berdaging, akan tetapi biji yang keras umumnya lolos, tidak rusak, melalui saluran pencernaan hewan. Mamalia dan burung bisa mengeluarkan biji bersama-sama dengan kotorannya, bermil-mil jauhnya dari tempat di mana buah tersebut dimakan. Interaksi dengan hewan yang mengangkut serbuk sari dan biji telah membantu Angiosperma menjadi tumbuhan yang paling sukses di bumi. Akan tetapi, seperti yang akan kita lihat sekarang, siklus hidup Angiosperma bukanlah suatu "penemuan" evolusioner yang baru, akan tetapi telah dibangun pada tema adaptif yang telah kita jejaki selama kajian kita mengenai keanekaragaman tumbuhan.

Angiosperma bersifat heterospora, suatu karakteristik yang dimiliki Angiosperma bersama dengan semua tumbuhan berbiji. Bunga sporofit menghasilkan mikrospora yang membentuk gametofit jantan dan megaspora yang membentuk gametofit betina. Gametofit jantan yang belum dewasa adalah butik serbuk sari (pollen grain) yang berkembang di kepala sari pada benang sari. Masing-masing butir serbuk sari memiliki dua sel haploid. Bakal biji (ovule) yang berkembang dalam ovarium, mengandung gametofit betina yang disebut kantung embrio (embryo sac). kantung embrio hanya terdiri atas beberapa sel. Pada sebagian besar Angiosperma, megaspora, membelah tiga kali untuk membentuk delapan nukleus haploid dalam tujuh sel (sel tengah yang besar mengandung dua nukleus haploid). Salah satunya diantara sel ini adalah sel telur itu sendiri.

Setelah pelepasannya dari kepala sari, serbuk sari dibawa ke kepala putik yang lengket pada ujung suatu putik. Meskipun beberapa bunga melakukan penyerbukan sendiri, sebagian besar bunga memiliki mekanisme yang menjamin terjadinya penyerbukan silang (c*ross pollination*) yaitu perpindahan serbuk sari bunga suatu tumbuhan ke bunga tumbuhan lain dalam spesies yang sama. Pada beberapa kasus, benang sari dan putik sebuah bunga tunggal bisa matang pada waktu yang berbeda,atau organ tersebut diatur dengan sedemikian rupa dalam bunga tersebut, sehingga penyerbukan sendiri tidak mungkin terjadi. Perhatikan gambar berikut.

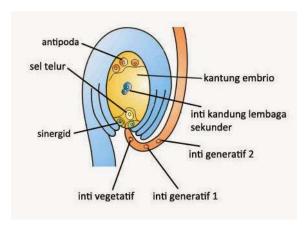


Gambar 103. Jenis penyerbukan pada tumbuhan Angispermae (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Butir serbuk sari berkecambah setelah butir serbuk sari menempel ke kepala putik pada suatu putik. Butir serbuk sari, sekarang adalah suatu gametofit jantan yang telah matang, menjulurkan suatu tabung yang tumbuh ke bawah tangkai kepala putik. Setelah mencapai ovarium, tabung serbuk sari itu akan menembus masuk melalui mikropil, yaitu lubang pada integumen bakal biji, dan melepaskan dua sel sperma ke dalam kantong embrio. Satu nukleus sel sperma menyatu dengan sel telur, membentuk zigot diploid. Nukleus sel sperma lain menyatu dengan dua nukleus pada sel tengah kantong embrio itu. Sel tengah ini sekarang memiliki nukleus triploid (3n). Ingat, serbuk sari pada konifer juga melepaskan dua nukleus sel sperma, akan tetapi salah satunya mengalami disintegrasi. Kebalikannya, kedua nukleus sperma serbuk sari Angiosperma membuahi sel-sel yang terdapat dalam kantung embrio. Fenomena ini, dikenal sebagai pembuahan ganda (double fertilization) merupakan karakteristik Angiosperma. Pembuahan ganda juga terjadi pada Ephedra, suatu anggota divisi Gnetophyta, divisi

Gimnosperma yang dikenal dekat kekerabatannya dengan Angiosperma. Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=Ly9U6b2lzdU untuk menambah informasi tentang pembuahan ganda (*double fertilization*).

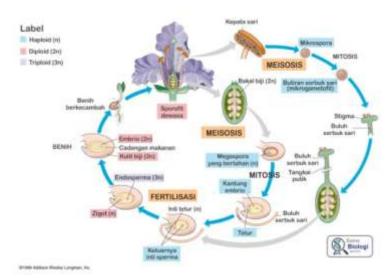
Setelah pembuahan ganda, bakal biji matang menjadi biji. Zigot berkembang menjadi embrio sporofit dengan akar yang belum sempurna dan satu atau dua keping biji. Kotiledon (monokotil yang hanya memiliki satu keping biji dan dikotil memiliki dua; itulah asal nama monokotil dan dikotil). Nukleus triploid pada bagian tengah kantong embrio itu membelah secara berulang-ulang menghasilkan jaringan triploid yang disebut endosperma, yang kaya akan pati dan cadangan makanan lainnya. Biji monokotil seperti jagung menyimpan sebagaian besar zat-zat makanannya dalam endosperma. Kacang dan banyak dikotil lainnya memindahkan sebagai besar nutriennya dari endosperma ke kotiledon yang sedang berkembang. Menurut suatu hipotesis, pembuahan ganda menyelaraskan perkembangan cadangan makanan dalam biji dengan perkembangan embrio tersebut. Berikut disajikan gambar tentang pembuahan ganda.



Gambar 104.Pembuhan Ganda pada Angiosperma (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Biji adalah bakal biji yang telah matang, yang terdiri dari embrio, endosperma, dan selaput biji yang berasal dari integumen (lapisan luar bakal biji). Ovarium akan berkembang menjadi buah ketika bakal bijinya berkembang menjadi biji. Dalam lingkungan yang cocok, biji akan berkecambah. Salutnya pecah dan embrio keluar sebagai kecambah, yang menggunakan cadangan makanan

dalam endosperma dan kotiledon. Berikut disajikan siklus hidup pada Angiosperma.



Gambar 1.24Siklus hidup Angiosperma (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Angiospermae dibedakan menjadi 2 kelas, yaitu :

1) Kelas Monokotiledonae (Biji berkeping satu)

Umumnya berupa tumbuhan herba semusim atau setahun, memiliki kotiledon tunggal/berkeping satu, batang tidak bercabang/bercabang sedikit dan tidak memiliki kambium, berkas pengangkut tersusun tidak teratur (tersebar), tipe kolateral tertutup, tulang daun melengkung/sejajar, memiliki akar serabut, bunga memiliki bagian-bagian dengan kelipatan 3, bentuk bunga tidak beraturan, dan warna tidak mencolok.

Terdiri dari beberapa famili:

- a) Liliaceae, Misal: *Lilium sp* (lilia), *Alium cepa* (bawang besar), *Alium sativum* (bawang putih), *Alium ascolonicum* (bawang merah).
- b) Palmae (keluarga palem), Misal: Cocos nucifera (kelapa), Phoenix sp (kurma)
- c) Graminae (keluarga rumput-rumputan), Misal: *Oryza sativa* (padi), *Zea mays* (jagung), rumput, bambu, dan sebagainya.
- d) Orchidaceae (keluarga anggrek), Misal: *Cattleya sp*, *Dendrobium sp*, *Arundina sp*, *Epidendrum sp*, *Vanilia planifolia* (vanili).











Aloe vera

Dendrobium phalaenopsis

Zea mays

Musa paradisiaca

Areca catechu

Gambar 105.Contoh tumbuhan monokotil (https://www.britannica.com/, 2019)

2) Kelas Dikotiledonae (Biji berkeping dua)

Umumnya berupa tumbuhan menahun (berkayu), memiliki kotiledon ganda/berkeping dua, umumnya batang bercabang, memiliki kambium, berkas pengangkut tersusun secara teratur (bersebelahan), tipe kolateral terbuka, tulang daun menjari/menyirip, memiliki akar tunggang, Bunga memiliki bagianbagian dengan kelipatan 4 atau 5, bentuk bunga beraturan, dan umumnya memiliki warna mencolok.

Terdiri dari beberapa familia, yaitu :

- a) Caryophyllaceae, Misal: Dianthus chinensis.
- b) Magnoliaceae, Misal: *Magnolia grandiflora* (cempaka putih).
- c) Rosaseae, Misal: Rosa hybrida (bunga mawar)
- d) Leguminoceae, Misal: *Leucena glauca* (lamtoro), *Parkia specinosa* (petai), *Tamarindus indica* (asam).
- e) Malvaceae, Misal: *Hibiscus rosa-sinensis* (bunga sepatu), *Glossipium obtusifolium* (kapas).
- f) Umbelliferae, Misal: Centella asiatica (talas)
- g) Solanaceae, Misal: *Solanum tuberosum* (kentang), *Orthosiphon grandiflorus* (kumisal kucing).
- h) Compositae, Misal: *Ageratum sp* (babandotan), *Helianthus annus* (bunga matahari), *Nicotiana tabaccum* (tembakau), *Capsicum sp* (cabe), *Lycopersicum esculentum* (tomat), dan sebagainya.

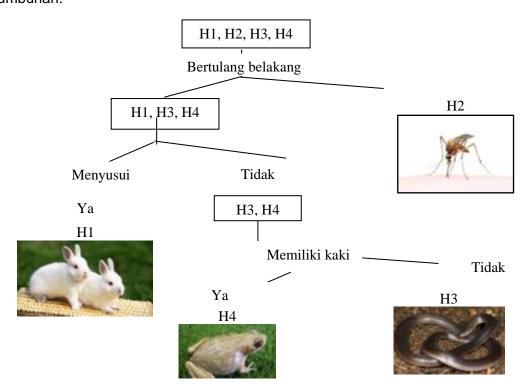


Gambar 1.26Contoh tumbuhan dikotil (https://www.britannica.com/, 2019)

2. Klasifikasi dan Keanekaragaman Hewan

Kunci Dikotomi dan Kunci Determinasi untuk Hewan

Saat ini ada aplikasi bernama iNaturalist yang dapat membantu Anda dan peserta didik Anda untuk menemukan nama ilmiah suatu hewan. Selain itu, Anda juga dapat berkontribusi untuk menambahkan atau merevisi informasi atau nama ilmiah pada aplikasi tersebut. Berbeda dengan PlantNet yang hanya berfokus pada tumbuhan, iNaturalist dapat mengidentifikasi baik hewan maupun tumbuhan.



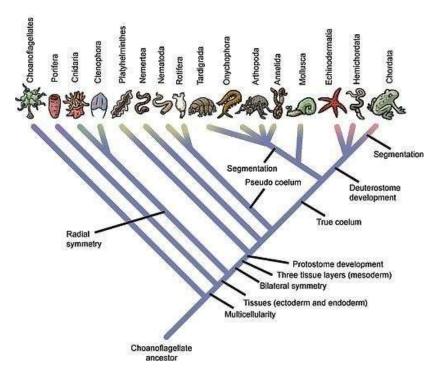
Gambar 106.Contoh Kunci Dikotomi pada Hewan



(Dokumen pribadi, 2019)

Asal Mula Keanekaragaman Hewan : Gambaran Umum Tentang Filogeni dan Keanekaragaman Hewan

Anda telah mempelajari tumbuhan pada Kegiatan Belajar 1. Berdasarkan pengamatan Anda, apa ciri khas yang membedakan hewan dari tumbuhan? Dimanakah habitat hewan? Bagaimana prediksi nenek moyang dari hewan? Agar memperjelas gambaran nenek moyang dari hewan, identifikasi gambar berikut.



Gambar 107.Pohon filogeni hewan (https://www.researchgate.net/, 2016)

Berdasarkan Gambar 2.3, Choanoflagellates termasuk nenek moyang dari hewan. Hewan adalah eukariota multiseluler, heterotrofik. Berbeda dari nutrisi autotrofik yang ditemukan pada tumbuhan dan alga, hewan harus memasukkan ke dalam tubuhnya molekul organik yang telah terbentuk terlebih dahulu; hewan tidak dapat membentuk molekul itu dari bahan kimia anorganik. Sebagian besar hewan melakukan hal tersebut dengan cara menelan (*ingestion*), memakan organisme lain atau memakan bahan organik yang terurai.

Sel-sel hewan tidak memiliki dinding sel yang menyokong tubuh dengan kuat seperti yang dimiliki tumbuhan dan fungi. Tubuh multiseluler hewan dipertahankan tetap utuh oleh protein struktural, yang paling berlimpah adalah kolagen. Selain kolagen, yang banyak ditemukan pada matriks ekstraseluler, jaringan hewan memiliki jenis persambungan (*junction*) interseluler yang unik (persambungan ketat, demosom, dan persambungan celah) yang terdiri atas protein struktural lainnya. Yang juga merupakan keunikan hewan adalah adanya dua jenis jaringan yang bertanggung jawab atas penghantaran impuls dan pergerakan: jaringan saraf dan jaringan otot.

Beberapa ciri kunci dari sejarah kehidupan juga membuat hewan berbeda. Sebagian besar hewan bereproduksi secara seksual, dengan tahapan diploid yang umumnya mendominasi siklus hidupnya. Pada sebagian besar spesies, sperma kecil berflagela membuahi sel telur yang lebih besar dan tidak bergerak untuk membentuk suatu zigot diploid. Zigot itu kemudian mengalami pembelahan (cleavage), suatu urutan pembelahan sel secara mitosis. Selama perkembangan pada sebagian besar hewan, pembelahan itu akan menyebabkan pembentukan tahapan multiseluler yang disebut blastula, yang pada banyak hewan berbentuk bola berlubang. Setelah tahapan blastula adalah proses gastrulasi, yaitu masa saat lapisan jaringan embrionik yang akan berkembang menjadi bagian tubuh dewasa dihasilkan. Hasil dari tahapan perkembangan disebut gastrula. Beberapa hewan berkembang secara langsung melalui tahapan pendewasaan sementara untuk menjadi dewasa, akan tetapi siklus hidup pada banyak hewan meliputi tahapan larva. Larva adalah bentuk yang belum dewasa secara seksual. Larva secara morfologis berbeda dari tahapan dewasa, umumnya memakan makanan yang berbeda, dan bahkan bisa memiliki habitat yang berbeda dibandingkan dengan hewan dewasa, seperti pada kasus kecebong. Larva hewan akhirnya mengalami metamorfosis, suatu perkembangan yang mengubah bentuk hewan menjadi suatu bentuk dewasa.

Meskipun perdebatan yang menarik terus berkembang, sebagian besar ahli sistematika sekarang setuju bahwa kingdom hewan adalah monofiletik, yaitu jika kita melacak semua garis keturunan hewan kembali ke asal mulanya, hewan akan menyatu pada suatu nenek moyang bersama. Nenek moyang itu kemungkinan adalah suatu protista berflagela pembentuk koloni yang hidup lebih

dari 700 juta tahun silam dalam masa Prakambrium. Protista itu kemungkinan berkerabat dengan koanoflagelata, suatu kelompok yang muncul sekitar semiliar tahun silam. Hipotesis menunjukkan bahwa nenek moyang telah berkembang menjadi hewan sederhana dengan sel-sel khusus yang tersususn dalam dua atau lebih lapisan.

Dengan cabang-cabangnya yang beradiasi dari suatu nenek moyang multiseluler, pohon evolusi menggambarkan suatu rangkaian hipotesis mengenai filogeni hewan. Empat titik pokok percabangan evolusi pada pohon silsilah yaitu (a) parazoa tidak memiliki jaringan sejati, (b) radiata dan bilateria adalah cabang utama eumetazoa, (c) evolusi rongga tubuh menghasilkan hewan yang lebih kompleks, dan (d) selomata bercabang menjadi protostoma dan deuterostoma. Berikut disajikan tabel tentang organisasi filum hewan menurut ciri-ciri utama bangun tubuh.

Tabel 3.Organisasi filum hewan menurut ciri-ciri utama bangun tubuh

Kategori		Ciri Utama Bangun Tubuh	Filum	
1	Parazoa	Multiseluler, tanpa jaringan sejati	Porifera (spons)	
2	Eumetazoa Radiata	Jaringan sejati Simetri radial; diploblastik (dua lapisan nuftah: ektoderm, endoderm)	Cnidaria (hidra, ubur-ubur, aneom laut, karang)	
	Bilateria	Simetri nilateral; triploblastik (tiga lapisan nuftah: ektoderm, mesoderm, endoderm)	Ctenophora (ubur-ubur sisir)	
3	Aselomata	Tubuh padat, tanpa rongga tubuh	Platyhelminthes (cacing pipih)	
	Pseudoselo mata	Pseudoselom (rongga tubuh antara saluran pencernaan dan dinding tubuh tidak sepenuhnya dilapisi oleh mesoderm)	Rotifera (rotifer)	
	Selomata	Rongga tubuh (selom) sepenuhnya dilapisi oleh mesoderm	Nematoda (cacing gilig)	
4	Protostoma	Pembelahan spiral dan determinat; mulut berkembang dari blastopori; rongga tubuh skizoselus (terbentuk dengan cara pembagian massa jaringan mesoderm)	Nemertea (cacing proboscis) (posisi filogenetik masih belum pasti)	
			Lophophorata: Bryozoa, Brachiopoda, Phoronida (posisi filogenetik masih belum pasti)	
			Mollusca (remis, beekicot, ikan gurita) Annelida (cacing	
			Airiollua (Cacilly	

Kategori		Ciri Utama Bangun Tubuh	Filum	
			bersegmen)	
			Arthropoda	(krustase,
			serangga, laba-laba)	
	Deuterostom	Pembelahan radial dan	Echinodermata	(bintang
	а	indeterminat; anus berkembang	laut, bulu babi)	
		dari blastopori; rongga tubuh	Chordata	(lancelet,
		enteroselus (yang terbentuk	tunikata, vertebrata	
		melalui pelipatan dinding		
		arkenteron mesoderm)		

• Invertebrata

a. Parazoa

Karang memiliki pori banyak,struktur tubuhnya keras, berwarna putih atau bahkan ada yang berwarna merah, coklat dan sebagainya. Bentuknya ada yang seperti batang berongga dan ada juga bentuk lain yang seperti mangkuk atau kipas. Organisme tersebut bernama Porifera atau hewan berpori. Meskipun tampak seperti bebatuan yang tidak hidup, tetapi organisme ini termasuk Kingdom Animalia. Ukuranya biasanya kecil tetapi juga dapat ditemukan ukuran yang besar yang biasanya hidup di laut dalam. Perhatikan gambar berikut.





Gambar 108.Porifera (https://easyscienceforkids.com/, 2019)

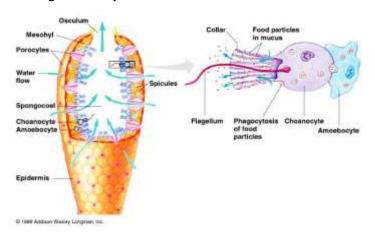
Dari semua hewan yang akan kita bahas, spons (di cabang parazoa pada pohon filogenetik) mewakili garis keturunan terdekat dengan garis organisme multiseluler (protista) yang menjadi kingdom hewan. Lapisan-lapisan sel spons merupakan gabungan sel-sel yang terususun longgar, bukan merupakan jaringan sejati karena sel-sel itu secara relatif belum terspesialisasi. Spons adalah hewan yang sesil (menempel) yang tampak sangat diam bagi mata manusia sehingga



orang Yunani kuno meyakini mereka sebagai tumbuhan. Spons tidak memiliki saraf atau otot, tetapi masing-masing sel dapat mengindera dan bereaksi terhadap perubahan lingkungan.

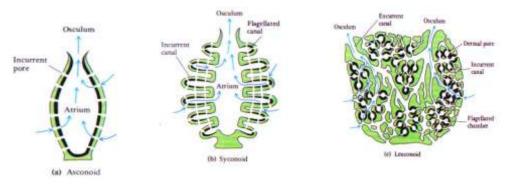
Tinggi spons berkisar dari 1 cm sampai 2 cm. Dari kurang lebih 9000 spesies spons, hanya sekitar 100 yang hidup dalam air tawar; sisanya adalah organisme laut. Tubuh spons sederhana, mirip dengan suatu kantung yang berpori atau berlubang-lubang (*Porifera* berarti "mengandung pori"). Air akan melewati poripori menuju rongga tengah atau spongosel (*spongocoel*), yang kemudian akan mengalir keluar spons itu melalui suatu lubang yang lebih besar yang disebut oskulum. Spons yang lebih kompleks memiliki dinding tubuh yang melipat, dan banyak diantaranya mengandung saluran air bercabang dan beberapa oskula. Pada kondisi tertentu, sel-sel yang berada di sekitar pori dan oskulum berkontraksi, dan menutup pembukaan atau lubang itu. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih memahami struktur tubuh Porifera.

Hampir semua spons adalah pemakan suspensi (yang juga dikenal sebagai makan dengan cara memfilter), yaitu hewan yang mengumpulkan partikel makanan dari air yang lewat melalui beberapa jenis perkakas penjerat makanan. Spons menjerat makanan dari air yang bersirkulasi melalui tubuh yang berpori tersebut. Melapisi bagian dalam spongosel atau ruangan air internal adalah koanosit (*coanocyte*) berflagela, atau sel-sel *colar* (untuk menamai kerah bermembran di sekeliling dasar flagela itu). Flagela tersebut akan membangkitkan suatu arus aliran air, *colar* akan menjerat partikel makanan, dan koanosit akan memfagositosisnya.



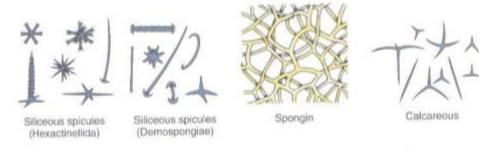
Gambar 109.Struktur tubuh Porifera (Longman, 1999)

Kemiripan diantara koanosit dengan sel-sel koanoflagelata (protista berkoloni) mendukung hipotesis bahwa spons memiliki suatu nenek moyang bersama dengan koanoflagelata. Berdasarkan sistem saluran, berapa banyak tipe yang dimiliki oleh Porifera? Perhatikan gambar berikut agar Anda memahami perbedaan strukturnya.



