

MODUL AJAR BIOLOGI DASAR



Penyusun:

Dr. Nova Hariani, M.Si

Dr. Dwi Susanto, M.Si

Dijan Sunar Rukmi, M.Si

Dr. Fatmawati Patang, M.Si

Dr. Linda Oktavianingsih, M.Si

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENEGTAHUAN ALAM
UNIVERSITAS MULAWARMAN
2021**

KATA PENGANTAR

Puji syukur dipanjatkan kehadiran Allah SWT dengan Rahmat dan KaruniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Modul Ajar MK Biologi Dasar di Program Studi Biologi FMIPA Universitas Mulawarman, Samarinda. Penyusunan Modul Ajar ini dirasa sangat perlu dalam upaya peningkatan mutu dan proses pembelajaran di Prodi Biologi pada khususnya dan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Mulawarman pada umumnya. Modul Ajar di Prodi Biologi FMIPA Universitas Mulawarman masih sangat perlu ditambah jumlahnya sesuai dengan jumlah Mata Kuliah (MK) yang ada dalam kurikulum Prodi Biologi. Pada tahun ini Wakil Rektor Bidang Akademik Universitas Mulawarman, memprogramkan dan membiayai penulisan Modul Ajar terutama untuk MK wajib dan MK Dasar. Oleh karena itu, Tim Biologi Dasar Program studi Biologi FMIPA Universitas Mulawarman berusaha menyusun modul ajar ini agar terpenuhi kebutuhan mahasiswa akan buku ajar.

Modul ajar ini digunakan dalam proses belajar mengajar MK Biologi Dasar. Modul ini merupakan penjabaran dari bahan ajar yang diaparkan dosen pengampu saat melaksanakan proses transfer ilmu dikelas (daring maupun luring). Tujuan penulisan modul ajar ini adalah untuk meningkatkan penyerapan ilmu dan pemahaman mahasiswa sehingga ilmu dasar dari Biologi dapat dimengerti dengan baik oleh mahasiswa yang memprogramkan MK ini pada semester yang sudah ditentukan.

Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Rektor Universitas Mulawarman atas bantuan dana yang diberikan sehingga modul ajar ini dapat disusun. Terimakasih juga kepada semua pihak yang sudah membantu terbitnya Modul ajar Biologi Dasar ini yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu. Untuk kelengkapan dari modul ajar ini, kami mengharapkan sekali kritik dan saran dari para pembaca agar Modul Ajar ini dapat lebih bermanfaat Aamiin.

Samarinda, Desember 2021

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----|
| Kata Pengantar..... | ii |
| Daftar Isi | iii |
| BAB 1 Penulisan Ilmiah..... | 1 |
| BAB 2 Asal Usul Kehidupan..... | 9 |
| BAB 3 Sel: Struktur dan Fungsi..... | 27 |
| BAB 4 Sel: Struktur dan Fungsi Membran..... | 47 |
| BAB 5 Metabolisme Sel..... | 60 |
| BAB 6 Fotosintesis..... | 68 |
| BAB 7 Respirasi Sel..... | 74 |
| BAB 8 Struktur Gen dan Kromosom..... | 82 |
| BAB 9 Struktur dan Fungsi Jaringan dan Organ..... | 92 |
| BAB 10 Evolusi..... | 115 |
| BAB 11 Keanekaragaman Hayati..... | 139 |
| BAB 12 Ekologi..... | 151 |
| BAB 13 Perilaku Hewan..... | 162 |
| BAB 14 Bioteknologi..... | 171 |

TINJAUAN MATA KULIAH

Mata kuliah ini merupakan mata kuliah wajib Fakultas. Selain itu, mata kuliah ini diperlukan sebagai dasar sebelum mengikuti mata kuliah Biologi lanjut. Dalam konteks pendidikan Biologi,

Biologi Dasar merupakan salah satu cara mengukur tingkat pemahaman mahasiswa terhadap suatu konsep yang dipelajari. Selain itu, Biologi Dasar juga dapat digunakan untuk mengukur peningkatan kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan pengetahuan yang telah dipelajari pada setiap mata kuliah.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi kuliah ini, mahasiswa diharapkan:

- 1) Agar memahami apa yang dimaksud dengan berbagai hal tentang ilmu-ilmu Biologi; 2) Agar mengetahui fungsi dan struktur dari ilmu yang ada dalam Biologi

BAB 1 PENULISAN ILMIAH

Topik bahasan Penulisan Ilmiah ini diperlukan dalam melaksanakan tugas kuliah dalam bentuk makalah ilmiah. Selanjutnya, topik bahasan ini diperlukan sebagai dasar bagi mahasiswa mengikuti mata kuliah metodologi penelitian. Materi Penulisan ilmiah dapat menjadi salah satu cara mengukur peningkatan kemampuan mahasiswa dalam mengembangkan pengetahuan dan pemahamannya yang dituangkan dalam bentuk tulisan yang telah dipelajari pada setiap mata kuliah.

Melalui mata kuliah ini mahasiswa diharapkan dapat:

1. Memahami maksud dan fungsi karya ilmiah, khususnya makalah.
2. Mengetahui dan membedakan jenis-jenis karya ilmiah yang dapat digunakan sebagai rujukan.
3. Mampu menulis kutipan sesuai dengan kaidah penulisan kutipan.
4. Memahami tata bahasa untuk penulisan karya ilmiah.
5. Memahami prinsip-prinsip penulisan makalah ilmiah.
6. Mampu membuat makalah sesuai dengan prinsip-prinsip makalah ilmiah, anatomi makalah ilmiah serta dilaksanakan sesuai dengan proses penulisan makalah.

Untuk mencapai tujuan tersebut, topik bahasan ini ini disajikan dalam enam bagian utama. Materi penulisan Ilmiah ini sebagai bahan pengenalan mata kuliah metodologi penelitian yang juga membahas tentang penulisan ilmiah untuk belajar membuat laporan penelitian/tugas akhir. Materi Penulisan Ilmiah ini dibagi dalam beberapa bagian, yaitu: Jenis-Jenis Publikasi Ilmiah, Penulisan Kutipan, Tata Bahasa Karya Ilmiah, Prinsip-Prinsip Penulisan, dan Proses Penulisan Makalah. Agar

pembelajaran berjalan lebih efektif, maka proses pembelajaran dilaksanakan dengan pendekatan *student center learning* (SCL).

Makalah merupakan salah satu jenis karya tulis ilmiah yang menggunakan bahasa ilmiah yang memuat dan mengkaji suatu permasalahan yang dilakukan berdasarkan penyelidikan, pengamatan, pengumpulan data, dan memberikan pemecahan masalah yang menggunakan suatu alur pemikiran dalam pemecahan masalah. Secara umum, makalah dapat digolongkan dalam dua jenis yaitu, makalah deduktif yang mengangkat dan berupaya memecahkan masalah secara teoritis dalam bidang yang dikaji dan makalah induktif yang berupaya memecahkan masalah secara empiris sesuai bidang yang dikaji. Karya tulis ilmiah berfungsi untuk: (1) memunculkan, merekam, dan deseminasi gagasan baru. Makalah merupakan bentuk representasi gagasan atau ide seorang penulis yang disampaikan kepada pembacanya melalui lambang atau simbol dalam bahasa tulis dan mengikuti ketentuan tata tulis sebuah karya ilmiah. Oleh sebab itu, gagasan atau ide tersebut perlu didokumentasikan dengan melakukan perekaman gagasan. Perekaman gagasan baru sangatlah penting, sebab sebuah gagasan baru bila tidak direkam maka dapat hilang begitu saja, yang pada akhirnya dapat hilang manfaatnya bagi masyarakat luas; (2) memberi komentar atau penilaian, sanggahan. Makalah ilmiah berfungsi untuk memberikan komentar atau hasil penilaian terhadap sebuah masalah atau isu. Komentar terhadap pemikiran atau gagasan seseorang dapat disusun sebagai sebuah makalah dengan tetap memenuhi kaidah-kaidah ilmiah; (3) mengetahui capaian belajar. Capaian belajar berupa pemahaman mahasiswa terhadap apa yang mereka pelajari dapat dilihat dengan memberi tugas menulis makalah. Apa yang mahasiswa pelajari, tidak hanya dihafal tetapi dapat dipahami dan selanjutnya dituangkan dalam bentuk tulisan.

Secara umum makalah dapat dikategorikan dalam tiga kategori yaitu makalah deduktif, induktif, dan campuran. Makalah campuran dapat dibagi 6 jenis, yaitu: (1) Makalah ilmiah. Makalah ini umumnya membahas permasalahan yang ditulis dari hasil studi ilmiah. Makalah ilmiah lebih bersifat objektif sebab jenis makalah ilmiah tidak disusun berdasarkan pendapat atau opini dari penulis yang bersifat subyektif; (2) Makalah kerja. Makalah ini diperoleh melalui sebuah penelitian yang kemudian hasil dari sebuah penelitian tersebut, memungkinkan penulis makalah untuk berargumentasi dari permasalahan yang dibahas; (3) Makalah kajian. Makalah kajian merupakan sebuah sarana pemecahan suatu masalah yang bersifat kontroversial; (4) Makalah posisi. Makalah ini umumnya disusun atas permintaan suatu pihak yang fungsinya sebagai alternatif pemecahan masalah yang kontroversial, hanya prosedur pembahasan dan penulisannya dilakukan secara ilmiah; (5) Makalah analisis. Makalah analisis merupakan makalah yang bersifat obyektif-empiris yang umumnya didukung oleh berbagai data lapangan, kemudian dapat memberikan simpulan-simpulan yang lebih obyektif; (6) Makalah tanggapan. Makalah tanggapan merupakan makalah yang umumnya sering dijadikan sebagai tugas mata kuliah bagi mahasiswa dan isinya berupa reaksi terhadap suatu bacaan.

JENIS-JENIS PUBLIKASI ILMIAH

Secara umum publikasi ilmiah dapat dikelompokkan dalam lima jenis, yaitu: (1) Jurnal. Jurnal ilmiah berisi artikel ilmiah hasil penelitian maupun artikel konseptual, resensi buku, dan obituari yang diterbitkan secara berkala. Sementara sebuah jurnal ilmiah minimal memuat informasi berupa: nama jurnal, ISSN, periode terbitan, daftar editor jurnal, penerbit, dan alamatnya, daftar isi, artikel jurnal (minimal 5 artikel), Halaman indeks subjek, penulis, mitra bebestari; (2) Makalah seminar/prosiding. Makalah seminar/prosiding merupakan sebuah risalah yang berisi catatan jalan pertemuan, pembahasan, dan transaksi berupa artikel ilmiah yang dilaksanakan pada sebuah seminar atau konferensi ilmiah yang diselenggarakan oleh sebuah perguruan tinggi, lembaga pemerintah, lembaga penelitian, asosiasi profesi, dan lain sebagainya yang terkait dengan kegiatan ilmiah. Sebuah prosiding pada umumnya memuat: nama seminar atau konferensi dan tema seminar atau konferensi dalam halaman judul, ISBN, halaman KDT, daftar editor dan daftar reviewer, daftar isi, artikel seminar, informasi susunan kegiatan seminar (tidak selalu ada); (3) Buku referensi/teks. Buku teks merupakan salah satu karya ilmiah yang dihasilkan dari analisis pustaka, uraian konseptual, maupun penelitian lapangan yang bermanfaat untuk pengembangan keilmuan. Sebuah buku dibagi dalam tiga bagian yaitu pengenalan, batang tubuh, dan daftar pustaka. Bagian pengenalan berisi informasi nama penulis, editor, ISBN, tahun terbit, penerbit, dan tempat terbit. Bagian kata pengantar dan daftar isi juga dapat dimasukkan dalam bagian pengenalan. Batang tubuh merupakan isi dari buku tersebut dan terbagi dalam beberapa bab, mulai dari bab 1 atau pendahuluan dan umumnya diakhiri penutup. Bagian daftar pustaka terdiri dari daftar rujukan baik dari buku, jurnal, prosiding, internet, skripsi, tesis, disertasi, dan bahan pustaka lainnya; (4) Buku ajar. Buku ajar adalah buku materi atau buku panduan yang menjadi sarana dan dipergunakan dalam proses pembelajaran di sekolah maupun di perguruan tinggi. Buku ajar memberikan informasi sesuai dengan tujuan pembelajaran secara keseluruhan maupun setiap bagian babnya; (5) Monograf. Monograf merupakan risalah pada satu subjek atau bagian dari subjek, atau risalah seseorang, biasanya sangat terinci tetapi dalam ruang lingkup yang tidak terlalu luas. Monograf juga dapat merupakan sebuah kumpulan laporan penelitian baik itu penelitian kuantitatif, kualitatif, pengembangan, maupun penelitian tindakan yang dipublikasikan dalam bentuk buku ilmiah tetapi tetap menggunakan anatomi laporan penelitian atau dengan sedikit perubahan penampilan.

PENULISAN KUTIPAN

Penulisan rujukan merupakan sesuatu yang harus dilakukan dalam penulisan karya ilmiah. Sumber-sumber rujukan dapat digolongkan menjadi sumber primer dan sumber sekunder. Sumber

rujukan primer adalah (a) jurnal penelitian, (b) laporan hasil penelitian, (c) abstrak penelitian, (d) narasumber, (d) dokumen resmi. Sementara sumber rujukan sekunder merupakan bahan kajian (pustaka) yang digambarkan oleh orang yang tidak ikut mengalami atau hadir pada waktu kejadian langsung, contohnya adalah buku (*text books*), monograf, ensiklopedia, buku tahunan, surat kabar atau majalah.

Dalam menyusun sebuah makalah, ada tiga cara mengambil rujukan atau kutipan yaitu a) melakukan *paraphrase* yaitu dengan menyatakan kembali dengan kata-kata sendiri atau dengan cara meminjam ide/gagasan pengarang lain, b) meringkas yaitu dengan mem-buat ringkasan dari tulisan yang dikutip dan dapat menggunakan kata-kata sendiri, dan c) mengutip langsung dengan mengutip secara lang-sung gagasan yang dijadikan sebagai acuan. Ada berbagai sumber rujukan dalam penulisan makalah, penulisan catatan kaki dan daftar pustaka mengacu pada pedoman Kate L. Turabian untuk penulisan paper penelitian, tesis, dan disertasi, edisi 8.

TATA BAHASA KARYA ILMIAH

Kalimat dalam bahasa Indonesia ilmiah berciri (a) gramatikal yaitu kalimat ilmiah sesuai dengan tata kalimat (sintaksis), tata frase (frasiologi), tata morfem (morfologi), dan tata fonem (fonologi) bahasa Indonesia; (b) logis, yaitu kalimat yang digunakan mengandung makna yang masuk akal; (c) lengkap yang mewajibkan kehadiran fungtor inti: subjek, predikat, objek, dan pelengkap secara fungsional; (d) hemat (bebas dari unsur mubazir), meliputi kehematan dalam pemakaian kata, frase, atau unsur kalimat lainnya; (e) bebas dari kontaminasi yaitu kalimat ilmiah bebas dari kerancuan atau pencampuraduk- an dua makna, dua unsur, atau dua struktur (f) bebas dari interferensi yaitu bahasa Indonesia ilmiah harus terbebas dari gangguan unsur yang memiskinkan pengaruh dari bahasa daerah dan bahasa asing;

(g) sejajar yang berciri sejajar atau paralel seperti dalam penyebutan suatu rentetan atau daftar dengan pengurutan butir-butirnya satu per satu; dan (h) ada penekanan yang mewakili gagasan penulisnya.

Ejaan merupakan kaidah-kaidah cara menggambarkan bunyi- bunyi (kata, kalimat, dan sebagainya) dalam bentuk tulisan (huruf- huruf) serta penggunaan tanda baca. Penulis karya ilmiah harus patuh kepada kaidah-kaidah ejaan yang telah ditetapkan. Ketetapan ejaan yang harus dipatuhi oleh penulis tertuang dalam keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia, nomor 50 tahun 2015 tentang PEDOMAN UMUM EJAAN BAHASA INDONESIA (PUEBI) ditetapkan 26 November 2015 dan di-Undangkan di Jakarta tanggal 30 November 2015, Direktur Jendral, Peraturan Perundang- undangan Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia, Berita Negara Republik Indonesia tahun 2015 nomor 1788 Salinan sesuai de- ngan aslinya Kepala biro Hukum dan

PRINSIP-PRINSIP PENULISAN

Makalah yang baik adalah makalah yang disusun dengan memenuhi kaidah-kaidah ilmiah seperti: (1) Melalui proses ilmiah. Karena karya ilmiah merupakan suatu karya dalam bidang ilmu pengetahuan yang berbentuk ilmiah maka prosesnya melalui metode ilmiah. Untuk menghasilkan makalah ilmiah maka penulis makalah perlu melakukan observasi terhadap fenomena yang terjadi, mengemukakan masalah, pengumpulan dan analisis data atau melakukan telaah pustaka, penyusunan kesimpulan. Selain itu perlu proses pengujian agar dapat menguji pemikiran logis yang telah dikemukakan. Tahap selanjutnya dalam penulisan makalah adalah perencanaan penulisan. Tahap akhir dalam proses penulisan makalah adalah finalisasi naskah di mana penulis harus melakukan editing atau revisi terhadap naskah yang ditulisnya sehingga menjadi layak untuk dibaca; (2) Dapat dipertanggungjawabkan. Makalah dikatakan ilmiah jika menyajikan fakta-fakta umum yang dapat dipertanggung-jawabkan dan dapat digunakan untuk membangun suatu kesimpulan. Untuk mempertanggungjawabkan sebuah pernyataan, maka penulis harus memberikan argumen-tasi atau pendapat pendukung disertai sumber-sumbernya, argumen-tasi yang benar dari penulis, dan data yang tepat. Bentuk pertanggungjawaban dilakukan pula dengan menghindari tindakan plagiat; (3) Disusun secara sistematis. Sistematika sebuah karya ilmiah disesuaikan dengan tujuan, konteks, ruang, maupun waktu. Penulis makalah juga harus memahami bahwa sebuah makalah harus disajikan dalam bentuk esai dan tidak dalam bentuk enumeratif, sehingga penyajiannya berkaitan dengan sistematika penyajiannya; (4) Aspek bahasa. Bahasa merupakan aspek penting dan pembeda dalam penulisan makalah ilmiah, sebab dalam penulisan karya ilmiah, bahasa merupakan alat komunikasi tulisan untuk menyampaikan hasil berpikir ilmiah. Sebuah karya tulis ilmiah juga harus menggunakan bahasa dan gaya penulisan yang baku dan logis.

PROSES PENULISAN MAKALAH

Proses penulisan makalah dimulai dari pemilihan topik. Tiga langkah dalam memilih topik bahasan yaitu pemilihan topik, pembatasan topik, dan terakhir adalah pemilihan salah satu aspek yang sesuai dengan kemampuan penulis dan pemenuhan kriteria. Tiga strategi dalam memilih topik yaitu (1) Topik yang berorientasi pada masalah; (2) Topik yang berorientasi pada proses; (3) Topik yang berorientasi pada ekspedisi (kelayakan kondisi *given*). Kemudian penulisan makalah dilakukan juga dengan menentukan kriteria dalam pemilihan topik, antara lain (1) Topik layak dibahas; (2) Kompetensi penulis memadai yang meliputi kompetensi penulis dalam penguasaan substansi isi, penguasaan metodologi pemecahan masalah, pengalaman, maupun keingintahuan secara pribadi

penulis; (3) Dukungan secara fisik dan non-fisik. Proses selanjutnya adalah mengkaji sumberdata, di mana penulis melakukan telaah pustaka dengan melakukan pencarian bahan-bahan kepustakaan atau sumber rujukan yang akan dijadikan landasan kerangka berpikir dalam menyusun karya tulis ilmiah.

Untuk mengorganisasi penulisan makalah, penulis makalah perlu memperhatikan organisasi makalah secara umum yang terdiri dari tiga bagian yaitu (1) bagian awal, (2) bagian teks, dan (3) bagian akhir. Uraian bagian tersebut diberikan dalam bab yang membahas tentang anatomi makalah. Makalah terdiri dari beberapa unsur pokok dan secara umum unsur pokok dari makalah dapat terdiri dari: (1) Halaman judul, dapat terdiri dari judul makalah, nama penulis makalah dan nomor induk mahasiswa (NIM), nama sekolah dan tahun penulisan; (2) Bagian pendahuluan, terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, dan tujuan penulisan; (3) Bagian inti, terdiri dari beberapa bab yang menguraikan makalah sesuai dengan tujuan penulisan; (4) Penutup yang berisi kesimpulan dari pembahasan makalah; (5) Daftar rujukan yang memuat semua sumber pustaka yang digunakan dalam penulisan makalah. Bagian pendahuluan hingga bagian penutup merupakan batang tubuh dari sebuah makalah dan dapat disusun dalam beberapa bab.

Latihan

1. Lakukan pencarian satu naskah jurnal dengan mengkases berbagai alamat jurnal daring sesuai dengan daftar yang tersedia dalam bab 6. Catatlah nama penulis, judul artikel, nama jurnal, volume dan nomor, tahun terbit, serta halaman awal dan akhir.
2. Carilah satu makalah seminar yang dimuat pada prosiding. Catatlah nama penulis, judul artikel, nama prosiding, tahun terbit, serta halaman awal dan akhir.
3. Carilah lima buku teks, kemudian catatlah nama penulis, judul buku, tempat terbit, nama penerbit, dan tahun terbit.
4. Carilah lima laporan penelitian berupa monograf, skripsi, tesis, dan atau disertasi. Catatlah nama penulis, judul buku, tempat terbit, nama penerbit, dan tahun terbit.

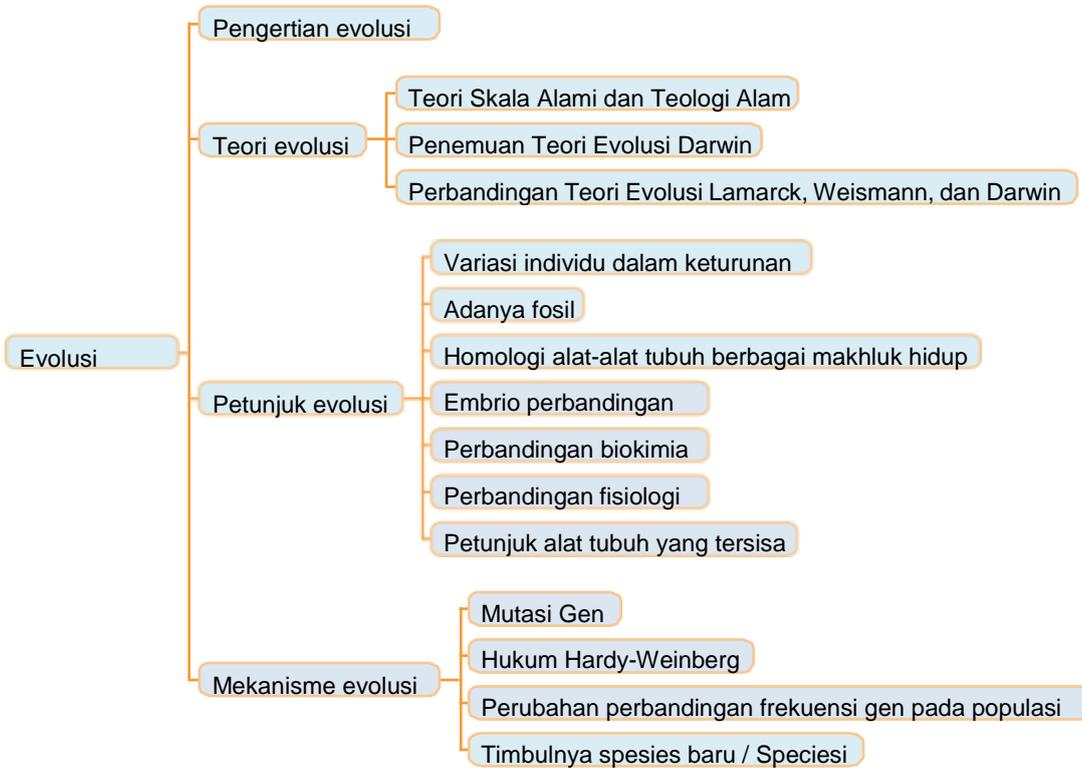
BAB 2

ASAL USUL KEHIDUPAN

GLOSARIUM

- Evolusi** : Perubahan struktur tubuh makhluk hidup yang berlangsung secara bertahap-tahap dalam waktu yang sangat lama.
- Omne Vivum ex Ovo, Omne Ovum ex Vivo, Omne Vivum ex Vivo** : Kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup dan kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya.
- Fosil** : Sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah membatu atau dapat juga berupa jejak-jejak organisme yang terdapat pada batu-batuan.
- Homologi** : Organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda.
- Analogi** : Organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda.
- Spesiasi** : Pembentukan dua atau lebih spesies dari satu spesies yang telah ada atau telah punah.
- Seleksi Alam** : Kemampuan alam untuk memilih makhluk hidup yang mampu hidup di lingkungannya.
- Mutasi** : Perubahan pada materi genetik yang mengakibatkan perubahan ekspresi gen.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

A. Identitas Modul

| | |
|----------------|-----------------|
| Mata Pelajaran | : BIOLOGI DASAR |
| Alokasi Waktu | : 2 JP |
| Judul Modul | : EVOLUSI |

B. Kompetensi Dasar

3.9 Menjelaskan teori, prinsip dan mekanisme evolusi serta pandangan terkini para ahli terkait spesiasi.

4.9 Menyajikan karya ilmiah terhadap gagasan baru tentang kemungkinan-kemungkinan pandangan evolusi berdasarkan pemahaman yang dimilikinya.