Gambar 110.Tipe Porifera berdasarkan sistem salurannya (Longman, 1999)

Tubuh suatu spons terdiri atas dua lapisan sel-sel yang dipisahkan oleh suatu daerah bergelatin yang disebut mesohil. Didalam mesohil tersebut terdapat selsel yang disebut amoebosit(amoebocyte), yang dinamai berdasarkan penggunaan pseudopodianya (kaki semu-nya). Amoebosit memiliki banyak fungsi. Mereka mengambil makanan dari air dan dari koanosit, mencernanya, dan membawa nutrien ke sel lain. Amoebosit juga membentuk serat rangka yang keras di dalam mesohil tersebut. Pada beberapa kelompok spons, serat-serat itu merupakan spikula atau duri tajam yang terbuat dari kalsium karbonat atau silika; spons lain menghasilkan serat yang lebih fleksibel yang terdiri atas kolagen yang disebut spongin. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 111.Serat rangka pada Porifera (Longman, 1999)

Berdasarkan sifat spikulanya, Filum Porifera dibagi menjadi 3 kelas, yaitu:

1) Kelas Calcarea

Anggota kelas ini mempunyai rangka yang tersusun dari zat kapur (kalsium karbonat) dengan tipe monoakson, triakson, atau tetrakson. Koanositnya besar dan biasa hidup di lautan dangkal. Tipe saluran airnya bermacam-macam. Hidup soliter atau berkoloni. Mereka memiliki ciri khusus berupa spikula yang terbuat dari kalsium karbonat dalam bentuk kalsit atau aragonit. Beberapa spesies memiliki tiga ujung spikula, sedangkan pada beberapa spesies lainnya memiliki 2 atau empat spikula. Contoh anggota kelas ini adalah *Leucosolenia* sp., *Scypha* sp., *Cerantia* sp., dan *Sycon gelatinosum*.

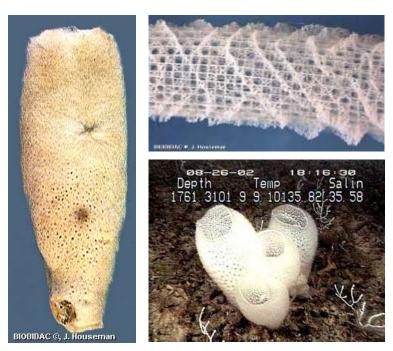




Gambar 112.Contoh Porifera kelas Calcarea (Sycon gelatinosum)(Longman, 1999)

2) Kelas Hexatinellida

Pada anggota Kelas Hexatinellida, spikula tubuh yang tersusun dari zat kersik dengan 6 cabang. Kelas ini sering disebut sponge gelas atau porifera kaca (Hyalospongiae), karena bentuknya yang seperti tabung atau gelas piala. Tubuh berbentuk silinder atau corong, tidak memiliki permukaan epitel. Contohnya adalah *Hyalonema sp., Pheronema sp.,* dan *Euplectella suberea*.



Gambar 113.Contoh Porifera kelas Hexatinellida(*Euplectella aspergillum*) (Longman, 1999)

3) Kelas Demospongia

Kelas ini memiliki tubuh yang terdiri atas serabut atau benang spongin tanpa skeleton. Kadang-kadang dengan spikula dari bahan zat kersik. Tipe aliran airnya adalah leukon. Demospongia merupakan kelas dari Porifera yang memiliki jumlah anggota terbesar. Sebagian besar anggota Desmospongia berwarna cerah, karena mengandung banyak pigmen granula dibagian sel amoebositnya.

Contoh kelas ini antara lain Suberit sp., Cliona sp., Microciona sp., Spongilla lacustris, Chondrilla sp., dan Callyspongia sp. Perh.atikan gambar berikut



Niphates digitalis



Microciona sp.

Gambar 114.Contoh Porifera kelas Demospongia (Longman, 1999)

Sebagian besar spons adalah hermafrodit (hermaphrodite) (Bahasa Yunani Hermes, seorang dewa, dan Aprodite, seorang dewi), yang berarti bahwa masing-masing individu berfungsi sebagai jantan dan betina dalam reproduksi seksual dengan cara menghasilkan sel-sel sperma dantelur. Gamet muncul dari koanosit atau amoebosit. Telur tinggal dalam mesohil, tetapi sel sperma dibawa oleh spons melalui arus air. Pembuahan silang terjadi akibat beberapa sperma yang tertarik masuk ke dalam individu yang berdekatan. Pembuahan terjadi dalam mesohil, dimana zigot akan berkembang menjadi larva berflagela dan mampu berenang, yang akan menyebar dari induknya. Setelah menempel pada suatu substrat yang cocok, larva akan berkembang menjadi spons dewasa yang menempel diam dan memiliki koanosit internal. Spons mampu melakukan regenerasi ekstensif, yaitu pergantian bagian-bagian tubuh yang hilang. Mereka menggunakan regenerasi bukan hanya untuk perbaikan tetapi juga untuk bereproduksi secara aseksual dari fragmen yang terpotong dari spons induk.

b. Radiata

Pernahkah Anda melihat hidra, ubur-ubur atau anemon laut? Bagaimana karakteristik dari hewan-hewan tersebut? Bagaimana tipe reproduksinya? Pertanyaan-pertanyaan tersebut akan kita pelajari bersama pada bagian ini. Pernahkah Anda melihat langsung atau melihat di video tentang sekelompok ubur-ubur yang berenang dan mengeluarkan cahaya dari tubuhnya? Itu adalah salah satu bentuk keajaiban yang Tuhan ciptakan. Pigmen cahaya itu, di era modern saat ini dipakai oleh ahli bioteknologi untuk membuat rekayasa genetika agar tumbuhan atau hewan lain dapat bercahaya pada keadaan gelap. Hewan-hewan tersebut adalah termasuk hewan Cnidaria atau istilah lainnya yaitu Coelenterata.

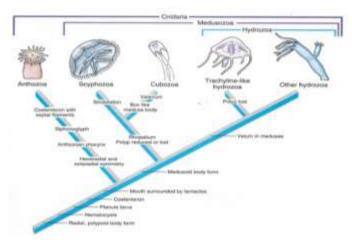


(a) Anemon laut (b) Hidra (c) Ubur-ubur Gambar 115. Contoh hewan tipe Cnidaria (https://ucmp.berkeley.edu, 2019)



(d)Koral

Mewakili garis keturunan lain yang bercabang sangat awal dalam sejarah hewan (eumetazoa), hewan radiata adalah hewan diploblastik (hanya memiliki ektoderm dan endoderm) dan memiliki simetri radial. Kedua filum cabang radiata adalah Cnidaria dan Ctenophora. Hewan Cnidaria (hidra, ubur-ubur, anemon laut, dan karang), tidak memiliki mesoderm dan memiliki konstruksi tubuh yang relatif sederhana. Namun demikian, mereka adalah suatu kelompok yang beraneka ragam dengan lebih dari 10.000 spesies yang masih hidup dan sebagian besar di antaranya adlah spesies organisme laut. Berikut adalah filogeni dari Cnidaria.

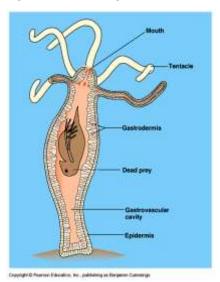


Gambar 116.Filogeni Cnidaria (https://ucmp.berkeley.edu, 2019)

Bangun dasar tubuh Cnidaria adalah suatu kantung dengan kompartemen tengah untuk pencernaan, yaitu rongga gastrovaskuler(gastrovascular cavity). Sebuah bukaan pada rongga ini berfungsi sekaligus sebagai mulut dan anus. Bangun dasar tubuh ini memiliki dua variasi: polip yang sesil dan medusa yang mengambang. Polipadalah bentuk-bentuk silindris yang menempel ke substrat melalui sisi aboral (berlawanan arah dengan mulut) tubuhnya dan menjulurkan tentakelnya, menunggu mangsa. Contoh-contoh bentuk polip adalah hidra dan anemon laut. Suatu medusaadalah suatu versi polip dengan mulut di bawah dan bentuk yang lebih rata. Medusa bergerak secara bebas dalam air dengan kombinasi pergeseran pasif saat terbawa arus air dan konstraksi tubuhnya yang berbentuk lonceng. Hewan yang umumnya kita sebut ubur-ubur adalah tahap medusa. Tentakel suatu ubur-ubur akan menjuntai dari permukaan mulut, dan menunjuk ke arah bawah. Beberapa hewan Cnidaria hanya ada sebagai polip,

yang lain hanya ada sebagai medusa, dan masih ada juga yang melewati tahapan medusa dan tahapan polip dalam siklus hidupnya secara berurutan.

Cnidaria adalah karnivora yang menggunakan tentakel yang tersusun dalam suatu cincin disekitar mulut untuk menangkap mangsa dan mendorog makanan kedalam gastrovaskuler, tempat pencarnaan dimulai. Sisa-sisa makanan yang tidak tercerna dikeluarkan melalui anus atau mulut. Tentael dipersenjatai dengan deretan cnidosit, sel-sel khas yang berfungsi dalam pertahanan dan penangkapan mangsa. Cnidosit mengandung cnidae, organel (kapsul) yang mampu membalik, yang menyebabkan filum tersebut dinamai Filum Cnidaria (Bahasa Yunani *cnide*, "sengat"). Cnidae yang disebut nematosisa(*nematocyst*) adalah kapsul yang menyengat.Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.12 Struktur tubuh Cnidaria (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Otot dan saraf terdapat dalam bentuk paling sederhana pada hewan Cnidaria. Sel-sel epdermis (lapisan paling luar) dan gastrodesmis (lapisan dalam) memiliki berkas filamen yang tersusun menjadi serat-serat kontraktil. Jaringan otot sejati berkembang dari mesoderm dan tidak terlihat pada hewan diploblastik. Rongga gastrovaskuler bertindak sebagai kerangka hidrostatik yang bekerja sama dengan sel-sel kontraktil. Ketika hewan itu menutup mulutnya, volume rongga itu akan tetap, dan kontraksi sel-sel tertentu akan menyebabkan hewan itu mengubah bentuknya. Pergerakan dikoordinasikan oleh suatu jaringan saraf. Hewan Cnidaria tidak memiliki otak, dan jaring saraf yang tidak terpusat itu

dikaitkat dengan reseptor sensorik sederhana yang tersebar secara radial disekitar tubuh. Dengan demikian, hewan itu dapat mendeteksi dan memberikan respon terhadap rangsangan dengan merata dari segala arah. Filum Cnidaria dibagi kedalam tiga kelas utama: Hydrozoa, Scyphozoa, dan Anthozoa. Berikut disajikan tabel tentang kelas-kelas pada filum Cnidaria.

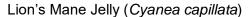
Tabel 4. Kelas-kelas filum Cnidaria

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Hydrozoa (<i>Portuguese man-of-war</i> , hidra, <i>Obelia</i> , beberapa karang)	Sebagian besar hidup di laut, hanya sedikit hidup di air tawar; baik tahapan polip dan medusa di temukan pada sebagian besar spesies; tahapan polip sering kali membentuk koloni.	Hidra
Scyphozoa (ubur- ubur, ubur-ubur kotak beracun, sea nettle)	Semuanya hidup di laut; tahapan polip tereduksi; bebas berenang; diameter medusa mencapai 2 m	Ubur-ubur
Anthozoa (anemon laut, sebagian besar karang, karang berkoloni seperti kipas)	Semuanya hidup di laut; tahapan medusa sama sekali tidak ada; hidup sesil, dan banyak jenis membentuk koloni	Anemon laut

1) Kelas Scypozoa

Medusa umumnya bertahan lebih lama dalam siklus hidup Kelas Scypozoa. Medusa dari sebagian besar spesies hidup diantara plankton sebagai ubur-ubur. Sebagian besar dari hewan Schypozoa yang hidup di pantai akan melalui tahapan polip kecil selama sisa hidupnya, tetapi ubur-ubur yang hidup di laut terbuka umumnya tidak melalui tahapan polip yang sesil. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Scypozoa.







Aurelia aurita (Moon jelly)

Gambar 117. Hewan kelas Scypozoa (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

2) Kelas Anthozoa

Anemon laut dan karang termasuk ke dalam Kelas Anthozoa ("hewan berbunga"). Mereka hanya ditemukan sebagai polip. Hewan karang hidup soliter atau dalam koloni dan mensekresikan kerangka eksternal yang keras dari kalsium karbonat. Setiap generasi polip mamanfaatkan sisa-sisa kerangka generasi sebelumnya untuk membangun "batu" dengan bentuk yang khas sesuai spesiesnya. Kerangka inilah yang disebut karang. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Anthozoa (anemon laut).









Gambar 118.Hewan kelas Scypozoa (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

3) Kelas Hydrozoa

Sebagian besar hidrozoa melakukan pergiliran bentuk antara polip dan medusa, seperti pada siklus hidup *Obelia*. Tahapan polip, suatu koloni polip yang saling berhubungan pada kasus *Obelia*, lebih mudah ditemukan dibandingkan dengan tahap medusa. Perhatikan gambar berikut agar Anda lebih jelas tentang deskripsi hewan kelas Hydrozoa.

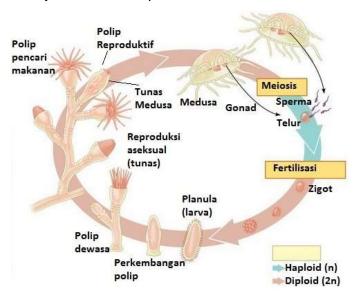




Hidra *Physalia physalis* (kapal perang Portugis)

Gambar 119.Hewan kelas Hydrozoa (http://coldwater.science/, 2003)

Hidra, salah satu dari beberapa hewan Cnidaria yang ditemukan hidup di air tawar, adalah anggota Kelas Hydrozoa yang unik karena mereka hanya ditemukan dalam bentuk polip. Ketika kondisi lingkungan memungkinkan, hidra akan bereproduksi secara aseksual denga cara pertunasan (*budding*), yaitu pembentukan suatu penonjolan yang kemudian melepaskan diri dari induk untuk hidup bebas. Ketika kondisi lingkungan buruk, hidra bereproduksi secara seksual, dan membantuk zigot resisten yang tetap dorman sampai kondisi membaik. Berikut disajikan siklus hidup Hidrozoa.



Gambar 120.Siklus hidup Hidrozoa (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Ubur-ubur sisir atau hewan Ctenophora, sangat menyerupai medusa hewan Cnidaria. Akan tetapi, hubungan antara hewan Ctenophora dan hewan Cnidaria masih belum jelas. Hanya ada sekitar 100 spesies ubur-ubur sisir, dan semuanya adalah hewan laut. Hewan Ctenophora memiliki diameter yang berkisar dari 1 sampai 10 cm. Sebagian besar diantaranya berbentuk bulat atau oval, tetapi ada juga yang berbentuk memanjang dan seperti pita yang mencapai panjang 1 m. Ctenophora berarti "mengandung sisir", dan hewan ini dinamai menurut kedelapan baris lempengan yang mirip sisir, yang terdiri atas silia yang menyatu. Mereka adalah hewan terbesar yang menggunakan silia untuk pergerakan. Suatu organ sensoris aboral (terletak berlawanan arah dari mulut) berfungsi dalam menentukan orientasi, dan syaraf yang merambat dari organ sensoris sampai ke sisir silia berfungsi untuk mengkoordinasikan pergerakan. Sebagian besar uburubur sisir memiliki sepasang tentakel panjang dan dapat ditarik kembali. Tentakel tersebut mengandung struktur lengket yang disebut dengan koloblas(colloblast), yang juga disebut sel lasso. Ketika mangsa (sebagian besar adalah plankton kecil) menyentuh tentakel, koloblas akan membuka secara mendadak. Suatu benang lengket yang dibebaskan oleh masing-masing koloblas akan menangkap makanan, yang kemudian akan disapu oleh tentakel ke dalam mulut. Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=GkfSn_4HHYE untuk melihat siklus hidup ubur-ubur secara nyata.

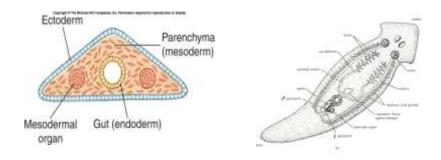
c. Aselomata

Aselomata mewakili satu percabangan awal hewan bersimetri bilateral, aselomata tidak memiliki rongga tubuh, yaitu ruang antara dinding tubuh dan saluran pencernaan. Aselomata mewakili beberapa perkembangan evolusi dibandingkan dengan hewan radiata. Sama dengan semua hewan bilateral, aselomata adalah tripoblastik (memiliki ektoderm, mesoderm, dan endoderm). Sebagai hewan bilateral, aselomata menunjukkan pergerakan maju ke depan dan sefalisasi dalam sejumlah tingkatan.

Terdapat sekitar 20,000 species cacing pipih yang hidup di habitat air laut, air tawar, dan daratan yang lembap. Selain memiliki banyak bentuk yang hidup bebas, cacing pipih meliputi banyak pula spesies parasit, seperti cacing pipih dan cacing pita. Cacing pipih disebut demikian karena tubuhnya tipis di antara

permukaan dorsal dan ventral (yang pipih secara dorsoventral; *platyhelminth* artinya "cacing pipih"). Ukurannya berkisar antara spesies hidup bebas yang mikroskopis hingga cacing pita yang panjangnya lebih dari 20 meter.

Lapisan embrionik ketiga, mesoderm, memberikan sumbangan kepada perkembangan organ yang lebih kompleks dan sistem organ, dan jaringan otot sejati. Dengan demikian, cacing pipih secara struktural lebih kompleks dibandingkan dengan hewan Cnidarian atau Ctenophora. Namun demikian, sama dengan hewan radiata, cacing pipih memiliki suatu rongga gastrovaskuler dengan hanya satu bukaan. Cacing pita sama sekali tidak memiliki keseluruhan saluran pencernaan dan menyerap nutrientmelalui permukaan tubuhnya.



Gambar 121.Struktur tubuh cacing pipih (Platyhelminthes) (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Cacing pipih dibagi ke dalam 4 kelas: Turbellaria (yang sebagaian besar adalah cacing pipih yang hidup bebas), Monogenea, Trematoda (atau *fluke*), dan Cestoidea (Cacing pita). Cacing pipih parasit (terutama Monogenea, Trematoda, dan Cacing pita) terkenal karena penyakit yang disebabkan oleh beberapa species yang tergolong cacing pipih, dan banyak cacing pipih memainkan peranan penting dalam struktur dan fungsi ekosistem. Berikut disajikan tabel tentang kelas-kelas pada Filum Platyheminthes.

Tabel 2.3Kelas-kelas Filum Platyhelmithes

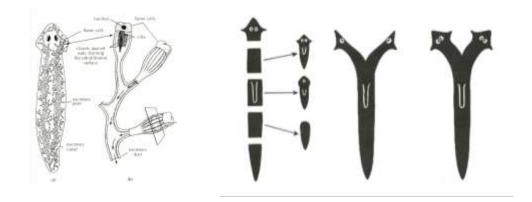
Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Turbellaria (sebagian besar adalah cacing pipih yang hidup bebas; misalnya Dugesia)	Sebagian besar adalah hewan laut, beberapa hidup di air tawar, hanya sedikit yang hidup di darat: predator dan pemakan bangkai; permukaan tubuh bersilia	Dugesia tigrina
Monogenea	Parasit laut dan air tawar: sebagian besar menginfeksi permukaan eksternal ikan; sejarah hidup sederhana; larva bersilia, memulai infeksi pada inang	
Trematoda (disebut juga cacing <i>fluke</i>)	Parasit, hampir selalu pada vertebrata; dua penghisap menempel pada inang; sebagian besar sejarah hidup melibatkan inang perantara	Monogenea Cacing fluke
Cestoidea (cacing pita)	Parasit vertebrata; skoleks yang bertaut dengan inang; proglotid menghasilkan telur dan pecah setelah fertilisasi; tidak ada kepala atau sistem pencernaan; sejarah hidup dengan satu atau lebih inang perantara.	Cacing pita

1) Kelas Turbellaria

Hampir semua Turbellaria hidup bebas (bukan parasit) dan sebagian besar adalah hewan laut. Anggota genus *Dugesia*, yang umumnya dikenal sebagai planaria, berlimpah dalam kolam dan aliran sungai yang tidak terpolusi. Planaria adalah karnivora yang memangsa hewan lebih kecil atau memakan hewan-hewan yang sudah mati. Planaria dan cacing pipih lainnya tidak memiliki organ yang khusus untuk pertukaran gas dan sirkulasi. Bentuk tubuhnya yang pipih itu menempatkan semua sel-sel berdekatan dengan air sekitarnya, dan percabangan halus rongga gastrovaskuler mengedarkan makanan ke seluruh tubuh hewan tersebut.Buangan bernitrogen dalam bentuk ammonia akan berdifusi secara langsung dari sel-sel ke dalam air di sekitarnya. Cacing pipih

juga memiliki perkakas ekskretoris yang relatif sederhana yang terutama berfungsi untuk mempertahankan keseimbangan osmoticantara hewan tersebut dan lingkungan sekitarnya. Sistem ini terdiri atas sel-sel bersilia yang disebut dengan sel api atau flame cell yang mengalirkan cairan melalui saluran bercabang yang membuka ke bagian luar. Evolusi struktur osmoregulatoris merupakan faktor utama yang memungkinkan beberapa cacing Turbellaria memasuki ekosistem air tawar dan bahkan lingkungan darat yang lembap. Struktur morfologi Planaria dapat Anda lihat pada tautan https://www.youtube.com/watch?v=2NvFC-gyatU.

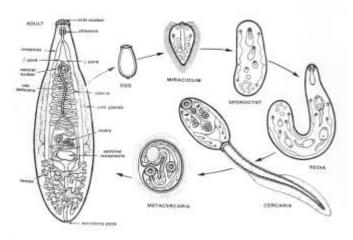
Planaria bergerak menggunakan silia pada epidermis ventral, bergeser di sepanjang lapisan lendir tipis yang mereka sekresikan sendiri. Beberapa cacing Turbellaria juga menggunakan ototnya untuk berenang melalui air dengan gerakan yang mengombak naik turun. Seekor planaria memiliki kepala (atau tersefalisasi) dengan sepanjang bintik mata yang mendeteksi cahaya dan penjuluran lateral yang berfungsi terutama untuk penciuman. Sistem saraf planaria lebih kompleks dan lebih terpusat dibandingkan dengan sistem jaringan saraf hewan Cnidaria. Planaria dapat belajar memodifikasi responsnya terhadap stimuli. Planaria dapat berproduksi secara aseksual melalui regenerasi. Induknya akan menyempit di bagian tengah, dan masing-masing paruhan beregenerasi untuk mengganti ujung yang hilang. Reproduksi seksual juga terjadi. Meskipun planaria juga adalah hermaprodit, pasangan kawin yang berkopulasi mengadakan pembuahan silang.