C. Deskripsi Singkat Materi

Pada masyarakat banyak persepsi yang mengatakan bahwa manusia berasal dari kera, artinya nenek moyang manusia adalah kera. Apakah persepsi tersebut benar? Kalian dapat melihat bahwa manusia berasal dari primata sebagai cikal bakalnya, kemudian primata akan mengalami proses perubahan dan perkembangan lebih lanjut. Makhluk hidup memiliki struktur morfologi yang beranekaragaman. Ada beberapa yang memiliki persamaan, namun banyak pula yang berlainan sama sekali. Perbedaan tersebut dapat dipelajari dengan melihat pola hubungan kekerabatan. Pola hubungan kekerabatan dapat menunjukkan tingkatan makhluk hidup yang memiliki struktur sederhana hingga yang kompleks. Pola hubungan kekerabatan makhluk hidup selanjutnya akan dibahas dalam proses evolusi. Secara bahasa evolusi berasal dari kata *evolve* (Bahasa Inggris) yang berarti berubah secara perlahan, sedangkan dalam bahasa Latin disebut *evolut* yang berarti menggulir. Teori evolusi dapat mengajari kita dalam memahami beberapa hal, diantaranya ialah memahami proses kepunahan; kemampuan proses bertahan hidup; dan

terjadinya perubahan secara kontinyu dalam waktu yang lama. Pada modul pembelajaran berikut ini, akan disajikan asal-usul makhluk hidup, teori evolusi dan mekanismenya. Setelah mempelajari modul ini, diharapkan siswa lebih memahami dan memudahkan penyampaiannya kepada siswa dan para siswa dapat terbantu untuk lebih mudah dalam memahami esensi ilmu pengetahuan yang menyangkut perubahan struktur morfologi makhluk hidup.

D. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini berisi kegiatan-kegiatan belajar yang disajikan dalam bentuk paparan yang memuat materi, latihan, rangkuman, dan penilaian diri.

Pada bagian Uraian Materi merupakan paparan sejumlah pengetahuan yang akan membekali anda untuk menguasai kompetensi yang dikemas dalam satu satuan aktivitas belajar dalam rangka mempermudah kalian menguasai kompetensi yang diharapkan. Di bagian latihann melakukan kegiatan atau tugas yang bertujuan untuk memperkuat penguasaan kompetensi yang diharapkan. Sementara itu di bagian rangkuman, kalian akan mendapatkan informasi mengenai garis besar materi pada kegiatan belajar yang baru saja kalian pelajari.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian telah menguasai materi dan keterampilan yang kalian pelajari, kalian akan melakukan kegiatan Penilaian Diri. Pada bagian akhir modul ini disajikan Tes Akhir yang dapat kalian gunakan untuk menguji kemampuan kalian dalam menguasai kompetensi yang diharapkan apakah sudah tercapai atau belum. Sikap jujur sangat diharapkan ketika kalian melakukan kegiatan ini dari awal sampai akhir.

E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini terdiri dari:

1. Asal usul kehidupan'
 - a. Teori abiogenesis

- b. Teori Biogenesis
 - c. Teori evolusi kimia
 - d. Teori evolusi darwin dan Lamarck
2. Petunjuk dan mekanisme evolusi

KEGIATAN PEMBELAJARAN

ASAL USUL KEHIDUPAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan teori-teori asal usul Mahkluk hidup.
2. Menjelaskan prinsip-prinsip teori evolusi menurut para ahli.
3. Membedakan prinsip evolusi sehingga terjadi spesiasi menurut Darwin dan Lamarck.

B. Uraian Materi

1) Asal Usul Kehidupan

a. Teori Abiogenesis /*Generatio Spontanea*

Teori Abiogenesis adalah teori yang menyatakan bahwa Makhluk hidup terjadi begitu saja secara spontan atau makhluk hidup berasal dari benda tidak hidup. Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles, dan didukung oleh:

- **Antonie van Leeuwenhoek**, dengan pendapatnya bahwa mikroorganisme (benda hidup) berasal dari air (benda mati). Percobaannya: pada abad ke-17 dengan penemuannya terhadap mikroskop, ia melihat adanya mikroorganisme (makhluk hidup sangat kecil) dalam sampel air hujan dan air rendaman jerami.
- **Needham**, berpendapat bahwa mikroorganisme (benda hidup) terjadi dari air kaldu (benda mati). Hal ini sesuai dengan percobaannya yaitu dengan merebus daging, kemudian air kaldu disimpan dalam keadaan terbuka. Setelah beberapa hari terlihat air kaldu menjadi keruh karena adanya mikroorganisme.

b. Teori Biogenesis

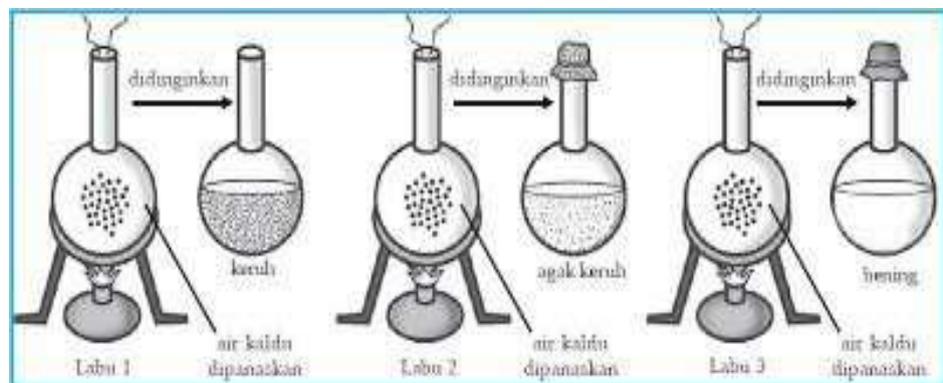
Makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya. Teori ini merupakan kesimpulan dari percobaan

- 1) **Francesco Redi**, dengan percobaannya tentang munculnya ulat yang dapat muncul dalam daging yang disimpan dalam stoples terbuka tetapi tidak muncul dalam stoples tertutup. Larva (suatu kehidupan) bukan berasal dari daging (benda mati) tetapi berasal dari telur lalat yang masuk dan bertelur pada daging.



Gambar 1. Percobaan Fransisco Redi

- 2) **Lazaro Spallazani**, dengan percobaannya mendidihkan kaldu dalam labu kemudian ditutup rapat-rapat. Kaldu tetap bening dan steril. Adanya mikroorganisme pada tabung terbuka berasal dari udara, bukan berasal dari air kaldu (benda mati). Tidak adanya mikroorganisme pada tabung tertutup menunjukkan bahwa mikroorganisme bukan berasal dari kaldu (benda mati).



Gambar 2. Percobaan Lazzaro spalanzani

3) **Louis Pasteur**, percobaannya mendidihkan kaldu pada labu, kemudian labu ditutup dengan pipa seperti huruf S sehingga mulut labu tetap terbuka. Kondisi tersebut memungkinkan zat hidup tetap dapat masuk, namun kondisi kaldu tetap jernih (bening) dan steril. Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: *Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo* yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup.

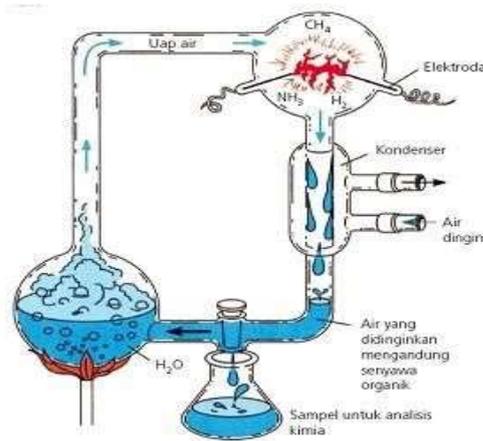


Gambar 3. Percobaan Louis Pasteur

c. Teori Evolusi Kimia:

Menurut teori evolusi kimia, asal mula kehidupan berasal dari reaksi antara CH_4 , NH_3 , H_2 , dan H_2O di atmosfer dengan sinar kosmis dan halilintar yang menghasilkan senyawa organik serupa asam amino.

Ilmuwan yang mengemukakan teori evolusi kimia adalah **Harold Urey**, menyatakan bahwa asal-usul kehidupan diawali dengan adanya senyawa anorganik di atmosfer yang berupa gas-gas seperti metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O) dan amonia (NH_3) yang bereaksi dengan bantuan energi dari sinar kosmis dan kilatan listrik halilintar sehingga terbentuk asam amino yang merupakan bahan dasar pembangun kehidupan. Percobaan **Stanley Miller** berhasil membuktikan teori Urey dengan percobaannya di laboratorium dengan menggunakan alat yang diberi nama pesawat uratmosfera. Kesimpulan yang diperolehnya bahwa senyawa anorganik dapat diubah menjadi asam amino (organik) dengan pesawat uratmosfera. Jadi, satuan-satuan kompleks di dalam sistem kehidupan, seperti lipida, gula, asam amino, dan nukleotida, dapat terbentuk dari kondisi abiotik.



Evolusi Kimia

Model perangkat percobaan Miller dan Urey untuk sintesis molekul organik secara abiotik.

Gambar 4. Percobaan Stanley Miller

Menurut **Alexander L. Oparin** dalam teori evolusi biologi, asal usul kehidupan berasal dari reaksi antara gas-gas metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O), dan amonia (NH_3) yang mudah menguap ke atmosfer yang berada di cekungan air laut dengan energi radiasi benda-benda angkasa yang menghasilkan senyawa organik serupa alkohol dan asam amino. Hasil reaksi berupa asam amino berada pada cekungan laut membentuk sup purba (primordial sup).

Teori-teori yang telah diterangkan di atas belum dapat menjawab darimana dan bagaimana kehidupan pertama kali ada di bumi. Berikut ini beberapa teori tentang perkembangan sel:

- 1) Dari prokariotik ke eukarioti, Sel eukariotik terjadi karena simbiosis erat antara dua organisme, salah satunya menjadi inang dan lainnya masuk ke tubuh inang (endosimbiosis). Dalam kasus ini, bakteri purba ditelan oleh sel prokariotik sebagai inang. Bakteri ini berfungsi melakukan segala reaksi kimia. Hal inilah yang dianggap sebagai cikal bakal mitokondria.
- 2) Dari laut ke darat, Sel-sel diduga pertama kali berasal dari laut, dan berkembang menjadi organisme yang hidup di dalam air. Beberapa organisme ada yang mencoba untuk beralih hidup dari lingkungan air ke lingkungan darat karena telah terjadi kompetisi di dalam lingkungan air. Fakta yang mendukung teori ini adalah siklus hidup amfibi sebagian di air. Dari fertilisasi sampai berudu amfibi hidup di air, dan kemudian

mengalami metamorfosis untuk hidup di darat.

2. Petunjuk Evolusi dan Mekanisme Evolusi

Evolusi adalah perubahan genotip pada satu populasi yang berlangsung secara perlahan-lahan dan dalam waktu yang sangat lama.

Beberapa teori yang menjadi dasar lahirnya teori evolusi adalah:

a) Teori Kreasionisme

- Penciptaan makhluk hidup terjadi dalam sekali saja secara lengkap, tidak ada evolusi atau perubahan lagi terhadap makhluk hidup.
- Tokoh yang mendukung teori ini adalah Aristoteles.
- Tidak valid karena terdapat beberapa makhluk hidup pada zaman yang berbeda.

b) Teori Katatropisme

- Terjadi bencana alam (katakstrofi) yang tiba-tiba yang menyebabkan tumbuhan dan hewan di tempat itu mati.
- Masuk bentuk kehidupan baru dari daerah lain.
- Akibatnya, terjadi perubahan spesies yang tiba-tiba.
- Tokoh: George Cuvier, ia menemukan lapisan batuan fosil yang mewakili tiap zaman yang berbeda yang menjadi petunjuk dari teori ini.

c) Teori Gradualisme

- Evolusi: Perubahan geologis berlangsung pelan-pelan tapi pasti
- Tokoh: James Hutton

d) Teori Uniformitarianisme

- Evolusi merupakan proses geologis, pola seragam, kecepatan dan pengaruh perubahan selalu seimbang dalam kurun waktu
- Contoh: terbentuknya gunung serta erosi gunung yang terjadi membuktikan keseimbangan
- Tidak menjelaskan terbentuknya spesies.
- Tokoh: Charles Lyell

e) Teori Evolusi Jean Lamarck

- Pokok-pokok pikiran teori evolusi Lamarck
 - 1) Makhluk hidup sederhana adalah nenek moyang dari makhluk

hidup yang sempurna.

- 2) Makhluk hidup akan senantiasa beradaptasi dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya.
- 3) Organ yang mengalami perubahan karena terus-menerus dipakai dan berkembang makin sempurna. Sedangkan organ yang tidak diperlukan lagi perkembangannya akan menurun, dan akhirnya rudiment (*teori use and disuse*).
- 4) Evolusi organik terjadi karena perubahan-perubahan yang disebabkan oleh pengaruh lingkungan dan dapat diturunkan.

Contoh evolusi Lamarck pada jerapah.



Gambar 5. Evolusi Jerapah menurut Lamarck

f) Teori Evolusi Charles Darwin

Charles Robert Darwin (1809-1882) yang dikenal sebagai Bapak Teori Evolusi lahir di daerah Inggris bagian barat. Teori Evolusi Darwin tidak muncul begitu saja, namun berdasarkan hasil perjalanannya dengan kapal Beagle ke kepulauan Galapagos dan studi terhadap berbagai disiplin ilmu.

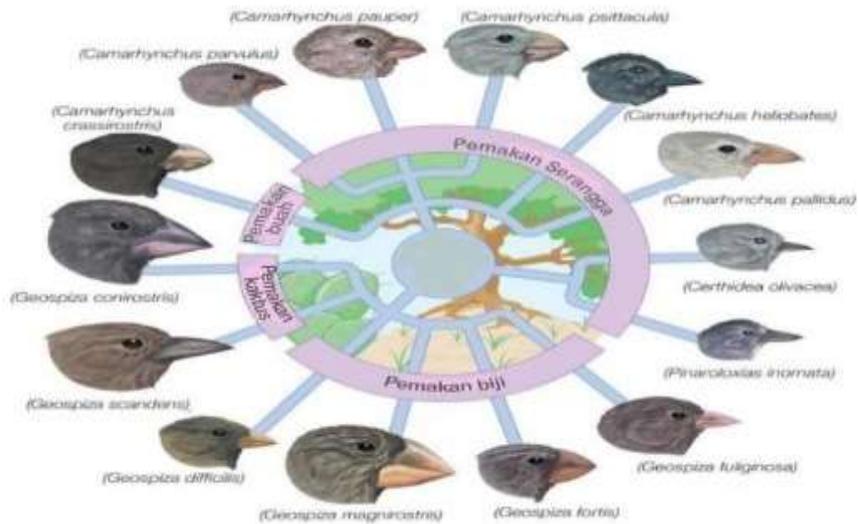
1) Pelayaran Darwin ke Kepulauan Galapagos

Saat berlayar dari Inggris menggunakan kapal HMS Beagle, Darwin berusia 22 tahun (bulan Desember 1831). Tujuan utama pelayaran tersebut adalah untuk memetakan pesisir pantai Amerika Selatan yang masih belum jelas. Pada saat awak kapal sibuk memetakan pesisir pantai, Darwin turun ke pantai, mengamati, dan mengoleksi ratusan spesimen fauna dan flora Amerika Selatan yang beraneka ragam dan endemik.

Selain itu, saat kapal mengelilingi benua Amerika, Darwin mengamati berbagai adaptasi tumbuhan dan hewan yang menempati hutan Brazil, bentangan padang rumput di Argentina, daratan terpencil Tierra del Fuegodekat Argentina dan pegunungan Andes.

Setelah mencatat flora dan fauna di berbagai wilayah Amerika Selatan, Darwin menyimpulkan bahwa flora dan fauna di Amerika Selatan mempunyai karakteristik khusus yang sangat berbeda dengan flora dan fauna di Eropa. Darwin juga mengatakan bahwa flora dan fauna di daerah beriklim sedang mempunyai hubungan yang lebih dekat dengan spesies yang hidup di wilayah tropis benua tersebut, dibandingkan spesies di daerah beriklim sedang di Eropa.

Fauna yang paling membingungkan Darwin ditemukan di *Kepulauan Galapagos*, yaitu kepulauan yang berada di sebelah barat pesisir Amerika Selatan. Pada umumnya, spesies fauna di Galapagos tidak ditemukan hidup di tempat lain, meskipun ada kesamaan dengan hewan di Amerika Selatan. Darwin menemukan jenis-jenis burung finch yang berbeda bentuk paruhnya. Perbedaan bentuk dan ukuran paruhnya yang merupakan adaptasi terhadap makanan tertentu. Kelompok pertama burung Finch yang hidup di tanah (*Geospiza magnirostris*) mempunyai paruh yang besar yang teradaptasi untuk memecahkan biji, kelompok kedua finch (*Camarhynchus pallidus*) yang menggunakan suatu duri kaktus atau ranting kecil sebagai alat untuk mengorek semut atau serangga lainnya, dan kelompok ketiga adalah kelompok kecil finch (*Camarhynchus parvulus*) yang menggunakan paruhnya untuk menangkap serangga.



Gambar 6. Variasi burung Finch

Charles Darwin mengemukakan teori evolusinya secara lengkap dalam buku yang berjudul *On The Origin of Species by Means of Natural Selection* (Asal mula spesies yang terjadi melalui seleksi alam) yang diterbitkan pada 24 November 1859.

2) Pokok-pokok teori Darwin

Pengalaman Darwin di kepulauan Galapagos memunculkan ide tentang evolusi yang pokok pikirannya adalah:

- Spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies-spesies yang hidup dimasa silam.
- Evolusi terjadi melalui seleksi alam.

Dua pokok pikiran atau teori utama Darwin merupakan hasil pengalamandari pengamatan:

- *Pengamatan ke-1*, setiap spesies mempunyai potensial fertilisasi yang besar sehingga ukuran populasinya akan meningkat secara eksponensial bila setiap individu yang dilahirkan berhasil melakukan percobaan.
- *Pengamatan ke-2*, ukuran populasi cenderung menjadi stabil

kecuali fluktuasi musiman.

- *Pengamatan ke-3*, sumber daya alam terbatas.
- *Pengamatan ke-4*, individu-individu populasi sangat bervariasi dalam hal ciri-ciri tubuh, namun tidak ada dua individu yang benar-benar sama.
- *Pengamatan ke-5*, kebanyakan variasi diwariskan pada keturunannya.

Setelah Darwin menyelesaikan perjalanannya dan kembali ke Inggris, ia banyak mempelajari geologi, terutama tentang fosil. Buku yang berpengaruh besar terhadap Darwin adalah *Principles of Geology* (Prinsip-Prinsip Geologi) karangan Charles Lyell.

Teori evolusi Jerapah menurut Darwin



Gambar 7. Evolusi Jerapah menurut Darwin

C. Rangkuman

1. Kehidupan yang ada di bumi saat ini merupakan kelanjutan yang berkesinambungan dari makhluk hidup pertama di bumi.
2. Perkembangan teori asal-usul kehidupan yaitu teori abiogenesis klasik, teori biogenesis, dan teori abiogenesis modern. Teori abiogenesis klasik menerangkan bahwa asal mula makhluk hidup dari benda mati. Teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup. Teori abiogenesis modern menyatakan bahwa atmosfer bumi pada zaman purba berkecenderungan menyintesis senyawa organik dari molekul anorganik purba.
3. Evolusi biologi menyatakan bahwa makhluk hidup pertama merupakan hasil evolusi molekul anorganik. Evolusi biologi membahas asal-usul sel prokariotik

dan eukariotik. Sel prokariotik muncul sebelum sel eukariotik dan sel prokariotik merupakan prekursor bagi munculnya sel eukariotik.

4. Teori evolusi Darwin dikenal dengan teori seleksi alam. Teori seleksi alam mengandung dua pemahaman, yaitu bahwa spesies sekarang berasal dari spesies dahulu dan terbentuknya spesies karena seleksi alam.
5. Teori evolusi sintesis menyatakan bahwa evolusi biologi bukan semata-mata didasari teori Darwin, tetapi juga teori evolusi pasca Darwin.

D. Penugasan

Setelah mempelajari Bab Evolusi, Anda telah mengetahui bahwa evolusi pada makhluk hidup berlangsung sangat lama, hal ini menyebabkan evolusi sulit dibuktikan. Namun, sejak teori evolusi dikemukakan Darwin, para ilmuwan mulai sadar akan adanya seleksi alam dan mencatat kejadian-kejadian yang terkait. Meski perubahan yang terjadi akibat seleksi alam yang tercatat tergolong kecil, namun hal tersebut dapat menjadi bukti dan indikasi evolusi yang mengakibatkan perubahan besar. Sekarang, tugas Anda adalah *mencari bukti teori evolusi, seperti perubahan-perubahan evolusi pada virus, resistensi hama, dan kasus seleksi alam lain yang tercatat*. Carilah referensi dari buku, majalah, koran, dan internet. *Buatlah dalam sebuah karya tulis*. Kumpulkan untuk selanjutnya diadakan diskusi kelas

E. Latihan Soal

1. Pernyataan ini yang merupakan definisi dari evolusi yaitu....
 - A. Evolusi adalah pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi berikutnya dalam jangka waktu jutaan tahun.
 - B. Evolusi adalah proses adaptasi terhadap lingkungan
 - C. Evolusi adalah variasi dalam keturunan
 - D. Evolusi adalah perubahan-perubahan organisme akibat suatu genetika dalam jangka waktu yang pendek.
 - E. Evolusi adalah proses seleksi alam
2. Adanya mikroorganisme pada rendaman jerami yang teramati dengan mikroskop buatan Antonie Van Leeuwenhoek pada akhir abad ke XIV

ditafsirkan sebagai gejala....

- A. Biogenesis
- B. Metagenesis
- C. Biosintesis
- D. Antibiosis
- E. Abiogenesis

3. Teori abiogenesis runtuh karena percobaan yang dilakukan oleh
 - A. Aristoteles
 - B. Alexander Oparin
 - C. Harold Urey
 - D. Anthonie van Leeuwenhoek
 - E. Louis Pasteur

4. Francesco Redi mengemukakan dari hasil penelitiannya bahwa makhluk hidup berasal dari....
 - A. Makhluk hidup
 - B. Benda mati
 - C. Zat kimia
 - D. Ledakan materi angkasa
 - E. Nenek moyang

5. Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa untuk mengetahui asal-usul kehidupan. Fungsi pipa leher angsa pada tabung tersebut adalah
 - A. Mencegah hubungan dengan udara luar
 - B. Membiarkan mikroorganisme dan udara keluar masuk
 - C. Mencegah masuknya udara luar dan membiarkan mikroorganisme masuk
 - D. Menghalangi mikroorganisme masuk dan membiarkan udara keluar masuk
 - E. Menghambat pernapasan mikroorganisme dalam kaldu dengan udara luar

Kunci jawaban dn pembahasan

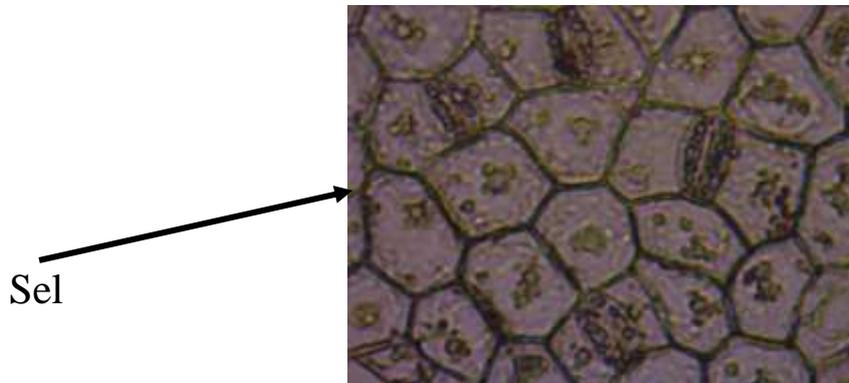
| No | Kunci Jawaban | Pembahasan | Skor |
|----|---------------|--|------|
| 1. | A | Evolusi adalah pewarisan sifat organisme yang berubah dari generasi ke generasi berikutnya dalam jangka waktu jutaan tahun. | 20 |
| 2. | E | AnAbiogenesis antonie van Leeuwenhoek, dengan pendapatnya bahwa mikroorganisme (benda hidup) berasal dari air (benda mati). Percobaannya: pada abad ke-17 dengan penemuannya terhadap mikroskop, ia melihat adanya mikroorganisme (makhluk hidup sangat kecil) dalam sampel air hujan dan air rendaman jerami. | 20 |
| 3. | E | Lewis Pasteur Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo yang berarti kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup. | 20 |
| 4. | A | percobaannya tentang munculnya ulat yang dapat muncul dalam daging yang disimpan dalam stoples terbuka tetapi tidak muncul dalam stoples tertutup. Larva (suatu kehidupan) bukan berasal dari daging (benda mati) tetapi berasal dari telur lalat yang masuk dan bertelur pada daging. | 20 |
| 5. | C | Kondisi tersebut memungkinkan zat hidup tetap dapat masuk, namun kondisi kaldu tetap jernih (bening) dan steril. Dari percobaan ini timbullah anggapan bahwa: Omne Vivum ex Ovo Omne Ovum ex Vivo yang berarti | 20 |

| | | | |
|--|--|---|--|
| | | kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup. | |
|--|--|---|--|

BAB 3
SEL
STRUKTUR DAN FUNGSI

Semua makhluk hidup yang ada dipermukaan bumi terdiri atas banyak sel, yang semuanya

terdapat dalam berbagai macam dan jumlah yang besar. Namun juga terdapat organisme hidup yang terdiri atas sel tunggal, contohnya Amuba dengan diameter sel mencapai 300 μm . Setiap sel pada makhluk hidup masing-masingnya memiliki sifat khusus untuk melakukan satu atau beberapa fungsi bagi organisme tempat sel tersebut berada.