Gambar 122.Struktur dan regenerasi pada Planaria (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

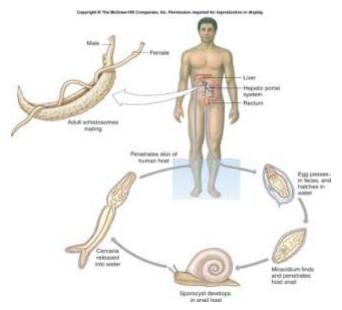
2) Kelas Monogenea dan Trematoda

Monogenea dan Trematoda (sering disebut *fluke*) hidup sebaga parasit di dalam atau pada hewan lain. Banyak di antaranya memiliki penghisap untuk menempelkan diri ke organ internal atau permukaan luar inangnya, dan semacam kulit keras yang membantu melindungi parasit itu. Organ reproduksi mengisi hampir keseluruhan bagian interior cacing ini. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 123. Siklus hidup Trematoda (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Sebagai suatu kelompok, cacing Trematoda memparasiti banyak sekali jenis inang, dan sebagian besar spesies memiliki siklus hidup yang kompleks dengan adanya pergiliran tahap seksual dan aseksual. Banyak trematoda memerlukan suatu inang perantara atau intermedia tempat larva akan berkembang sebelum menginfeksi inang terakhirnya (umumnya vertebrata), tempat cacing dewasa hidup. Sebagai contoh, Trematoda yang memparasiti manusia menghabiskan sebagian dari sejarah hidupnya di dalam bekicot. Sekitar 200 juta penduduk di seluruh dunia yag terinfeksi *fluke* darah (*Schistosoma*) menderita nyeri badan, anemia, dan disentri.



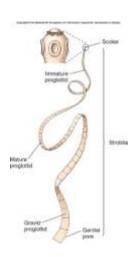
Gambar 124.Fluke darah (Schistosoma) (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Sebagian besar dari Monogenea adalah parasit eksternal pada ikan. Siklus hidupnya relatif sederhana, dengan larva bersilia dan berenang bebas yang memulai suatu infeksi pada inang. Meskipun Monogenea secara tradisional telah disejajarkan dengan Trematoda, beberapa bukti-bukti struktural dan kimiawi menyarankan bahwa mereka lebih dekat hubungannya dengan cacing pita.

3) Kelas Cestoidea

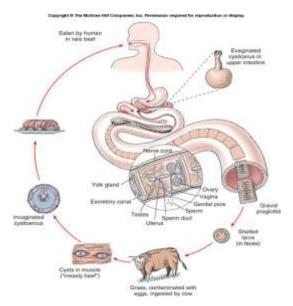
Cacing pita (Kelas Cestoidea) juga merupakan parasit. Hewan dewasa sebagian besar hidup pada vertebrata, termasuk manusia. Kepala cacing pita, atau skoleks, dipersenjatai dengan penghisap dan seringkali dengan kait sangat tajam yang mengunci cacing itu ke lapisan intestinal inang. Ke arah posterior dari skoleks adalah pita panjang serangkaian unit-unit yang disebut proglotid, yang sedikit lebih besar dari kantung organ kelamin. Cacing pita tidak memiliki saluran pencernaan. Cacing pita menyerap makanan yang telah dicerna terlebih dahulu oleh inang.





Gambar 125.Taenia (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Proglotid dewasa, yang dipenuhi dengan ribuan telur, dibebaskan dari ujung posterior cacing pita dewasa dan meninggalkan tubuh inang bersama feses. Dalam salah satu jenis siklus hidup, feses manusia mengkontaminasi makanan atau air inang perantara, seperti babi atau sapi, dan telur cacing pita itu berkembang menjadi larva yang terbungkus dalam sista dalam otot hewan itu. Manusia dapat terinfeksi larva dengan cara memakan daging yang kurang matang dan terkontaminasi dengan sista, dan cacing itu berkembang menjadi dewasa di dalam tubuh manusia. Cacing pita besar, yang panjangnya dapat mencapai 20 m atau lebih, bisa menyebabkan penyumbatan usus dan dapat mengambil cukup banyak nutrien dari inang manusianya untuk dapat menyebabkan defisiensi nutrisi.



Gambar 126.Siklus hidup kelas cacing pita (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

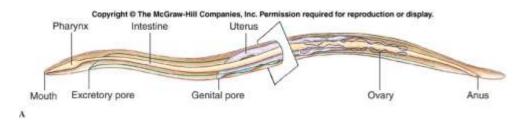
d. Pseudoselomata

Bangun tubuh psudoselomata telah dievolusikan pada beberapa filum hewan kecil. Hubungan evolusionernya dengan kelompok lain dan di antara mereka sendiri masih belum jelas. Kemungkinan, kondisi pseudoselomata muncul secara independen beberapa kali. Kita akan membahas di sini hanya dua dari semua filum itu: Rotifera dan Nematoda.

Rotifer (sekitar 1800 spesies) adalah hewan yang sangat kecil yang terdapat paling banyak di air tawar, beberapa di antaranya hidup di laut atau di dalam tanah lembap. Ukurannya berkisar dari sekitar 0,5 sampai 2,0 mm, lebih kecil dari banyak Protista, namun demikian Rotifer adalah hewan multiseluler dan memiliki sistem organ khusus, termasuk saluran pencernaan sempurna (suatu saluran pencernaan dengan mulut dan anus yang terpisah). Organ internal terletak di dalam pseudoselom. Cairan dalam pseudoselom berfungsi sebagai kerangka hidrostatik dan sebagai medium untuk transport internal nutrien dan buangan pada hewan yang sangat kecil tersebut. Pergerakan tubuh rotifer menyebarkan cairan di dalam pseudoselom, sehingga rongga tubuh dan cairannya sebagai sistem sirkulasi.

Kata Rotifer, yang berasal dari Bahasa Latin, berarti "pembawa roda", yang mengacu ke mahkota silia yang menarik putaran air ke dalam mulut. Ke arah posterior dari mulut, suatu daerah saluran pencernaan yang disebut faring mengandung rahang (*trophi*) yang akan menggerus makanan, yang sebagian besar berupa mikroorganisme yang tersuspensi dalam air.

Reproduksi Rotifer adalah unik. Beberapa spesies hanya terdiri atas betina yang menghasilkan lebih banyak betina lagi dari telur yang tidak dibuahi, suatu jenis reproduksi yang disebut partenogenesis. Spesies menghasilkan dua jenis telur yang berkembang dengan cara partenogenesis, satu jenis membentuk betina dan jenis lain berkembang menjadi jantan yang berdegenerasi yang bahkan tidak dapat mencari makanannya sendiri. Jantan bertahan hidup cukup lama untuk menghasilkan sperma yang membuahi telur, dan membentuk zigot resisten yang dapat bertahan hidup ketika kolam mengering. Ketika kondisi menjadi baik lagi, zigot tersebut mengakhiri masa dormansinya dan berkembang menjadi suatu generasi betina baru yang kemudian bereproduksi melalui parthenogenesis sampai kondisi menjadi tidak menguntungkan lagi. Perhatikan gambar berikut.



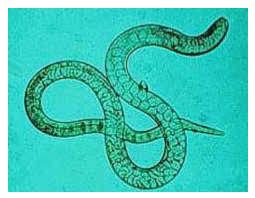
Gambar 127.Struktur tubuh cacing gilig (Nematoda) (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Di antara semua hewan yang paling tersebar luas, cacing gilig (Nematoda) ditemukan pada sebagian besar habitat akuatik, di dalam tanah lembap, di dalam jaringan lembap tumbuhan, dan di dalam cairan tubuh dan jaringan hewan. Sekitar 90.000 spesies kelas ini telah diketahui, dan yang sebenarnya ada mungkin mencapai 10 kali jumlah tersebut. Panjang cacing gilig berkisar antara kurang dari 1 mm hingga lebih dari 1 m. Tertutupi oleh kutikula keras dan transparan, tubuhnya yang silindris dan tak bersegmen itu meruncing membentuk ujung yang sangat halus ke arah posterior dan menjadi suatu ujung buntu pada ujung kepala. Nematoda memiliki saluran pencernaan yang

sempurna. Mereka tidak memiliki sistem sirkulasi, tetapi nutrien diangkut ke seluruh tubuh melalui cairan dala pseudoselom. Otot nematoda semuanya longitudianal, dan kontraksinya menghasilkan gerakan mendera.

Reproduksi Nematoda umumnya adalah secara seksual. Jenis kelamin umumnya terpisah pada sebagaian besar spesies, dan betina umumnya berukuran lebih besar dibandingkan dengan jantan. Fertilisasi terjadi secara internal, dan seekor betina dapat meletakkan 100.000 atau lebih telur yang terbuahi per hari. Zigot sebagian besar spesies adalah sel resisten yang mampu bertahan hidup pada lingkungan yang tidak bersahabat. Perhatikan gambar berikut.





Ascaris

Trichinella

Gambar 128.Contoh cacing Nematoda (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Filum Nematoda juga meliputi banyak hama pertanian yang menyerang akar tumbuhan. Spesies lain cacing gilig memparasiti hewan. Manusia menjadi inang bagi paling tidak 50 spesies Nematoda, termasuk berbagai cacing jarum (pinworm) dan cacing kait (hookworm). Salah satu Nematoda yang sangat berbahaya adalah Trichinella spinalis, cacing yang menyebabkan trikhinosis. Manusia tertular Nematoda tersebut dengan cara memakan daging babi atau daging lain yang terinfeksi dan kurang matang, yang mengandung cacing juvenile terbungkus sista dalam jaringan otot. Didalam usus manusia, juvenil tersebut akan berkembang menjadi cacing dewasa secara seksual. Betina akan menggali lubang di dalam otot usus halus dan menghasilkan lebih banyak lagi juvenil, yang nantinya membor tubuh manusia atau mengembara dalam



pembuluh limfa untuk membungkus dirinya dengan sista dalam organ lain, termasuk otot rangka.

e. Selomata: Protostoma

Garis keturunan Protostoma hewan selomata terbagi menjadi beberapa filum, yang meliputi Mollusca, Annelida, dan Arthropoda.

1) Filum Nemertea

Anggota filum Nemertea disebut dengan cacing *proboscis* atau cacing berbelalai. Posisi filum tersebut di pohon filogenetik saat ini masih diperedebatkan, meskipun sistematika molekuler mendukung bukti-bukti anatomis bahwa mereka berhubungan dengan garis keturunan protostoma. Tubuh cacing *proboscis* secara struktural adalah aselomata, seperti struktur tubuh cacing pipih, tetapi pada tubuh cacing *proboscis* terdapat kantung kecil yang penuh cairan yang dianggap oleh beberapa ahli biologi sebagai struktur yang homolog dengan rongga tubuh (selom) protostoma. Kantung dan cairan secara hidrolik mengoperasikan suatu *proboscis* yang dapat dipanjangkan sebagai alat bagi cacing tersebut untuk menangkap mangsanya.

2) Filum-filum Lophophorata

Secara kolektif filum Bryzoa, Phoronida, dan Brachiopoda disebut hewan lofoforata karena memiliki struktur yang khas, yaitu lofofor. Lofofor adalah lipatan berbentuk tapal kuda atau sirkuler pada dinding tubuh dan mengandung tentakel bersilia yang mengelilingi mulut. Anus terletak di luar lilitan tentakel.

Bryozoa adalah hewan berkoloni yang sangat menyerupai lumut (*moss*). Bryozoa artinya "hewan lumut". Pada sebagian besar spesies, koloni terbungkus dalam eksoskeleton keras berpori. Lofofor akan menjulur melalui pori-pori tersebut. Dari antara 5.000 spesies Bryozoa, sebagian besar hidup dalam laut, dimana mereka merupakan hewan sesil yang paling banyak dan luas penyebarannya. Beberapa spesies merupakan pembangun terumbu karang yang penting.

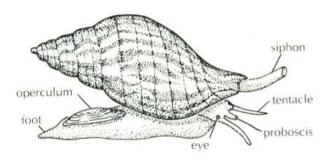
Phoronida adalah cacing laut yang tinggal dalam tabung yang panjangnya berkisar dari 1 mm sampai 50 cm. Beberapa diantaranya hidup terkubur dalam pasir di dalam tabung yang terbuat dari kitin, dan menjulurkan lofofornya dari pembukaan tabung dan menariknya ke dalam tabung ketika berada dalam keadaan terancam. Hanya terdapat sekitar 15 spesies cacing Phoronida yang terbagi dalam dua genus.

Brachiopoda atau *lamp shell* (cangkang lampu) sangat menyerupai remis dan moluska bercangkang dua, tetapi kedua paruh cangkang Brachiopoda adalah bagian dorsal dan ventral hewan tersebut dan bukan lateral, seperti pada remis. Hewan Brachiopoda hidup menempel pada substratnya melalui suatu tangkai, dan membuka cangkangnya sedikit untuk memungkinkan air mengalir diantara cangkang dan lofofor. Brachiopoda adalah hewan laut. Brachiopoda yang masih hidup adalah sisa-sisa dari masa lalu yangg jauh lebih jaya; hanya sekitar 330 spesies tersebut yang diketahui, tetapi terdapat 30.000 spesies fosil zaman Paleozoikum dan Mesozoikum.

3) Filum Mollusca

Keong atau bekicot dan *slug* (sejenis siput tak bercangkang), tiram, remis, gurita, dan cumi-cumi adalah hewan Mollusca. Secara keseluruhan, anggota filum Mollusca memiliki lebih dari 150.000 spesies yang telah diketahui. Sebagian besar Mollusca adalah hewan laut, meskipun beberapa diantaranya hidup di air tawar, serta ada juga keong dan *slug* yang hidup di darat. Mollusca adalah hewan berbadan lunak (Latin *molluscus* berarti "lunak"), tetapi sebagian besar terlindungi oleh suatu cangkang keras yang mengandung kalsium karbonat. *Slug*, sumi-cumi, dan gurita memiliki cangkang yang tereduksi, dimana sebagian besar diantaranya adalah cangkang internal, atau mereka telah kehilangan keseluruhan cangkang selama proses evolusinya.

Meskipun terdapat perbedaan yang jelas, semua Mollusca memiliki kemiripan dalam bangun tubuh. Tubuh Mollusca memiliki tiga bagian utama: kaki berotot, umumnya digunakan untuk pergerakan; massa viseral yang mengandung sebagian besar organ-organ internal; dan mantel, suatu lipatan jaringan yang menutupi massa viseral dan mensekresi cangkang (jika ada). Pada banyak Mollusca, mantel meluas melebihi massa viseral, dan menghasilkan suatu ruang yang penuh air, atau rongga mantel (*mantle cavity*), yang menampung insang, anus, dan pori ekskretoris. Banyak Mollusca mengambil makanan menggunakan organ kasar mirip tali karet yang disebut radula untuk mengorek makanan.



Gambar 129. Struktur tubuh bekicot (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Bangun dasar tubuh Mollusca telah berkembang dengan berbagi cara pada kelas yang berlainan dalam suatu filum. Di antara delapan kelas, kita akan mengkaji empat yaitu Polyplacophora (*chiton*), Gastropoda (bekicot dan *slug*), Bivalvia (remis, tiram, dan bivalvia lainnya), dan Cephalopoda (cumi-cumi, gurita, dan *Nautilus*). Berikut disajikan tabel karakteristik kelas-kelas utama Filum Mollusca.

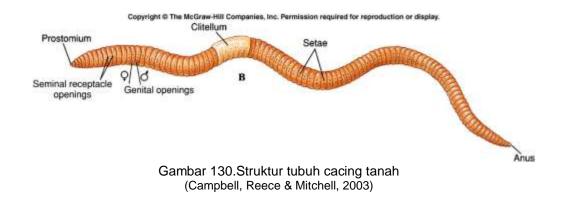
Tabel 5.Kelas-kelas utama Filum Mollusca

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Polyplacophora (chiton)	Hidup dilaut; cangkang dengan delapan lempeng; kaki digunakan untuk lokomosi; kepala tereduksi	Katherina
Gastropoda (keong atau bekicot, <i>slug</i>)	Hidup dilaut, air tawar, atau di darat; tubuh tidak simetris, umumnya memiliki cangkang yang melintir; cangkang tereduksi atau tidak ada sama sekali pada beberapa spesies; kaki untuk lokomoso; ada radula	Helix
Bivalvia (remis, kerang hijau, scallop, tiram)	Hidup dilaut dan air tawar; cangkang pipih atau rata dengan 2 katup; kepala tereduksi; insang berpasangan; sebagian besar makan dengan menyaring; mantel berbentuk sifon	Anadonta

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Cephalopoda (cumi-cumi, gurita, <i>Nautilus</i> berongga)	Hidup di laut; kepala dikelilingi oleh tentakel yang menjerat, umumnya dengan penyedot; cangkang eksternal, internal, atau absen; mulut dengan atau tanpa radula; lokomosi dengan dorongan jet menggunakan sifon yang terbuat dari mantel	Octopus

4) Filum Annelida

Annelida berarti "cincin kecil", dan tubuh bersegmen yang mirip dengan serangkaian cincin yang menyatu merupakan ciri khas filum Annelida. Terdapat sekitar 15.000 spesies filum Annelida, yang panjangnya berkisar antara kurang dari 1 mm sampai 3 m pada cacing tanah raksasa Australia. Perhatikan gambar berikut.



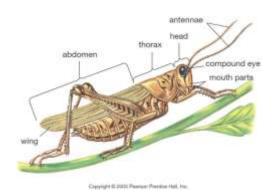
Anggota filum Annelida hidup di laut, sebagian besar habitat air tawar dan tanah lembap. Beberapa hewan Annelida akuatik berenang untuk mencari makan, tetapi sebagian besar tinggal di dasar dan bersarang di dalam pasir dan endapan lumpur; cacing tanah merupakan pembentuk sarang dalam lubang. Filum Annelida dibagi ke dalam tiga kelas: Oligochaeta (cacing tanah dan kerabatnya), Polychaeta, dan Hirudinea (lintah). Berikut disajikan tabel tentang karakteristik kelas-kelas Filum Annelida.

Tabel 6.Kelas-kelas Filum Annelida

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Oligochaeta (cacing bersegmen yang hidup di darat dan air tawar; misalnya cacing tanah)	Kepala yang tereduksi; tidak ada parapodia, tetapi ada setae	Lumbricus terrestris
Polychaeta (sebagian besar adalah cacing bersegmen yang hidup dilaut)	Kepala yang berkembang baik; masing-masing segmen umumnya memiliki parapodia dengan setae; tinggal dalam tabung dan ada juga yang hidup bebas	Amphitrite
Hirudinea (lintah)	Tubuh umumnya pipih dan rata dengan selom dan segmentasi yang tereduksi; setae tidak ada; penyedot terdapat pada ujung anterior dan posterior; parasit, predator, dan pemakan bangkai	Hirudo medicinalis

5) Filum Arthropoda

Diperkirakan bahwa populasi Arthropoda dunia, yang meliputi krustasea, labalaba, dan serangga, berjumlah sekitar 10¹⁸ individu. Hampir 1 juta spesies Arthropoda telah dideskripsikan, dan sebagian besar adalah serangga. Pada kenyataannya, dua dari setiap tiga organisme yang dikenal adalah hewan Arthropoda, dan anggota filum tersebut ada hampir pada semua habitat yang ada di biosfer. Berdasarkan kriteria keanekaragaman, penyebaran dan jumlah spesies, filum Arthropoda harus dianggap sebagai yang paling berhasil di antara semua filum hewan. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 131.Struktur tubuh belalang (Campbell, Reece & Mitchell, 2003)

Arthropoda berarti "kaki bersendi". Kelompok segmen dan anggota badannya telah terspesialisasi untuk berbagai ragam fungsi. Tubuh Arthropoda sepenuhnya ditutupi oleh kutikula (*cuticle*), suatu eksoskeleton (kerangka eksternal) yang dibangun dari lapisan-lapisan protein dan kitin. Kutikula itu dapat merupakan pelindung yang tebal dan keras di atas beberapa bagian tubuh, dan setipis kertas dan fleksibel pada lokasi lain, seperti persendian. Arthropoda memiliki sistem sirkulasi terbuka (*open circulatory system*) dimana cairan yang disebut hemolimfa didorong oleh suatu jantung melalui arteri pendek dan kemudian masuk ke dalam ruang yang disebut sinus yang mengelilingi jaringan dan organ. Berikut disajikan tabel tentang karakteristik kelas utama Filum Arthropoda.

Tabel 7. Kelas utama Filum Arthropoda

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Arachnida (laba- laba, kutu, tungau kalajengking,)	Tubuh memiliki satu atau dua bagian utama; enam pasang anggota badan (<i>chelicerae</i> , pedipalpus, dan empat pasang kaki untuk berjalan); sebagian besar adalah hewan darat.	Kalajengking
Diplopoda (kaki seribu)	Tubuh dengan kepala yang jelas memiliki antena dan bagian- bagian mulut yang mengunyah, badan bersegmen dengan dua pasang kaki berjalan per segmen; terestrial;	Kaki seribu

Kelas dan Contoh	Karakteristik Utama	Contoh
Chilopoda (lipan)	herbivora Tubuh dengan kepala yang jelas yang memiliki antena besar dan tiga pasang bagian mulut; anggota badan segmen tubuh pertama dimodifikasi sebagai cakar beracun; segmen badan mengandung satu pasang kaki berjalan setiap segmen; terestrial; karnivora	Lipan
Insecta (serangga)	Tubuh terbagi menjadi kepala, toraks, dan abdomen; memiliki antena; bagian mulut dimodifikasi untuk mengunyah, menyedot atau menelan; umumnya memiliki dua pasang sayap dan tiga pasang kaki; sebagian besar adalah hewan terestrial.	Nyamuk
Crustacea (kepiting, udang galah, <i>crayfish</i> atau udang kerang, udang)	Tubuh dengan dua atau tiga bagian; memiliki antena; bagian mulut untuk mengunyah; tiga atau lebih pasang kaki, sebagian besar adalah hewan laut.	Udang

Dalam hal keanekaragaman spesies, serangga (Kelas Insecta) melebihi jumlah semua bentuk kehidupan lain digabungkan bersama-sama. Mereka hampir pada setiap habitat terestrial dan dalam air tawar, dan serangga terbang mengisi udara. Serangga jarang ditemukan di laut, dimana Crustacea merupakan Arthropoda yang dominan meskipun bukan berarti tidak ada sama sekali. Anatomi internal suatu serangga meliputi beberapa sistem organ kompleks. Sistem pencernaan yang sempurna dan terspesialisasi secara regional, dengan organ yang jelas yang berfungsi dalam perombakan makanan dan penyerapan zat-zat makanan. Sisa metabolisme dibuang dari hemolimfa melalui organ ekskretoris yang unik yang disebut tubulus Malphigi, yang merupkan kantung luar saluran pencernaan. Pertukaran gas pada serangga dilakukan melalui sistem

trakea tabung bercabang yang dilapisi kitin yang menginfiltrasi tubuh dan membawa oksigen secara langsung ke sel. Sistem saraf serangga terdiri atas pasangan tali saraf ventral dengan beberapa ganglia segmnetal.

Banyak serangga mengalami metamorfosis dalam perkembangannya. Dalam metamorfosis tak sempurna (*incomplete metamorphosis*) belalang dan beberapa ordo lain, hewan muda mirip dengan hewan dewasa tetapi berukuran lebih kecil dan memiliki perbandingan tubuh yang berbeda. Hewan itu akan mengalami serangkaian pergantian kulit atau *molting*, setiap kali setelahnya hewan itu kelihatan lebih mirip hewan dewasa, sampai ia mencapai ukuran penuhnya. Serangga dengan metamorfosis sempurna (*complete metamorphosis*) memiliki tahapan larva yang dikhususkan untuk makan dan tumbuh yang dikenal dengan nama seperti belatung (*maggot*), tempayak (*grub*), atau ulat (*caterpillar*). Tahapan larva tampak berbeda sama sekali dari tahapan dewasa, yang dikhususkan untuk penyebaran dan reproduksi. Metamorfosis dari tahapan larva sampai dewasa terjadi selama tahapan pupa. Perhatikan gambar berikut.





(a) belalang

(b) kupu-kupu

Gambar 132.Contoh hewan yang mengalami metamorfosis (a) metamorfosis tak sempurna (b) metamorfosis sempurna (https://entomologytoday.org/, 2018)

Agar memperjelas informasi tentang metamorfosis pada kupu-kupu, Anda dapat melihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=xXBtGObyYzw.

Fosil serangga tertua berasal dari masa Devon, yang dimulai sekitar 400 juta tahun silam. Entomologi, kajian mengenai serangga, adalah suatu bidang yang luas dengan banyak subspesialisasi, yang meliputi fisiologi, ekologi, dan taksonomi. Kelas Insecta dibagi menjadi sekitar 26 ordo. Berikut disajikan tabel karakteristik beberapa ordo utama kelas Insecta

Tabel 8.Beberapa ordo utama serangga

Ordo	Perkiraan Jumlah Spesies	Karakteristik Utama	Contoh	
Anoplura	2.400	Ektoparasit tanpa sayap; mulut penghisap; berukuran kecil dengan tubuh yang pipih, mata yang tereduksi; kaki dengan	Caplak penghisap	* *
		tarsi yang mirip cakar untuk menempel atau melekat ke kulit; metamorfosis tak sempurna; inang sangat spesifik.		Caplak penghisap
Coleopte ra	500.00	Dua pasang sayap (satu pasang tebal dan terasa seperti berkulit, satu pasang bermembran), eksoskeleton	Kumbang	
		berpelindung; mulut untuk menggigit dan mengunyah; metamorfosis sempurna		Kumbang
Dermapt era	1.000	Dua pasang sayap (satu pasang terasa seperti berkulit, dan satu pasang bermembran) atau tak bersayap; bagian	Earwig	
		mulut untuk menggigit; capit posterior yang besar; metamorfosisi tak sempurna		Earwig
Diptera	120.00 0	Satu pasang sayap dan halter (organ untuk keseimbangan); mulut untuk	Lalat, nyamuk	
		penghisap, menusuk, atau menelan; metamorfosis sempurna		Lalat
		Sempuma		
				Nyamuk

Ordo	Perkiraan	Karakteristik Utama	Contoh	
	Jumlah			
	Spesies			
Hemipter a	55.000	Dua pasang sayap (satu pasang sebagian seperti berkulit, dan satu pasang bermembran); mulut untuk menusuk dan menyedot; metamorfosis tak sempurna	Kutu busuk; assassin bug, bedbug, chinch bug	Kutu busuk Assassin bug
Hymeno	100.00	Dua pasang sayap bermembran; kepala dapat bergerak; bagian mulut untuk mengunyah atau penghisap; organ untuk menyengat pada bagian posterior pada betina; metamorfosis sempurna; banyak spesies bersifat sosial	Semut, lebah, tawon	Semut Lebah Tawon

Ordo	Perkiraan Jumlah	Karakteristik Utama	Contoh	
	Spesies			
Isoptera	2.000	Dua pasang sayap bermembran (beberapa tahapan tidak bersayap); mulut untuk mengunyah; sangat sosial; metamorfosisi tak sempurna	Rayap	Rayap
Lepidopt era	140.00 0	Dua pasang sayap yang ditutupi dengan sisik kecil; lidah panjang melilit untuk penghisap; metamorfosis sempurna	Kupu-kupu, ngengat	Kupu-kupu
Odonata	5.000	Dua pasang sayap bermembran; bagian mulut untuk menggigit; metamorfosis tak sempurna	Damselfly, capung	Capung
Orthopter a	30.000	Dua pasang sayap (satu pasang seperti berkulit, satu pasang bermembran); mulut untuk menggigit dan untuk mengunyah; metamorfosis tak	Jangkrik, kecoa, belalang, belalang sembah	Jangkrik
		sempurna		
				Kecoa

Ordo	Perkiraan Jumlah Spesies	Karakteristik Utama	Co	ontoh
Siphonap	2.000	Tak bersayap, termampatkan secara lateral; hewan dewasa merupakan penyedot darah dari burung dan mamalia; bagian mulut untuk menusuk dan menyedot; kaki untuk meloncat; metamorfosis sempurna.	Flea/kutu penghisap darah	Kutu penghisap darah
Trichopte ra	7.000	Dua pasang sayap berambut; bagian mulut untuk mengunyah dan menelan; metamorfosis sempurna; larva akuatik membangun jaring sutera atau pembungkus (dari pasir, kerikil, dan kayu) terikat bersama oleh sutera	Caddisfly	Caddisfly

f. Selomata: Deuterostoma

Apakah Anda pernah melihat bintang laut, bintang ular laut atau lili laut? Apa karakteristik dari hewan-hewan tersebut? Ya benar, salah satu ciri yang dapat terlihat langsung yaitu adanya duri. Hewan-hewan tersebut adalah anggota dari Filum Echinodermata.

Deuterostoma hewan selomata memiliki ciri khas yaitu pembelahan secara radial, perkembangan selom dari arkenteron, dan pembentukan mulut pada ujung embrio yang berlawanan arah dengan blastopori. Anggota hewan ini yaitu Filum Echinodermata dan Filum Chordata. Anggota Filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Anggota Filum Chordata meliputi dua subfilum yaitu Invertebrata dan Vertebrata (ikan, amfibia, reptilia, burung, dan mamalia).

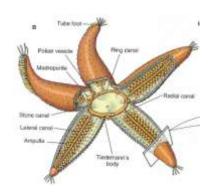
Anggota filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Bintang laut dan sebagian besar Echinodermata (dari bahasa Yunani ehcin "berduri" dan derma "kulit") adalah hewan sesil atau hewan yang bergerak lamban dengan simetri radial sebagai hewan dewasa. Bagian internal dan eksternal hewan ini menjalar dari tengah atau pusat, seringkali berbentuk lima jari-jari. Kulit tipis menutupi eksoskeleton yang terbuat dari lempengan keras. Sebagian besar hewan Echinodermata bertubuh kasar karena adanya tonjolan kerangka dan duri yang memiliki berbagai fungsi. Yang khas dari Echinodermata adalah sistem pembuluh air (water vascular system), suatu jaringan saluran hidrolik yang bercabang menjadi penjuluran yang disebut kaki tabung (tube feet) yang berfungsi dalam lokomasi, makan, dan pertukaran gas.

Di antara 7.000 atau lebih anggota filum Echinodermata, semuanya adalah hewan laut, dibagi menjadi enam kelas: Asteroidea (bintang laut), Ophiuroidea (bintang mengular), Echinoidea (bulu babi dan sand dollar), Crinoidea (lili laut dan bintang bulu), Holothuroidea (timu laut), dan Concentrychycloidea (aster laut). Aster laut yang baru ditemukan baru-baru ini, hidup pada kayu yang terendam air di laut dalam.

1) Kelas Asteroidea

Bintang laut memiliki lima lengan (kadang-kadang lebih) yang memanjang dari suatu cakram pusat. Permukaan bagian bawah lengan itu memiliki kaki tabung, yang masing-masing dapat bertindak seperti suatu cakram penyedot. Bintang laut mengkoordinasikan kaki tabungnya untuk lekat menempel pada batuan dan atau untuk merangkak secara perlahan-lahan sementara kaki tabung tersebut memanjang, mencengkeram, berkontraksi, melemas, memanjang, dan mencengkeram seklai lagi. Bintang laut juga menggunakan kaki tabungnya untuk menjerat mangsa, seperti remis atau tiram. Perhatikan gambar berikut.



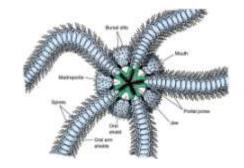


Gambar 133.Bintang laut (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

2) Kelas Ophiuroidea

Bintang mengular memiliki cakram tengah yang jelas terlihat, tangannya panjang dan sangat mudah bergerak. Kaki tabungnya tidak memiliki pemyedot, mereka bergerak dengan mencambukkan lengannya. Beberapa spesies adalah pemakan suspensi; yang lain adalah predator atau pemangsa bangkai.





Gambar 134.Bintang mengular (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

3) Kelas Echinoidea

Bulu babi (sea urchin) dan dollar pasir (sand dollar) tidak memiliki lengan, akan tetapi mereka memiliki lima baris kaki tabung yang berfungsi dalam pergerakan lambat. Bulu babi juga memiliki otot untuk memutar durinya yang panjang, yang membantu dalam pergerakan. Mulut bulu babi dilingkari oleh struktur kompleks mirip rahang yang telah beradaptasi untuk memakan ganggang laut dan makanan lain. Bulu babi secara kasar bentuknya agak bulat, sementara tubuh dollar pasir pipih dan berbentuk cakram.





Gambar 135.Bulu babi (b) dollar pasir (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

4) Kelas Crinoidea

Lili laut menempel ke subtratum melalui batang; bintang bulu merangkak dengan menggunakan lengannya yang panjang dan fleksibel. Sebagai suatu kelompok, anggota kelas ini menggunakan lengannya dalam proses memakan suspensi. Lengan itu mengelilingi mulut, yang diarahkan ke atas, menjauhi subtratum. Crinoidea adalah suatu kelas purba yang tidak banyak berubah selama proses evolusinya; lili laut yang memfosil dengan umur sekitar 500 juta tahun hampir tidak dapat dibedakan dari anggota modern kelas tersebut.





Gambar 136.Lili laut (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

5) Kelas Holothuroide

Pada pengamatan sepintas, ketimun laut (sea cucumber) tidak terlihat mirip dengan hewan Echinodermata lainnya. Mereka tidak memiliki duri dan endoskeletonnya yang keras sangat tereduksi. Tubuh ketimun laut memanjang sepanjang sumbu oral-aboral, sehingga memberikan bentuk ketimun seperti

namanya dan yang selanjutnya membedakan hubungan mereka dengan bintang laut atau bulu babi. Namun demikian, pengamatan lebih dekat memperlihatkan adanya lima baris kaki tabung, bagian dari sistem pembuluh air yang hanya ditemukan pada hewan Echinodermata. Beberapa kaki tabung yang ada di sekitar mulut dikembangkan menjadi tentakel untuk makan.

Anggota filum Chordata meliputi dua subfilum invertebrata dan semua vertebrata. Filum ini terdiri atas dua subfilum Invertebrata ditambah subfilum Vertebrata, hewan yang memiliki tulang belakang. Pengelompokkan Chordata dengan Echinodermata sebagai deuterostoma berdasarkan kemiripan perkembangan embrionik awal tidak berarti bahwa satu filum berkembang dari filum yang lain. Chordata dan Echinodermata telah ada sebagai filum yang berbeda paling tidak selama setengah miliar tahun; jika kemiripan dalam perkembangan bersumber dari nenek moyang yang sama, maka jalur evolusi kedua filum itu pasti telah memisah sangat dini.





Gambar 137.Ketimun laut (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

Vertebrata

Tengkorak dan tulang punggung, yang mengelilingi dan melindungi tali saraf, merupakan bagian dari kerangka aksial vertebrata, yaitu struktur penyokong utama sumbu, atau batang tengah, tubuh. Kerangka aksial sebagian besar vertebrata juga meliputi tulang, rusuk, yang menautkan otot dan melindungi organ internal. Vertebrata juga memiliki kerangka tambahan, yang menyokong kedua pasang anggota badannya (sirip, kaki atau lengan).

Ketika vertebrata bergerak mencari makan atau menghindari pemangsa, mereka meregenerasikan persediaan ATP-nya terutama melalui respirasi seluler, yang

membutuhkan konsumsi oksigen. Adaptasi sistem peredaran darah dan sistem pernapasan vertebrata mendukung mitokondria yang sibuk pada sel otot dan jaringan aktif lainnya. Vertebrata memiliki sistem peredaran darah yang tertutup, dengan jantung yang terdiri dari beberapa ruang dan terletak di bagian ventral tubuh, yang memompa darah melalui arteri ke pembuluh mikroskopik yang disebut kapiler bercabang ke seluruh jaringan di dalam tubuh. Darah mengambil oksigen saat melewati kapiler di paru-paru atau insang.

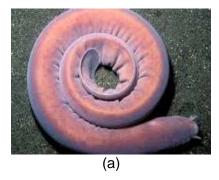
Skema taksonomik mengakui adanya dua superkelas subfilum Vertebarata yang masih hidup sampai saat ini. Anggota Superkelas Agnatha, hagfish dan lamprey, tidak memiliki rahang. Superkelas lain, Gnathostomata, meliputi enam kelas vetebrata berahang; Kelas Chondrichthyes (ikan bertulang rawan, hiu dan ikan pari); Kelas Osteichthyes (ikan bertulang keras); Amphibia (katak dan salamander), Reptilia (reptile), Aves (burung dan unggas), dan Mammalia (binatang menyusui), Amphibia, Reptilia, Aves, dan Mammalia secara kolektif disebut Tetrapoda (Bahasa Yunani *tetra* "empat" dan *pod* "kaki") karena sebagian besar hewan dalam kelas ini memiliki dua pasang tungkai yang menyokong tubuh mereka di darat. Reptilia, burung dan mamalia memiliki adaptasi darat tambahan yang membedakan mereka dari amfibia. Salah satu di antaranya adalah telur amniotik (amniotic egg), suatu telur bercangkang yang menahan air. Telur amniotik berfungsi sebagai "kolam yang mencukupi diri sendiri" yang memungkinkan vertebrata menyelesaikan siklus hidupnya di darat. Meskipun sebagian besar mamalia tidak bertelur, mereka mempertahankan ciri pokok lainnya dari kondisi amniotik tersebut. Oleh karena terobosan evolusioner yang penting ini, reptilia, burung dan mamalia secara kolektif disebut sebagai amniota.

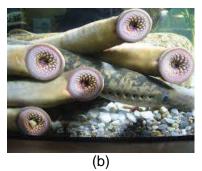
a. Superkelas Agnatha: Vertebrata Tak Berahang

Jejak vertebrata awal ini ditemukan pada strata Kambrium, tetapi sebagian besar ternyata berasal dari masa Ordovisium dan Silur, sekitar 400 sampai 500 juta tahun silam. Superkelas Agnatha meliputi hewan-hewan mirip ikan yang telah punah, disebut ostrakoderma ("berkulit cangkang"), yang dibungkus oleh beberapa lempengan bertulang sebagai pelindung. Agnatha ini dan agnatha awal yang lain umunya berukuran kecil, dengan panjang kurang dari 50 cm. Sebagian besar tidak memiliki sirip yang berpasangan dan sebenarnya merupakan hewan

yang tinggal di dasar perairan yang bergeliat di sepanjang hamparan arus atau dasar laut, tetapi ada juga beberapa spesies yang lebih aktif dan memiliki sirip berpasangan. Mulut mereka berbentuk bundar atau berupa bukaan mirip celah dan tidak memiliki rahang. Sebagian besar hewan Agnatha kemungkinan adalah penyedot lumpur atau pemakan suspensi yang mengambil sedimen dan serpihan bahan organik yang tersuspensi melalui mulutnya dan kemudian meneruskannya melalui celah insang, tempat terperangkapnya makanan. Dengan demikian, perkakas faringnya mempertahankan fungsi pengambilan makan yang primitif tersebut, meskipun insang pada hewan Agnatha kemungkinan juga merupakan tempat utama untuk pertukaran gas.

Sekitar 60 spesies vertebrata tak berahang masih hidup sampai saat ini dalam Kelas Myxini (hagfish) dan Kelas Chephalaspidomorphi (lamprey). Lamprey laut yang berbentuk belut mengambil makanan dengan cara mengaitkan mulut bundarnya itu ke sisi ikan yang hidup, kemudian menggunakan lidah yang menusuk untuk menembus kulit mangsanya, menghisap dan menelan darah mangsanya. Lamprey laut hidup sebagai larva selam bertahun-tahun dalam aliran air tawar dan kemudian berpindah ke laut atau danau ketika tumbuh menjadi dewasa. Larva tersebut merupakan pemakan suspensi yang menyerupai lancelet (cephalochordate). Beberapa spesies lamprey hanya makan sebagai larva. Setelah beberapa tahun berada dalam aliran air, mereka mencapai kematangan seksual, bereproduksi, dan mati dalam tempo beberapa hari. Perhatian gambar berikut.





Gambar 138.(a) Hagfish dan (b) lamprey (https://australianmuseum.net.au/, 2018)

Hagfish sangat menyerupai lamprey, tetapi umumnya mereka merupakan pemakan bangkai dan bukan penyedot darah atau pemakan suspensi, dan



bagian mulutnya tidak diadaptasikan untuk menusuk. Beberapa spesies memakan ikan yang sakit atau yang mati, sementara ikan *hagfish* yang lain memakan cacing laut. *Hagfish* tidak meiliki tahapan larva dan keseluruhan hidupnya berlangsung di dalam perairan asin.

b. Superkelas Gnathostomata I: Ikan

Selama akhir masa Silur dan awal masa Devon, vertebrata dengan rahang, anggota Superkelas Gnathostoma ("mulut berahang") menggantikan sebagian besar hewan Agnatha. Kelas ikan yang masih hidup (Chondrichthyes dan Osteichthyes) pertama kali muncul pada masa ini, bersama-sama dengan suatu kelompok yang diberi nama plakoderma (*placoderm*) ("berkulit lempeng") yang tidak memiliki keturunan yang hidup. Vertebrata berahang juga memiliki dua pasang anggota badan berpasangan, sementara hewan Agnatha tidak memiliki anggota badan yang berpasangan atau hanya memiliki sepasang.

Rahang vertebrata berevolusi dari kerangka penyokong celah faring. Asal mula rahang merupakan peristiwa adaptif utama pada awal filogeni vertebrata. Rahang vertebrata bersendi dan dapat bergerak ke atas dan ke bawah (secara dorsoventral). Rahang yang bersendi juga berkembang pada Arthropoda, tetapi rahang ini memiliki asal mula yang berbeda dari rahang vertebrata. Rahang Arthropoda adalah anggota badan yang termodifikasi yang bekerja dari sisi ke sisi.

Rahang vertebrata berkembang melalui modifikasi batang rangka yang sebelumnya menyokong celah faring (insang) anterior. Celah insang yang tersisa, yang tidak lagi diperlukan untuk memakan suspensi, tetap merupakan tempat utama pertukaran gas dengan lingkungan eksternal. Asal mula rahang vertebrata dari bagian kerangka ini menggambarkan ciri umum perubahan evolusioner: adaptasi baru umumnya berkembang melalui modifikasi struktur yang telah ada.

Endoskeleton bertulang rawan yang diperkuat oleh butiran berkalsium merupakan ciri diagnostik untuk Kelas Chondrichthyes. Vertebrata Kelas Chondrichthyes, hiu dan kerabatnya, disebut ikan bertulang rawan karena mereka memiliki endoskeleton yang relatif lentur yang terbuat dari tulang rawan

dan bukan tulang keras. Namun, pada sebagian besar spesies, beberapa bagian kerangka diperkuat oleh butiran berkalsium. Terdapat sekitar 750 spesies yang masih hidup dalam kelas ini. Rahang dan sirip berpasangan berkembang dengan baik pada ikan bertulang rawan. Subkelas yang paling besar dan paling beranekaragam terdiri dari hiu dan ikan pari. Subkelas kedua terdiri atas beberapa lusin spesies ikan yang tidak umum yang disebut *chimaera* atau *ratfish*.

Ikan hiu dan pari terbesar adalah para pemakan suspensi yang memangsa plankton. Namun, sebagian besar hiu adalah karnivora yang menelan mangsanya secara utuh atau menggunakan rahang dan geliginya yang sangat tajam untuk meyobek daging dari hewan yang terlalu besar untuk ditelan sekaligus. Indera yang tajam merupakan adaptasi yang seirama dengan gaya hidup hiu yang aktif sebagai karnivora. Hiu memiliki penglihatan yang tajam tetapi tidak dapat membedakan warna.

Telur hiu dibuahi secara internal. Hiu jantan memiliki sepasang penjepit pada sirip pelvisnya yang memindahkan sperma ke dalam saluran reproduksi betina. Beberap spesies hiu adalah hewan ovipar (*oviparous*); mereka mengeluarkan telur yang menetas di luar tubuh induknya. Spesies lain adalah hewan ovovivipar (*ovoviviparous*); mereka mempertahankan telur yang telah dibuahi agar tetap berada dalam oviduk (saluran telur). Beberapa spesies adalah hewan vivipar (*viviparous*); anak berkembang di dalam uterus, diberi makan sebelum lahir oleh nutrien yang diterima dari darah induk melalui plasenta. Saluran reproduksi hiu bermuara bersama-sama dengan sistem ekskretoris dan saluran pencernaan ke dalam kloaka, yaitu ruang yang mengeluarkan isinya melalui satu lubang tunggal.

Sebagian ikan pari adalah penghuni dasar laut yang berbentuk pipih dan mengambil makanan degan menggunakan rahangnya untuk melumat Molluska dan Crustacea. Sirip pektoral ikan pari sangat besar dan digunakan untuk mendorong hewan berenang. Banyak ikan pari memiliki ekor menyerupai pecut dan pada beberapa spesies, mengandung duri berbisa yang berfungsi sebagai alat pertahanan.

Endoskeleton bertulang, operkulum dan kantung renang merupakan ciri khas kelas Osteichthyes. Ikan bertulang keras (Kelas osteichthyes) adalah yang paling banyak jumlahnya, baik dalam jumlah individu maupun jumlah spesies (sekitar

30.000). Berukuran antara 1 cm dan lebih dari 6 m, ikan bertulang keras sangat melimpah di laut dan di hampir setiap habitat air tawar. Hampir semua ikan bertulang keras memiliki endoskeleton sengan matriks kalsium fosfat yang keras. Kulitnya seringkali tertutupi dengan silik pipih bertulang yang berbeda strukturnya dari sisik berbentuk gigi pada hiu. Ikan bertulang memiliki sistem gurat sisi yang tampak jelas sekali sebagai barisan saluran kecil pada kulit setiap sisi tubuh.