Gambar 3.1. Sel-sel yang menyusun jaringan epidermis daun (10x10)

Beberapa defenisi sel antara lain :

- Sel merupakan kesatuan struktural dan fungsional makhluk hidup
- Kumpulan materi paling sederhana yg dapat hidup
- Tingkatan struktur terendah yg mampu melakukan semua aktivitas kehidupan

Cara mempelajari sel

Dalam bab ini akan dibahas tentang sifat dan karakter sel beserta komponen-komponen penyusun sel tersebut. Sebelum mempelajari komponen penyusun sel, harus dilihat dan dipahami bagaimana mempelajari dan menelaah komponen tersebut. Bagaimana cara menelaah sel? Ada beberapa cara untuk mempelajari sel :

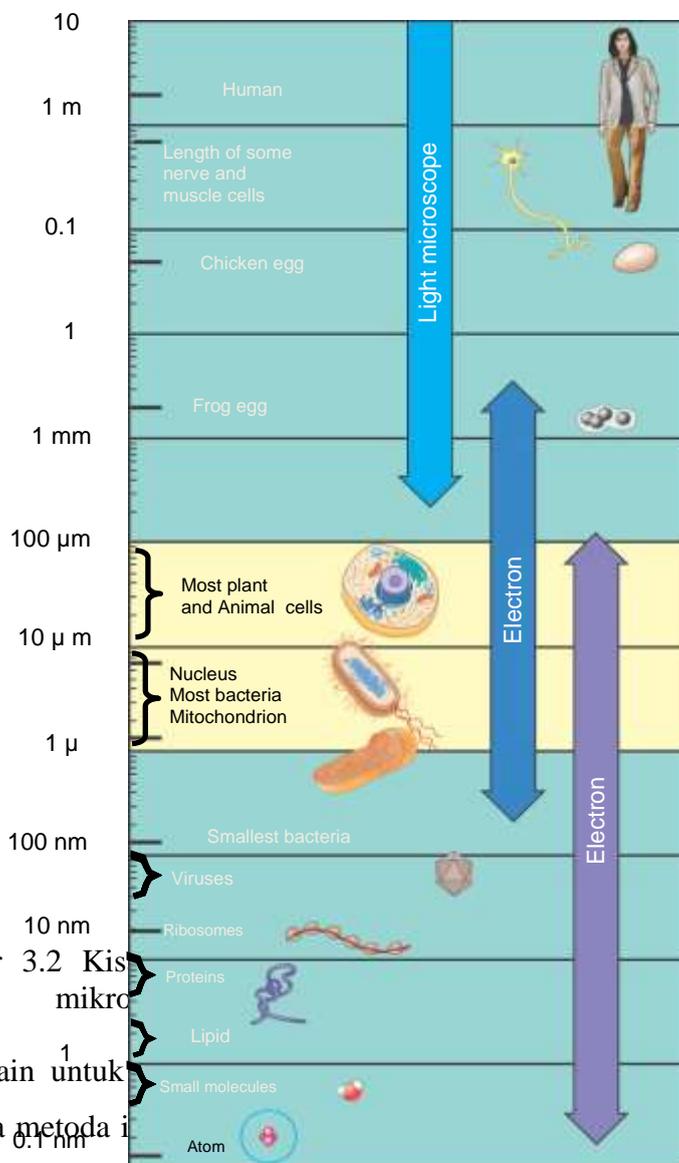
A. Mikroskop

Penemuan dan penelitian awal tentang sel menjadi maju dengan adanya penemuan mikroskop tahun 1590 dan penelitian lanjutan tentang mikroskop. Mikroskop yang pertama kali digunakan oleh ilmuwan adalah mikroskop cahaya (light microscope, LM). Mikroskop ini, cara kerjanya dengan meneruskan cahaya tampak melalui spesimen dan kemudian melalui lensa kaca. Lensa ini membengkokkan cahaya sedemikian rupa sehingga citra spesimen diperbesar ketika diproyeksikan ke mata, film fotografi atau ke layar video. Selain itu, dengan adanya penemuan mikroskop elektron, maka penelitian Biologi sel pada tahun 1950-an menjadi semakin maju. Terdapat dua macam mikroskop elektron yaitu :

1. Mikroskop elektron transmisi (*transmission electron microscope*, TEM) digunakan untuk mempelajari ultrastruktur internal sel. Mikroskop ini mengarahkan berkas elektron melalui irisan spesimen yang tipis, dimana spesimen ini sebelumnya telah diwarnai dengan atom-atom

logam berat, yang melekat ke struktur seluler tertentu, sehingga meningkatkan densitas (kepadatan) atom di beberapa bagian sel melebihi bagian lain. TEM menggunakan elektron magnet sebagai lensa untuk membengkokkan jalur elektron dan akhirnya memfokuskan citra ke layar untuk dilihat.

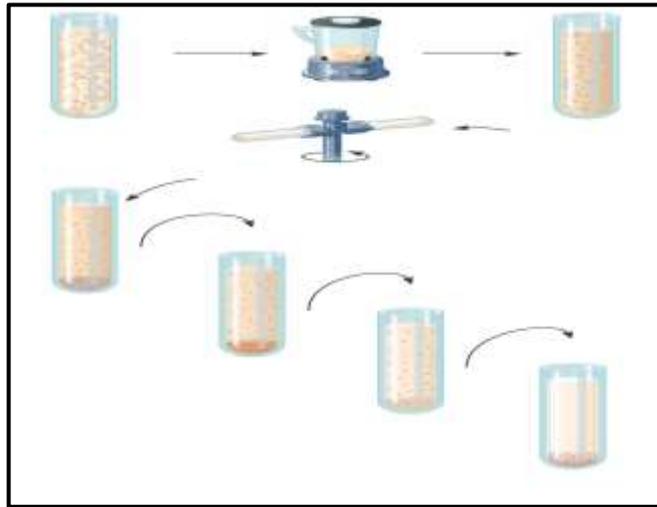
- Mikroskop elektron payar (*scanning electron microscope, SEM*) yang berguna untuk penelitian terperinci mengenai permukaan spesimen. Berkas elektron memindai permukaan sampel yang sebelumnya dilapisi lapisan tipis emas. Kemudian berkas tersebut mengeksitasi elektron pada permukaan dan elektron tersebut terdeteksi dan kemudian diterjemahkan pola elektron tersebut menjadi sinyal elektronik. SEM menembus sampai jauh ke dalam dan menghasilkan gambar dalam bentuk tiga dimensi.



Gambar 3.2 Kisaran mikroskop

B. Cara lain untuk memisahkan organel-organel utama serta struktur bagian sel lainnya. Alat yang digunakan adalah sentrifus, yang memutar tabung reaksi berisi campuran sel-sel yang pecah

pada berbagai kecepatan dan kemudian mengendapkan fraksi komponen sel dibagian dasar tabung yang membentuk pelet.



Gambar 3.3 Metoda fraksinasi sel untuk mendapatkan komponen sel (Campbell, 2008)

Selain itu untuk mempelajari tentang sel dapat menggunakan teknik radio aktif. Dalam metode ini ion-ion, molekul-molekul dan reaksi kimia yang terjadi dalam sel dan organisme dapat dijelajah dengan label isotop radioaktif. Misalnya : asam amino dapat dilabel dengan radioaktif karbon ^{14}C atau ^3H . Dalam waktu beberapa detik asam amino berlabel ini dapat dilacak dalam komponen-komponen seluler dalam bentuk protein.

Teori-teori tentang sel

- Robert Hooke (Inggris, 1665) meneliti sayatan gabus di bawah mikroskop. Hasil pengamatannya ditemukan rongga-rongga yang disebut sel (cellula)
- Hanstein (1880) menyatakan bahwa sel tidak hanya berarti cytos (tempat yang berongga), tetapi juga berarti cella (kantong yang berisi)
- Felix Durjadin (Prancis, 1835) meneliti beberapa jenis sel hidup dan menemukan isi dalam, rongga sel tersebut yang penyusunnya disebut “Sarcode”
- Johannes Purkinje (1787-1869) mengadakan perubahan nama Sarcode menjadi Protoplasma
- Matthias Schleiden (ahli botani) dan Theodore Schwann (ahli zoologi) tahun 1838 menemukan adanya kesamaan yang terdapat pada struktur jaringan tumbuhan dan hewan. Mereka mengajukan konsep bahwa makhluk hidup terdiri atas sel . konsep yang diajukan tersebut menunjukkan bahwa sel merupakan satuan struktural makhluk hidup.
- Robert Brown (Scotlandia, 1831) menemukan benda kecil yang melayang-layang pada protoplasma yaitu inti (nucleus)

- Max Shultze (1825-1874) ahli anatomi menyatakan sel merupakan kesatuan fungsional makhluk hidup

Rudolf Virchow (1858) menyatakan bahwa setiap sel berasal dari sel sebelumnya (omnis celulla ex celulla)

Tipe sel

Unit dasar dari bagi struktur dan fungsi bagi semua organisme yang dikenal sebagai sel memiliki beberapa tipe. Berbagai macam tipe sel ini dapat dikelompokkan berdasarkan :

1. Struktur/keadaan intinya
2. Cara mendapatkan energinya yang dibedakan menjadi :
 - a. Autotrof (dapat menggunakan CO₂ sebagai sumber karbonnya)
 - b. Heterotrof (menggunakan karbon organik sebagai sumber karbonnya)

Setiap organisme yang ada di permukaan bumi memiliki salah satu dari dua tipe sel (berdasarkan struktur/keadaan inti) yaitu prokariot atau eukariot. Kelompok organisme yang memiliki tipe sel prokariot, dimiliki oleh kelompok domain Bakteria dan Archaea sedangkan kelompok protista, fungi, hewan dan tumbuhan memiliki tipe sel eukariot.

- a. Sel prokariot merupakan sel yang tidak memiliki nukleus/inti sel nya tidak memiliki membran. Materi inti terkonsentrasi pada daerah yang disebut nukleoid, tapi tidak ada membran yang memisahkan dari bagian sel yang lain (sel yang memiliki satu sistem membran).
- b. Sel eukariot, sel yang intinya memiliki membran. Materi inti dibatasi oleh satu sistem membran terpisah dari sitoplasma (seluruh daerah diantara nukleus dan membran yang membatasi sel).

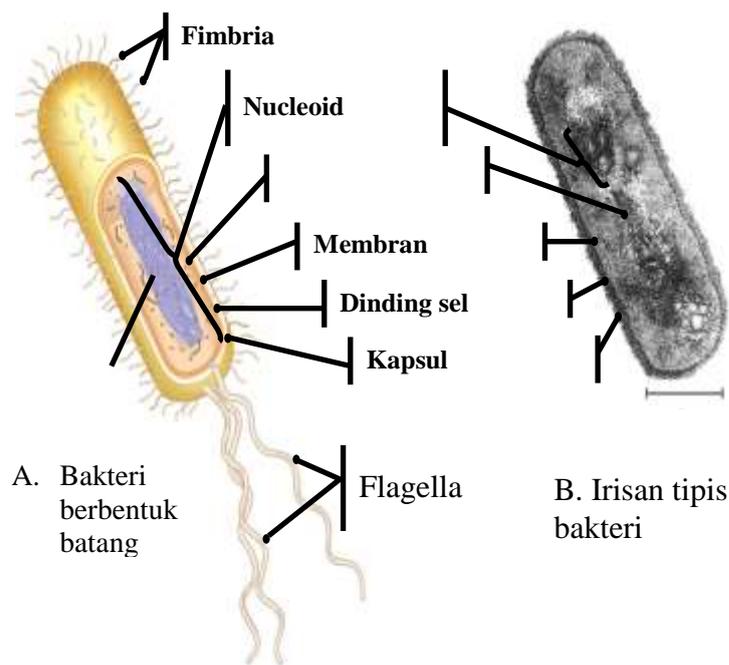
Berikut ini beberapa perbedaan antara sel prokariot dan eukariot :

Sel Prokariotik

- Tidak memiliki inti sel yang jelas karena tidak memiliki membran inti sel yang dinamakan nucleoid
- Organel-organelnya tidak dibatasi membran
- Membran sel tersusun atas senyawa peptidoglikan
- Diameter sel antara 1-10mm
- Mengandung 4 subunit RNA polymerase
- Susunan kromosomnya sirkuler

Sel Eukariotik

- Memiliki inti sel yang dibatasi oleh membran inti dan dinamakan nucleus
- Organel-organelnya dibatasi membran
- Membran selnya tersusun atas fosfolipid
- Diameter selnya antara 10-100 mm
- Mengandung banyak subunit RNA polymerase
- Susunan kromosomnya linier

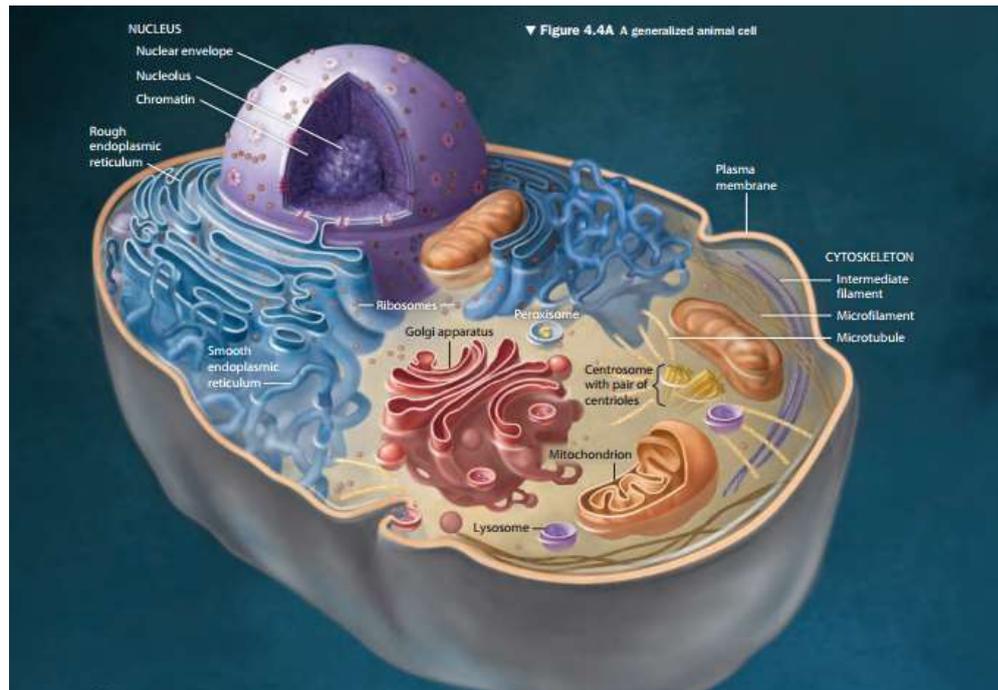


Gambar 3.4 Struktur sel prokariot (Campbell, 2008)

Selain berdasarkan bentuk inti, tipe sel juga bisa dibedakan antara sel pada tumbuhan dan hewan. Berikut ini beberapa perbedaan dari sel tumbuhan dengan sel hewan :

Sel hewan

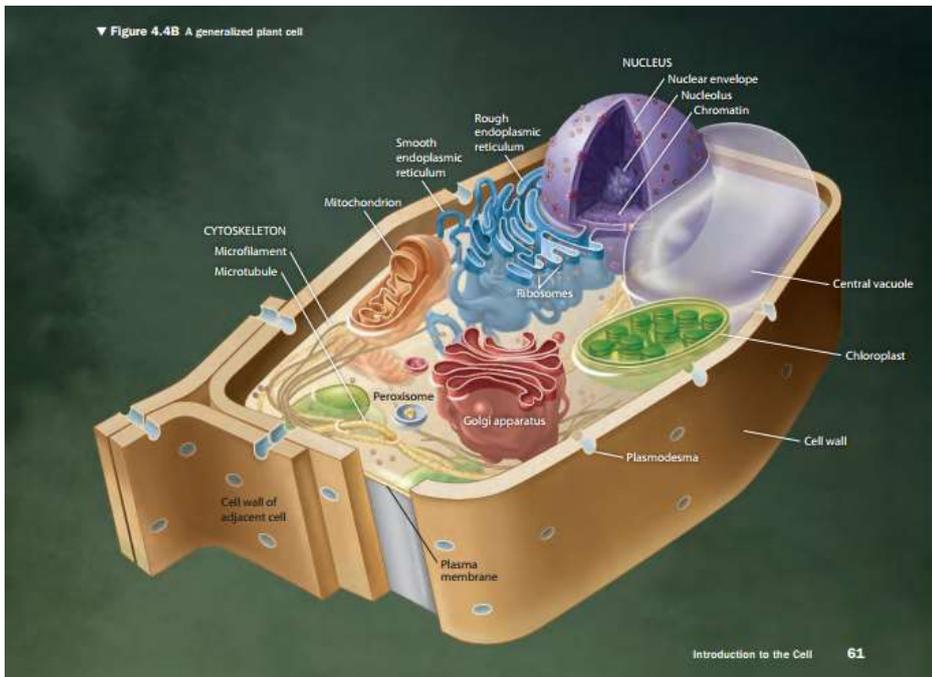
- Tidak memiliki dinding sel
- Tidak memiliki butir plastida
- Bentuk tidak tetap karena hanya memiliki membran sel yang keadaannya tidak kaku
- Jumlah mitokondria relatif banyak
- Vakuola banyak dengan ukuran yang relatif kecil
- Sentrosom dan sentriol tampak jelas



Gambar 3.5 Struktur sel hewan yang dilapisi oleh membran sel (Campbell, 2017)

Sel Tumbuhan

- Memiliki dinding sel
- Memiliki butir plastida
- Bentuk tetap karena memiliki dinding sel yang terbuat dari selulosa
- Jumlah mitokondria relatif sedikit karena fungsinya dibantu oleh butir plastida
- Vakuola sedikit tapi ukurannya besar
- Sentrosom dan sentriol tidak jelas



Gambar 3.6 Struktur sel tumbuhan yang dilapisi oleh dinding sel (Campbell, 2017)

Sel dari organisme, berdasarkan struktur juga memiliki bagian-bagian tertentu yaitu : bagian yang hidup (komponen protoplasma) yang terdiri atas inti dan sitoplasma termasuk cairan dan organel sel seperti mitokondria, badan golgi dan komponen lainnya. Selain bagian yang hidup, sel juga terdiri dari bagian sel yang dianggap mati (inklusi) yang terdiri atas dinding sel dan isi vakuola. Meskipun tipe sel bermacam-macam tetapi terdapat persamaan tertentu pada sifat-sifat, bentuk dan fungsional yang umum pada kebanyakan sel. Berikut akan dilihat beberapa bentuk dan komponen penyusun dari sel secara umum :

1. Dinding sel

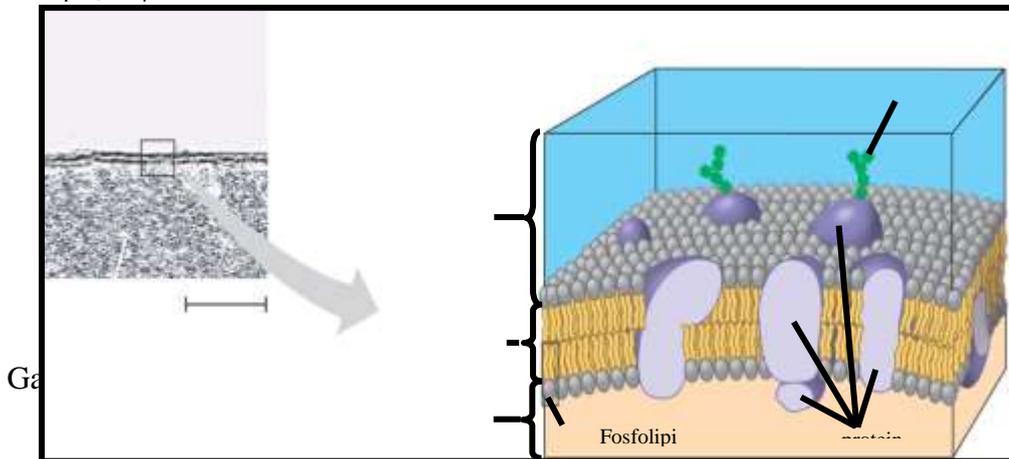
Dinding sel hanya terdapat pada sel tumbuhan dan terdiri dari selulosa yang kuat yang dapat memberikan sokongan, perlindungan dan untuk mengekalkan bentuk sel. Pada dinding sel terdapat liang untuk melakukan pertukaran bahan di luar dengan bahan di dalam sel (plasmodesmata). Dinding sel juga berfungsi untuk menyokong tumbuhan dan melindungi dari kerusakan mekanis. Dinding sel terdiri dari selulosa (sebagian besar), hemiselulosa, pektin, lignin, kitin, garam karbonat dan silikat dari Ca dan Mg.

2. Membran sel

Membran sel merupakan lapisan yang melindungi inti sel dan sitoplasma. Membran sel membungkus organel-organel dalam sel. Membran sel juga merupakan alat transportasi bagi sel yaitu tempat masuk dan keluarnya zat-zat yang dibutuhkan dan tidak dibutuhkan oleh sel. Struktur membran terdiri dari dua lapis lipid (lipid bilayer) dan memiliki permeabilitas tertentu sehingga tidak semua

molekul dapat melalui membran sel.

Membran sel strukturnya sangat tipis, setiap membran tebalnya sekitar 10 nm. Jika dilihat dengan teliti, maka membran sel ini terdiri atas tiga lapisan yang tampak sebagai dua garis gelap yang merupakan lapisan lipid bilayer dan dipisahkan oleh ruang yang jernih.

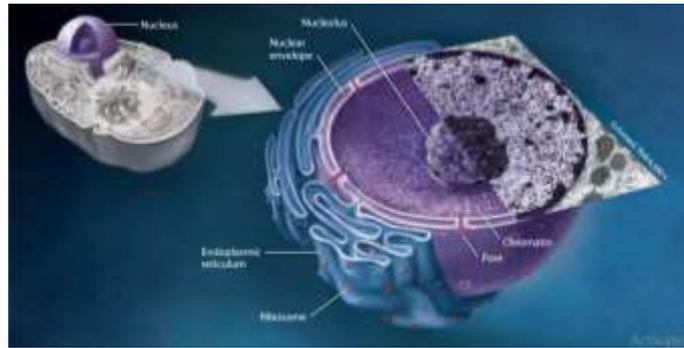


Struktur membran sel yaitu model mozaik fluida (Singer dan Nicholson pada tahun 1972).

Menurut teori mozaik fluida : membran merupakan 2 lapisan lemak dalam bentuk fluida dengan molekul lipid yang dapat berpindah secara lateral di sepanjang lapisan membran. Protein membran tersusun tidak beraturan yang menembus lapisan lemak. Komponen penyusun membran sel antara lain adalah fosfolipids, protein, oligosakarida, glikolipid, dan kolesterol. Salah satu fungsi dari membran sel adalah sebagai lalu lintas molekul dan ion secara dua arah. Molekul yang dapat melewati membran sel antara lain ialah molekul hidrofobik (CO_2 , O_2), dan molekul polar yang sangat kecil (air, etanol). Sementara itu, molekul lainnya seperti molekul polar dengan ukuran besar (glukosa), ion, dan substansi hidrofilik membutuhkan mekanisme khusus agar dapat masuk ke dalam sel.

3. Nukleus

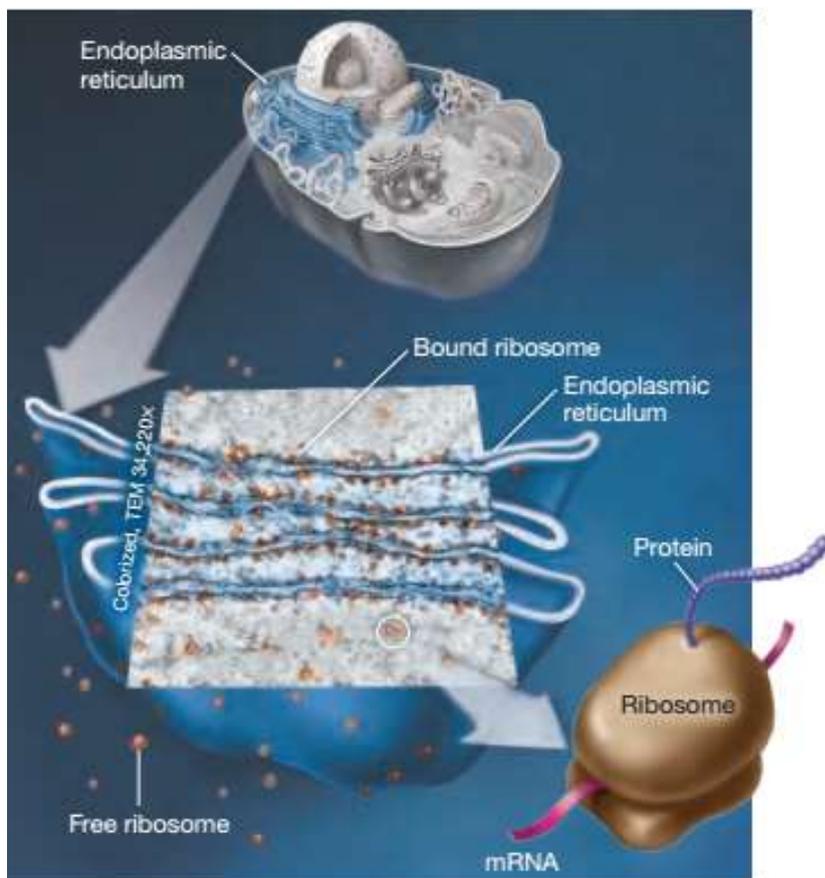
Inti sel atau nukleus sel adalah organel yang ditemukan pada sel eukariotik. Organel ini mengandung sebagian besar materi genetik sel dengan bentuk molekul DNA linear panjang. Organel paling mencolok dengan diameter rata-rata 5 mikron meter. Fungsi utama nukleus adalah mengontrol aktivitas sel dengan mengelola ekspresi gen, mengorganisasikan gen saat terjadi pembelahan sel, memproduksi mRNA untuk mengkodekan protein, sebagai tempat sintesis ribosom, tempat terjadinya replikasi dan transkripsi dari DNA, serta mengatur kapan dan di mana ekspresi gen harus dimulai, dijalankan, dan diakhiri. Dalam nukleus, DNA diorganisasi bersama protein menjadi materi yang disebut kromatin yang pada waktu sel bersiap membelah kromatin ini berubah jadi benang kusut padat yang disebut kromosom. Nukleolus (tempat komponen ribosom dirakit/disintesa)



Gambar 3.8 Struktur nukleus diamati menggunakan mikroskop TEM (Campbell, 2017)

4. Ribosom

Ribosom merupakan struktur paling kecil yang tersuspensi dalam sitoplasma. Komponen yang berbentuk agak bulat ini sangat kecil sehingga hanya dapat diamati dengan menggunakan mikroskop elektron. Merupakan tempat sel membuat/sintesa protein. Sel yang punya laju sintesa protein tinggi secara khusus punya jumlah ribosom yang sangat banyak, contohnya : sel hati manusia. Dalam sel yang aktif sintesa protein ribosom dapat merupakan 25% dari bobot kering sel. Membangun protein dalam dua lokasi yaitu : ribosom bebas terdapat dalam sitosol dan ribosom terikat (dilekatkan di bagian luar membran yang disebut RE).