Ikan bertulang keras bernapas degan melewatkan air melalui empat atau lima pasang insang yang terletak di dalam ruangan-ruangan yang tertutup oleh suatu penutup pelindung yang disebut operkulum. Air disedot ke dalam mulut, melalui faring, dan keluar di antara celah insang karena pergerakan operkulum dan kontraksi otot yang mengelilingi ruang insang tersebut. Proses ini memungkinkan seekor ikan bertulang untuk bernapas pada saat diam atau tidur.

Adaptasi lain dari sebagian besar ikan bertulang keras yang tidak ditemukan pada hiu adalah gelembung renang (*swim bladder*), suatu kantung udara yang membantu mengontrol pengambanga ikan tersebut. Perpindahan gas-gas antara kantung renang dan darah mengubah volume kantung itu dan menyesuaikan kerapatan ikan. Akibatnya, banyak ikan bertulang keras, berlawanan dengan sebagian besar hiu, dapat menghemat energi dengan cara tidak bergerak.

Hampir semua famili ikan yang kita kenal adalah ikan bersirip duri (*rayfinned fish*) (Subkelas Actinopterygii; bahasa Yunani *aktin* "berkas" dan *pteryg* "sayap" atau "sirip"). Berbagai spesies *bass, perch, trout, herring,* dan tuna adalah beberapa contohnya. Sirip, yang terutama didukung oleh duri panjang yang lentur, termodifikasi untuk mengendalikan arah, pertahanan, dan fungsi-fungsi lain. Ikan bersirip duri menyebar dari air tawar sampai ke laut.

Sebagian besar anggota subkelas ikan bertulang lain yang masih hidup adalah ikan bersirip lobus (*lobe-fined fish*) dang *lungfish*, yang tinggal di dalam air tawar.Dua kelompok utama ikan bersirip lobus yang disebut *coelacanth* dan *rhipidistian*, ditandai dengan sirip pektoral dan pelvis yang berotot yang didukung oleh pembesaran kerangka bertulang. *Lungfish* umumnya menempati kolam dan rawa yang tenang, dan naik ke permukaan untuk menghirup udara ke dalam paru-paru yang berhubungan dengan faring dari saluran pencernaan. Berikut disajikan tabel tentang kelompok Vertebrata yang masih hidup saat ini.

Tabel 9.Kelompok Vertebrata yang masih hidup saat ini

	Karakteristik Utama	Contoh-Cor	ntoh
Superkelas Agnatha	Vertebrata tak berahang; kerangka bertulang rawan; lidah seperti parut; notokord tetap ada sepanjang hidup; hidup di laut dan air tawar; spesies yang hidup tidak memiliki anggota badan yang berpasangan	Lamprey, h	
Kelas Myxini	Pemakan bangkai yang hidup di laut; mulut dikelilingi oleh tentakel pendek; tidak ada tahapan larva	Hagfish	Hagfish
Kelas Cephalaspidomor phi	Hidup di laut dan air tawat; mulut dikelilingi oleh penyedot yang dapat melekat; larva (ammocoetes) adalah pemakan suspensi; saat dewasa menjadi parasit atau tidak makan sama sekali	Lamprey	Lamprey
Superkelas Gnathostomata	Vertebrata dengan rahang berengsel; notokord sebagian besar atau sepenuhnya digantikan oleh veterbra pada hewan dewasa sebagian besar spesies; anggota badan berpasangan		tebrata yang dup kecuali n <i>hagfish</i>
Kelas Chondrichthyes	Ikan bertulang rawan; kerangka bertulang rawan; memiliki rahang; respirasi melalui insang; pembuahan internal; bisa bertelur atau melahirkan anak; indera yang tajam, termasuk gurat sisi	Hiu, ikan pari	Hiu
Kelas Osteichthyes	Ikan bertulang keras; kerangka dan rahang bertulang; sebagian besar spesies melakukan pembuahan eksternal dan mengeluarkan telur dalam jumlah banyak; pernapasan terutama melalui insang; banyak di antaranya memiliki kantung renang; hidup di laut atau air tawar	Bandeng, ikan air tawar, ikan kakap, ikan tuna	Bandeng
Kelas Amphibia	Anggota badan yang diadaptasikan untuk pergerakan di darat (kondisi tetrapoda); tahapan larva akuatik bermetamorfosis menjadi hewan dewasa darat (banyak spesies); bisa bertelur atau melahirkan anak; pernapasan melalui paru-paru dan/atau kulit	Salaman- der, kadal air, katak, caecilia	Katak
Kelas Reptilia	Tetrapoda darat dengan kulit bersisik; pernapasan melalui paru- paru; menelurkan telur amniotik bercangkang atau melahirkan anak	Ular, kadal, kura-kura, buaya	Kura-kura



	Karakteristik Utama	Contoh-Contoh	
Kelas Aves	Tetrapoda berbulu; kaki depan yang termodifikasi menjadi sayap; pernapasan melalui paru-paru; endotermik; pembuahan internal; telur amniotik bercangkang; penglihatan yang tajam	Burung hantu, burung gereja, penguin, elang Penguin	
Kelas Mammalia	Tetrapoda dengan anak yang diberi makan dari kelenjar susu betina; berambut; diafragma yang memventilasi paru-paru; endotermik; kantung amniotik; sebagian besar melahirkan anak	Monotrem a (misalnya platipus); marsupial (misalnya kanguru); eutheria (misalnya rodensia) Kanguru Kanguru	

c. Superkelas Gnathostomata II: Tetrapoda

Keanekaragaman mamalia diwakili oleh tiga kelompok utama: monotrema (mamalia yang bertelur), marsupial (mamalia berkantung) dan mamalia eutheria (berplasenta). Monotrema —platipus dan echidna adalah mamalia bertelur yang masih hidup saat ini. Hewan monotrema memiliki rambut dan menghasilkan susu. Opossum, kanguru, bandicoot dan koala adalah contoh dari Mamalia marsupial, pada sebagian besar spesies, anak yang masih menyusu tinggal di dalam sebuah kantung induk yang disebut marsupium. Untuk mamalia eutheria memiliki masa kehamilan yang lebih lama. Anak hewan eutheria menyelesaikan perkembangan embrioniknya di dalam uterus, yang dihubungkan ke induknya melalui plasenta.

Terdapat paling tidak empat garis evolusi utama mamalia eutheria. Satu cabang terdiri atas ordo Insectivora *shrew*, semacam tikus, dan ordo Chiroptera (kelelawar). Cabang kedua dimulai dengan garis keturunan herbivora adalah Lagomorpha (kelinci dan kerabatnya); Perissodactyla (ungulata berkaki ganjil, yang meliputi kuda dan badak; ungulata yang berjalan di atas ujung jari kaki); Artiodactyla (ungulata berkaki genap, yang meliputi rusa dan babi); Sirenia (sapi laut); Proboscidea (gajah); dan Cetacea (lumba-lumba dan paus). Cabang ketiga menghasilkan ordo Carnivora, yang meliputi kucing, anjing, rakun, sigung, dan *pinniped* (anjing laut, singa laut dan beruang laut). Cabang keempat dan yang merupakan radiasi adaptif mamalia eutheria yang paling luas menghasilkan

kompleks primata rodensia. Ordo Redentia meliputi tikus, mencit, bajing atau tupai dan berang-berang. Berikut disajikan tabel tentang ordo utama hewan Mamalia.

Tabel 10.Ordo utama hewan mamalia

	Ordo	Karakteristik utama	Contoh- contoh
MONOTREMA	Monotremata	Bertelur; tidak memiliki puting susu; menyedot susu dari bulu induknya	Platipus, echidna
MAMALIA MARSUPIAL	Marsupialia	Perkembangan embrionik diselesaikan dalam kantung marsupial	Kanguru, opossum, koala
MAMALIA EUTHERIA	Artiodactyla	Memiliki kuku dengan jumlah jari kaki yang genap pada masing-masing kaki; herbivora	Domba, babi, sapi, rusa, jerapah
	Carnivora	Pemakan daging; memiliki gigi tajam, runcing dan geraham untuk merobek	Anjing, serigala, beruang, kucing, rubah, berang- berang, anjing laut, beruang laut
	Cetacea	Hidup di laut dengan badan berbentuk ikan; kaki depan mirip dayung dan tidak ada tungkai belakang; lapisan tebal lemak sebagai insulasi	Paus, lumba- lumba
	Chiroptera	Diadaptasikan untuk terbang; memiliki lipatan kulit yang lebar yang meluas dari jari yang memanjang sampai badan dan kaki	Kelelawar
	Edentata	Memiliki geligi yang tereduksi atau tidak ada sama sekali	Armadillo, kungkang, pemakan semut
	Insectivora	Mamalia pemakan serangga	Tikus mondok, shrew, landak
	Lagomorphia	Memiliki gigi seri yang mirip pahat, kaki belakang lebih panjang dibandingkan dengan kaki depan dan diadaptasikan untuk berlari dan melompat	Kelinci, pikas, terwelu
	Perissodactyla	Memiliki kuku dengan jumlah jari kaki ganjil pada masing-masing kaki; herbivora	Kuda, zebra, tapir, badak
	Primata	Ibu jari yang berhadapan; mata yang menghadap ke depan; korteks serebral	Lemur, monyet, kera, manusia



Ordo	Karakteristik utama	Contoh- contoh
	yang berkembang baik; omnivora	
Proboscidea	Memiliki badan panjang dan berotot; kulit longgar dan tebal; gigi seri atas memanjang sebagai gading	Gajah
Rodentia	Memiliki gigi seri seperti pahat yang tumbuh terus- menerus	Tupai, berang- berang, tikus, landak, mencit
Sirenia	Herbivora akuatik; memiliki tungkal mirip sirip dan tidak ada kaki belakang	Sapi laut (manatee)

3. Ekologi Biologi Populasi

Jenis-Jenis Simbiosis sebagai Bentuk Interaksi antar Makhluk Hidup

Pernahkah Anda melihat tanaman anggrek hidup menempel pada tumbuhan lain? Atau pernahkan Anda menemukan kutu rambut di kepala seseorang. Apa bentuk interaksi tersebut? Ya benar, bentuk interaksi tersebut adalah simbiosis. Terdapat beberapa jenis simbiosis. Simbiosis merupakan semua jenis interaksi biologis jangka panjang dan dekat antara dua organisme biologis yang berbeda atau sebuah hubungan timbal balik diantara dua makhluk hidup yang berbeda, baik itu mutualisme, amensalisme, komensalisme, atau parasitisme. Organisme yang terlibat tersebut, masing-masing disebut simbion, dapat berasal dari spesies yang sama atau berbeda.

Fungsi simbiosis yaitu bertahan hidup dengan mengandalkan atau berhubungan makhluk hidup lain yang berbeda jenis. Simbiosis dibedakan menjadi dua kategori diantaranya yaitu:

- Ektosimbiosis adalah bentuk hubungan antara dua organisme yang berbeda jenis dimana organisme yang satu hidup di bagian luar organisme lainnya.
- Endosimbiosis adalah bentuk hubungan antara dua organisme yang berbeda jenis dimana organisme yang satu hidup di bagian dalam organisme yang lain.

a. Simbiosis Mutualisme

Simbiosis mutualisme yaitu hubungan sesama makhluk hidup yang saling menguntungkan antar kedua pihak.

Mutualisme mengacu pada interaksi simbiotik di mana kedua spesies yag terlibat saling diuntungkan. Banyak ditemukan adaptasi mutalistik yang mengalami koevolusi, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen yang hidup dengan legume dan interaksi hewan penyerbuk dengan tumbuhan berbunga.

Contoh simbiosis mutualisme yaitu sebagai berikut:

- Bunga dengan kupu-kupu, dalam proses penyerbukan bunga di bantu oleh kupu-kupu sedangkan kupu-kupu mendapat nektar.
- Jenis bakteri Rhizobium sp. yang hidup dalam akar tumbuhan kacangkacangan akan memperoleh makanan sedangkan tumbuhan kacangkacangan mendapat nitrogen yang diikat oleh Rhizobium sp.
- 3) Raflesia dan lalat, dimana raflesia dibantu proses penyerbukannya dan lalat mendapat sari bunganya.
- 4) Ikan hiu dengan remora, dimana ikan hiu menjadi bersih dan remora akan mendapat sisa makanan hiu.
- 5) Lebah dengan bunga sepatu, dimana lebah membantu bunga sepatu dalam proses penyerbukannya dan lebah mendapat nektar.
- 6) Burung jalak dengan kerbau, dimana burung jalak memakan kutu yang ada pada tubuh kerbau sedangkan kerbau memiliki tubuh yang bersih dari kutu.
- 7) Ikan badut dengan anemon laut, dimana ikan badut mendapat perlindungan dari anemon laut sedangkan anemon laut mendapat sisa-sisa makanan dari ikan badut.



Gambar 139.Bunga dengan kupu-kupu (https://gardenerspath.com/, 2019)

b. Simbiosis Parasitisme

Simbiosis parasitisme yaitu hubungan sesama makhluk hidup dimana pihak yang satu mendapat keuntungan namun merugikan pihak lainnya. Contoh simbiosis parasitisme yakni sebagai berikut:

- Cacing perut dan cacing tambang yang hidup di dalam usus manusia, dimana cacing-cacing tersebut akan mengambil sari makanan di usus manusia.
- 2) Bunga rafflesia dengan inangnya, dimana bunga rafflesia menyerap sarisari makanan dari inangnya sedangkan inangnya diambil sari makanannya.
- 3) Tanaman benalu dengan inangnya, dimana tanaman benalu akan mendapat sari makanan dan inangnya akan diambil sari makanannya.
- 4) Tali putri dengan inangnya, dimana tali putri menyerap sari makanan yang berupa zat organik sedangkan inangnya akan kekuranga sari makanan karena di serap oleh tali putri.
- 5) Plasmodium dengan manusia, Plasmodium mendapat makanan dari manusia sedangkan manusia menjadi terjangkit penyakit malaria.
- 6) Taenia saginata dengan sapi, dimana Taenia saginata mendapat makanan dari usus sapi sedangkan sapi menjadi kekurangan nutrisi.



Gambar 140.Tali putri dengan inangnya (https://gardenerspath.com/, 2019)

c. Simbiosis Komensalisme

Simbiosis komensalisme merupakan hubungan sesama makhluk hidup dimana pihak yang satu mendapat keuntungan namun pihak lainnya tidak dirugikan dan pula tidak diuntungkan. Contoh simbiosis komensalisme yakni sebagai berikut:

- 1) Bunga anggrek dengan pohon mangga
- 2) Sirih pada tumbuhan inangnya
- 3) Penyu dengan ikan remora
- 4) Ikan remora dengan paus
- 5) Paus dengan balanidae
- 6) Jamur tumbuh pada akar yang lapuk
- 7) Paku tanduk rusa dengan tumbuhan inangnya

d. Simbiosis Amensalisme

Simbiosis Amensalisme merupakan hubungan sesama makhluk hidup yang mana satu pihak dirugikan dan pihak lainnya tidak diuntungkan dan tidak dirugikan. Contoh simbiosis amensalisme yaitu sebagai berikut:

- Jamur Penicilium yang mensekresikan penisilin dengan bakteri. Penisilin dapat membunuh bakteri namun tidak mendapat keuntungan dan juga dirugikan.
- 2) Pohon walnut dengan tumbuhan lainnya (tidak bisa hidup karena pohon walnut menghasilkan senyawa alelopati).

Simbiosis adalah interaksi antara makhluk hidup berbeda jenis dalam satu tempat dan waktu tertentu yang hubungannya sangat erat. Kata simbiosis berasal dari bahasa Yunani, "sym" yang berarti "dengan" dan "biosis" yang artinya "kehidupan".

Interaksi Makhluk Hidup dengan Lingkungannya

a. Interaksi Antara Populasi Spesies yang Berlainan

Interaksi antarspesies dapat menjadi faktor seleksi yang kuat dalam evolusi. Koevolusi, (interaksi timbal balik resiprokal) antara dua spesies yang menghasilkan suatu rentetan adaptasi dan kontraadaptasi, telah dipelajari paling luas dalam hubungan pemangsa-mangsa, mutualisme, dan hubungan inangparasit.Interaksi antarspesies akan dapat berpengaruh positif, negatif atau netral terhadap kepadatan suatu populasi. Interaksi ini dapat digambarkan degan



pasangan simbol (+, -, dan 0) yang menandakan pengaruh hubungan ideal hubungan tersebut pada masing-masing kedua spesies yang saling beriteraksi.

1) Pemangsaan dan parasitisme adalah interaksi +/-

Pemangsaan mengacu pada interaksi di mana hewan memakan organisme lain. Parasitisme adalah suatu jenis pemangsaan di mana suatu parasit hidup pada permukaan atau di dalam suatu inang, mendapatkan makanannya dari inang, tetapi umumnya tidak membunuh inang itu secara langsung. Herbivori terjadi ketika hewan memakan tumbuhan, dan kita memasukkan herbivora di sini sebagai bentuk pemangsaan. Akan tetapi, jenis herbivora yang disebut merumput umumya tidak membunuh tumbuhan dan lebih mirip dengan parasitisme dibandingkan pemangsaan.

Pertahanan hewan melawan pemangsa bisa dengan melakukan kamuflase yang disebut pewarnaan tersamar (cryptic coloration), adalah pertahanan pasif yang membuat calon mangsa sulit ditemukan karena warna latar belakangnya yang hampir sama. Ada juga hewan yang memiliki pertahanan kimiawi untuk melawan mangsa contohnya, kupu-kupu raja yang mengumpulkan racun dari tumbuhan yang mereka makan agar pemangsa memuntahkan kembali dan menghindari untuk memakan spesies tersebut. Namun, hewan-hewan tersebut seringkali berwarna cerah yang ditandai sebagai peringatan oleh pemangsa, dikenal sebagai pewarnaan aposematic (aposematic coloration). Ada pula mimikri, suatu pemangsa atau spesies mangsa bisa mendapatkan keuntungan yang berarti melaui mimikri, suatu peristiwa di mana peniru menghasilkan kemiripan superfisial dengan spesies lain, spesies yang menjadi model peniruannya.

2) Kompetisi antarspesies adalah interaksi -/-

Ketika populasi spesies-spesies yang berbeda dalam suatu komunitas menggunakan sumberdaya terbatas yang sama, mereka bisa berkelahi untuk mendapatkan sumberdaya terbatas yang sama, (kompetisi interferensi) atau masing-masing hanya sekedar mengurangi sumberdaya yang tersedia bagi yang lain (kompetisi eksploitatif). Relung ekologis adalah jumlah total penggunaan

organisme itu atas sumberdaya biotik dan abiotik dalam lingkungannya. Prinsip ekslusi kompetitif menyatakan bahwa dua spesies tidak dapat berdampingan dalam komunitas yang sama jika relungnya identik. Kompetisi antarspesies akan menimbulkan kepunahan pesaing yang lemah atau adaptasi satu spesies terhadap suatu relung yang baru; dengan demikian, ia tidak dapat beroperasi dalam jangka waktu yang lama. Pembagian sumberdaya dan pergantian karakter memberikan bukti tidak langsung akan pentingnya masa lalu.

3) Komensalisme dan mutualisme secara berturut-turut adalah interkasi +/0 dan +/+

Simbiosis, di mana suatu inang dan suatu simbion mempertahankan asosiasi yang dekat, meliputi parasitisme, komensalisme dan mutualisme. Komensalisme mengacu pada interakasi simbiotik di mana satu spesies diuntungkan sementaras spesies lain tidak dipengaruhi. Mutualisme mengacu pada interaksi simbiotik di mana kedua spesies yag terlibat saling diuntungkan. Banyak ditemukan adaptasi mutalistik yang mengalami koevolusi, termasuk bakteri pemfiksasi nitrogen yang hidup dengan legume dan interaksi hewan penyerbuk dengan tumbuhan berbunga.

b. Interaksi Antarspesies dan Struktur Komunitas

Struktur trofik suatu komunitas mengacu ke semua hubungan saling memakan dalam komunitas. Analisis jaring-jaring makanan menekankan hubungan trofik yang kompleks dalam suatu komunitas. Pengaruh interaksi antarspesies atas struktur komunitas dan keberagamannya:

- Pemangsa dapat mengubah struktur komunitas dengan cara membatasi kompetisi di antara spesies-spesies mangsa.
- Mutualisme dan parasitisme dapat mempunyai dampak yang luas terhadap komunitas.
- Kompetisi antarspesies mempengaruhi populasi banyak spesies dan dapat mempengaruhi struktur komunitas.
- 4) Hubungan yang kompleks di antara interaksi-interaksi antarspesies dan adanya keragaman lingkungan merupakan ciri struktur komunitas.

c. Gangguan dan Kesetimbangan

Ketidakseimbangan yang dihasilkan oleh gangguan adalah suatu ciri yang menonjol pada sebagian besar komunitas. Gangguan menyingkirkan organisme dalam komunitasnya, mengubah ketersediaan sumber daya, dan menciptakan relung kosong yang dapat ditempati oleh spesies lain. Manusia adalah penyebab gangguan yang paling besar. Di antara semua hewan, manusia adalah yang meciptakan gangguan terbesar dalam komunitas, yang umumnya mengurangi keanekaragaman spesies. Suksesi adalah suatu proses perubahan yang disebabkan oleh gangguan dalam komunitas. Suksesi melibatkan perubahan komposisi spesies suatu komunitas sepanjang waktu ekologis. Suksesi primer terjadi di mana belum ada tanah yang terbentuk sebelumnya; suksesi sekunder mulai dari suatu daerah dimana tanah masih tetap ada setelah suatu gangguan. Anda melihat dapat tautan video https://www.youtube.com/watch?v=094pfFLua0Yuntuk melihat animasi tentang suksesi sekunder.

Suksesi dapat melibatkan kompetisi di antara spesies-spesies dengan kemampuan yang berbeda untuk memanfaatkan sumberdaya yang tersedia, toleransi yang berbeda terhadap kondisi abiotik dan laju pertumbuhan serta waktu generasi yang berbeda. Model ketidakseimbangan memandang komunitas sebagai mosaik *patch-patch* pada tahapan suksesi yang berbeda. Perubahan utama dalam struktur komunitas disebabkan gangguan yang besar atau sering yang menghasilkan kolonisasi daerah yang terganggu dengan cara perekrutan dari daerah yang jauh. Model ketidakseimbangan mengusulkan bahwa keanekaragaman sebagian besar disebabkan oleh ketidakseragaman lingkungan yang disebabkan oleh gangguan abiotik. Salah satu contoh nyata terjadinya suksesi di Indonesia yaitu suksesi di Gunung Krakatau, Anda dapat melihat di tautan https://www.youtube.com/watch?v=Ktc0uXPgQ2w.