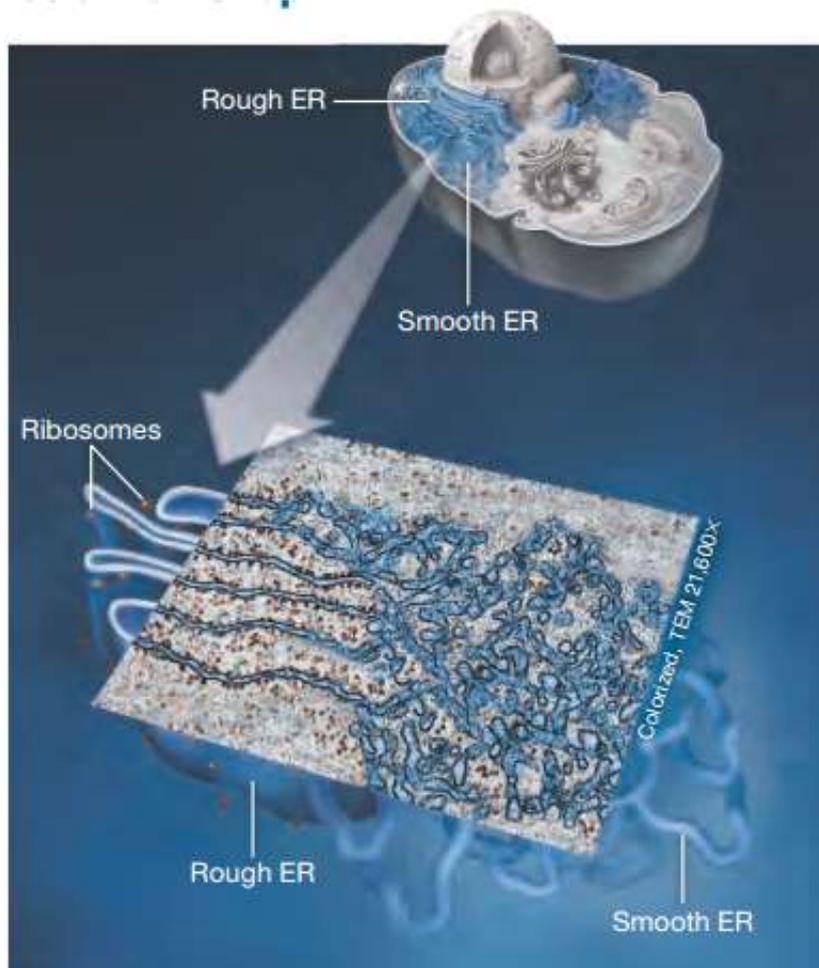


Gambar 3.9 Lokasi dan struktur ribosom (Campbell, 2017)

5. Retikulum Endoplasma

Organel ini memiliki struktur yang menyerupai kantung berlapis-lapis. Kantung ini disebut dengan cisternae. Fungsi retikulum endoplasma bervariasi, tergantung pada jenisnya. Retikulum Endoplasma (RE) merupakan labirin membran yang banyak sehingga meliputi separuh lebih dari total membran dalam sel-sel eukariotik.

Pada pengamatan preparat irisan menggunakan mikroskop elektron, membran ini terlihat berpasang-pasangan, meliputi rongga dan tabung pipih. Membran tersebut punya struktur lipid-protein yang sama dengan membran yang ada pada membran lain sel tersebut. Setiap membran pada retikulum endoplasma memiliki satu permukaan yang menghadap sitosol dan satu lagi menghadap bagian dalam rongga tersebut.



Gambar 3.10 Struktur dan macam Retikulum Endoplasma (Campbell, 2017)

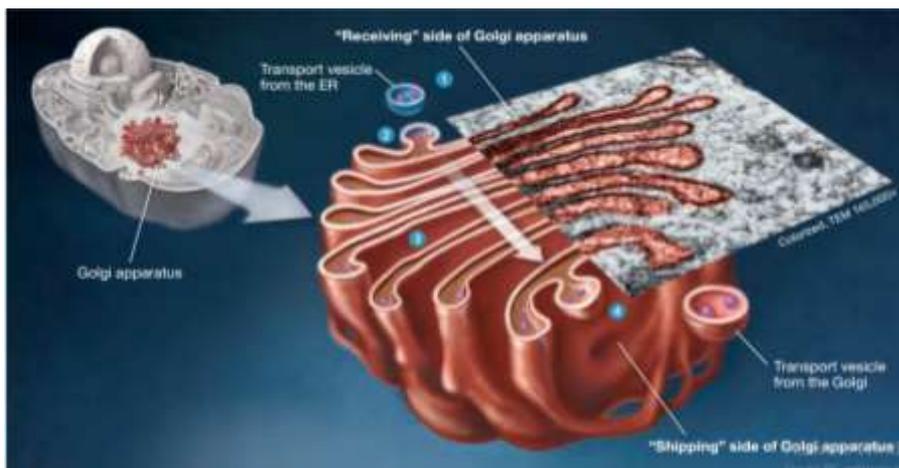
Ada tiga jenis Retikulum Endoplasma :

1. RE kasar, di permukaan RE kasar terdapat bintik-bintik yang merupakan ribosom. Ribosom ini berperan dalam sintesis protein. Maka, fungsi utama RE kasar adalah sebagai tempat sintesis protein.
2. RE halus tidak memiliki bintik-bintik ribosom di permukaannya. RE halus berfungsi dalam beberapa proses metabolisme yaitu sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dan konsentrasi kalsium, detoksifikasi obat-obatan.
3. RE sarkoplasmik. RE sarkoplasmik adalah jenis khusus dari RE halus. RE sarkoplasmik ini ditemukan pada otot licin dan otot lurik. Yang membedakan RE sarkoplasmik dari RE halus adalah kandungan proteinnya. RE sarkoplasmik berperan sebagai pemicu kontraksi otot

6. Aparatus Golgi

Organel ini dijumpai pada hampir semua sel tumbuhan dan hewan. Aparatus Golgi (disebut juga badan Golgi, kompleks Golgi atau diktiosom) adalah organel yang dikaitkan dengan fungsi ekskresi sel, dan struktur ini dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop cahaya biasa. Organel ini terdapat hampir di semua sel eukariotik dan banyak dijumpai pada organ tubuh yang melaksanakan fungsi ekskresi, misalnya ginjal. Setiap sel hewan memiliki 10 hingga 20 badan Golgi, sedangkan sel tumbuhan memiliki hingga ratusan badan Golgi. Badan Golgi pada tumbuhan biasanya disebut diktiosom. Badan Golgi ditemukan oleh seorang ahli histologi dan patologi berkebangsaan Italia yang bernama Camillo Golgi.

Aparatus golgi dapat dianggap sebagai pusat pembuatan, penyimpanan, pemilahan dan pengiriman. Di organel ini, produk-produk dari RE, misalnya protein dimodifikasi dan disimpan serta kemudian dikirimkan ke berbagai tujuan lain.



Gambar 3.11 Aparatus Golgi sebagai pusat pembuatan, penyimpanan, pemilahan dan pengiriman produk (Campbell, 2017)

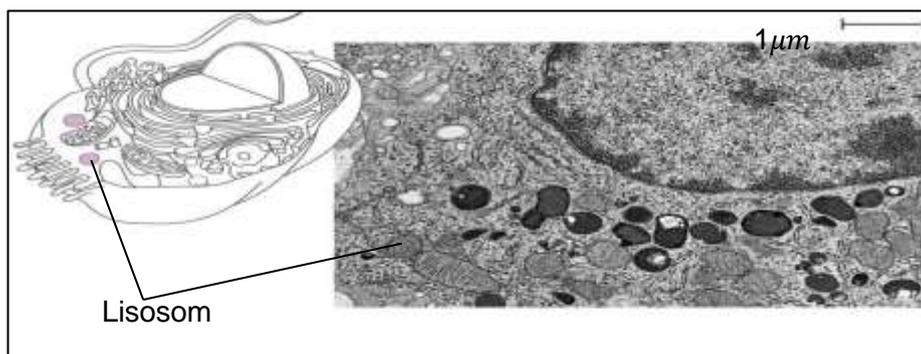
Beberapa fungsi Aparatus golgi antara lain :

1. Membentuk kantung (vesikula) untuk sekresi. Terjadi terutama pada sel-sel kelenjar kantung kecil tersebut, berisi enzim dan bahan-bahan lain.
2. Membentuk membran plasma. Kantung atau membran golgi sama seperti membran plasma. Kantung yang dilepaskan dapat menjadi bagian dari membran plasma.
3. Membentuk dinding sel tumbuhan.
4. Membentuk akrosom pada spermatozoa yang berisi enzim untuk memecah dinding sel telur
5. Tempat untuk memodifikasi protein.
6. Untuk menyortir dan memaket molekul-molekul untuk sekresi sel
7. Untuk membentuk lisosom

7. Lisosom

Organel sel yang berupa kantong bermembran yang berisi enzim hidrolitik yang berguna untuk mengontrol pencernaan intraseluler pada berbagai keadaan. Lisosom ditemukan pada tahun 1950 oleh Christian de Duve dan ditemukan pada semua sel eukariotik. Di dalamnya, organel ini memiliki 40 jenis enzim hidrolitik asam seperti protease, nuklease, glikosidase, lipase, fosfolipase, fosfatase, ataupun sulfatase. Semua enzim tersebut aktif pada pH 5. Fungsi utama lisosom adalah endositosis, fagositosis, dan autofagi.

Enzim yang mencernakan polisakarida, lipid, fosfolipid, asam nukleat dan protein semuanya terdapat dalam lisosom. Organel ini juga berperan penting dalam matinya sel-sel. Bila sel luka atau mati, lisosom membantu dalam menghancurkannya. Hal ini bermanfaat sekali sehingga sel sekarat dapat mengganti sel rusak tersebut. Lisosom terutama ditemukan dalam segala macam sel hewan.



Gambar 3.12 Struktur lisosom pada sel hewan (Campbell, 2008)

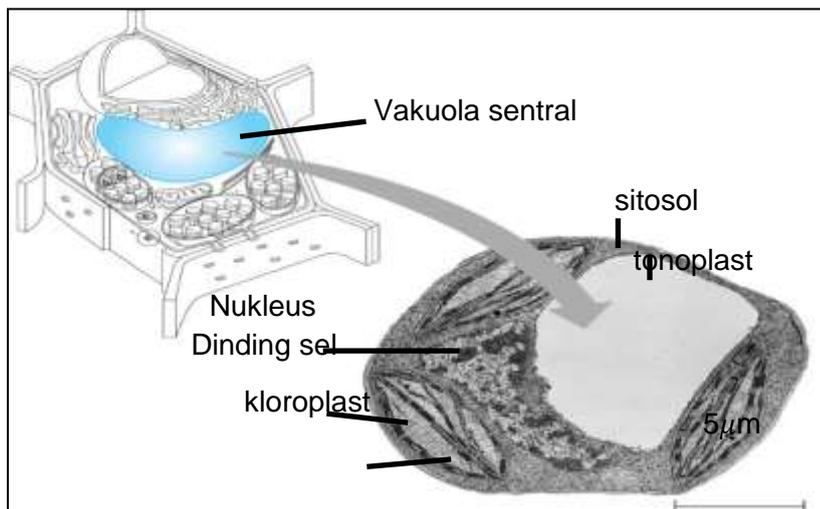
8. Vakuola

Vakuola merupakan ruang dalam sel yang berisi cairan (cell sap). Cairan ini adalah air dan berbagai zat yang terlarut di dalamnya. Vakuola ditemukan pada semua sel tumbuhan namun tidak dijumpai pada sel hewan dan bakteri, kecuali pada hewan uniseluler tingkat rendah. Sel tumbuhan yang muda berisi banyak vakuola yang kecil-kecil tetapi dengan matangnya sel, maka kemudian

terbentuk vakuola tengah yang besar. Vakuole kemungkinan juga berisi molekul makanan yang terlarut, bahan buangan dan pigmen.

Fungsi vakuola adalah :

1. Memelihara tekanan osmotik sel
2. Penyimpanan hasil sintesa berupa glikogen, fenol dan bahan lainnya
3. Mengadakar sirkulasi zat dalam sel.



Gambar 3.13 Struktur vakuola pada sel tumbuhan (Campbell, 2008)

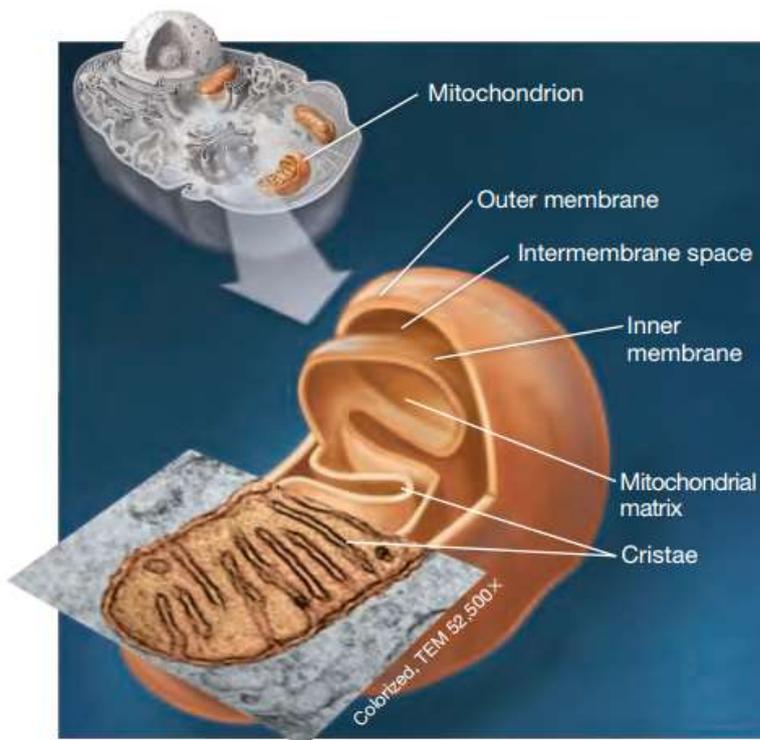
9. Mitokondria

Mitokondria adalah tempat di mana fungsi respirasi pada makhluk hidup berlangsung. Mitokondria adalah "pembangkit tenaga" bagi sel. Mitokondria banyak terdapat pada sel yang memiliki aktivitas metabolisme tinggi dan memerlukan banyak ATP dalam jumlah banyak, misalnya sel otot jantung. Jumlah dan bentuk mitokondria bisa berbeda-beda untuk setiap sel. Mitokondria berbentuk elips dengan diameter 0,5 μm dan panjang 0,5 – 1,0 μm.

Struktur mitokondria terdiri dari empat bagian utama, yaitu membran luar, membran dalam, ruang antar membran, dan matriks yang terletak di bagian dalam membran [Cooper, 2000]. Bentuk organel ini bulat atau berbentuk tongkat. Setiap mitokondria dibatasi oleh membran ganda. Membran luar merupakan batas halus yang tidak putus-putus bagi mitokondria tersebut. Membran dalam berulang-ulang diperluas menjadi lipatan-lipatan yang masuk ke dalam ruang dalam mitokondria tersebut.

Membran luar terdiri dari protein dan lipid dengan perbandingan yang sama serta mengandung protein porin yang menyebabkan membran ini bersifat permeabel terhadap molekul-molekul kecil yang berukuran 6000 Dalton. Membran luar mitokondria menyerupai membran luar bakteri gram-negatif. Selain itu, membran luar juga mengandung enzim yang terlibat dalam biosintesis lipid dan

enzim yang berperan dalam proses transpor lipid ke matriks untuk menjalani β -oksidasi menghasilkan Asetil KoA.



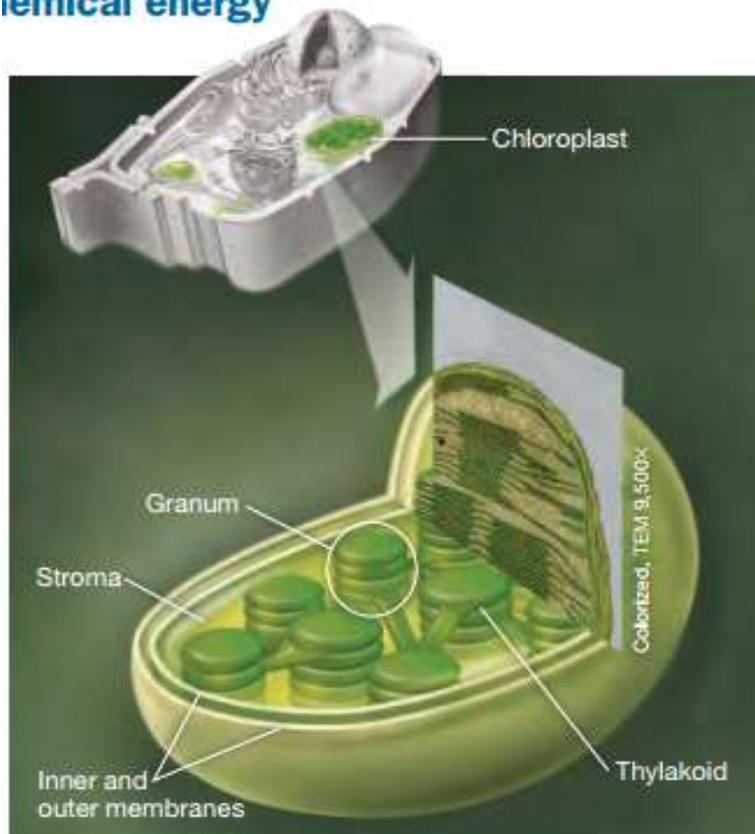
Gambar 3.14 Mitokondria, tempat berlangsungnya respirasi sel (Campbell, 2017)

10. Kloroplast

Organel ini terdapat pada sel-sel tumbuhan dan ganggang tertentu. Berukuran 2-5 mikron m, ditemukan dalam daun dan organ tumbuhan hijau lain. Mengandung klorofil pigmen hijau bersama dengan enzim & molekul lain yang berfungsi dalam produksi makanan dengan jalan fotosintesa. Dalam kloroplast terdapat sistem membran yang lain yang disusun menjadi kantung-kantung pipih yang disebut tilakoid dan membentuk struktur yang disebut grana. Sementara itu cairan diluar tilakoid disebut stroma.

Pada sel tumbuhan kloroplas biasanya dijumpai dalam bentuk cakram. Satu tanaman dapat menyimpan sebanyak 50 kloroplas. Kloroplas menangkap energi matahari yang digunakan untuk fotosintesa sehingga kloroplas merupakan tempat fotosintesa. Tanpa organel ini maka kehidupan tidak akan ada.

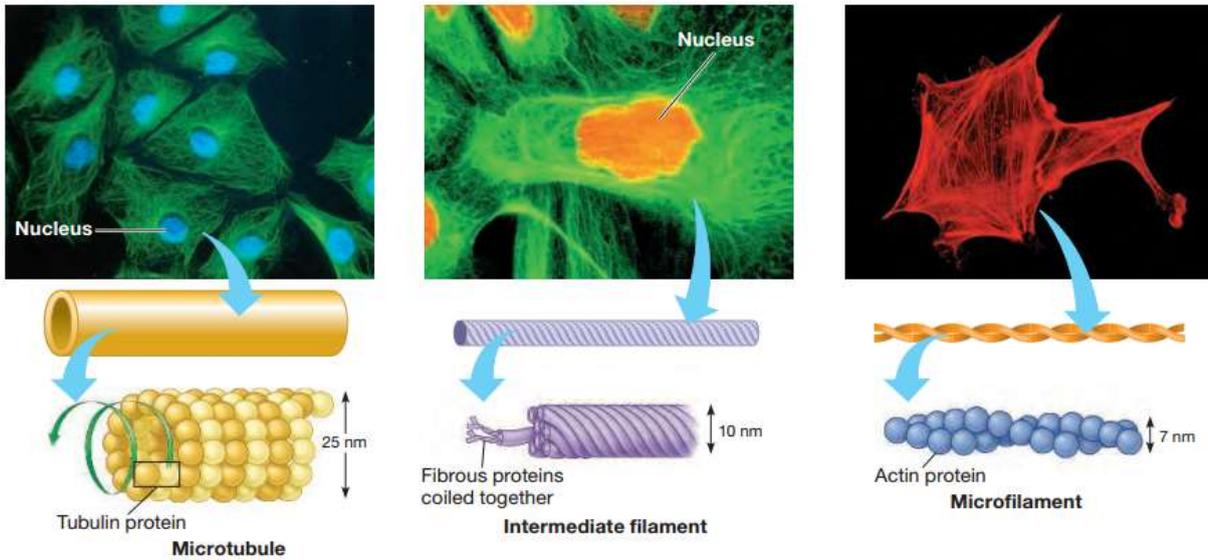
Chemical energy



Gambar 3.15 Struktur kloroplas pada tumbuhan (Campbell, 2017)

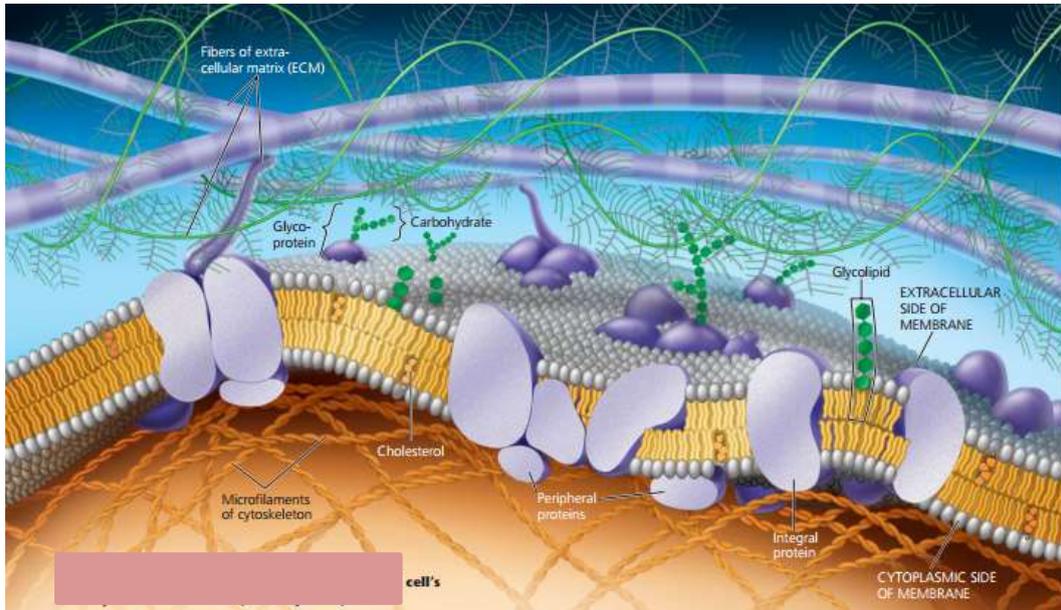
11. Sitoskeleton

Organel yang memiliki fungsi : memberikan dukungan mekanis pada sel dan mempertahankan bentuknya. Juga terlibat dalam beberapa jenis mobilitas (gerak) dan pengaturan sel. Merupakan tempat tertambatnya beberapa organel sel dan mungkin membuat seluruh sel dpt bertukar bentuk atau bergerak. Komponen penyusunnya terdiri dari : mikrotubula, mikrofilamen dan filamen intermediet
Fungsi mikrotubula : mempertahankan btk sel, motilitas sel, pergerakan kromosom pd wkt pembelahan sel, pergerakan organel. Fungsi mikrofilamen : mempertahankan bentuk sel, perubahan bentuk sel, pengaliran sitoplasma, motilitas sel. Fungsi filament intermediet untuk mempertahankan bentuk sel, tempat bertautnya nukleus dan organel tertentu lainnya, dan pembentukan lamina nukleus.



Gambar 3.16 Struktur sitoskeleton beserta komponen penyusunnya (Campbell, 2017)

BAB 4
SEL
STRUKTUR MEMBRAN DAN FUNGSI

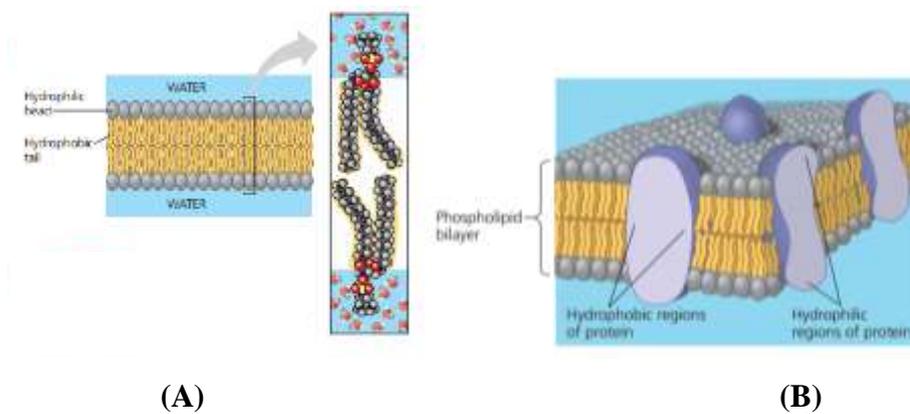


Gambar 4.1 Struktur membran sel eukariot (Campbell, 2017)

Membran plasma merupakan tepi dari suatu kehidupan, batas yang memisahkan sel hidup dari sekelilingnya. Membran merupakan lapisan yang hanya memiliki ketebalan 8 nm dan bersifat selektif permeabel yaitu membran hanya dapat ditembus dengan lebih mudah oleh substansi tertentu. Peran membran lebih jauh sebagai pembatas organel yang mampu memberikan lingkungan berbeda dalam sel sehingga metabolisme yang berlawanan reaksi dapat terjadi.