 Hubungan Antara Populasi Makhluk Hidup dengan Kebutuhan Hidupnya

a. Populasi Makhluk Hidup

1) Karakteristik Populasi

Sebuah populasi merupakan sebuah entitas yang lebih abstrak dibandingkan dengan suatu organisme atau suatu sel, namun populasi memiliki suatu kumpulan karakteristik yang hanya berlaku bagi tingkat organisasi biologis tersebut. Kita dapat membayangkan sebuah populasi sebagai individu-individu yang terdiri dari spesies tunggal secara bersama-sama menempati luas wilayah yang sama; individu-individu tersebut mengandalkan sumber daya yang sama, dipengaruhi oleh faktor lingkungan yang sama, dan memiliki keumngkinan yang tinggi untuk berinteraksi satu sama lain. Karakteristik suatu populasi dibentuk oleh interaksi-interaksi antara individu dengan lingkungannya baik dalam skala waktu ekologis maupun evolusioner, dan seleksi alam dapat mengubah semua karakteristik ini.

2) Dua Karakteristik Penting Populasi

Pada saat tertentu, setiap populasi memiliki batas geografis dan ukuran populasi. Batas suatu populasi bisa merupakan batas-batas alamiah, seperti sebuah pulau spesifik di Lake Superior, di mana laut-laut burung bersarang, atau batas tersebut bisa disebut manasuka (*arbitrary*) oleh peneliti, seperti pohon ek di wilayah spesifik di Minnesota. Terlepas dari perbedaan-perbedaan seperti itu, dua karakteristik penting setiap populasi adalah kepadatannya dan penyebarannya. Kepadatan (*density*) populasi adalah jumlah individu per satuan luas atau volume (misalnya jumlah pohon pinus per km² di wilayah Lembang, Bandung). Penyebaran (*dipersion*) adalah pola jarak antara individu di dalam batas geografis populasi.

3) Pengukuran Kepadatan

Pada kasus luar biasa kita mungkin bisa menentukan ukuran dan kepadatan populasi dengan menghitung langsung seluruh individu yang ada di dalam suatu batas suatu populasi. Misalnya, kita dapat mengitung jumlah bintang laut dalam

suatu kolam yang pasang. Kelompok mamalia besar seperti kerbau atau gajah, kadang-kadang dapat dihitung secara tepat dari pesawat udara. Akan tetapi, pada sebagian besar kasus, tidak praktis atau bahkan tidak mungkin untuk menghitung semua individu yang berada dalam suatu populasi. Malahan, para ahli ekologi, seringkali menggunakan berbagaia macam teknik pengambilan contoh atau sampel untuk menaksir kepadatan dan ukuran total populasi. Sebagai contoh, para ahli bisa menaksir jumlah alligator di Florida Everglade, dengan cara menghitung suatu individu yang terdapat dalam beberapa bidang tanah (plot) yang mewakili, dengan ukuran yang sesuai. Taksiran seperti itu lebih tepat jika menggunakan sampel bidang tanah yang lebih banyak dan lebih besar, dan saat habitat homogen.

Tapi beberapa kasus, ukuran populasi ditaksir bukan dengan menghitung organismenya akan tetapi dengan menggunakan indikator tidak langsung, seperti jumlah sarang atau lubang, atau tanda-tanda seperti kotoran atau jejak titik. Teknik pengambilan sampel lainnya yang umum digunakan untuk menaksir populasi binatang liar adalah metode penandaan dan penangkapan kembali(*mark-recapture method*).

4) Pola Penyebaran

Di dalam suatu wilayah geografis populasi, kepadatan lokal bisa bervariasi secara mendasar karena lingkungan membentuk *patch-patch*(tidak semua daerah menjadi habitat yang sama baiknya) dan karena individu-individu memperlihatkan pola jarak dalam hubungannya dengan anggota-anggota lain populasi tersebut. *Patch* adalah sebidang tanah kecil yang berbeda dari yang lain terutama karena ditumbuhi jenis tumbuhan yang berbeda.

Pola penyebaran yang paling umum adalah pembentukan rumpun (clump), dengan individu-individu berkelompok di dalam patch-patch. Tumbuhan bisa menjadi terumpun pada tempat-tempat tertentu di mana kondisi tanah dan faktorfaktor lingkungan lain mendukung untuk perkecambahan dan pertumbuhan. Sebagai contoh, cedar merah timur seringkali ditemukan terumpun di atas permukaan batu kapur, di mana keadaan tanah kurang asam dibandingkan dengan daerah di dekatnya. Hewan-hewan seringkali menghabiskan sebagian

besar waktunya dalam suatu lingkungan mikro tertentu yang memenuhi kebutuhan mereka. Sebagai contoh, banyak serangga dan salamander hutan terumpun di bawah kayu, dimana kelembapan tetap tinggi. Hewan herbivor spesies tertentu cenderung menjadi sangat berlimpah di tempat dimana banyak tumbuhan yang merupakan makanannya. Merumpunnya hewan bisa juga dihubungkan dengan perkawinan atau perilaku sosial lainnya. Sebagai contoh, mayfly seringkali bergerombol dalam jumlah yang sangat besar, suatu perilaku yang meningkatkan peluang kawin bagi serangga tersebut, yang hanya mempunyai waktu sehari atau dua hari sebagai hewan dewasa yang reproduktif. Mungkin juga ada "keselamatan dalam kelompok besar"; ikan yang berenang dalam kelompok besar, misalnya, seringkali lebih kecil peluangnya untuk dimakan oleh pemangsa dibandingkan dengan ikan yang berenang sendirian atau dalam kelompok kecil.

Konsep ekologi tentang alur (*grain*) berhubungan dengan variasi spasial, atau terbentuknya *patch-patch* pada lingkungan di sekitar individu organisme. Suatu *lingkungan beralur kasar (coarse-grained environment)* adalah lingkungan di mana *patch-patch* yang ada sedemikian besarnya (relatif terhadap ukuran dan aktivitas organisme), sehingga suatu individu organisme dapat membedakan dan memilih *patch* yang diinginkannya di antara *patch-patch* yang ada tersebut. Suatu hamparan bunga liar dianggap beralur kasar bagi serangga herbivora kecil, karena hanya tumbuhan tertentu yang cocok sebagai sumber makanannya; serangga tersebut bisa menghabiskan keseluruhan masa kehidupan larvanya pada satu tumbuhan, setelah memilih tumbuhan tersebut dari tumbuhan lain.

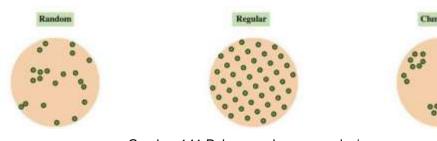
Suatu lingkungan beralur halus (fine-grained environment) adalah lingkungan di mana patch-patch yang ada relatif kecil terhadap ukuran dan aktivitas suatu organisme, dan organisme tersebut bahkan tidak bisa berperilaku seolah-olah patch-patch itu ada. Bagi mamalia herbivora besar, seperti kuda, semua tumbuhan dalam suatu lapangan adalah kurang lebih sama. Jika kuda tersebut memakan kurang lebih dengan tidak memilih-milih, lapangan itu akan menjadi suatu lingkungan yang beralur halus. Tentunya, suatu lapangan besar dimana semanggi hijau tumbuh subur pada satu sisi dan tumbuhan berduri pada sisi



yang lain menggambarkan suatu lingkungan yang beralur kasar bagi kuda, karena hewan tersebut bisa memilih sisi lapangan yang disukainya.

Variasi temporal (menurut waktu) dalam suatu lingkungan dapat juga beralur kasar atau beralur halus, tergantung pada periode (lama waktu) variasi itu, dalam hubungannya dengan rentang hidup organisme. Suatu sentakan dingin secara mendadak bisa mempunyai dampak sangat dramatis pada keberhasilan hidup *mayfly*, yang seluruh rentang hidup dewasanya hanya sekitar beberapa jam, tetapi memiliki sedikit pengaruh pada aktivitas mamalia yang berumur panjang. Variasi harian dalam faktor lingkungan biasanya beralur halus bagi sebagian besar organisme, sementara pergeseran musim dan pergeseran iklim secara musiman dan dalam waktu yang panjang beralur kasar bagi organisem, bahkan bagi organisme yang paling besar sekalipun.

Berlawanan dengan persebaran individu secara terumpun di dalam suatu populasi, suatu pola penyebaran yang seragam (uniform/regular) atau yang berjarak sama mungkin dihasilkan dari interaksi langsung antarindividu dalam populasi tersebut. Sebagai contoh, suatu kecenderungan pada pengaturan jarak yang beraturan pada tumbuhan bisa disebabkan oleh peneduhan dan kompetesi untuk mendapatkan air dan mineral; beberapa tumbuhan juga mengeluarkan zatzat kimia yang menghambat perkecambahan dan pertumbuhan individu di dekatnya yang dapat bersaing untuk mendapatkan sumberdaya. Hewan seringkali memperlihatkan penyebaran yang seragam sebagai akibat dari interaksi sosial. Berikut disajikan gambar tentangg pola penyebaran populasi.



Gambar 141.Pola penyebaran populasi (Molles, 2016)

Pengaturan jarak secara acak atau *random* (penyebaran yang tidak dapat diprediksi dan tidak berpola) terjadi karena tidak adanya tarik-menarik atau tolak-menolak yang kuat diantara individu-individu dalam populasi; posisi masing-

masing individu tidak bergantung pada individu lain. Sebagai contoh, pohonpohon di hutan kadang-kadang tersebar secara acak. Akan tetapi, secara keseluruhan pola acak tidak umum ditemukan di alam; sebagian besar populasi menunjukkan paling tidak suatu kecenderungan ke arah penyebaran terumpun atau penyebaran seragam.

5) Demografi

a. Demografi adalah kajian mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan penurunan populasi. Suatu kelompok umur memiliki angka kelahiran dan angka kematian yang khas. Angka kelahiran (bithrate) atau fekunditas (fecundity), jumlah keturunan yang dihasilkan selama jangka waktu tertentu, seringkali keturunan yang dihasilkan selama jangka waktu tertentu, seringkali lebih besar pada individu-individu dengan umur pertengahan (intermediet). Pada manusia, misalnya angka kelahiran paling tinggi pada wanita berusia 20 tahun. Angka kematian (death rate) paling tinggi pada kehidupan tahun pertama, dan tentunya pada usia tua. Pada banyak spesies, individu anakanak dan individu yang sudah tua biasanya lebih mungkin meninggal dibandingkan individudengan umur pertengahan, yang memiliki kombinasi optimum kekuatan hidup dan kemampuan untuk mencari makanan, serta menghindari pemangsa dengan datangnya kedewasaan.

Suatu ciri demografik penting, yang berhubungan dengan struktur umur, adalah waktu generasi (*generation time*), yaitu rata-rata rentang waktu antara kelahiran suatu individu dengan kelahiran keturunannya. Secara umum, waktu generasi sangat kuat berhubungan dengan ukuran tubuh dalam suatu kisaran jenis organisme yang luas.Rasio jenis kelamin (*sex ratio*), proporsi individu dari masing-masing jenis kelamin, adalah statistik demografik penting lainnya yang mempengaruhi pertumbuhan populasi. Jumlah betina umumnya secara langsung berhubungan dengan jumlah kelahiran yang dapat diharapkan, tetapi jumlah jantan mungkin kurang signifikan karena pada banyak spesies seekor jantan dapat kawin dengan beberapa betina.

b. Faktor-Faktor Pembatas Populasi

Model Eksponensial dan Logistik memperkirakan pola pertumbuhan populasi yang sangat berbeda. Model eksponensial tidak memberikan batas pada peningkatan suatu populasi, sementara model logistik memprediksi pengaturan pertumbuhan populasi ketika kepadatan meningkat.

1) Faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan mengatur pertumbuhan populasi dengan cara yang bervariasi sesuai dengan kepadatan

Pengertian biologis utama model logistik adalah peningkatan kepadatan populasi mengurangi ketersediaan sumberdaya bagi individu suatuorganisme, dan keterbatasan sumberdaya akhirnya akan membatasi pertumbuhan populasi. Sesungguhnya, model logistik itu merupakan suatu model kompetisi intraspesies(intraspecific competition): ketahanan individu-individu dari spesies yang sama pada sumberdaya terbatas yang sama. Ketika ukuran populasi meningkat, kompetisi menjadi lebih sering, dan laju pertumbuhan (r) menurun sebanding dengan intensitas kompetisi;laju pertumbuhan populasi bergantung pada kepadatan. Dalam pertumbuhan populasi terbatas, suatu faktor yang bergantung pada kepadatan (density-dependent factor) adalah faktor yang memperkuat peningkatan ukuran populasi. Dalam model logistik, faktor yang bergantung pada kepadatan mengurangi laju pertumbuhan populasi dengan cara menurunkan reproduksi atau dengan cara meningkatkan kematian dalam suatu populasi yang sudah begitu padat. Secara umum, faktor yang bergantung pada kepadatan yang membatasi pertumbuhan suatu populasi dapat dikatakan menentukan daya tampung, atau K, lingkungan.

2) Kejadian dan kehebatan faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan, tidak berhubungan dengan kepadatan populasi

Faktor yang tidak bergantung pada kepadatan (*density-independent factor*) tidak berhubungan dengan ukuran populasi; faktor-faktor tersebut mempengaruhi

persentase individu yang sama tanpa memperhitungkan kepadatan populasi. Faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan yang paling umum dan penting adalah yang berhubungan degan cuaca dan iklim. Sebagai contoh, keadaan beku pada musim gugur bisa membunuh sejumlah persentase tertentu serangga dalam suatu populasi.

3) Gabungan faktor-faktor yang bergantung pada kepadatan dan yang tidak bergantung pada kepadatan, kemungkinan membatasi pertumbuhan sebagian besar populasi

Populasi spesies memperlihatkan dinamika yang bervariasi, beberapa diantaranya cukup stabil jumlahnya pada sebagian besar rentang waktu yang panjang dan kemungkinan mendekati daya tampung yang ditentukan oleh faktorfaktor yang bergantung pada kepadatan. Namun, stabilitas yang umum tersebut tumpang-tindih dengan perubahan jangka pendek akibat faktor-faktor yang tidak bergantung pada kepadatan. Contohnya, studi kasus pada burung besar berkaki panjang selama 30 tahun di dua lokasi berbeda di Inggris menunjukkan populasi cukup stabil selama tiga dekade akan tetapi penurunan besar terjadi setelah musim dingin yang lebih dingin dari biasanya.

4) Beberapa populasi memiliki siklus ledakan dan siklus penurunan yang beraturan

Sejumlah populasi memiliki fluktuasi kepadatan yang bersiklus. Kepadatan yang tinggi bisa mengatur populasi seperti itu, atau siklus populasi mungkin disebabkan karena adanya kesenjangan (jeda) waktu dalam merespons faktorfaktor yang bergantung pada kepadatan, yang menghasilkan fluktuasi besar di atas dan di bawah daya tampungnya. Variasi populasi pada beberapa hewan herbivora bisa menyebabkan fluktuasi secara bersamaan pada populasi pemangsanya. Penyebab siklus herbivora adalah kompleks; meliputi pengaruh pemangsaan dan fluktuasi sumber makanan. Berikut disajikan tabel tentang karakteristik populasi ideal terseleksi oleh r (oportunistik) dan terseleksi oleh r (kesetimbangan).

Tabel 11.Karkteristik populasi ideal terseleksi oleh r (oportunistik) dan

Karakteristik	Populasi Terseleksi oleh <i>K</i>	Populasi Terseleksi oleh <i>r</i>
Waktu pendewasaan	Pendek	Panjang
Rentang hidup	Pendek	Panjang
Angka kematian	Seringkali tinggi	Umumnya rendah
Jumlah keturunan yang dihasilkan setiap peristiwa reproduksi	Banyak	Sedikit
Jumlah reproduksi per masa hidup	Umurnya satu	Seringkali beberapa
Saat terjadinya reproduksi pertama	Sangat dini dalam kehidupannya	Lambat dalam kehidupannya
Ukuran anak atau telur	Kecil	Besar
Pemeliharaan anak oleh orang tua	Tidak ada	Seringkali sangat ekstensif

c. Pertumbuhan Populasi Manusia

Populasi manusia tumbuh mendekati pertumbuhan eksponensial selama beberapa abad, tetapi tidak bisa demikian terus untuk jangka waktu yang tidak terbatas. Sejak revolusi industri, pertumbuhan populasi manusia telah didukung oleh faktor-faktor seperti perbaikan nutrisi, pemeliharaan kesehatan dan sanitasi, yang telah menurunkan angka kematian. Kita tidak mengetahui daya tampung bumi bagi manusia atau faktor apa yang akhirnya membatasi pertumbuhan manusia. Struktur umur populasi merupakan suatu faktor dalam lajupertumbuhan yang berbeda pada negara-negara yang berbeda. Spesies manusia bersifat unik karena memiliki kemampuan untuk secara sadar mengontrol pertumbuhan populasinya sendiri.

4. Ekologi Biologi Konservasi

• Polusi (Pencemaran Lingkungan)

Sebelum kita menyimak penjelasan tentang polusi, coba perhatikan kedua gambar di bawah ini.





Gambar 142.Lingkungan (https://www.americanrivers.org, 2019)

Bandingkan gambar di atas! Apabila Anda ingin mengambil air untuk keperluan Anda sehari-hari, sumber air manakah yang akan Anda pilih (gambar kanan atau gambar kiri)? Mengapa? Jelaskan jawaban Anda.

Sekarang mari kita bahas lebih jauh apa yang dimaksud dengan polusi. Polusi diartikan sebagai penambahan materi ke uadara, air, dan tanah yang dapat membahayakan bagi kesehatan manusia atau mengancam keberadaan mahluk hidup lainnya. Menurut Undang-undang Pokok Pengelolaan Lingkungan Hidup No. 4 Tahun 1982 Polusi merupakan perubahan pada tatanan lingkungan yang disebabkan oleh masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu dan menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukkannya. Sedangkan zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran disebut polutan.

Kebanyakan polutan bersifat padat, cair dan gas sebagai hasil dari sebuah proses. Polutan dapat pula berupa emisi energi yang tidak diinginkan seperti misalnya panas, bising atau radiasi. Polutan dapat masuk ke dalam lingkungan secara alamiah (misalnya dari letusan gunung berapi) atau oleh aktivitas

manusia (misalnya penggunaan bahan bakar dan aktivitas lainnya). Polusi yang disebabkan oleh aktivitas manusia kebanyakan terjadi di daeraah yang banyak didirikan industi dimana polutan terkonsentarsi di wilayah tersebut. Industri pertanian juga merupakan sumber terbesar penyebab dihasilkannya polutan. Polutan yang dihasilkan di satu wilayah, sebagian dapat mengkontaminasi wilayah tersebut, dan sebagian lain terbawa oleh angin atau aliran air dan menyebabkan polusi di tempat lain. Efek yang tidak diinginkan dari polusi adalah menurunnya kemampuan alam untuk mendukung kehidupan manusia atau mahluk hidup lainnya, membahayakan tatanan kehidupan alami, membahayakan kesehatan manusia, merusak benda benda berharga dan gangguan lainnya terhadap indra kita seperti bising, bau, mengubah rasa serta penglihatan. Perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 143.Pencemaran pada Suatu Lingkungan (https://www.hipwee.com, 2018)

Dari gambar di atas, menurut Anda bahan apakah yang menjadi penyebab pencemaran pada lingkungan tersebut? Darimana asal bahan pencemar yang masuk ke dalam lingkungan dan menimbulkan pencemaran pada lingkungan tersebut? Mengapa sampah-sampah pada gambar di atas dikatakan sebagai bahan pencemar atau polutan dan lingkungan mana yang akan mengalami gangguan akibat adanya sambah di lingkungan itu? Efek apa yang dapat diakibatkan oleh menumpuknya sampah sampah tersebut terhadap lingkungan yang dicemarinya?

Menurut Miller (2019) terdapat tiga faktor yang menentukan derajat bahaya dari polutan. Pertama adalah komposisi kimianya, seberapa aktif dan bahaya bahan kimia yang terkandung dalam polutan tersebut bagi mahluk hidup. Kedua adalah konsentrasinya. Konsentrasi polutan ditentukan oleh jumlah per unit volume (misalnya berat udara, tanah, air, berat badan). Konsentrasi polutan dinyatakan dalam ppm (part per million), misalnya: satu ppm artinya menunjukan keberadaan satu bagian polutan per satu juta bagian udara, air atau campuran padat dimana polutan itu ditemukan. Konsentrasi lebih rendah dinyatakan dalam ppb (part per billion) dan ppt (part per trilllion). Konsentrasi yang dinyatakan oleh ppm, ppb dan ppt nampaknya tidak ada artinya bagi kita, namun bagi beberapa polutan dalam konsentrasi yang sangat kecilpun sudah dapat sangat berbahaya bagi kehidupan mahluk hidup. Ketiga adalah persitensinya atau keberadaannya di alam, artinya berapa lama polutan tersebut dapat bertahan kebedaannya di alam (perairan, udara, tanah dan tubuh mahluk hidup). Menurut tempat terjadinya, pencemaran dibedakan menjadi tiga yaitu: pencemaran udara, pencemaran air dan pencemaran tanah.

Di atas disebutkan bahwa salah satu penyebab dari terjadinya polusi adalah aktivitas manusia. Bagaimankan aktivitas manusia dapat menyebabkan timbulnya polusi? Mari kita simak uraian di bawah ini.

Gangguan Siklus Kimia

Aktivitas manusia dapat mengakibatkan terganggunya siklus materi yang terjadi di alam dengan cara memindahkan materi dari satu lingkungan ke lingkungan lain. Hal ini dapat mengakibatkan kelebihan materi pada satu lingkungan dan berkurangnya materi di lingkungan berbeda, sehingga mengganggu keseimbangan siklus kimia pada kedua lingkungan tersebut. Aktivitas pertanian, perindustrian dan rumah tangga dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan siklus kimia dalam ekosistem yang menimbulkan pencemaran air dan tanah. Keberadaan polutan pada tanah dan air disebabkan oleh aktivitas pertanian yang yang mengakibatkan penumpukan nitrogen dan Fosfor akibat penggunaan pupuk, pestisida dan insektisida. Pemupukan tanah menyebabkan menyebabkan peningkatan nitrogen dalam tanah dan meningkatnya kandungan nitrat pada air tanah yang dapat membahayakan kesehatan manusia.

Penggunaan insektisida dan pestisida oleh petani tidak hanya menyebabkan tanah menjadi tercemar, tetapi mengakibatkan pula polusi air. Pelepasan fosfor terlepas ke perairan (sungai dan danau) oleh penggunaan botol dan plastik wadah pestisida dan insektisida yang dibuang sembarangan oleh petani di sekitar irigasi atau lahan pertanian dapat mengakibatkan lingkungan peairan menjadi tercemar.

Pencemaran air yang disebabkan karena penumpukan polutan di perairan dinamakan eutrofikasi. Dari hasil penelitian, dilaporkan bahwa hampir 90% eutrofikasi disebabkan oleh aktivitas pertanian. Dari aktivitas rumah tangga penggunaan detergen menjadi penyumbang nutrien yang pada akhirnya menyebabkan penumpukan nutrien di wilayah perairan. Akibat dari penumpukan nutrien adalah pertumbuhan fitoplankton atau alga yang meningkat atau yang disebut dengan istilah blooming alga. Blooming alga akan mengancam keberadaan organisma lain pada suatu perairan. Peningkatan jumlah oksigen di siang hari dan penurunan yang drastis pada malam hari karena penggunaan oksigen yang secara bersamaan akan mengancam keberadaan ikan dan organisma yang hidup dalam perairan tersebut. Akibat dari blooming alga adalah tetutupnya perairan sehingga menghalangi cahaya yang masuk ke dalam perairan tersebut. Dalam hal ini organisma fotosintetik yang berada di bawah perairan tidak dapat melangsungkan proses fotosisntesis. Bahaya lain yang dapat ditimbulkan oleh eutrofikasi adalah ketika alga alga tersebut mati akan terjadi penumpukan nutrien yang sangat tinggi dan mengakibatkan kematian ikan di perairan tersebut secara tiba tiba.



Gambar 4.3 Eutrofikasi yang Terjadi di Indonesia (http://nakamaaquatics.id, 2018)

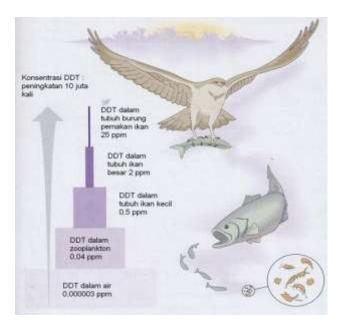
Terjadinya pencemaran akibat polutan pada suatu ekosistem dapat menyebabkan terganggunya jaring jaring makanan. Polutan tersebut terkonsentrasi pada tingkat-tingkat trofik dalam jaring jaring makanan. Polutan yang dibuang ke lingkungan terutama polutan yang tidak dapat diuraikan secara alamiah oleh mikroba akan bertahan dalam lingkungan dalam jangka waktu yang sangat lama. Organisme memperoleh polutan dari lingkungannya ketika mengambil nutrisi dan air dari lingkungan. Beberapa polutan mungkin dapat diuraikan melalui proses metabolisma dan diekskresikan, tetapi sebagian lain diakumulasi terutama dalam jaringan lemak.



Gambar 144.Kematian Ikan Secara Mendadak di Teluk Jakarta (http://nakamaaquatics.id, 2018)

Senyawa-senyawa yang dihasilkan dari kegiatan industri seperti hidrokarbon berklorin, termasuk pestisida, seperti DDT, dan zat kimia industri yang disebut PCB (polychlorinated biphenol) merupakan polutan yang banyak ditemukan dalam tubuh makhluk hidup. Berdasarkan hasil penelitian keberadaan senyawa senyawa tersebut dapat mengganggu sistem endokrin pada banyak spesies hewan, termasuk manusia. Bagaimana polutan tersebut dapat terkandung dalam tubuh hewan dan manusia? Jawabannya adalah karena senyawa senyawa tersebut terkonsentrasi dalam tingkat-tingkat trofik yang berurutan pada suatu jaring-jaring makanan. Proses ini dinamakan magnifikasi biologis (biological magnification). Dalam peristiwa biomaginifikasi penumpukan senyawa terjadi paling tinggi pada tingkat trofik paling tinggi. Hal ini disebabkan karena biomassa pada setiap tingkat trofik tertentu dihasilkan dari suatu biomassa yang jauh lebih besar yang ditelan dari tingkat trofik di bawahnya. Dengan demikian, karnivora tingkat atas cenderung menjadi organisme yang paling banyak mengandung

senyawa beracun yang telah dibebaskan ke lingkungan. Gambar 4.5 menunjukkan bagaimana biomagnifikasi senyawa DDT terjadi di alam.



Gambar 145.Magnifikasi biologis DDT dalam Suatu Rantai Makanan (Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

Perubahan Komposisi Udara di Atmosfer

Keberadaan gas gas di atmosfer menyebabkan suhu bumi menjadi nyaman ditinggali oleh makhluk hidup termasuk manusia. Dalam jumlah sedikit di atmosfer uap air (H_2O) , karbon dioksida (CO_2) , Ozon (O_3) , Methan (CH_4) , Oksida nitrat (N_2O) dan klorofluorokarbon (CFCs) berfungsi untuk menjaga agar panas yang diterima dari matahari tidak semua terlepas ke udara. Peristiwa ini disebut *greenhouse effect* (Efek rumah kaca) dan gas gas tersebut dinamakan sebagai gas-gas rumah rumah kaca. Dengan adanya efek rumah kaca suhu bumi menjadi lebih hangat dan nyaman untuk dihuni oleh mahluk hidup.

Pemanasan global yang disebabkan oleh gas gas rumah kaca pada saat ini dampaknya telah mempengaruhi banyak kehidupan manusia. Beberapa orang berpendapat bahwa pengurangan pemakaian bahan bakar fosil akan menurunkan tingkat pendapatan manusia, tetapi mereka tidak pernah memikirkan akibat lebih jauh, dari efek pemanasan global terhadap kelangsungan hidup manusia dan mahluk hidup lainnya.

Meningkatnya aktivitas manusia sejak revolusi industri yaitu sekitar tahun 1958 menyebabkan peningkatan penggunaan bahan bakar fosil, penggunaan pestisida dan insektisida di bidang pertanian, deforestasi dan penggunaan CFC yang berkontribusi pada pemanasan global. Dari hasil laporan, dikatakan bahwa peningkatan suhu bumi dengan hanya 1,3° C akan membuat dunia lebih hangat dibandingkan dengan keadaan sebelumnya.

Pemanasan global dapat mengakibatkan beberapa kerusakan, salah satunya adalah rusaknya terumbu karang yang disebabkan oleh panasnya suhu perairan laut. Perhatikan gambar di bawah ini. Apa yang menjadi terumbu karang menjadi rusak?



Gambar 146.Kerusakan Terumbu Karang Akibat Pemanasan Global (https://skepticalscience.com/Global-Warming-Effects.html, 2018)

Sebagian besar CO₂ yang menyebabkan pemanasan pada udara diserap oleh lautan, sehingga menyebabkan suhu lautan menjadi meningkat pula. Hal ini dapat mengakibatkan hal hal berikut:

a. Peningkatan temperatur laut

Ketika temperatur meningkat molekul air menjadi membesar dan memberi pengaruh pada kejadian kejadian berikut: naiknya permukaan air laut, perubahan pada sirkulasi air di samudra dan perubahan suhu pada dasar lautan. Naiknya permukaan air laut biasanya disertai dengan kejadian lain yaitu semakin kencangnya angin. Hal ini mengakibatkan musnahnya populasi alami pantai yang berfungsi sebagai pelindung. Punahnya populasi pelindung pantai ini akan mengancam pada kerusakan terumbu karang. Perubahan sirkulasi air di samudra mengakibatkan sering terjadinya badai di lautan dan pengurangan pada

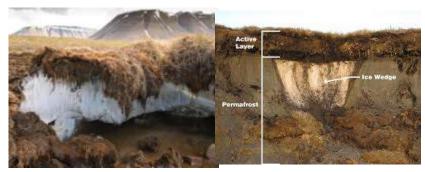


pembentukan es di kutub, dan erosi wilayah pantai. Perubahan suhu pada dasar laut memicu lebih cepat dan lebih banyaknya gunung es di kutub es mencair dan meningkatkan naiknya permukaan air laut. Dengan kenaikan suhu air laut 2°C dalam waktu 6 – 10 minggu saja dapat mengakibatkan hilangnya terumbu karang yang pada akhirnya menimbulkan kerugian berkurangnya ikan di perairan.

b. Hilangnya gunung es

Sungai yang aliran airnya berasal dari es yang mencair di wilayah pegunungan tinggi dan manusia bergantung pada perairan sungai tersebut untuk digunakan sebagai sumber mata air, irigasi, transportasi atau penghasil energi seringkali letaknya berdekatan dengan daerah padat penduduk. Pemanasan suhu global atau global warming menyebabkan pegunungan tersebut tidak dapat menyimpan es lebih banyak dan es mencair lebih cepat. Hal ini berakibat pada berkurangnya cadangan air pada wilayah tersebut yang pada akhirnya kemampuan dari lingkungan untuk mendukung keperluan penduduk di wilayah tersebut menjadi berkurang.

Hilangnya lapisan es di kutub dapat menjadi penyebab pemanasan suhu lebih lanjut, yaitu adanya kontribusi gas CH₄ dan CO₂ dari *permafrost*. Apa itu *permafrost? Permafrost* merupakan tanah beku yang berada di bawah lapisan es. Ketika es mencair maka *permaforst* akan mengering dan melepaskan CH₄ dan CO₂ ke atmosfer yang berkontribusi pada pemanasan global lebih lanjut. Emisi dari permafrost merupakan fenomena alamiah yang sekarang ini sudah terjadi dan proses ini tidak dapat diintervensi oleh manusia.



(a) (b)

Gambar 147.Permafrost

(a) Lapisan es yang menutupi *permafrost*(b) Mencairnya es menjadikan *permafrost* melepaskan CH₄ dan CO₂ ke atmosfer (https://climatekids.nasa.gov/permafrost/, 2017)

Kenaikan permukaan laut, selain disebabkan oleh pemuaian molekul air yang disebabkan oleh naiknya temperatur air, juga disebabkan karena melelehnya gunung es di kutub. Lelehan gunung es ini ada yang memunculkan sungai yang membelah lapisan es yang kemudian terbawa ke samudra dan menyebabkan naiknya permukaan laut.



Gambar 148.Pembentukan Sungai di kutub (https://skepticalscience.com/Global-Warming-Effects.html, 2018)

Perubahan Musim

Temperatur troposfer pada saat ini secara perlahan mengalami kenaikan sebasar 1°C dari semenjak jaman pra industri dan secara terus menerus mengalami peningkatan akibat emisi gas gas rumah kaca. Peningkatan suhu bumi ini ditandai dengan berbagai macam fenomena yang dapat kita rasakan sekarang, yaitu tidak dapat diperkirakannya perubahan cuaca perubahan musim dan gejala gejala lain seperti perubahan suhu yang ekstrim, kekeringan, peningkatan evaporasi, munculnya tornado dan angin siklon yang lebih sering dan lebih besar, curah hujan yang tidak menentu. Perubahan perubahan ini dapat berakibat pada berubahnya aktivtas manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Misalnya perubahan musim tanam dengan adanya perubahan musim dan kekurangan air akibat musim kemarau yang sangat panjang atau sebaliknya terjadi banjir karena lamanya dan besarnya curah hujan.

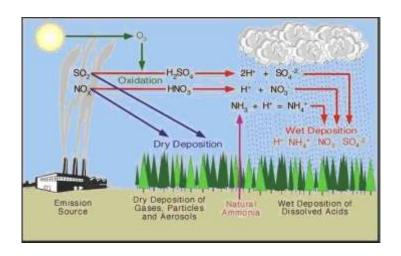
Mahluk hidup di bumi dilindungi dari pengaruh radiasi ultraviolet (UV) yang membahayakan melalui suatu lapisan pelindung molekul ozon (O₃). Lapisan Ozon berada pada lapisan stratosfer yang letaknya berada pada antara 17 dan 25 km di atas permukaan Bumi. Ozon menyerap radiasi UV dan mencegah banyak radiasi UV tersebut mencapai kontak dengan organisme yang berada di

biosfer. Kajian satelit pada atmosfer menyatakan bahwa lapisan ozon secara perlahan-lahan telah menipis sejak tahun 1975, dan penipisan tersebut terus berlangsung dengan laju yang semakin meningkat.

Perusakan ozon atmosfer kemungkinan terutama disebabkan oleh gas klorofluorokarbon (CFCs), zat kimia yang digunakan untuk lemari es, sebagai bahan bakar dalam kaleng aerosol, dan dalam proses pabrik tertentu. Klorin yang terkandung dalam klorofluorokarbon mencapai stratosfer dan bereaksi dengan ozon (O₃). Ozon di stratosfer tereduksi menjadi O₂ yang menyebabkan lapisan Ozon stratosfer menjadi tipis dan terjadi lubang Ozon. Lubang ozon pertama kali dilaporkan pada tahun 1985 di atas Antartika. Seiring dengan meningkatnya aktivitas manusia penipisan lapisan ozon dan ukuran lubang ozon meluas sampai bagian paling selatan Australia, Selandia Baru, dan Amerika Selatan. Lapisan Ozon di wilayah katulistiwa (lintang tengah) dengan penduduk sangat padat menipis sekitar 2% sampai 10% selama dalam kurun 20 tahun.

Akibat yang ditimbulkan oleh menipisnya lapisan Ozon di stratosfer adalah meningkatnya penyakit seperti kanker kulit dan katarak. Pengaruh lain adalah peningkatan fitoplankton yang mengakibatkan pengaruh bagi kehidupan organisme lain. Bahaya yang ditimbulkan oleh penipisan ozon sangat besar, sehingga banyak negara sepakat untuk mengakhiri produksi klorofluorokarbon dalam waktu satu dekade. Sayangnya, meskipun semua klorofluorokarbon dilarang pdnggunaannya saat ini, molekul klorin yang telah ada di atmosfer akibat penggunaan CFCs di masa lalu akan terus mempengaruhi konsentrasi ozon atmosfer paling tidak selama satu abad.

Keberadaan polutan di udara juga menimbulkan dampak lain bagi kehidupan manusia. Dari pembakaran batu bara dilepaskan gas Sulfur dioksida (SO₂) dan NOx yang dapat beredar di udara sebagai disposisi kering atau bersenyawa dengan oksigen dan sinar matahari menghasilkan asam sulfur. Asam Sulfur ini membentuk kabut yang dapat jatuh sebagai hujan asam. Hujan asam dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada manusia dan hewan, serta perubahan morfologi pada daun, batang, benih. Gambar 4.4 menujukan bagaimana proses hujan asam terjadi.



Gambar 149.Disposisi Kering dan Disposisi Basah (Hujan Asam) (https://webcam.srs.fs.fed.us/pollutants/acidification/index.shtml, 2017)

Perubahan Habitat dan Keanekaragaman Biologis

Aktivitas manusia akibat bertambahnya populasi manusia berakibat pada terganggunya ekosistem dengan berbagai cara. Dalam bahasan ini, akan diuraikan bagaimana manusia dengan secara langsung mempengaruhi penyebaran organisme sehingga mempengaruhi keanekaragaman organisme di suatu tempat. Penebangan hutan untuk digantikan dengan lahan pertanian, industri dan pemukiman menjadi faktor penyebab terganggunya habitat berbagai macam makhluk hidup yang ada di dalamnya. Dengan aktivitas tersebut, maka keanekaragaman pada suatu wilayah akan banyak berubah atau berkurang.

Hampir setiap tahun, dilaporkan kebakaran hutan terjadi di wilayah Indonesia. Berapa banyak ekosistem kita menderita kerugian akibat kejadian tersebut. Berapa banyak macam spesies yang punah dari kejadian kebakaran tersebut dan berapa banyak kerugian yang ditimbulkan akibat kebakaran tersebut. Selain punahnya spesies pada ekosistem yang mengalami kebakaran, muncul pula penyakit yang disebabkan oleh asap yang dihasilkan oleh kebakaran. Dilaporkan pada tahun 2019, lebih dari 2000 penderita dilaporkan akibat kebakaran hutan di berbagai wilayah Indonesia.

Perbuatan manusia yang dilakukan untuk mengenalkan spesies baru pada suatu tempat, dapat pula mengubah komposisi ekosistem di suatu tempat. Misalnya, pengenalan ecek gondok diwilayah perairan Indonesia yang pada akhirnya mendominasi sungai dan danau. Dominasi dari tumbuhan eceng gondok dapat

merusak ekosistem perairan, diantaranya adalah: meningkatnya evapotranspirasi (penguapan dan hilangnya air melalui daun-daun tanaman), karena daun-daunnya yang lebar dan serta pertumbuhannya yang cepat,menurunnya jumlah cahaya yang masuk kedalam perairan sehingga menyebabkan menurunnya tingkat kelarutan oksigen dalam air (DO: *Dissolved Oxygens*), tumbuhan eceng gondok yang sudah mati akan turun ke dasar perairan sehingga mempercepat terjadinya proses pendangkalan, mengganggu lalu lintas (transportasi) air khususnya bagi masyarakat yang kehidupannya masih tergantung dari sungai seperti di pedalaman Kalimantan dan beberapa daerah lainnya, meningkatnya habitat bagi vektor penyakit pada manusia dan menurunkan nilai estetika lingkungan perairan.

Introduksi ikan mas di perairan Australia, telah menyebabkan pendangkalan pada sungai sungai. Dikarenakan orang Australia tidak banyak mengkonsumsi ikan mas, maka ikan mas dianggap sebagai hama bagi suatu perairan karena menekan populasi ikan lain untuk berkembangbiak di wilayah yang didominasi oleh ikan mas.

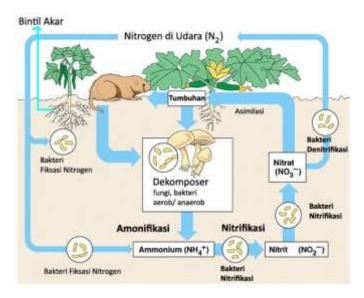
Kesuburan Tanah

a. Siklus Nitrogen

Nitrogen merupakan salah satu unsur kimia utama dalam ekosistem. 78% gas di atmosfer disusun oleh Nitrogen. Meskipun jumlahnya sangat berlimpah, tetapi keberadaan unsur nitrogen untuk langsung digunakan oleh makhluk hidup terutama tumbuhan sangat terbatas. Hal ini disebabkan karena nitrogen merupakan unsur yang tidak mudah beraksi dengan unsur lain sehingga penggunaan nitrogen untuk dimanfaatkan makhluk hidup memerlukan tahapan proses yaitu: fiksasi nitrogen, mineralisasi, nitrifikasi dan denitrifikasi yang melibatkan mikroorganisma yang hidup dalam tanah atau bersimbiosis dengan tanaman.

Nitrogen dalam ekosistem ada dalam berbagai bentuk senyawa kimia seperti nitrogen organik, amonium (NH₄⁺), nitrit (NO₂⁻) dan gas Nitrogen (N_{2).} Nitrogen organik ditemukan dalam organisme (makhluk hidup) dalam bentuk asam amino dan protein sebagai penyusun utama DNA dan RNA. Selain itu nitrogen organik dapat ditemukan pula pada humus dan proses pembusukan senyawa organik

menjadi humus. Gambar 4.10 menjelaskan bagaimana siklus nitrogen terjadi di alam dengan melibatkan mikroorganisma.



Gambar 150. Siklus nitrogen (Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

1) Fiksasi Nitrogen

Fiksasi nitrogen merupakan proses yang terjadi di alam dimana nitrogen di udara menjadi ammonia (NH₃). Proses yang fiksasi nitrogen dapat berlangsung secara biologis dan non biologis. Fiksasi nitrogen secara biologis dibantu oleh mikroorganisme *diazotrof*. Mikroorganisme yang tergolong kedalam diazotrof ini memiliki *enzim nitrogenaze* yang dapat menggabungkan hidrogen dan nitrogen. Reaksi untuk fiksasi nitrogen ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$N_2 + 8H + 8e - 2NH_3 + H_2$$

Mikro organisme yang membantu melakukan fiksasi nitrogen ada yang hidup bebas dalam tanah misalnya: *Azotobacteraceae* ganggang hijau biru dan beberapa spesies bersimbiosis dengan tanaman yang lebih tinggi terutama kacang kacangan (legum) seperti misalnya *Rhyzobium* dan beberapa mikroorganisme bersimbiosis dengan hewan (rayap).

Proses fiksasi nitrogen non-biologis terjadi karena aktivitas manusia yang melepaskan nitrogen ke atmosfer dan juga dapat terjadi secara alami. Aktivitas manusia yang melibatkan penggunaan gas alam dan minyak bumi dilakukan

melalui proses yang memerlukan tekanan besar dan suhu yang tinggi (600°C). Ditambah dengan penggunaan katalis besi, nitrogen atmosfer dan hidrogen dapat dikombinasikan untuk membentuk amonia (NH₃). Dalam pembuatan pupuk dan bahan peledak, N2 diubah bersamaan dengan gas hidrogen (H₂) menjadi amonia (NH₃). Pembakaran bahan bakar fosil dari mesin mobil dan pembangkit listrik termal juga melepaskan berbagai nitrogen oksida (NOx). Fiksasi nitrogen non biologis yang terjadi secara alami terjadi ketika NO terbentuk dari N₂ dan O₂ karena pengaruh foton dari petir.

2) Asimilasi

Tanaman mendapatkan nitrogen dari tanah melalui absorbsi akar baik dalam bentuk ion nitrat atau ion amonium. Sedangkan hewan memperoleh nitrogen dari mereka makan. Tanaman dapat menyerap ion tanaman yang nitrat atau amonium dari tanah melalui rambut akarnya. Jika nitrat diserap, pertama-tama nitrat direduksi menjadi ion nitrit dan kemudian ion amonium untuk dimasukkan ke dalam asam amino, asam nukleat, dan klorofil. Pada tanaman yang memiliki hubungan mutualistik dengan rhizobia, nitrogen dapat berasimilasi dalam bentuk ion amonium langsung dari nodul. Hewan, jamur, dan organisme heterotrof lain mendapatkan nitrogen sebagai asam amino, nukleotida dan molekul organik kecil.

3) Amonifikasi

Amonifikasi terjadi ketika tumbuhan atau hewan mati dan nitrogen organik diubah menjadi amonium (NH4+) oleh bakteri dan jamur.