Komponen penyusun membran :

- Lipid (fosfolipid) dan protein merupakan komponen utama dari membran walaupun karbohidrat juga merupakan komponen penting. Bagaimanakah penataan fosfolipid dan protein di dalam membran sel?
- Fluid mosaic model menjelaskan bahwa membran sel berbentuk cairan dan memiliki mosaik protein yang bervariasi dan menyisip atau menempel pada lapisan ganda (bilayer) fosfolipid



(A)

(B)

Gambar 4.2 (A) lapisan fosfolipid yang terdiri dari dua lapis (lipid bilayer) (B) fluid mosaic model pada membran (Campbell, 2008)

Membran memiliki sekumpulan protein yang tertanam pada cairan matriks lipid bilayer . Lebih dari 50 macam protein ditemukan pada membran sel darah merah. Fosfolipid memang merupakan materi membran tetapi proteinlah yang menentukan sebagian besar dari fungsi membran. Sel yang berbeda memiliki kelompok protein membran yang berlainan. Terdapat dua kelompok protein membran yaitu protein integral dan protein peripheral. Protein integral memasuki/menembus bagian hidrofobik dari *lipid bilayer* pada membran. Protein peripheral sama sekali tidak tertanam dalam *lipid bilayer* membran; hanya terikat secara lepas pada permukaan membran (Gambar 1.B)

Membran sel permeabel terhadap ion tertentu dan terhadap berbagai molekul polar. Molekul nonpolar seperti hidrokarbon, karbon dioksida dan oksigen adalah hidrofobik dan dapat larut dalam *lipid bilayer* membran dan melewati membran dengan mudah tanpa bantuan dari protein membran. Namun demikian inti hidrofobik dari membran menghalangi lalu lintas ion dan molekul polar (bersifat hidrofilik). Molekul polar seperti glukosa dan gula yang lain melewati lipid bilayer dengan lambat demikian juga molekul air walaupun merupakan molekul polar yang sangat kecil. Molekul polar yang hidrofilik dapat menghindari kontak dengan lipid bilayer melalui **transport protein** yang tersebar diseluruh membran.

Air dan zat terlarut yang berukuran kecil masuk dan keluar sel dengan cara berdifusi melalui lapisan ganda lipid membran plasma atau dengan cara dipompa atau diangkut melintasi membran oleh protein transpor. Namun, molekul besar misalnya protein dan polisakarida serta partikel yang lebih besar, biasanya melintasi membran secara massal melalui mekanisme yang melibatkan pengemasan dalam vesikel dan proses ini membutuhkan energi sama seperti transpor aktif.

Eksositosis

Yaitu : Sel mensekresi molekul biologi tertentu dengan cara menggabungkan vesikel dengan membran plasma.

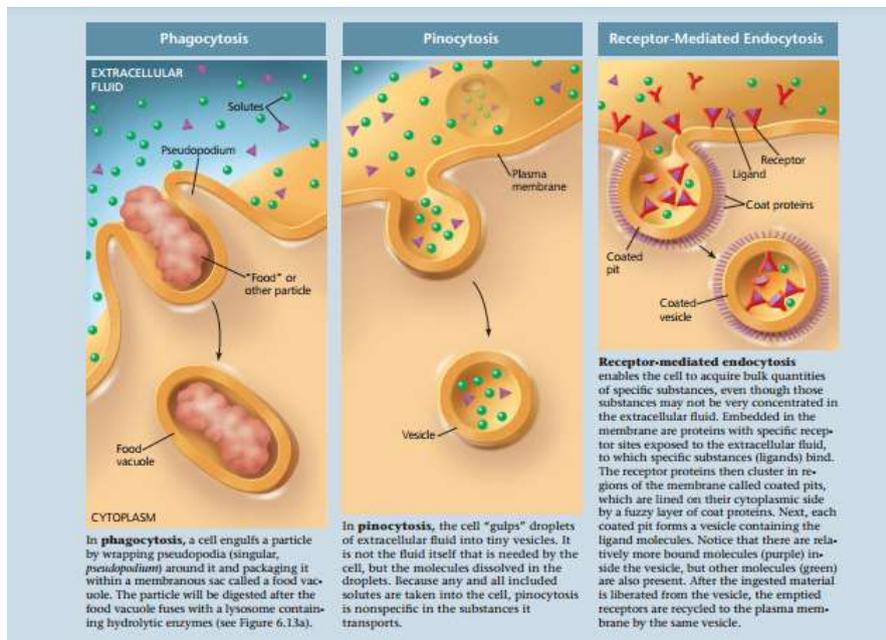
Vesikel transport yang berasal dari badan Golgi bergerak sepanjang mikrotubula sitoskeleton menuju membran plasma. Ketika membran vesikel dan membran plasma bersentuhan maka molekul lipid dari kedua bilayer mengatur diri sedemikian rupa sehingga dua membran bergabung. Isi dalam vesikel kemudian dikeluarkan dari sel, dan membran vesikel menjadi bagian dari membran plasma. Banyak dari sel sekresi menggunakan proses eksositosis untuk mengeluarkan produknya dari sel. Contoh : sel-sel pankreas yang menghasilkan insulin mensekresi insulin tersebut ke tubuh melalui eksositosis. Contoh lain adalah neuron (sel saraf) yang menggunakan eksositosis untuk melepaskan neurotransmitter yang menghantarkan signal ke neuron lain atau ke sel otot. Ketika sel tanaman

membentuk dinding sel, eksositosis membawa karbohidrat dan protein dari vesikel badan Golgi menuju luar sel.

Endositosis

Pada endositosis, sel mengambil molekul biologi dengan membentuk vesikel baru dari membran plasma. Area kecil pada membran plasma melekok kedalam sel untuk membentuk kantong. Lekukan menjadi semakin dalam dan akhirnya terlepas dari membran membentuk vesikel yang berisi materi yang berasal dari luar sel. Terdapat tiga jenis endositosis yaitu pagositosis (“cellular eating”), pinositosis (“cellular drinking”), dan receptor-mediated endocytosis (Gambar 2).

Vesikel tidak hanya mentranspor zat antara sel dan lingkungan di sekelilingnya, tetapi juga menjadi mekanisme peremajaan atau penata ulang membran plasma. Endositosis dan eksositosis terjadi secara terus menerus pada sebagian besar sel eukariot, namun jumlah membran plasma yang terdapat di dalam sel yang tidak tumbuh relatif konstan.

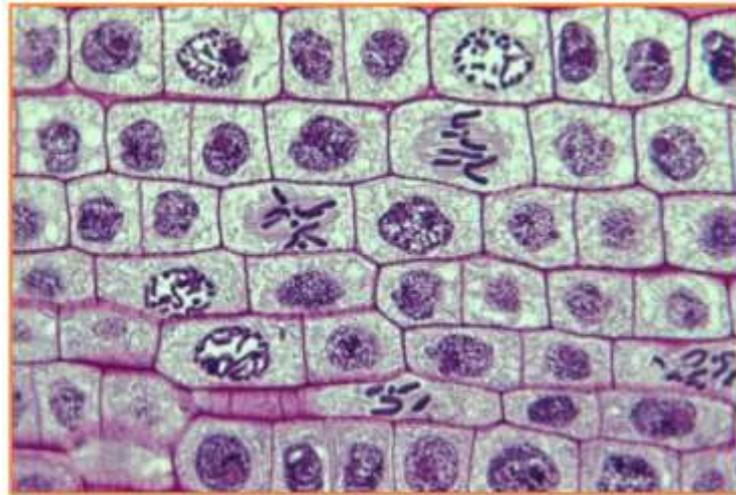


Gambar 4.3 Tiga tipe proses endositosis pada sel organisme (Campbell, 2008)

Dalam fagositosis, sel menelan partikel dengan cara menyelubungi partikel dengan pseudopodia dan mengemasnya dalam kantong berselaput membran yang cukup besar untuk digolongkan sebagai vakuola. Partikel dicerna setelah vakuola berfusi dengan lisosom yang mengandung enzim-enzim hidrolitik. Dalam pinositosis, sel mengambil droplet pada cairan ekstraseluler ke dalam vesikel kecil. Bukan cairan tersebut yang dibutuhkan oleh sel, melainkan molekul-molekul yang terlarut dalam droplet tersebut. Karena semua zat yang terlarut ditelan oleh sel, zat-zat yang ditranspor oleh pinositosis tidak bersifat spesifik. Untuk endositosis diperantarai reseptor, memungkinkan sel memperoleh zat spesifik dalam jumlah besar, meskipun zat tersebut mungkin tidak terdapat terlalu banyak dalam cairan ekstraseluler. Dalam membran tertanam protein-protein dengan

situs reseptor spesifik yang terpapar ke cairan ekstraseluler. Protein reseptor biasanya telah berkumpul di wilayah-wilayah membran yang disebut ceruk berselaput, dengan bagian yang menghadap sitoplasma dilapisi oleh lapisan rapat protein selaput. Zat-zat spesifik berikatan dengan reseptor tersebut. Ketika pengikatan terjadi ceruk berselaput membentuk vesikel yang mengandung molekul ligan. Sesudah materi yang ditelan dibebaskan dari vesikel, reseptor dikembalikan ke membran plasma oleh vesikel yang sama.

PEMBELAHAN SEL



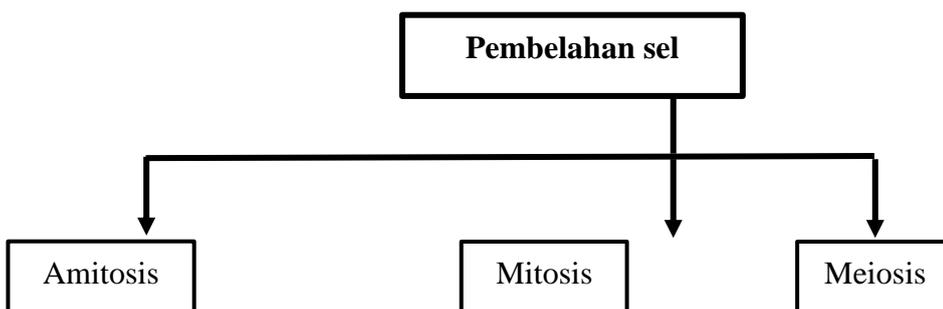
Gambar 4.4 Tahap-tahap pembelahan sel

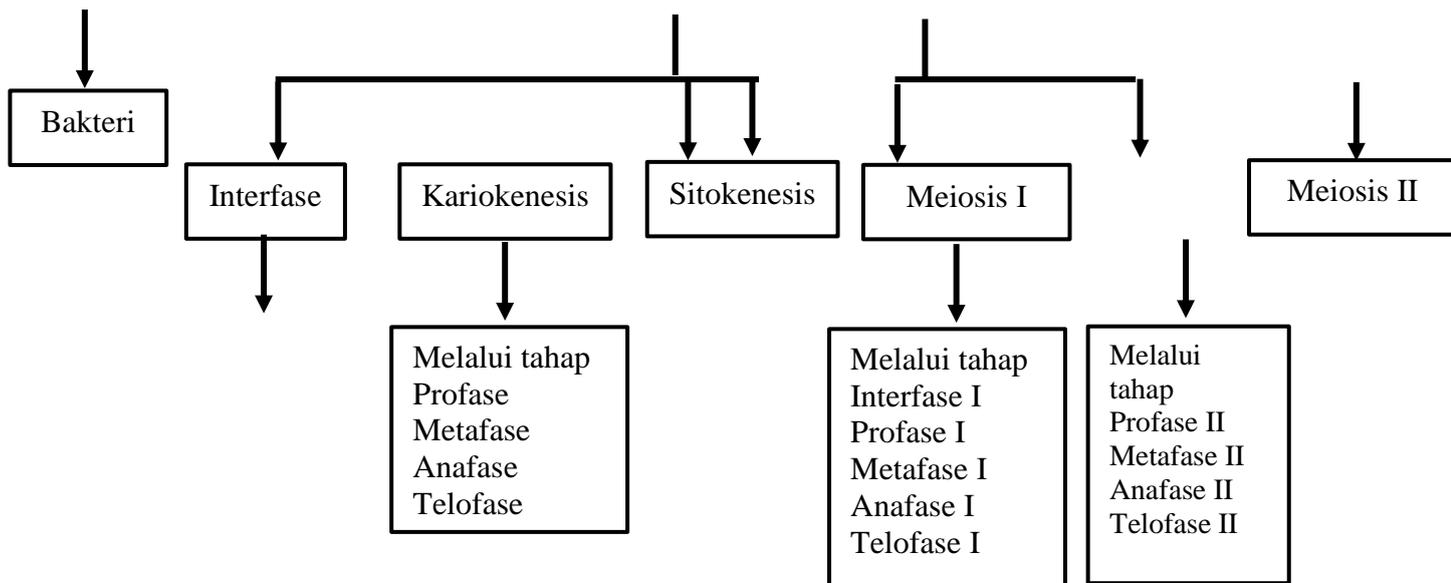
Setiap sel organisme berasal dari sel yang sudah ada sebelumnya dan dapat ditelusuri silsilah sel tersebut sampai dari telur yang dibuahi dan dari situlah kehidupan dimulai. Secara definisi pembelahan sel itu adalah. Peristiwa penambahan jumlah sel, dimana sel induk akan mentransferkan informasi genetik ke sel anak melalui proses pembelahan bertahap, yang bertujuan untuk mendapatkan anak yang memiliki informasi genetik yang sama persis dengan induknya.

Pembelahan sel memainkan peranan penting dalam kehidupan organisme. Pada organisme uniselular (Amuba) membelah dan menghasilkan keturunan yang merupakan duplikatnya, pembelahan satu sel mereproduksi individu organisme tersebut. Pembelahan pada tingkat yang lebih besar dapat menghasilkan keturunan dari beberapa organisme multiselular. Pembelahan sel juga memungkinkan organisme yang bereproduksi secara seksual untuk berkembang dari satu sel tunggal-sel telur yang difertilisasi atau zigot. Setelah organisme tumbuh, pembelahan sel terus berfungsi dalam pembaharuan dan perbaikan, menggantikan sel-sel yang mati akibat proses pemakaian dan pengikisan alami.

Proses pembelahan sel merupakan bagian integral dari siklus sel. Kehidupan sel dimulai dari saat pertama kali terbentuk dari sel induk yang membelah sehingga pembelahannya sendiri menjadi dua sel. Fungsi yang sangat penting dari pembelahan sel adalah bagaimana pembelahan sel itu mendistribusikan materi genetik yang identik ke sel-sel anaknya.

Pembelahan sel secara umum dapat dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu : amitosis, mitosis dan meiosis. Berikut gambaran masing-masing pembelahan sel :





MITOSIS

Proses pembelahan mitosis yang mudah diamati adalah pada meristem titik tumbuh akar bawang dan dengan pemberian zat warna yang sesuai akan jelas tampak kromosom-kromosom dalam sel yang membelah diri. Proses mitosis terdiri dari 4 fase yang berurutan yaitu profase, metafase, anafase dan telofase. Masa diantara pembelahan disebut sebagai Interfase.

Profase. Permulaan mitosis ditandai dengan beberapa perubahan, nukleolus mulai menghilang sedangkan kromosom mulai timbul. Untaian kromosom yang semula meluas menjadi pilinan. Dengan demikian kromosom menjadi lebih pendek dan lebih tebal sehingga tampak lebih nyata. Pada waktu itu membran nukleus mulai menghilang. Masing-masing kromosom yang ada dalam sel yang semula terbentuk kembali, berganda. Duplikatnya saling melekat di daerah khusus pada masing-masing yang dinamai sentromer (kinetokor)

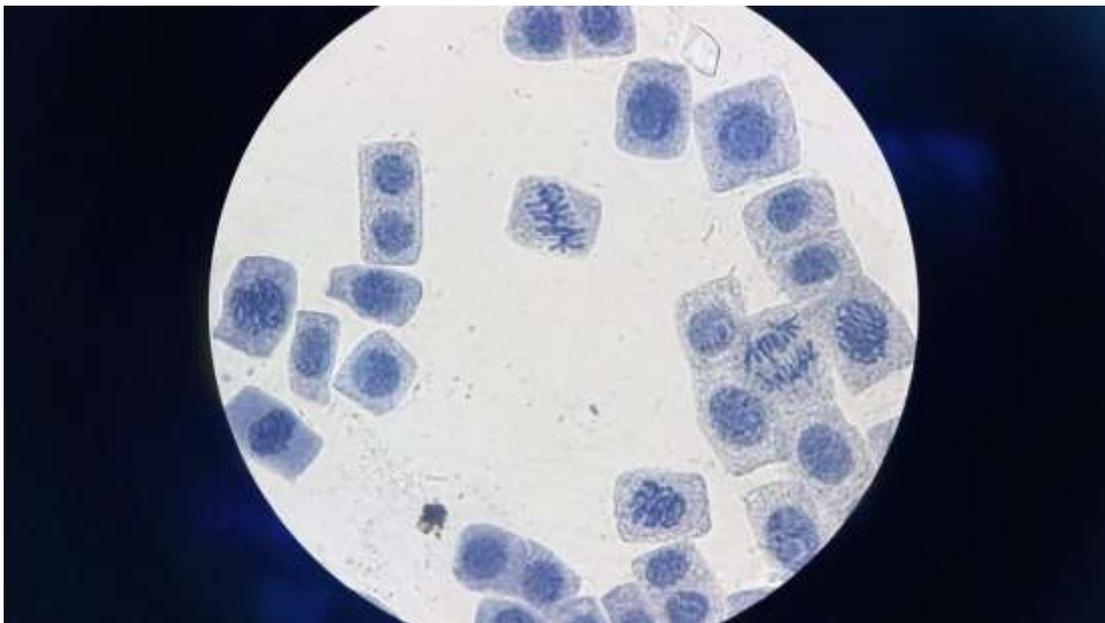
Metafase. Tahapan ini ditandai dengan munculnya gelendong. Struktur ini terjadi dari sebaris mikrotubula yang meluas di antara ujung-ujung atau kutub sel tersebut. Sentromer setiap dublet mulai terikat pada sekumpulan mikrotubula dan berpindah ke satu titik di tengah-tengah antara kutub-kutub. Ujung lepas kromosom dapat secara acak pindahannya tetapi sentromer terletak persis dalam bidang “ekuator”.

Anafase. Anafase mulai ketika kromosom yang terduplikasi dari setiap dublet saling berpisah. Bergerak memisah, masih pada gelendong dan bergerak ke kutub berlawanan sambil membawa ujung-ujungnya yang lepas dibelakangnya.

Telofase. Tahapan ini merupakan kebalikan dari profase. Begitu sampai ke kutub maka kromosom mulai membuka gulungannya. Nukleus timbul kembali, membran nukleus mulai membentuk sekitar

kromosom. Akhirnya, struktur yang disebut lempengan sel muncul di ekuator. Dinding sel di setiap sisi lempengan sel disekresi dan dengan demikian selesai pembelahan sel

Interfase. Begitu proses mitosis lengkap, maka sel mulai periode tumbuh (G1), kemudian diikuti dengan periode (S) sintesis DNA dan selama itu kromosom terduplikasi. Kemudian periode tumbuh kedua (G2) terjadi sebelum mitosis berikutnya (M). Keempat periode ini dalam proses pembelahan sel disebut sebagai “siklus sel”.



Gambar 4.5 Tahap-tahap pembelahan sel tumbuhan yang terdiri dari profase, metafase, anafase dan telofase

Terdapat dua perbedaan proses mitosis antara tumbuhan dan hewan yang dapat diamati yaitu yang pertama adalah munculnya aster. Sel-sel hewan mengandung sentriol dan pada profase, sentriol ini berpindah ke sisi berlawanan pada nukleusnya. Disini sentriol dapat membantu mengatur pembentukan gelendong. Setiap sentriol juga berkembang suatu sistem serat yang memancar yaitu aster. Perbedaan kedua adalah tidak adanya lempengan sel yang terbentuk pada mitosis sel hewan. Sebaliknya pada telofase muncul suatu alur pada membran sel yang terbentuk di ekuator. Alur ini makin dalam dan kedua sel anak menjadi terpisah. Proses mitosis dapat diselesaikan dalam waktu sembilan menit sampai berjam-jam. Lamanya waktu sangat beragam sesuai dengan tipe sel, spesie dan suhu.

MEIOSIS

Proses pembelahan ini terjadi diantara proses pembentukan zigot dan pembentukan gamet, yang terdiri dari dua pembelahan sel secara berurutan dengan satu duplikasi kromosom saja. Meiosis hanya terjadi pada fase reproduksi seksual atau pada jaringan nuftah. Pada meiosis, terjadi perpasangan

dari kromosom homolog serta terjadi pengurangan jumlah kromosom induk terhadap sel anak. Disamping itu, pada meiosis terjadi dua kali periode pembelahan sel, yaitu pembelahan I (meiosis I) dan pembelahan II (meiosis II). Meiosis I dan meiosis II terjadi pada sel tumbuhan. Demikian juga pada sel hewan terjadi meiosis I dan meiosis II. Baik pada pembelahan meiosis I dan II, terjadi fase-fase pembelahan seperti pada mitosis. Oleh karena itu dikenal adanya profase I, metafase I, anafase I, telofase I, profase II, metafase II, anafase II, dan telofase II. Akibat adanya dua kali proses pembelahan sel, maka pada meiosis, satu sel induk akan menghasilkan empat sel baru, dengan masing-masing sel mengandung jumlah kromosom setengah dari jumlah kromosom sel induk.

Tahapan meiosis

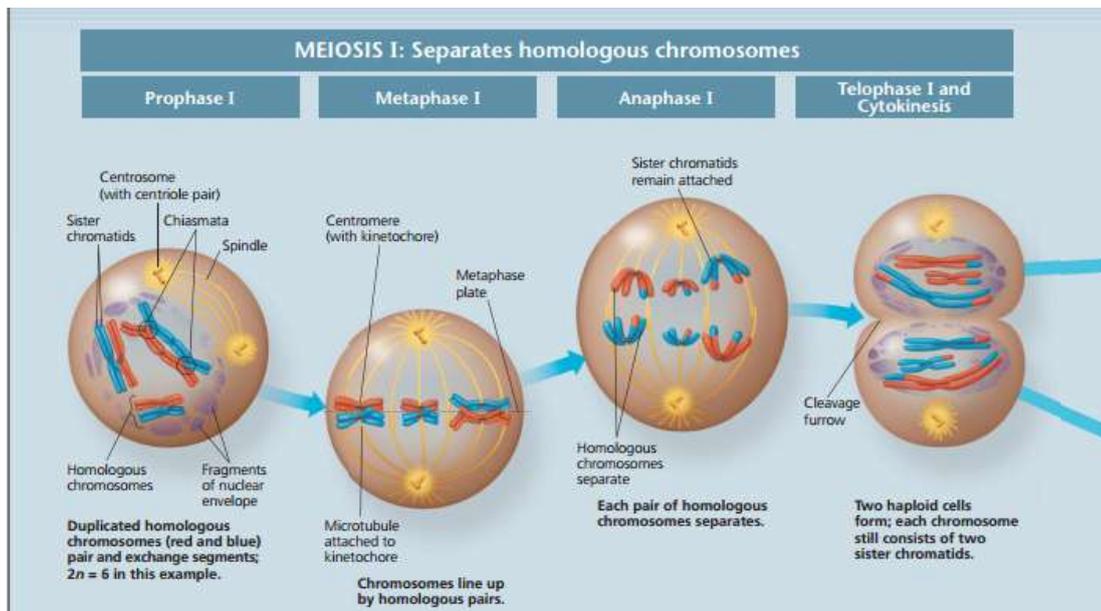
Pembelahan I

Profase I. Proses ini merupakan proses yang lebih lama dan lebih rumit dibanding dengan mitosis. Pada waktu profase berlangsung, setiap kromosom dalam sel tersebut berpasang-pasangan dengan homolognya menurut panjangnya. Proses berpasangan ini (sinopsis) merupakan ciri yang amat khas bagi meiosis dan tidak ada dalam mitosis. Homolog yang berpasangan ini disebut bivalen

Metafase I. Pada meiosis menyerupai metafase pada mitosis dengan hilangnya membran nukleus dan munculnya gelendong. Sentromer setiap pasangan homolog menjadi tertempel pada gelendongnya, satu diatas dan satu lagi dibawah ekuator.

Anafase I dan telofase I. Kedua sentromer setiap bivalen berpindah ke kutubnya masing-masing. Hal ini memisahkan bivalen tersebut. Telofase menghasilkan dua sel, masing-masing hanya mempunyai satu anggota dari setiap pasangan homolog kromosomnya yang terdapat pada sel asalnya (walau homolog asalnya telah saling bertukar satu atau lebih segmen kromatid)

Interkinesis. Pada beberapa organisme baik telofase maupun interfase tidak memisahkan meiosis I dan meiosis II. Sel itu langsung dari anafase I ke profase II. Tetapi pada organisme yang mempunyai interfase antara kedua pembelahan tersebut tidak ada fase S, jadi tidak terjadi sintesis DNA.

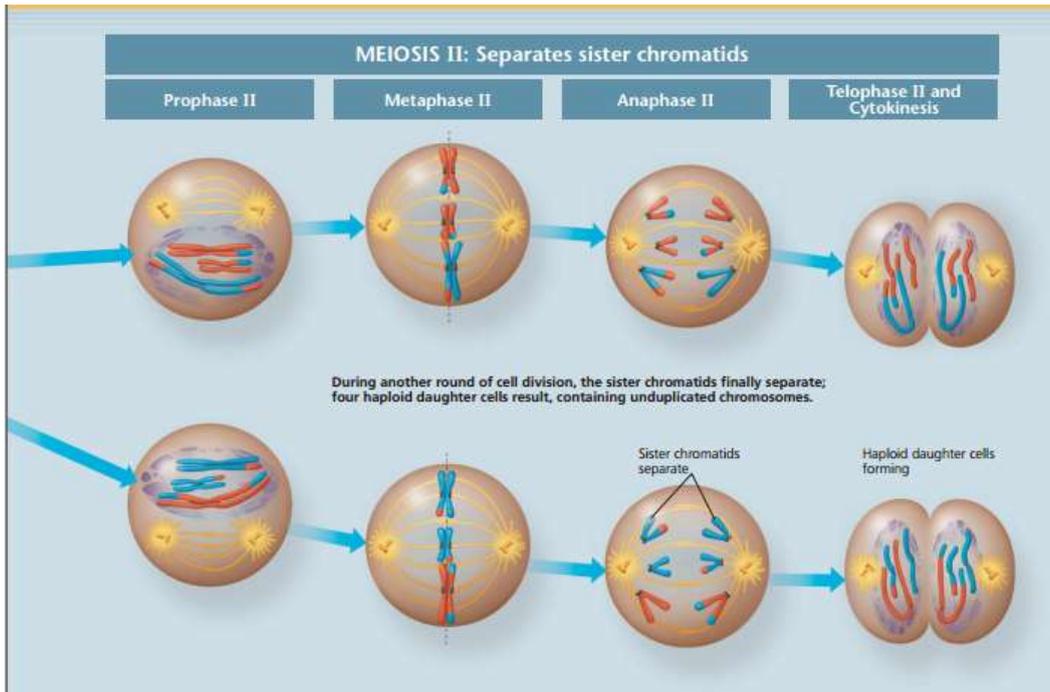


Gambar 4.6 Tahapan pembelahan Meiosis I (Campbell, 2017)

Pembelahan II

Pada proses pembelahan ini, kromosom masih terdapat sebagai dublet (bentuk kembar). Sentromer melekat pada gelendong dan menunjuk ke arah ekuator pada metafase II. Pemisahan sentromer-sentromer kromatid se-asal dalam anafase II memisahkan kromatid-kromatid dan masing-masing ditarik ke kutubnya.

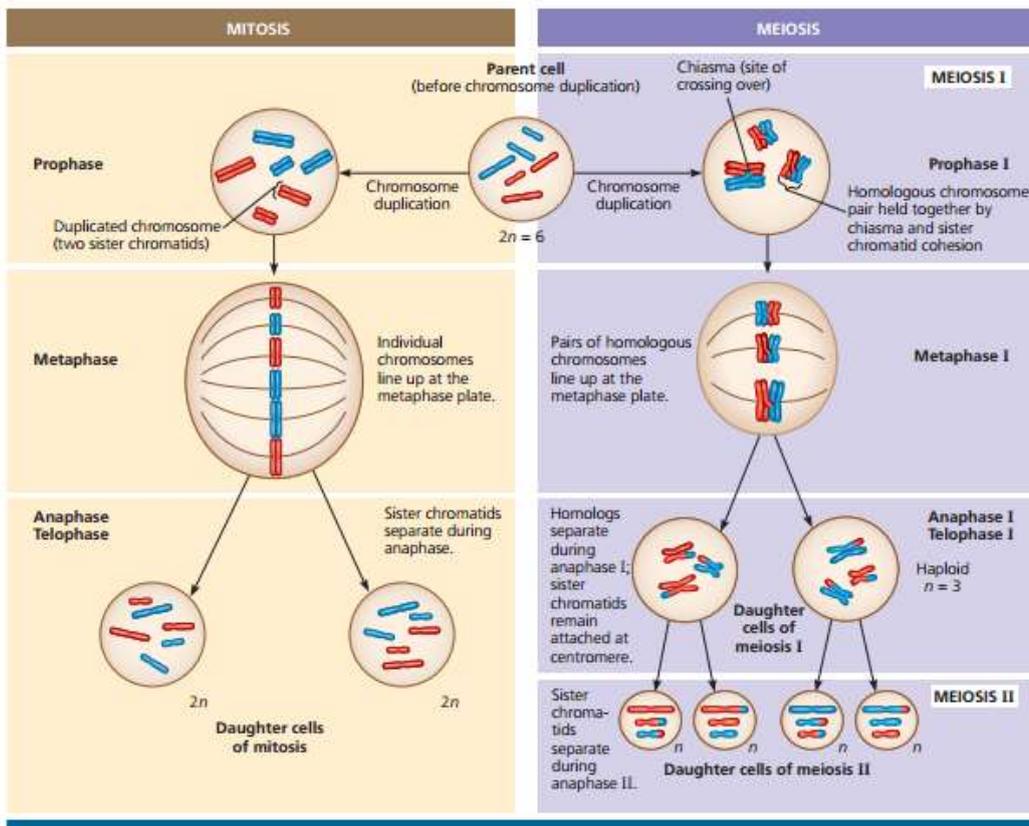
Setelah proses pembelahan meiosis ke dua selesai, maka terbentuk empat sel. Masing-masing mengandung satu anggota sepasang homolog kromosomnya saja yang terdapat dalam sel aslinya. Jadi sel-sel ini hanya mengandung setengahnya (jumlah haploid) dari kromosom induknya. Dua diantara keempat sel yang dihasilkan memiliki kromosom maternal atau paternal yang tidak diubah, yang lainnya mempunyai kromosom yang mengandung kedua bagian dari maternal (induk betina) dan paternal (induk jantan).



Gambar 4.7 Tahapan pembelahan Meiosis II (Campbell, 2017)

Secara umum, proses pembelahan sel terjadi secara mitosis. Pada mitosis, setiap kromosom dalam sel di duplikasi dan satu perangkat lengkap kromosom didistribusikan pada setiap nukleus anak. Setiap sel anak menerima salah satu dari kedua nukleus identik yang dihasilkan mitosis. Pembelahan mitosis berlangsung dalam empat tahap propase, metafase, anafase dan telofase.

Pada pembelahan meiosis, dua induk menyumbang informasi genetik kepada keturunannya. Meiosis terdiri atas dua tahap pembelahan nukleus secara berurutan yaitu Meiosis I dan Meiosis II dengan hanya satu duplikasi kromosom-kromosomnya. Keempat sel yang dihasilkan oleh meiosis mengandung setengah jumlah kromosom sel induknya, walau satu dari setiap macam kromosom terwakili.



Gambar 4.8 Perbedaan proses pembelahan antara Mitosis dan Meiosis



BAB 5
PENGANTAR METABOLISME SEL
Transport SelS

Semua organisme hidup memerlukan materi dan energi dari lingkungannya agar tetap hidup. Penyediaan materi dan energi dari bahan organik, disebut heterotrofik, terjadi pada organisme heterotrof seperti hewan dan mikroorganisme tanpa klorofil. Hewan memperoleh bahan makanan dari bahan organik dari organisme lain. Karbohidrat diperoleh dari beras yang disintesis oleh tumbuhan, dan daging sebagai sumber protein dari hewan yang lain.

Makanan padat dirombak menjadi molekul kecil & mudah larut sebelum digunakan sel.(digesti).

Proses digesti (proses enzimatis) :

- 1) polisakarida --- glukosa
- 2) protein ---- asam amino
- 3) lemak ---- asam lemak dan gliserol
- 4) asam nukleat --- nukleotida

Poses digesti mengecilkan ukuran molekul

Memudahkan penyerapan dari cairan ekstra sel (CES) ke sitoplasma sel.

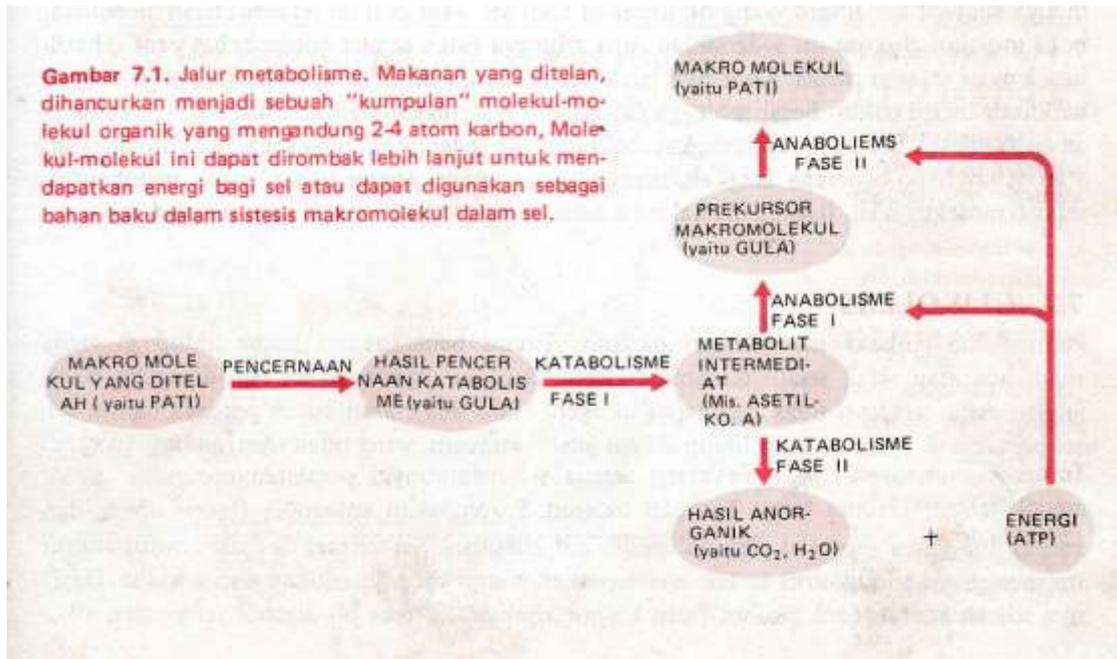
Anabolisme dan Katabolisme

Setelah melalui proses digesti atau pencernaan makanan, maka molekul-molekul organik kecil akan masuk dalam sel. Bagaimana nasib molekul organik kecil setelah masuk kedalam sel, biasanya diperkecil lagi 2-4 atom karbon dan selanjutnya menghadapi dua pilihan, yaitu:

- 1) bahan baku pembuatan glukosa, lemak, asam amino----- makromolekul: polisakarida, lipid, asam amino, asam nukleat dari sel
- 2) dirombak lebih lanjut mejadi CO_2 , H_2O dan NH_3 + energi

Anabolisme adalah tahapan metabolisme dimana molekul kompleks dibuat dari molekul yg kecil dan sederhana. Misalnya tumbuhan mensintesis glukosa dari CO_2 dan H_2O melalui proses fotosistesis.

Katabolisme adalah tahapan metabolisme dimana molekul kompleks yang kaya energi dirombak menjadi molekul sederhana yg miskin energi. Pada semua organisme melakukan respirasi sel, baik secara aerob maupun anaerob untuk menghasilkan energi, sehingga dapat melakukan aktivitas hidupnya.



Gambar 1. Jalur digesti dan metabolisme pada organis heterotrof (Kimball, 1992)

Makanan berupa karbohidrat/pati yang dimakan oleh organisme heterotrof akan masuk ke saluran pencernaan dan dicerna secara fisik maupun enzimatik. Hasil dari proses pencernaan ini adalah berupa gula/glukosa. Glukosa selanjutnya akan dibawa oleh cairan ekstra sel (CES) ke seluruh sel tubuh dan masuk ke dalam sitoplasma sel.

Sebelum masuk ke sitoplasma sel glukosa akan mengalami proses katabolisme fase satu, yaitu menghasilkan metabolit intermediet (misalnya asetil CoA). Di sitoplasma sel, molekul metabolit intermediet (asetil CoA) dapat menempuh dua jalur, yaitu katabolisme fase dua atau anabolisme fase satu. Pada jalur katabolisme fase 2, molekul intermediet (asetil CoA) akan dipecah menjadi molekul-molekul anorganik yang kecil, yaitu CO₂ dan H₂O dengan menghasilkan energi kimia berupa ATP (proses respirasi sel).

Apabila menempuh jalur anabolisme fase satu, molekul intermediet (asetil CoA) akan disintesis menjadi molekul-molekul yang berukuran lebih besar, dengan menggunakan energi kimia yang telah dihasilkan pada katabolisme fase 2 (proses respirasi sel). Molekul intermediet (asetil CoA), akan disintesis menjadi prekursor makromolekul glukosa, dan selanjutnya akan pada anabolisme fase dua akan disintesis menjadi molekul-molekul yang lebih besar lagi yaitu karbohidrat.

Transport Antar Sel

Keadaan lingkungan Sel

Lingkungan suatu sel berupa cairan, contoh sel amuba hidup di air, lingkungan sel amuba adalah air. Sel tubuh kita, dikelilingi cairan interstisium, berasal dari darah. Cairan yg mengelilingi sel,

secara umum disebut Cairan Ekstra Sel (CES)

Komposisi CES:

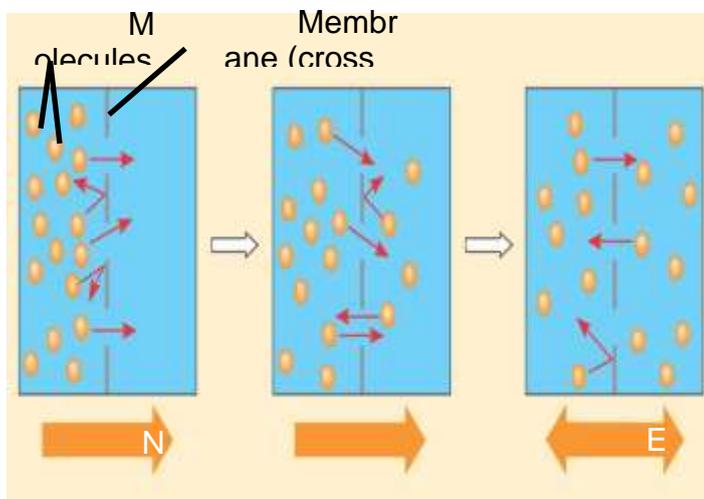
1. Air
2. Gas (oksigen dan karbondioksida)
3. Ion anorganik (Na^+ , Cl^- , K^+ , Ca^{++} , HCO_3^- , PO_4^{2-} , Cu^{++} , Zn^{++} , Mn^{++} , Co^{++} , I_2 , F^-)
4. Zat organik (makanan: glukosa, asam lemak, asam amino, vitamin)
5. Hormon
6. Limbah dari sel (amonia dan urea)

Bagaimana Sel tukar menukar zat dengan Cairan Ekstra Sel (CES)

1. Difusi

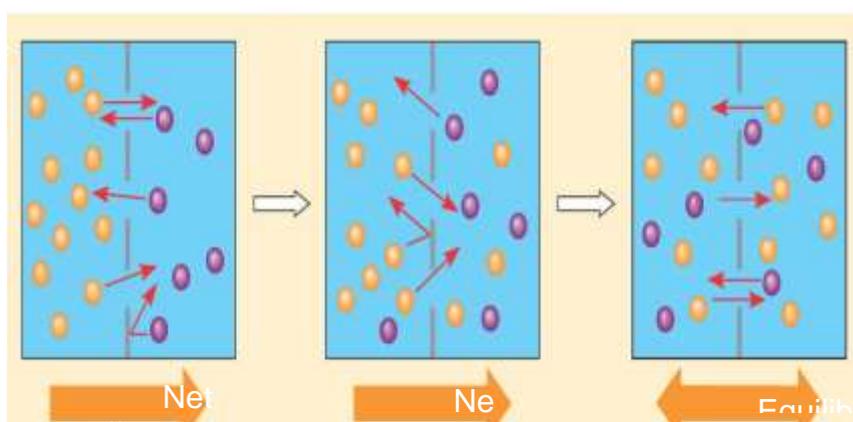
Difusi: Gerakan molekul terlarut dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah. Kecepatan difusi zat melalui membran : gradien konsentrasi, besar/ukuran molekul, muatan, daya larut dalam lipid. Proses terjadinya difusi diilustrasikan pada gambar dibawah ini.

Diffusion of one solute. The membrane has pores large enough for molecules of dye to pass through. Random movement of dye molecules will cause some to pass through the pores; this will happen more often on the side with more molecules. The dye diffuses from where it is more concentrated to where it is less



Gambar: Proses Difusi (dalam satu larutan)

Diffusion of two solutes. Solutions of two different dyes are separated by a membrane that is permeable to both. Each dye diffuses down its own concentration gradient. There will be a

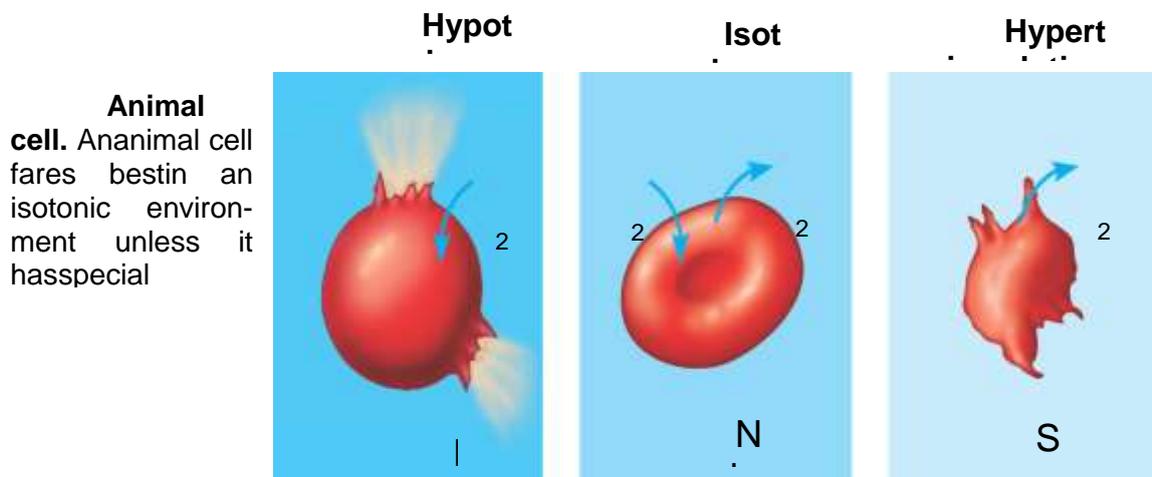


Gambar: Proses Difusi (dua larutan)

2. Osmosis

Difusi air (pelarut) melalui membran sel dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah . Penting untuk pertukaran air antara sel dan lingkungannya

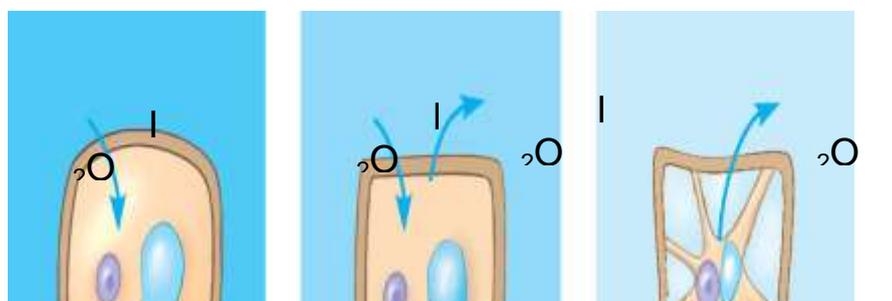
Osmosis Pada Hewan



Gambar: Osmosis pada sel hewan

Osmosis pada sel tumbuhan

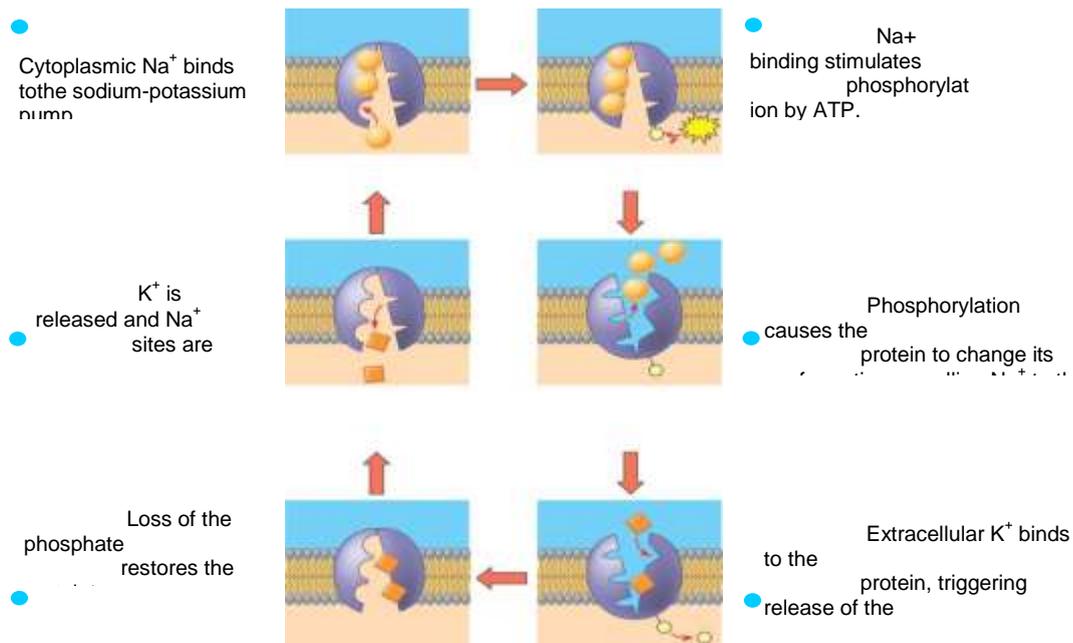
Plant cell. Plant cells are turgid (firm) and generally healthiest in a hypotonic environment.



Gambar: Osmosis pada sel tumbuhan

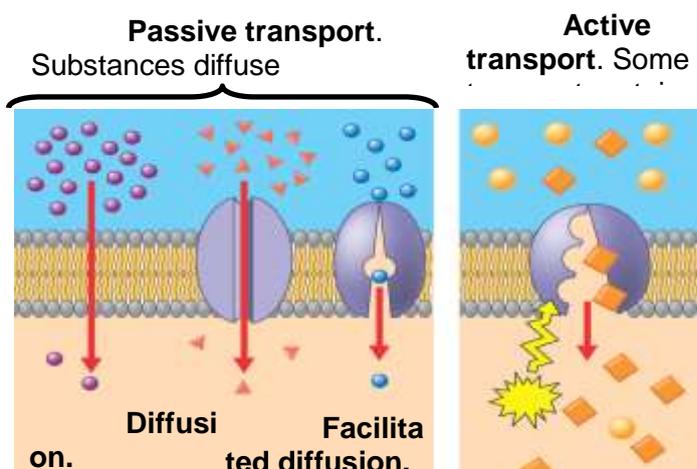
3. Transport aktif

Gerakan ion dan molekul melewati membran dari konsentrasi rendah ke konsentrasi tinggi (melawan gradien konsentrasi). Pada proses transport ini memerlukan energi berupa ATP.

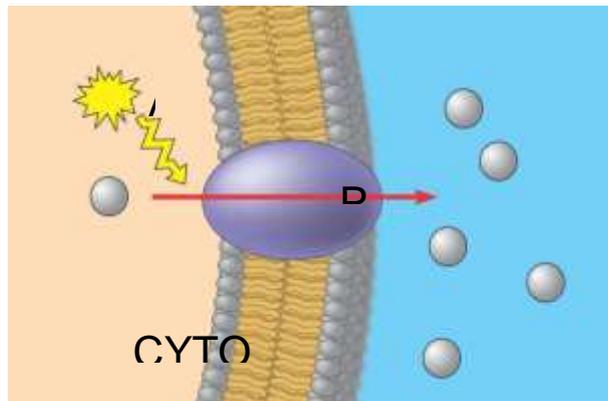


Gambar: Proses Transport aktif

Perbedaan transpor pasif dan transpor aktif



Gambar: Perbedaan transport pasif dan transport aktif



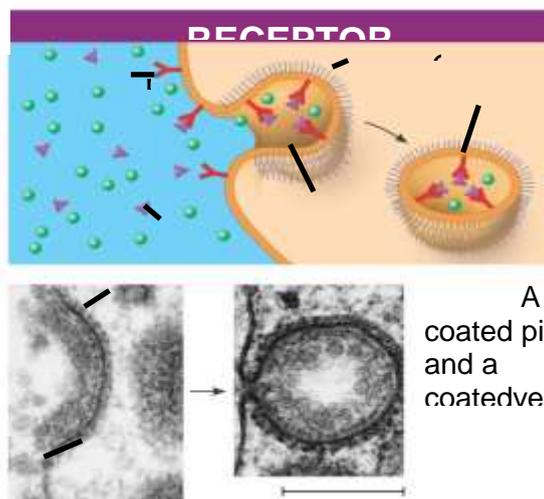
Gambar: Transpor aktif (Pompa Proton)

4. Endositosis/Fagositosis

Pengangkutan dgn membungkus bahan, dengan cara melekkukan sebagian membran sel ke dalam. Kantung yg terbentuk melepaskan diri dr bagian luar membran dan membentuk vakuola di dalam sitoplasma. Vakuola endositosis bersatu dengan lisosom membentuk vakuola skunder. Enzim lisosom mencerna zat dlm vakuola

Endositosis

Receptor-mediated endocytosis enables the cell to acquire bulk quantities of specific substances, even though those substances may not be very concentrated in the extracellular fluid. Embedded in the membrane are proteins with specific receptor sites exposed to the extracellular fluid. The receptor proteins are

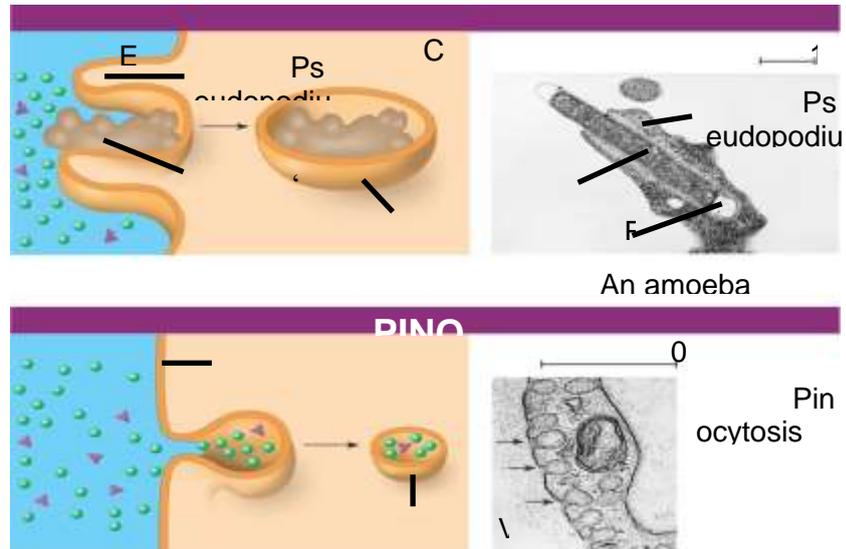


Gambar: Proses Endositosis

5. Eksositosis

Bahan terkumpul dalam sebuah kantung dilapisi membran dari aparat golgi. Bergerak ke permukaan sel dimana membrannya lalu melekat pd membran sel, dan mengosongkan isinya ke luar sel.