4) Nitrifikasi

Konversi amonia menjadi nitrat dilakukan terutama oleh bakteri yang hidup di dan bakteri dalam tanah nitrifikasi lainnya. Tahap utama nitrifikasi, bakteri nitrifikasi seperti spesies Nitrosomonas mengoksidasi amonium (NH₄⁺) dan mengubah amonia menjadi nitrit (NO₂⁻). Spesies bakteri lain, seperti Nitrobacter, bertanggung jawab untuk oksidasi nitrit menjadi dari nitrat (NO_3) . Proses konversi nitrit menjadi nitrat sangat penting karena nitrit merupakan racun bagi kehidupan tanaman. Proses nitrifikasi dapat ditulis dengan reaksi berikut ini:

NH₃ + CO₂ + 1.5 O₂ + Notrosomonas
$$\longrightarrow$$
 NO₂ + H₂O + H⁺

NO2- + CO₂ + 0.5 O₂ + Nitrobacter
$$\rightarrow$$
 NP₃

$$Arr NH_3 + O_2 \rightarrow NO_2^- + 3H^+ + 2e^-$$

$$NO_2 + H_2O - NO_3 + 2H^+ + 2e$$

5) Denitrifikasi

Denitrifikasi adalah proses reduksi nitrat untuk kembali menjadi gas nitrogen (N2), untuk menyelesaikan siklus nitrogen. Proses ini dilakukan oleh spesies bakteri seperti *Pseudomonas* dan *Clostridium* dalam kondisi anaerobik. Mereka menggunakan nitrat sebagai akseptor elektron di tempat oksigen selama respirasi. Fakultatif anaerob bakteri ini juga dapat hidup dalam kondisi aerobik. Denitrifikasi umumnya berlangsung melalui beberapa kombinasi dari bentuk peralihan sebagai berikut:

$$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO + N_2O \rightarrow N_2 (g)$$

Proses denitrifikasi lengkap dapat dinyatakan sebagai reaksi redoks:

$$2NO_3^- + 10e^- + 12 H^+ \longrightarrow N_2 + 6H_2O$$

6) Oksidasi Amonia Anaerobik

Dalam proses biologis, nitrit dan amonium dikonversi langsung ke elemen (N₂) gas nitrogen, melalui proses sebagai berikut:

$$NH_4^+ + NO_2^- \longrightarrow N_2 + 2H_2O$$

Untuk menambah pengetahuan anda tentang siklus nitrogen, anda dapat melihat tautan berikut https://www.youtube.com/watch?v=SeY-0Jg-N4s

b. Siklus Fosfor

Siklus fosfor merupakan proses di mana fosfor menyebar ke dalam litosfer, hidrosfer dan biosfer. Fosfor merupakan senyawa esensial yang diperlukan oleh makhluk hidup meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Fosfor diperlukan oleh makhluk hidup untuk pertumbuhan, termasuk diperlukan oleh mikroba yang hidup pada tanah untuk menjaga keberadaan mikroba tersebut. Fosfor diperlukan untuk pembentukan nukleotida sebagai penyusun molekul DNA dan RNA. Rangkaian double helix DNA dihubungkan oleh ikatan fosfor ester. Kalsium fosfat



juga merupakan komponen utama dari tulang dan gigi mamalia, skeleton insekta, membran fosfolipid sel dan fungsi biologis lain.

Siklus fosfor di alam berjalan sangat lambat, dengan melibatkan tahapan proses seperti yang terlihat pada Gambar 4.11

1) Pencucian

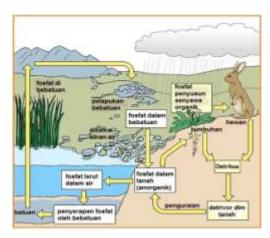
Sumber utama fosfor ditemukan dalam bebatuan. Langkah awal dari siklus fosfor adalah ekstraksi fosfor melalui proses pencucian yang oleh hujan dan erosi yang mengakibatkan fosfor tercuci dan masuk ke dalam tanah.

2) Absorpsi oleh tumbuhan dan hewan

Setelah fosfor berada dalam tanah maka tanaman, jamur dan mikroorganisma dapat menyerap fosfor. Sebagai tambahan fosfor dapat tercuci dan masuk ke dalam perairan, dan langsung diserap oleh tanaman untuk pertumbuhan. Hewan mendapat fosfor dengan meminum air yang mengandung fosfor atau dari tanaman yang dimakannya.

3) Dekomposisi

Ketika tanaman dan hewan mati, terjadi proses dekomposisi yaitu pengembalian fosfor ke alam melalui air dan tanah. Tanaman dan hewan yang berada pada lingkungan dimana dekomposisi itu terjadi dapat secara langsung menggunakan fosfor yang dikembalikan tersebut, dan tahap ke 2 dari siklus fosfor kembali terulang.



Gambar 151.Siklus Fosfor (Campbell, Reece & Mitchell, 2004)

Manusia memiliki pengaruh yang signifikan terhadap siklus fosfor dengan berbagai aktivitas yang dilakukannya, seperti misalnya pemupukan, distribusi makanan, dan eutrofikasi. Pemupukan yang mengandung senyawa fosfat akan meningkatkan kandungan fosfor tanah yang kemudian sedikit demi sedikit tercuci dan masuk ke dalam ekosistem perairan. Peristiwa dimana fosfor masuk ke dalam ekosistem perairan melalui proses alami, maka akan terjadi proses eutrofikasi alami. Tetapi ketika fosfor masuk ke alam karena aktivitas manusia seperti misalnya pendistribusian bahan makanan ke wilayah lain yang menyebabkan peningkatan fosfor di suatu wilayah atau ekosistem, maka peristiwa tersebut dinamakan sebagai *antropologik* eutrofikasi yang memicu peningkatan populasi alga atau yang dinamakan dengan istilah *algae blooming* sepeti yang dijelaskan sebelumnya.

• Strategi/Solusi Penanganan Pencemaran Lingkungan

a. Penanganan Pencemaran Lingkungan

Penanganan terhadap pencemaran lingkungan perlu dilakukan secara terpadu. Hal ini dikarenakan pencemaran yang terjadi pada pada suatu lingkungan dapat berdampak pada pencemaran lingkungan yang lain. Misalnya, pencemaran udara dapat mengakibatkan pencemaran tanah dan air ketika polutan gas di udara menjadi senyawa asam dan turun sebagai hujan asam yang pada akhirnya mencemari air dan tanah.

Penanganan terhadap pencemaran lingkungan dapat dilakukan untuk menjaga lingkungan tersebut sebelum terpapar polutan, yaitu dengan mengeluarkan kebijakan kebijakan yang menentukan batas penggunaan senyawa senyawa yang berpotensi untuk mencemari lingkungan dan melakukan AMDAL ketika sebuah industri akan dibangun di suatu wilayah. Kebijakan kebijakan tersebut tentunya bertindak sebagai preventif sehingga lingkungan alami terjaga dari paparan polutan.

Penanganan terhadap polusi yang terjadi akibat kecerobohan manusia seperti misalnya tumpahan minyak yang mencemari lingkungan dilakukan untuk mengurangi dampak pencemaran terhadap organisme yang berada pada lingkungan tersebut. Penanggulangan untuk kasus tersebut dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah *in-situ burning*, penyisihan secara mekanis,

teknik bioremediasi, penggunaan sorben, dan penggunaan bahan kimia dispersan. Pada saat sekarang ini, teknik yang banyak digunakan oleh negara negara yang mengalami polusi karena tumpahan minyak adalah teknik bioremediasi. Teknik bioremediasi dapat dilakukan dengan 2 macam metode, yaitu: (1) bioaugmentasi dimana mikroorganisme pengurai ditambahkan ke dalam tumpahan minyak untuk melengkapi populasi mikroba yang secara alami telah ada di lingkungan yang terpapar tumpahan minyak. (2) biostimulasi, yaitu merangsang pertumbuhan bakteri pengurai hidrokarbon dengan menambahkan nutrien atau mengubah habitatnya.

Bertahun tahun penduduk yang berada di wilayah Sumatera dan Kalimantan mengalami dampak pencemaran udara karena kebakaran hutan. Untuk mengurangi dampak asap, pemerintah setempat membagikan masker gratis pada masyarakat setempat. Selain itu adanya peringatan ketika level asap melebihi ambang batas dan dapat membahayakan sistem pernapasan, masyarakat dihimbau untuk tidak keluar rumah dan sekolah diliburkan. Penanganan terhadap kebakaran hutan dilakukan dengan cara membuat hujan buatan untuk memadamkan api.

b. Konservasi pada Tingkat Spesies dan Populasi

Krisis keanekaragaman hayati terutama yang terjadi di Indonesian semakin meluas, mulai dari tingkatan genetik, populasi hingga ke komunitas, ekosistem dan wilayah yang lebih luas yang dinamakan dengan bentang alam. Konservasi modern tidak hanya melakukan konservasi terhadap keanekaragaman spesies, tetapi dimulai dari mempertahankan keanekaragaman genetik sampai pada keanekaragaman ekosistem. Konservasi untuk mempertahankan keberadaan dan keanekaragaman makhluk hidup dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah:

1) Mempertahankan keankeragaman genetik

Fokus biologi konservasi pada spesies dan populasi melibatkan pemahaman tentang dinamika populasi, yang meliputi penurunan jumlah populasi, faktor dari penyebab penurunan populasi serta bagaimana strategi untuk mempertahankan suatu populasi. Secara ideal, yang seharusnya dilakukan adalah mempertahankan populasi sebelum penurunan terjadi, sehingga pada saat itu

masih banyak waktu yang tersedia untuk menyelamatkan sebuah habitat yang cukup besar untuk mendukung populasi alamiah.

2) Perlindungan terhadap habitat untuk menjaga keberadaan populasi Aktivitas manusia memungkinkan terjadinya fragmentasi atau pemisahan habitat yang dihuni oleh populasi hewan atau tumbuhan tertentu. Peristiwa ini dinamakan dengan *metapopulasi*. Dengan semakin meningkatnya aktivitas manusia, pemahaman tentang metapopulasi sangat penting untuk memahami bagaimana suatu populasi bisa dijaga dari kepunahan. Hal ini disebabkan karena laju reproduksi dari suatu populasi seringkali sangat berbeda ketika terjadi metapopulasi. Dengan demikian perlu dilakukan konservasi dengan melakukan perlindungan terhadap habitat dimana keberhasilan reproduksi suatu populasi lebih besar dibandingkan dengan laju kematiannya.

3) Melakukan analisis keangsungan hidup (viabilitas) populasi

Analisis kelangsungan hidup suatu populasi merupakan suatu metode untuk memprediksi apakah suatu spesies akan bertahan atau tidak dalam suatu Analisis viabilitas lingkungan tertentu. populasi dilakukan dengan menggabungkan informasi keberagaman genetik dan ciri-ciri sejarah kehidupan suatu populasi, seperti rasio jenis kelamin, umur saat terjadi reproduksi pertama, fekunditas, dan rata-rata angka kelahiran dan angka kematian. Analisis itu juga memasukkan data mengenai respons populasi terhadap faktor-faktor lingkungan seperti pemangsaan, parasitisme, kompetisi antar spesies, dan gangguan yang menjadi ciri khas habitat populasi tersebut. Analisis viabilitas populasi umumnya dihasilkan melalui simulasi komputer yang menggabungkan data sejarah kehidupan degan taksiran matematis respons populasi terhadap faktor-faktor lingkungan.

c. Konservasi pada Tingkat Komunitas, Ekosistem, dan Bentang Alam Konservasi terhadap tingkat komunitas, ekosistem dan bentang alam dilakukan dengan memelihara lingkungan untuk tetap menjadi habitat bagi populasi yang menjadi ciri khas ekosistem tersebut. Wilayah yang digunakan sebagai konservasi dinamakan cagar alam. Cagar alam seharusnya merupakan bagian fungsional dari bentang alam, namun pada kenyataannya untuk mempertahankan keanekaragaman dalam cagar alam dalam periode yang lama

memerlukan upaya yang cukup sulit. Keberadaan aktivitas manusia di sekeliling cagar alam yang merupakan bagian dari bentang alam suatu wilayah juga merupakan jaminan akan keberlanjutan fungsi dari cagar alam. Karena upaya konservasi seringkali melibatkan aktivitas manusia dalam wilayah bentang alam yang sebagian besar didominasi oleh manusia

Pemulihan daerah-daerah yang rusak merupakan suatu upaya konservasi yang penting. Pemerintah di berbagai negara mencanangkan pembangunan yang berkelanjutan sebagai upaya untuk penyesuaian kembali terhadap aspek ekologis. Hal ini tentu saja mempengaruhi berbagai perubahan pada nilai-nilai kemanusiaan. Pembangunan berkelanjutan, kemakmuran jangka panjang masyarakat manusia dan ekosistem yang mendukungnya, bergantung pada pengetahuan ekologis merupakan komitmen untuk menggalang proses ekosistem dalam menunjang keanekaragaman biologis.

Untuk memperkaya wawasan Anda mari kita lihat tautan https://www.youtube.com/watch?v=-g8dtmPFYo0 yang berisi tentang video kawasan ekosistem esensial koridor Orang utan bentang alam Wehea-Kelay.

D. Rangkuman

Rangkuman Klasifikasi dan Keanekaragaman Tumbuhan

- Karofita dan tumbuhan memiliki beberapa homologi, diantaranya kloroplas yang homolog, kemiripan biokimiawi, kemiripan dalam mekanisme mitosis dan sitokinesis, kemiripan dalam ultrastruktur sperma, hubungan genetik.
- Satu-satunya tanaman yang dapat beradaptasi pada air dangkal adalah tanaman alga, dikarenakan alga mempunya gamet dan embrio yang berkembang dan terlindungi oleh induknya.
- Tumbuhan lumut (Briofita) adalah tumbuhan non-vaskuler dimana belum memiliki batang, daun, dan akar sejati (rhizoid). Tiga divisi Briofita adalah lumut daun (moss), Lumut hati (livewort), dan lumut tanduk (hornwort). Gametofit haploid merupakan generasi dominan pada lumut dan briofita lainnya.
- Siklus hidup yang didominasi oleh sporofit dievolusikan pada tumbuhan vaskuler tak berbiji. Satu variasi dalam siklus hidup ini adalah kontras antara tumbuhan homospora dan heterospora. Kondisi sperma berflagela pada nenek moyang dipertahankan oleh semua tumbuhan vaskuler.
- Tiga divisi tumbuhan vaskuler tak berbiji adalah likotifa, ekor kuda, dan pakis. Likofita meliputi lumut gada (*club moss*), dengan kumpulan sporofil pada beberapa ujung tunas. Paku ekor kuda (Stenofita), seperti likofita, berasal dari masa Devon, dan kedua kelompok tersebut jauh lebih beraneka ragam pada masa Karboniferus dibandingkan dengan saat ini. Pakis (Pterofita) sejauh ini merupakan tumbuhan vaskuler tak berbiji yang paling beraneka ragam pada dunia tumbuhan modern.
- Gimnosperma merupakan tumbuhan berbiji tertutup yang mempunyai empat divisi diantaranya, sikad, ginkgo, gnetofit dan konifer. Konifer merupakan divisi terbesar diantara keempat divisi Gimnosperma.
- Angiosperma atau tumbuhan berbunga merupakan tumbuhan yang paling beraneka ragam dan secara geografis paling tersebar luas. Angiosperma terdiri dari satu divisi tunggal yang dibagi menjadi dua kelas, Monokotiledon dan Dikotiledon.

Rangkuman Klasifikasi dan Keanekaragaman Hewan

- Hewan adalah eukariota multiseluler, heterotrofik. Berbeda dari nutrisi autotrofik yang ditemukan pada tumbuhan dan alga, hewan harus memasukkan ke dalam tubuhnya molekul organik yang telah terbentuk terlebih dahulu; hewan tidak dapat membentuk molekul itu dari bahan kimia anorganik.
- Sel-sel hewan tidak memiliki dinding sel yang menyokong tubuh dengan kuat seperti yang dimiliki tumbuhan dan fungi. Tubuh multiseluler hewan dipertahankan tetap utuh oleh protein struktural, yang paling berlimpah adalah kolagen. Selain kolagen, yang banyak ditemukan pada matriks ekstraseluler, jaringan hewan memiliki jenis persambungan (junction) interseluler yang unik.
- Spons adalah hewan yang sesil (menempel) yang tampak sangat diam bagi mata manusia sehingga orang Yunani kuno meyakini mereka sebagai tumbuhan. Spons adalah sesil dan memiliki tubuh berpori serta koanosit.
 Spons tidak memiliki jaringan dan organ. Mereka menyaring makanan dengan menarik air melalui pori; koanosit (sel collar berflagela) menelan bakteri dan partikel makanan yang tersuspensi dalam air.
- Hewan Cnidaria (hidra, ubur-ubur, anemon laut, dan karang) tidak memiliki mesoderm dan memiliki konstruksi tubuh yang relatif sederhana. Anggota filum Cnidaria memiliki simetri radial, rongga gastrovaskuler, dan cnidosit. Sebagian besar anggota Cnidaria adalah hewan karnivora laut yang memiliki tentakel yang dipersenjatai dengan cnidosit (sel yang mengandung kapsul yang dapat dikeluarkan isinya) yang membantu dalam pertahanan dan menangkap mangsa. Dua bentuk tubuh adalah polip yang sesil dan medusa yang mengapung.
- Aselomata mewakili satu percabangan awal hewan bersimetri bilateral, aselomata tidak memiliki rongga tubuh, yaitu ruang antara dinding tubuh dan saluran pencernaan. Filum Platyhelminthes (cacing pipih) adalah hewan aselomata yang pipih secara dorsoventral. Sebagian besar cacing pipih adalah hewan yang mirip pita dan memiliki rongga gastrovaskuler. Filum Platyhelminthes (cacing pipih) terbagi menjadi Kelas Turbellaria, Kelas Trematoda, Kelas Monogenea, dan Kelas Cestoide.

- Pseudoselomata adalah hewan yang rongga tubuhnya tidak sepenuhnya dilapisi dengan mesoderm. Filum Rotifera dan Filum Nematoda adalah contoh hewan pseudoselomata. Anggota filum Rotifera memiliki rahang dan mahkota silia. Ditemukan terutama pada air tawar. Filum Nematoda (cacing gilig) tidak bersegmen dan bertubuh silindris dengan ujung yang meruncing. Nematoda menempati sebagian besar habitat akuatik.
- Garis keturunan Protostoma hewan selomata terbagi menjadi beberapa filum, yang meliputi Mollusca, Annelida, dan Arthropoda. Anggota Filum Mollusca memiliki kaki berotot, massa viseral, dan suatu mantel. Anggota Filum Annelida adalah cacing bersegmen. Lokomosinya yang bergerak maju mirip gelombang tersebut dihasilkan oleh kontraksi bergantian otot sirkuler dan longitudinal terhadap rongga selom penuh cairan.
- Deuterostoma hewan selomata memiliki ciri khas yaitu pembelahan secara radial, perkembangan selom dari arkenteron, dan pembentukan mulut pada ujung embrio yang berlawanan arah dengan blastopori. Anggota hewan ini yaitu Filum Echinodermata dan Filum Chordata. Anggota Filum Echinodermata memiliki sistem pembuluh air dan simetri radial sekunder. Anggota Filum Chordata meliputi dua subfilum yaitu Invertebrata dan Vertebrata (ikan, amfibia, reptilia, burung, dan mamalia).
- Skema taksonomik mengakui adanya dua superkelas subfilum Vertebarata yang masih hidup yaitu Anggota Superkelas Agnatha yang tidak memiliki rahang. Superkelas lain, Gnathostomata, meliputi enam kelas vetebrata berahang. Sekitar 60 spesies vertebrata tak berahang masih hidup sampai saat ini adalah hagfish dalam Kelas Myxini dan lamprey dalam Kelas Chephalaspidomorphi.
- Kelas ikan dalam superkelas Gnathostoma ("mulut berahang") yang masih hidup adalah kelas Chondrichthyes dan Osteichthyes. Vertebrata Kelas Chondrichthyes, hiu, pari besar dan kerabatnya, disebut ikan bertulang rawan karena mereka memiliki endoskeleton yang relatif lentur yang terbuat dari tulang rawan dan bukan tulang keras. Ciri khas kelas Osteichthyes adalah endoskeleton bertulang keras, ada operkulum dan kantung renang.
- Amfibia modern terdiri dari tiga ordo Kelas Amphibia yang masih hidup saat ini: Urodela ("berekor" –salamander); Anura ("tidak berekor" –katak, termasuk bangkong); dan Apoda ("tak berkaki" –caecilian). Bulu pada Aves



terbuat dari keratin, protein yang juga menyusun rambut pada Mamalia dan sisik pada reptilia.

Rangkuman Ekologi Biologi Populasi

- Dua karakteristik penting pada populasi adalah kepadatan dan penyebaran.
 Kepadatan adalah jumlah individu per satuan luas daerah atau volume dan penyebaran adalah jarak individu.
- Populasi akan meningkat ukurannya dengan terjadinya kelahiran dengan imigrasi individu populasi lain, sedangkan populasi menurun ukurannya dengan terjadinya kematian dan dengan emigrasi individu dari populasi tersebut.
- Variasi genetik terjadi disebabkan oleh adanya mutasi (perubahan dalam urutan nukleotida DNA) dan rekombinasi seksual.Seleksi alam dapat mempengaruhi frekuensi suatu sifat yang dapat diturunkan dalam suatu populasi dalam tiga cara yaitu menstabilkan, mengarahkan atau menganekaragamkan.
- Interaksi antarspesies dapat berpengaruh positif, negatif atau netral terhadap kepadatan suatu populasi dengan digambarkan simbol (+, dan 0). Interaksi antarspesies dapat menjadi faktor seleksi yang kuat dalam evolusi. Koevolusi, (interaksi timbal balik resiprokal) antara dua spesies yang menghasilkan suatu rentetan adaptasi dan kontraadaptasi, hubungan pemangsa dengan mangsa, mutualisme, dan hubungan inang dengan parasit.

Rangkuman Ekologi Biologi Konservasi

Aktivitas manusia terutama pertanian dan rumah tangga menyebabkan terjadinya eotrofikasi yang mengakibatkan banyaknya pupolasi hewan dan tumbuhan tidak bisa bertahan hidup pada wilayah perairan karena persaingan untuk mendapatkan cahaya dan O2. Aktivitas manusia dari penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat menyebabkan suhu bumi semakin panas yang berakibat pada perubahan pola iklim, naiknya permukaan air laut dan semakin seringnya bencana yang disebabkan oleh angin topan. Diperlukan peran pemerintah untuk mengatur penggunaan bahan bahan kimia yang dapat mencemari lingkungan merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah kerusakan lingkungan yang lebih buruk.

- Ledakan populasi manusia mengubah habitat dan mengurangi keanekaragaman biologis di dunia yang dapat dicegah dengan melakukan konservasi pada tingkat gen, spesies, komunitas, ekosistem dan bentang alam
- Nitrogen memasuki ekosistem melalui dua jalur ilmiah, yaitu deposit pada atmosfer dan melalui fiksasi nitrogen. Siklus fosfor tidak meliputi pergerakan melalui atmosfer, karena tidak ada gas yang mengandung fosfor secara signifikan. Fosfor hanya ditemukan dalam satu bentuk anorganik penting, fosfat (PO43-) yang diserap oleh tumbuhan dan digunakan untuk sintesis organik.