In **pinocytosis**, the cell “gulps” droplets of extracellular fluid into tiny vesicles. It is not the fluid itself that is needed by the cell, but the molecules

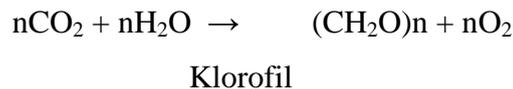


Gambar: Proses Pinositosis

FOTOSINTESIS

Anabolisme adalah tahapan metabolisme dimana molekul kompleks dibuat dari molekul yg kecil dan sederhana (Fotosintesis). Tumbuhan dan ganggang hijau bersifat autotrof. Organisme autotrof, mampu menangkap energi matahari untuk sintesis molekul-molekul organik dari prekursor anorganik H₂O dan CO₂.

Reaksi fotosintesis:



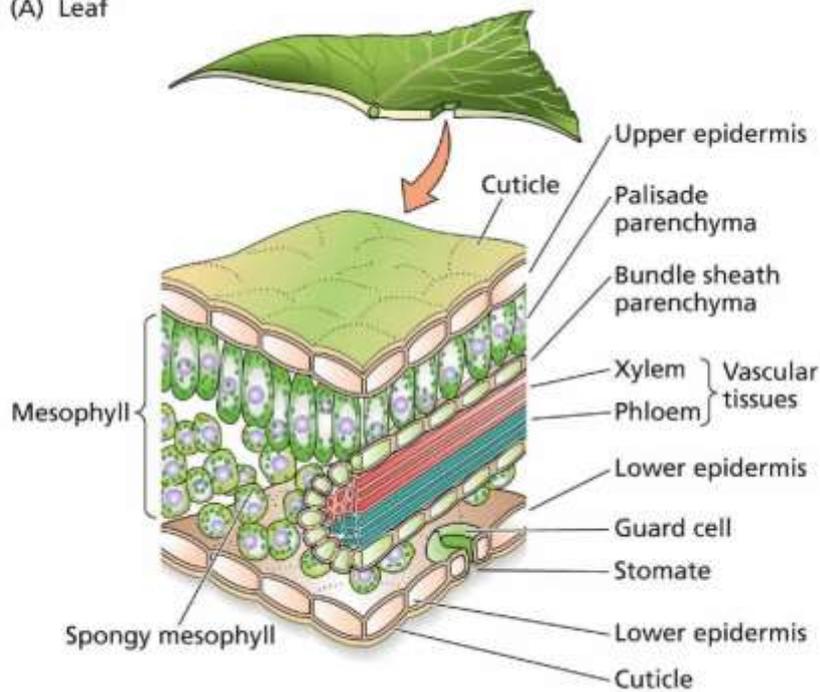
Fungsi Fotosintesis:

1. Menyediakan energi bagi organisme heterotrof.
2. Menyediakan karbon
3. Menyediakan oksigen
4. Bahan bakar fosil

Anatomi daun sebagai organ fotosintetik pada tumbuhan

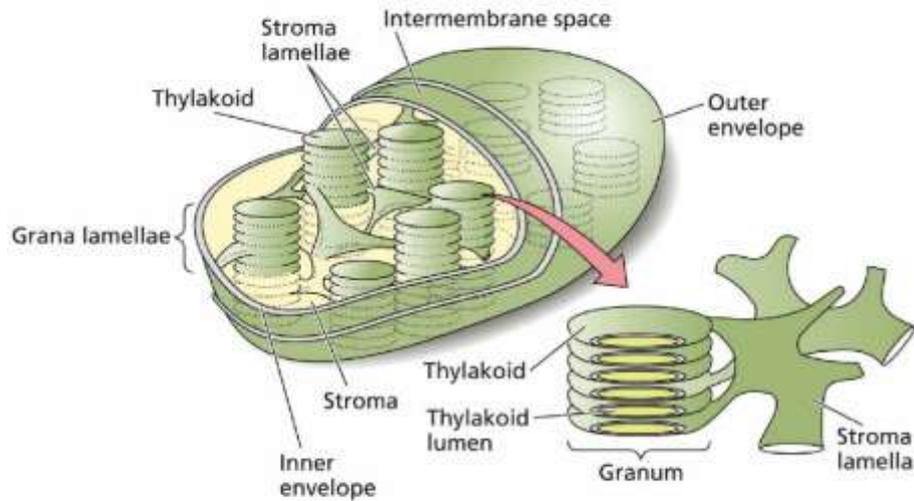
Daun dilindungi oleh jaringan epidermis, terdiri dari epidermis atas dan epidermis bawah. Diantara epidermis atas dan epidermis bawah terdapat jaringan mesofil, terdiri dari jaringan parenkim palisade dan jaringan bunga karang. Sel-sel pada jaringan parenkim palisade dan jaringan bunga karang banyak mengandung kloroplas. Kloroplas merupakan organel pada sel tumbuhan yang berfungsi untuk melakukan proses fotosintesis. Pada epidermis atas terdapat mulut daun/ stomata yang berfungsi sebagai tempat masuknya CO₂ dari atmosfer. Sedangkan gambar struktur sel tumbuhan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

(A) Leaf



Gambar: Anatomi Daun

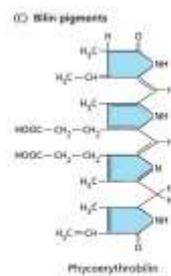
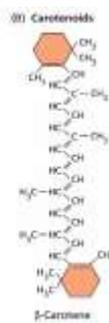
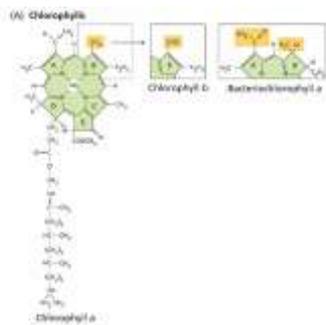
Pada bab terdahulu sudah dipelajari perbedaan antar sel hewan dan sel tumbuhan. Pada struktur sel tumbuhan terdapat organela yang disebut kloroplas, disinilah proses fotosintesis terjadi. Organela sel ini banyak terdapat pada sel mesofil daun. Kloroplas dilapisi oleh membran ganda, yang melingkupi matrik fluida yang disebut stroma, dan suatu sistem membran yang meluas yang disebut lamella. Secara berkala lamella itu membesar membentuk tillakoid, tillakoid membentuk tumbukan seperti koin yang disebut grana. Sistem membran pada kloroplas mengandung seluruh pigmen klorofil dan karotenoid, enzim sitokrom dan enzim pembentuk ATP. Gambar anatomi stomata dapat dilihat pada gambar berikut.



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 7.16 © 2010 Sinauer Associates, Inc.

Gambar: Struktur Kloroplas

Klorofil adalah pigmen yang menyerap cahaya tampak yang memiliki panjang gelombang antara 400-700 nm. Klorofil terdiri atas porfirin dengan atom magnesium ditengah cincin porfirin dan rantai samping hidrokarbon yang panjang (fitol). Karotenoid membantu mengabsorpsi energi cahaya, kemudian diteruskan ke klorofil a dan klorofil b untuk digunakan dalam fotosintesis. Perhatikan gambar molekul klorofil pada gambar dibawah ini,

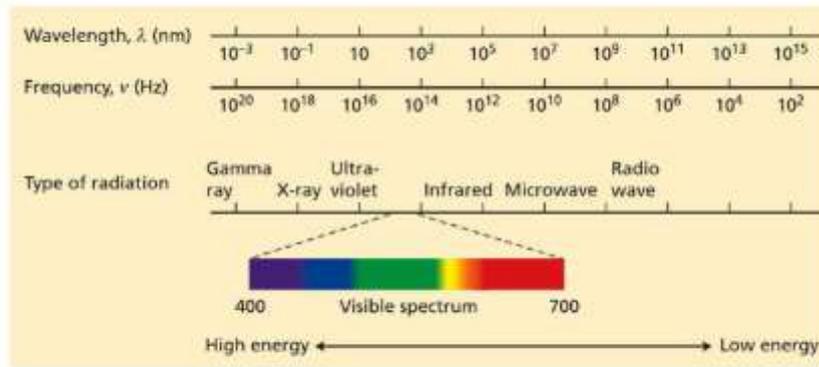


Gambar: Pigmen fotosintesis

Cahaya

Cahaya yang dapat digunakan dalam fotosintesis adalah cahaya tampak yang memiliki panjang

gelombang 400 sampai 70 nanometer. Cahaya tampak bila diuraikan akan menjadi cahaya merah, jingga, kuning, hijau, biru dan ungu. Gambar spektrum cahaya tampak dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 7.8 © 2000 Sinauer Associates, Inc.

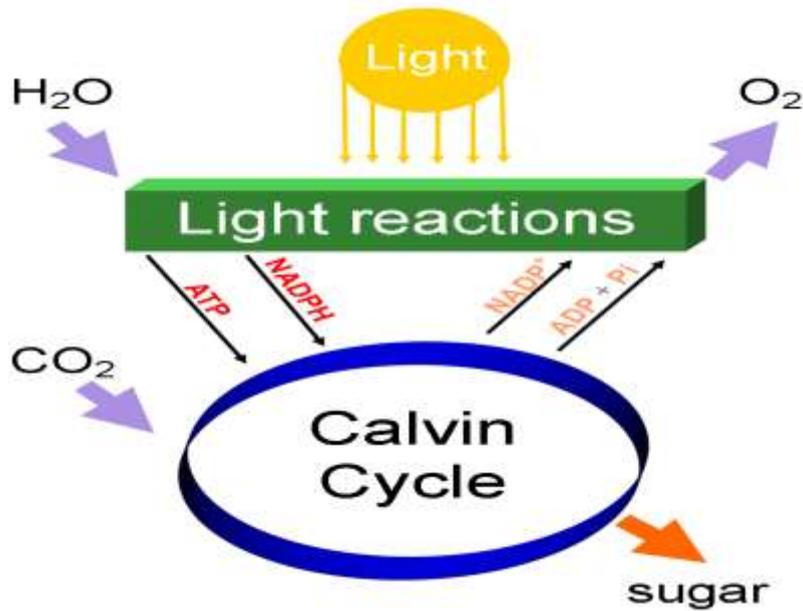
Gambar: Spektrum Cahaya Tampak

Fase Pada Reaksi Fotosintesis

Reaksi pada fotosintesis dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Fase Reaksi terang/cahaya (Light reactions)
2. Fase Reaksi gelap/Fiksasi CO₂

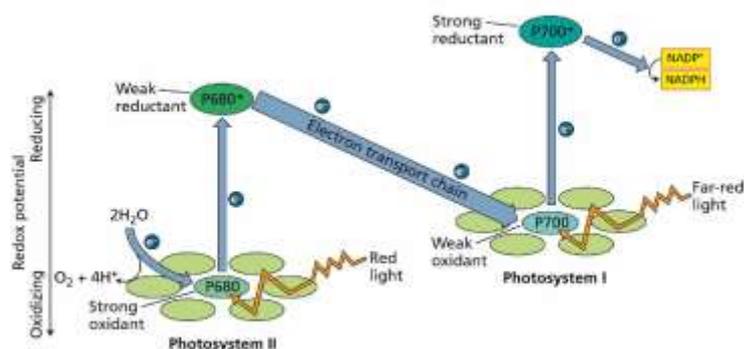
Rangkuman proses fotosintesis dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar: Rangkuman Proses Fotosintesis

Fase Reaksi terang/cahaya adalah pengubahan energi cahaya oleh pigmen klorofil menjadi energi kimia berupa NADH dan ATP. Terjadi pada membran tillakoid dari organela kloroplas. Fase Reaksi gelap/Fiksasi CO₂ adalah proses sintesis glukosa dari molekul CO₂ dengan menggunakan energi kimia NADPH dan ATP,(yang telah dibentuk pada reaksi terang). Proses sintesis glukosa melalui beberapa tahap reaksi kimia (Siklus Calvin). Reaksi gelap/fiksasi CO₂ Terjadi pada bagian stroma dari organela kloroplas

Pros reaksi terang dapat dilihat pada gambar dibawah ini

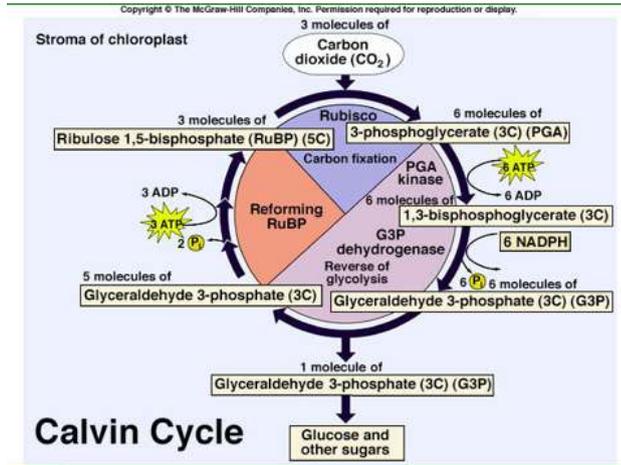


PLANT PHYSIOLOGY, Fourth Edition, Figure 1.14 © 2012 Sinauer Associates, Inc.

Gambar: Reaksi Terang Fotosintesis

Pada reaksi teang ini terjadi pengubahan energi cahaya matahari menjadi energi kimia berupa ATP dan NADPH oleh Pigmen-pigmen fotosintetik berupa klorofil a dan klorofil b, serta pigmen asesoris lainnya yang terdapat pada membran tilakoid.

Proses reaksi terang dapat dilihat pada gambar dibawah ini



Gambar: Reaksi Gelap/Fiksasi CO₂

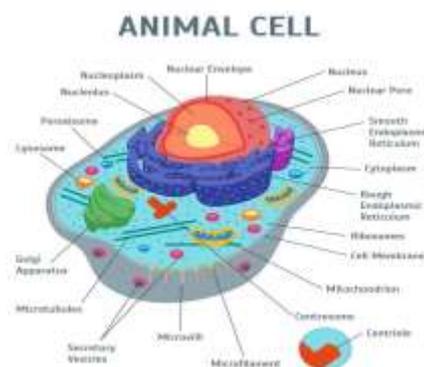
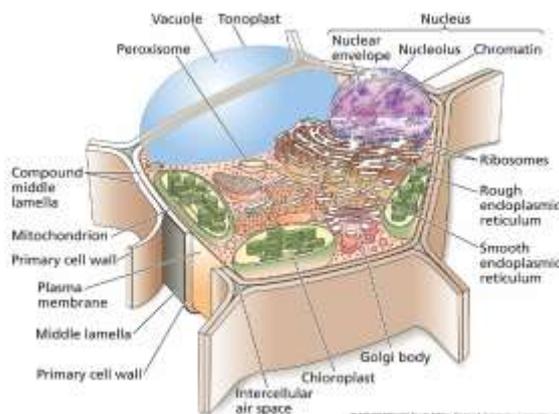
Reaksi gelap atau fiksasi CO₂ terjadi di stroma dari kloroplas, dimana CO₂ berikatan dengan molekul Ribulosa 1,5 bifosfat (RuBP) dengan dikatalis oleh enzim Ribulosa bifosfat karboksilseksidase (Rubisco) dan terbentuklah molekul 3 fosfogliserat (PGA) selanjutnya akan mengalami serangkaian reaksi kimia membentuk gliseraldehid 3 fosfat (G3P). Sebagian dari gliseraldehid 3 fosfat (G3P) digunakan untuk sintesis glukosa, dimana glukosa ini merupakan hasil dari fotosintesis.

Sebagian dari gliseraldehid 3 fosfat (G3P) yang lain melalui serangkaian reaksi kimia digunakan untuk membentuk Ribulosa 1,5 bifosfat (RuBP), dan berikatan lagi dengan CO₂. Pada Reaksi gelap atau fiksasi CO₂ diperlukan ATP dan NADPH, yang dihasilkan selama reaksi terang/reaksi cahaya. Reaksi kimia ini berbentuk siklik, sehingga disebut juga dengan Siklus Calvin sesuai dengan nama penemunya.

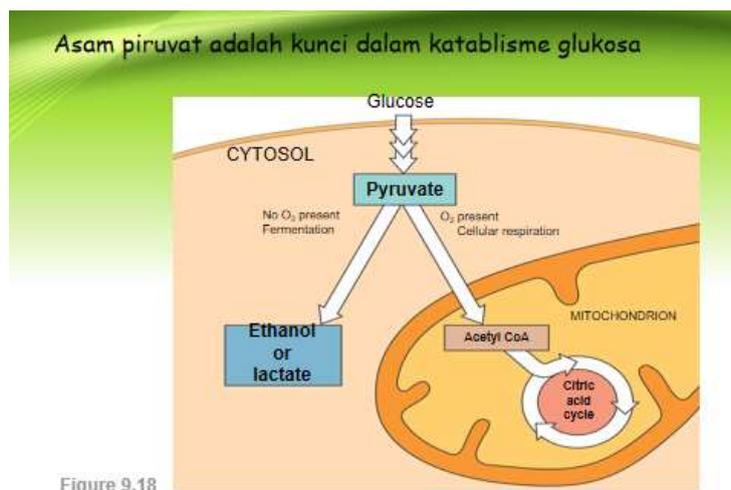
BAB 7 RESPIRASI SEL

Katabolisme adalah tahapan metabolisme dimana molekul kompleks yang kaya energi dirombak menjadi molekul sederhana yg miskin energi (Respirasi sel secara anaerob dan Respirasi aerob). Pada bab pengantar metabolisme sudah kita singgung tentang katabolisme glukosa.

Makanan berupa karbohidrat/pati yang dimakan oleh organisme heterotrof akan masuk ke saluran pencernaan dan dicerna secara fisik maupun enzimatik. Hasil dari proses pencernaan ini adalah berupa gula/glukosa. Glukosa selanjutnya akan dibawa oleh cairan ekstra sel (CES) ke seluruh sel tubuh dan masuk kedalam sitoplasma sel. Sebelum masuk ke sitoplasma sel glukosa akan mengalami proses katabolisme fase satu, yaitu menghasilkan metabolit intermediet (misalnya asetil CoA). Di sitoplasma sel, molekul metabolit intermediet (asetil CoA) dapat menempuh dua jalur, yaitu katabolisme fase dua atau anabolisme fase satu. Pada jalur katabolisme fase 2, molekul intermediet (asetil CoA) akan dipecah menjadi molekul- molekul anorganik yang kecil, yaitu CO_2 dan H_2O dengan menghasilkan energi kimia berupa ATP (proses respirasi sel).



Gambar: Sel Tumbuhan dan Sel Hewan



Gambar: Rangkuman Respirasi Sel

Glikolisis adalah perombakan glukosa tanpa oksigen. Sel-sel ragi dalam botol (anaerob), sel pertama di bumi hidup tanpa oksigen. Semua sel punya peralatan enzimatik untuk katabolisme glukosa tanpa oksigen. Sel ragi dalam botol, glikolisis untuk menghasilkan energi untuk hidup, hasil etanol dan CO₂. Disebut fermentasi alkoholik. Sel otot bekerja terlalu berat, glikolisis untuk menghasilkan energi. Hasil akhir asam laktat, disebut fermentasi asam laktat. Kebanyakan sel mampu menggunakan oksigen untuk mengkatabolisme glukosa, hasil akhir karbondioksida dan air, Proses ini disebut respirasi sel. Pada Respirasi sel, langkah permulaannya tetap sama, yaitu glikolisis.

Semua sel aktif terus melakukan respirasi, menyerap O₂ dan melepaskan CO₂

Proses keseluruhan merupakan reaksi oksidasi-reduksi, senyawa dioksidasi menjadi CO₂, sedangkan O₂ yang diserap direduksi menjadi H₂O.

Reaksi:

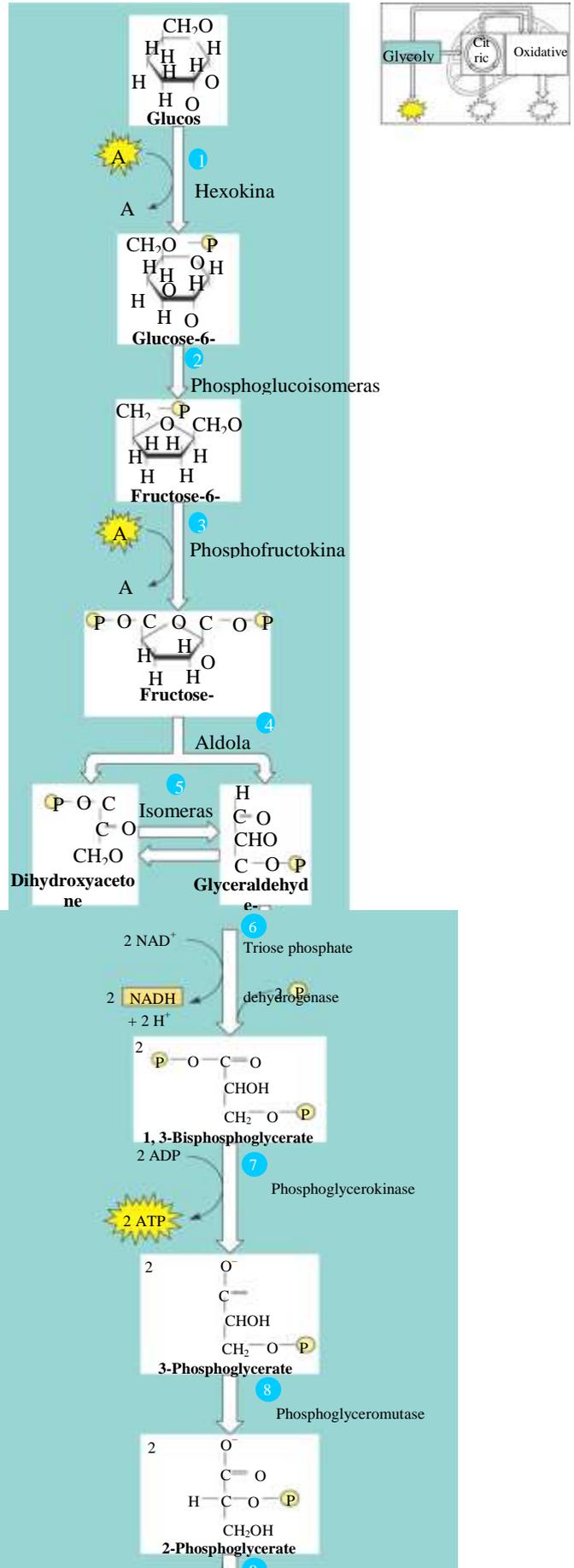


Pada keadaan aerob, sel melakukan respirasi aerob, dan bila dalam keadaan anaerob atau kurang oksigen, sel melakukan respirasi secara anaerob. Pada respirasi aerob, terjadi oksidasi glukosa secara sempurna, sehingga menghasilkan energi jauh lebih besar (36 ATP) daripada respirasi anaerob (2 ATP saja). Bila tumbuhan sedang tumbuh, laju respirasi meningkat sebagai permintaan pertumbuhan.

A. Respirasi anaerob

Tahap pertama adalah glikolisis. Hasil glikolisis yaitu asam piruvat dirubah menjadi etanol atau asam laktat. Pada respirasi anaerob, satu molekul glukosa akan menghasilkan 2 ATP. Tahapan reaksi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

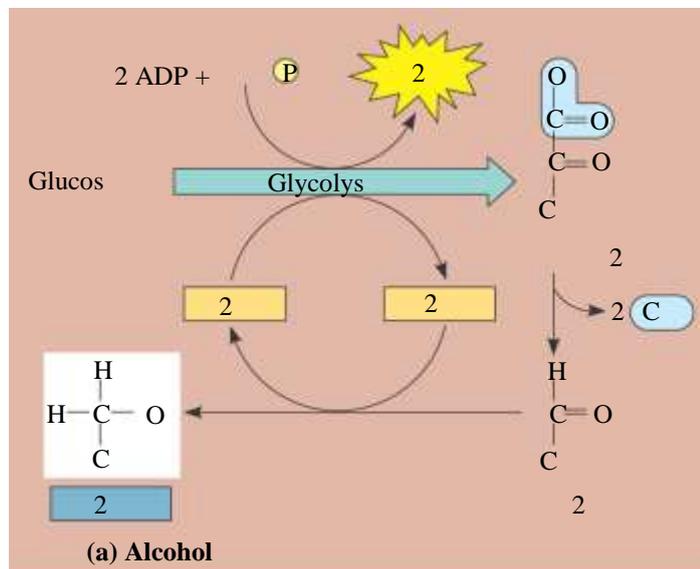
Glikolisis:



Gambar: Proses Glikolisis

Pada proses glikolisis di sitosol sel, glukosa mengalami pemecahan melalui serangkaian reaksi kimia secara anaerob dengan hasil akhir yaitu molekul asam piruvat. Pada proses glikolisis ini dihasilkan 2 molekul ATP. Pada fermentasi asam laktat yang terjadi di sel-sel otot, selanjutnya asam piruvat akan dirubah menjadi asam laktat.

Pada fermentasi alkoholik pada sel ragi, asam piruvat yang dihasilkan dari proses glikolisis akan dirubah menjadi menjadi asetaldehid, selanjutnya setaldehid akan dirubah menjadi etanol. Gambar rangkuman proses respirasi anaerob, yaitu fermentasi alkoholik dan fermentasi asam laktat disajikan dibawah ini.

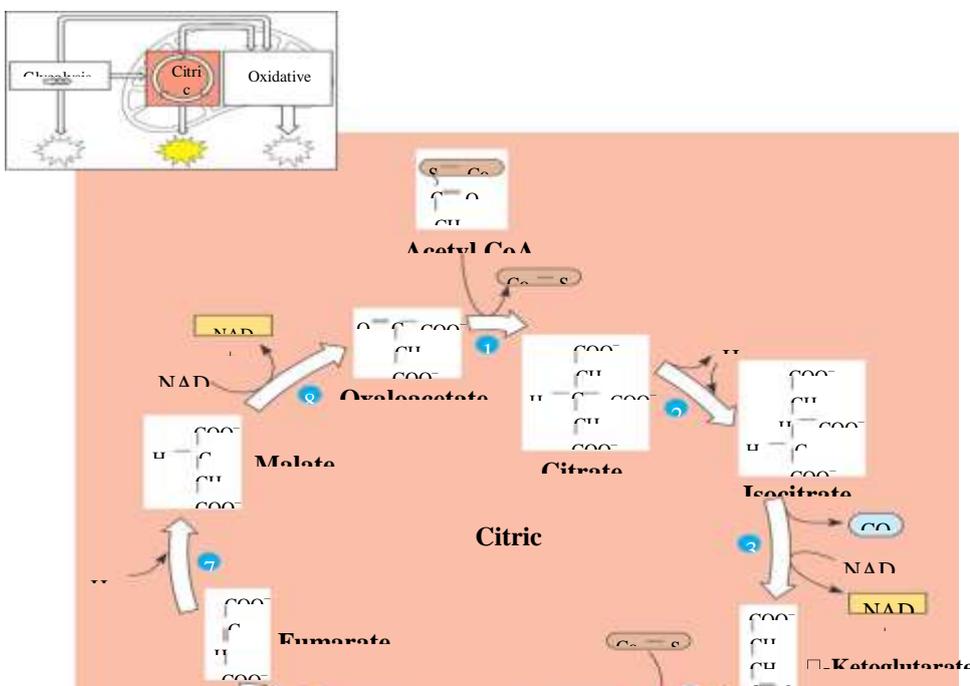


Gambar: Rangkuman Respirasi Anarob

B. Respirasi Sel/Respirasi Aerob

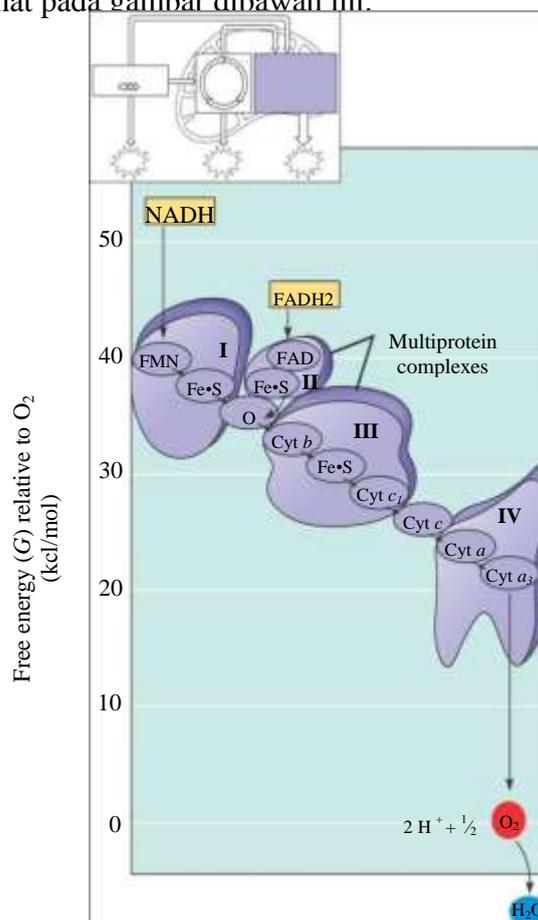
Tahap pertama pada respirasi aerob adalah glikolisis, dimana glukosa dirombak melalui serangkaian reaksi kimia mejadi asam piruvat dengan menghasilkan CO_2 , 2 ATP dan 2 NADH.

Tahap kedua adalah siklus asam sitrat/siklus, hasil glikolisis berupa asam piruvat dirubah menjadi asetil CoA, selanjutnya asetil CoA masuk ke matrik mitokondria. Pada matriks mitokondria ini asetil CoA akan mengalami respirasi oksidatif melalui serangkaian reaksi kimia yang disebut siklus asam trigliserida atau siklus Krebs. Pada reaksi kimia di siklus Krebs ini dihasilkan CO_2 , ATP dan N



Gambar: Siklus Asam Sitrat

Tahap ketiga adalah rantai transport elektron, dimana pada tahap ini molekul NADH dan FADH₂ yang dihasilkan dari glikolisis dan siklus Krebs akan dioksidasi menjadi energi berupa ATP. Proses ini terjadi pada membran crista dari mitokondria, gambaran skematik dari rantai transport elektron dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

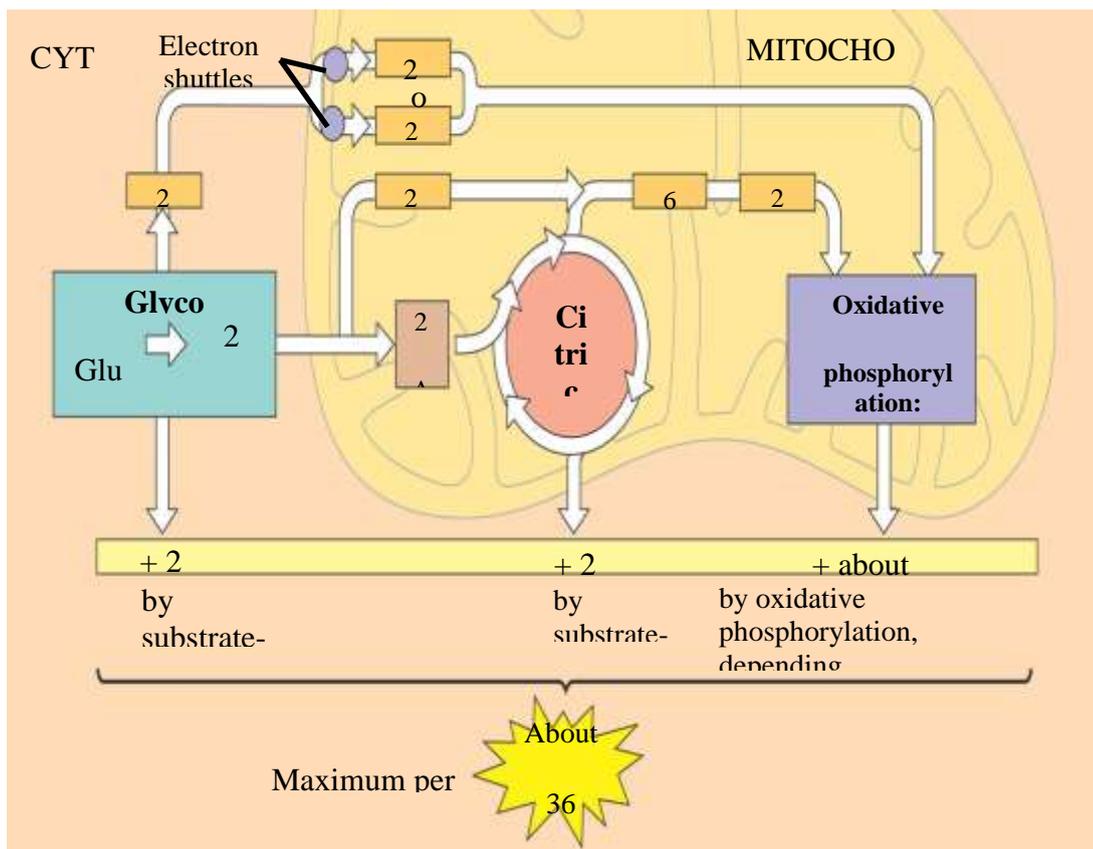


Gambar: Rantai Transport Elektron

Pada tahap glikolisis dihasilkan 2 ATP dan 2 NADH, sedangkan pada tahap siklus Krebs dihasilkan 2 ATP dan 8 NADH dan 2 FADH. NADH dan FADH selanjutnya akan mengalami proses fosforilasi oksidatif pada rantai transport elektron menjadi 34 ATP. Sehingga secara keseluruhan dari tiga tahapan respirasi sel atau respirasi aerob dihasilkan 38 ATP. Gambaran skematik keseluruhan proses respirasi sel disajikan pada gambar dibawah ini.

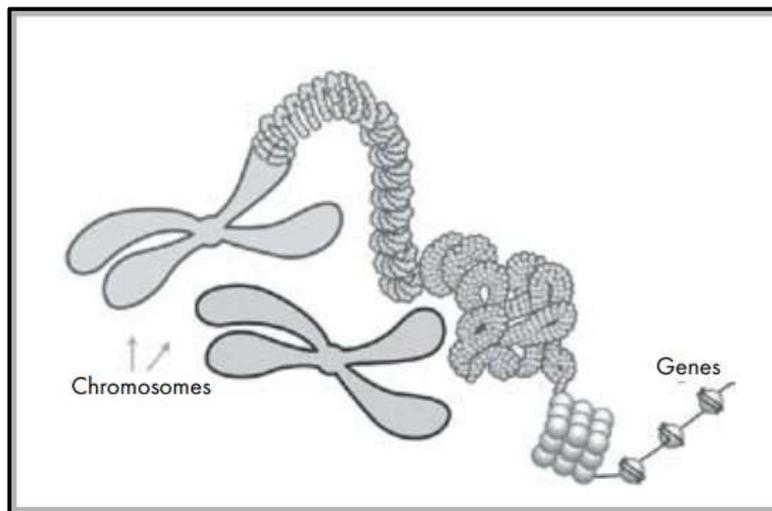
Pemanfaatan energi (ATP)

Pemanfaatan ATP yang dihasilkan selama respirasi sel digunakan untuk kerja mekanis dalam menggerakkan otot, sehingga organ atau organisme dapat bergerak. Yang kedua adalah sebagai energi untuk transport aktif dari satu sel ke sel yang lain melalui membran sel. Peranan ATP sebagai sumber energi untuk metabolisme di dalam sel berlangsung dengan suatu mekanisme mendaur. ATP berperan sebagai alat angkut energi kimia dalam reaksi katabolisme ke berbagai proses reaksi dalam sel yang membutuhkan energi seperti proses biosintesis, proses pengangkutan, proses kontraksi otot, proses pengaliran listrik dalam sistem syaraf, dan proses pemancaran sinar (bioluminesensi) yang terjadi pada organisme tertentu, seperti kunang kunang.



Gambar: Rangkuman Produksi ATP Pada Respirasi Sel

STRUKTUR GEN DAN KROMOSOM



Gambar 1. Struktur kromosom yang terdiri dari rangkaian panjang gen

GEN DAN KROMOSOM

Tubuh organisme terdiri dari jutaan sel. Setiap sel mengandung satu salinan lengkap rencana genetik (cetak biru) seseorang. Cetak biru atau rencana genetik ini dikemas di dalam gen. Ciri-ciri organisme yang dapat diamati dikendalikan materi ini yang disebut sebagai gen tersebut. Pada organisme diploid, setiap sifat fenotip dikendalikan oleh paling tidak satu pasang gen, satu anggota pasangan tersebut diwariskan dari setiap tetua.

Kromosom merupakan untaian panjang dari gen (Gambar 1). Kromosom dan gen terdiri dari bahan kimia yang disebut DNA (Deoxyribo Nucleid Acid). Kromosom merupakan untaian tipis DNA yang sangat panjang. Kromosom yang mengandung gen terletak di dalam nukleus. Tempat lain di dalam sel dimana DNA ditemukan adalah dalam organel mitokondria yang tersebar secara acak di sitoplasma di luar nukleus.

Dalam sel tubuh manusia terdapat 46 kromosom. Dari jumlah tersebut 23 berasal dari sel telur ibu dan 23 lainnya berasal dari sel sperma ayah. Ketika terjadi fertilisasi maka akan terbentuk zigot yang memiliki 46 kromosom, terdiri dari 23 pasang yang sama seperti induknya. Seiring bertambahnya usia dan pertumbuhan, sel-sel terus membelah untuk membentuk sel-sel baru. Selama proses pembelahan sel ini masing-masing kromosom menggulung rapat sehingga masing-masing dari 46 kromosom ini menjadi struktur berbentuk benang dan dapat dilihat menggunakan mikroskop

STRUKTUR GEN DAN KROMOSOM PADA PROKARIOT DAN EUKARIOT

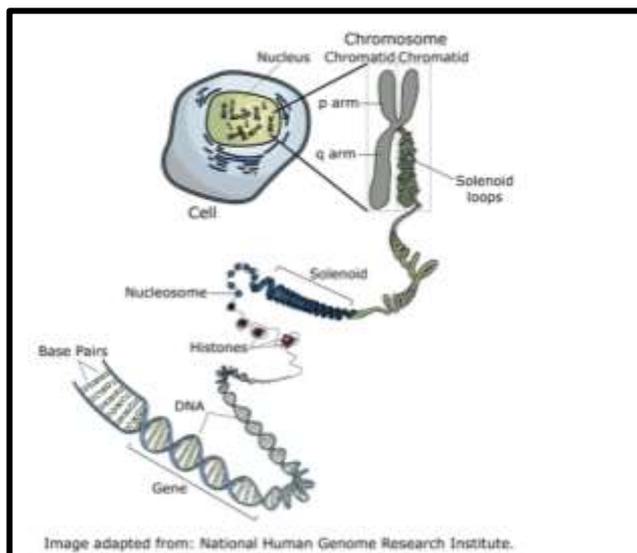
Kromosom Eukariot

Inti setiap sel dalam tubuh manusia mengandung sekitar 1,8 meter DNA total, meskipun setiap helai tebalnya kurang dari sepersejuta sentimeter. DNA tersusun rapat dan dikemas ke dalam struktur

yang disebut kromosom yang terdiri dari rantai panjang DNA dan protein yang terkait.

Kromosom eukariot adalah nukleoprotein, yang berarti bahwa kromosom terdiri dari asam nukleat dan protein. Asam nukleat kromosom yang utama adalah DNA meskipun juga terdapat RNA dalam jumlah kecil. Protein kromosom terdiri atas lima jenis protein basa kuat yang disebut histon dan campuran heterogen protein nonhiston dalam jumlah yang seimbang. Pada eukariot, molekul DNA yang melilit protein dengan erat dan disebut sebagai protein histon memberikan dukungan struktural dan berperan dalam mengendalikan aktivitas gen. Untaian dengan panjang 150 sampai 200 nukleotida dibungkus dua kali di sekitar inti dari delapan protein histon untuk membentuk struktur yang disebut nukleosom. Protein histon pada pusat nukleosom terbentuk dari dua unit masing-masing histon yaitu H2A, H2B, H3 dan H4. Rantai histon digulung untuk membentuk solenoida yang distabilkan oleh protein histon H1. Penggulungan solenoida lebih lanjut membentuk struktur kromosom yang tepat (Gambar. 2)

Setiap kromosom memiliki lengan “p” adalah lengan pendek dan lengan “q” adalah lengan panjang. Dalam tahap replikasi, setiap kromosom terdiri dari dua kromatid.



Gambar 2. Struktur kromosom eukariot

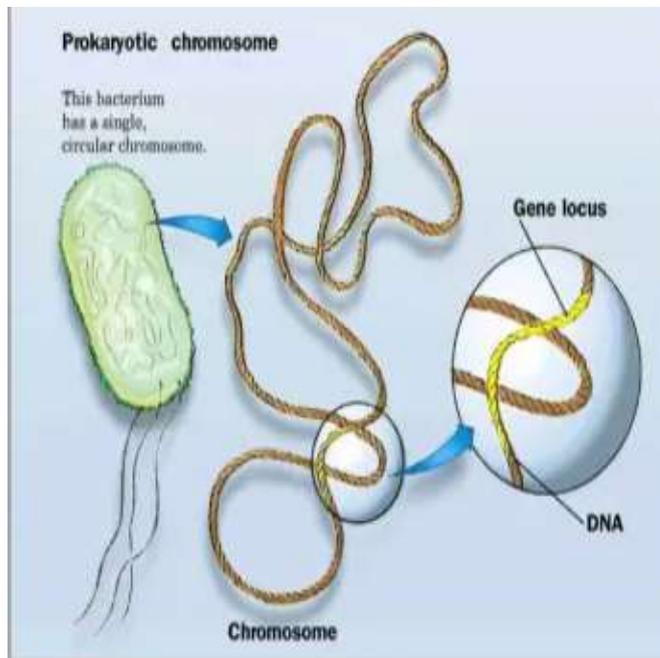
Kromosom dan DNA yang dikandungnya disalin sebagai bagian dari siklus sel dan diteruskan ke sel anak melalui proses mitosis dan meiosis. Manusia memiliki 46 kromosom yang terdiri dari 22 pasang autosom dan sepasang kromosom seks, dua X kromosom seks untuk wanita (XX) dan kromosom seks X dan Y untuk pria (XY). Satu anggota setiap pasangan kromosom berasal dari ibu (melalui sel telur), satu anggota masing-masing pasangan berasal dari ayah (melalui sel sperma).

Kromosom prokariot

Sebagian besar bakteri mengandung satu kromosom melingkar (sirkular). Terdapat beberapa pengecualian pada bakteri, misalnya genus *Streptomyces* memiliki kromosom linier, *Vibrio cholerae* memiliki dua kromosom melingkar. Kromosom bersama dengan ribosom dan protein yang terlibat

dalam ekspresi gen terletak di bagian sitoplasma sel yang disebut nukleoid (Gambar 3).

Genom prokariot lebih kompak dibanding dengan eukariot karena tidak memiliki intron dan cenderung diekspresikan dalam kelompok yang dikenal sebagai operon. Lingkaran kromosom bakteri *Escherichia coli* terdiri dari molekul DNA kira-kira panjang 4,6 nukleotida.



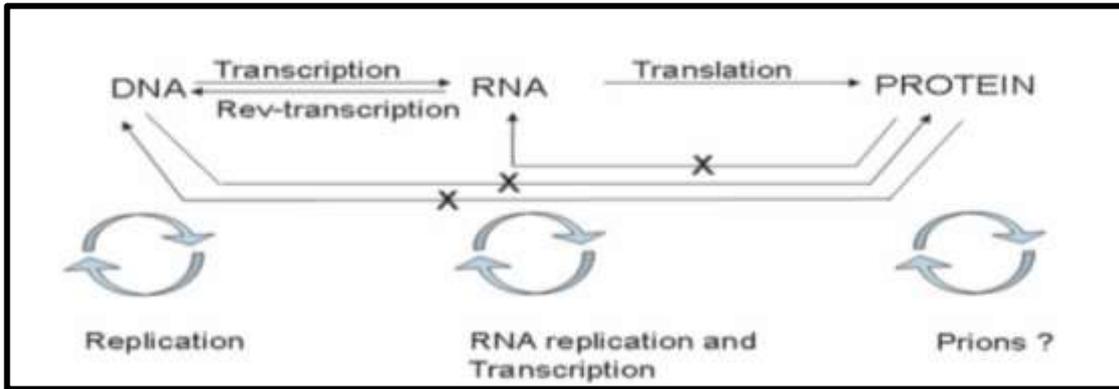
Gambar 3. Struktur kromosom prokariot

Selain kromosom utama, pada bakteri juga memiliki unsur genetik kromosom ekstra yang disebut dengan plasmid. DNA sirkular ini molekulnya relatif kecil, biasanya mengandung gen yang tidak penting untuk pertumbuhan atau reproduksi.

EKSPRESI GEN

Setiap gen pada organisme mengendalikan produksi suatu enzim khusus. Enzim-enzim ini kemudian melakukan semua kegiatan metabolisme organisme tersebut, sehingga berakibat perkembangan suatu struktur dan fisiologi yang khas yaitu fenotip dari organisme tersebut. Informasi yang disandikan dalam suatu gen menemukan ekspresi akhir pada runtutan asam-asam amino suatu polipeptida.

Ekspresi gen adalah aliran informasi genetik dari DNA ke RNA ke protein yaitu mengambil informasi dari DNA untuk mensintesa RNA dan hasil akhirnya adalah protein. Aliran informasi dari DNA ke RNA adalah reaksi reversibel sedangkan dari RNA ke protein tidak dapat diubah. Protein adalah hasil akhir dan tidak ada kemungkinan konversi atau aliran informasi baik dari protein ke DNA maupun protein ke RNA (Gambar 4).



Gambar 4. Dogma sentral dari ekspresi gen, transkripsi dari DNA menjadi RNA dan translasi dari RNA menjadi protein

Langkah pertama dari dogma sentral yaitu sintesis transkripsi RNA komplementer dari DNA berdasarkan kode genetik DNA yang dikenal sebagai transkripsi dan langkah kedua adalah sintesa protein yang merupakan produk akhir dari dogma sentral yang disintesa dari informasi kode m RNA. Aliran informasi ini umumnya searah tetapi dalam penemuan baru-baru ini terdapat gambaran yang lebih luas yang menunjukkan bahwa aliran informasi genetik tidak hanya searah tetapi dalam banyak kasus bisa dua arah.

Secara singkat, dapat digambarkan bahwa seluruh proses fungsi DNA dan RNA didasarkan pada basa komplemen antara untai tunggal DNA dan RNA serta pada perlekatan berbagai jenis protein pengikat asam nukleat untuk memulai reaksi. Sebagian besar gen mengkode protein kecuali beberapa yang mengkode RNA yang tidak diterjemahkan. Dalam gen penyandi protein, DNA ditranskripsi untuk membuat mRNA yang diterjemahkan untuk membuat rantai polipeptida.

Umumnya, dari dua untai DNA gen, hanya satu untai yang digunakan sebagai cetakan untuk transkripsi gen tertentu untuk membuat salinan komplementer dari mRNA. Selama sintesa transkripsi RNA baru atau polimerasi RNA, nukleotida baru selalu ditambahkan pada ujung 3'. Fungsi protein ditentukan oleh urutan primer dari asam amino, yang ditentukan oleh urutan nukleotida gen.

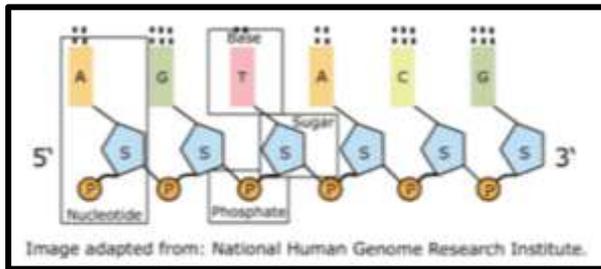
Biasanya translasi tiga nukleotida (kodon) dari mRNA terjadi pada waktu menjadi protein. Spesifitas muncul melalui komplemen ikatan antara kodon triplet dan antikodon dari tRNA yang mengandung asam amino yang sesuai. Asam amino ditambahkan pada karboksil ujung rantai polipeptida yang sedang tumbuh. Fungsi protein ditentukan oleh bentuk, ukuran dan sifat pengikatannya dan semua itu ditentukan oleh urutan asam amino. Perubahan urutan nukleotida DNA dapat mengakibatkan perubahan urutan asam amino, yang sering mengakibatkan kerusakan protein. Kerusakan protein sebagian resesif, kadang-kadang dominan.

ASAM NUKLEAT

Asam nukleat (nucleic acid) adalah makromolekul biokimia yang kompleks, berbobot molekul

tinggi, dan tersusun atas rantai nukleotida yang mengandung informasi genetik. Asam nukleat ditemukan pada semua sel hidup serta pada virus. Asam nukleat merupakan polimer nukleotida yang berfungsi dalam penyimpanan serta pemindahan informasi genetik.

Asam nukleat merupakan makromolekul yang terdapat sebagai polimer yang disebut polinukleotida. Setiap polinukleotida terdiri atas monomer-monomer yang disebut nukleotida (nucleotide). Setiap nukleotida tersusun dari tiga bagian: basa nitrogen (nitrogenous base), gula berkarbon lima (pentosa), dan gugus fosfat (Gambar 5). Nukleotida yang tanpa gugus fosfat disebut nukleosida.



Gambar 5. Struktur nukleotida yang terdiri dari basa nitrogen, gula berkarbon lima (pentosa) dan gugus fosfat

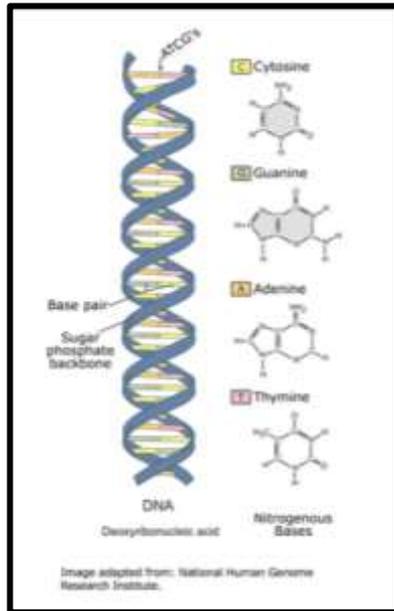
Asam nukleat di bedakan berdasarkan senyawa gula pentosa yang menjadi penyusunnya.

Secara umum ada 2 jenis asam nukleat, yaitu:

1. Asam Deoksiribosa nukleat (DNA)

Asam Deoksiribosa nukleat adalah asam nukleat yang molekulnya terbentuk dari dua untai polinukleotida atau biasa di sebut dengan istilah untai ganda atau double helix (Gambar 6). Dimana setiap polinukleotida dari DNA terdiri atas nukleotida-nukleotida yang dihubungkan oleh ikatan fosfodiester. Setiap nukleotida dari DNA mengandung 3 komponen penting yaitu:

- Basa heterosiklik Purin dan Pirimidin. Dimana Purin tersusun dari basa nitrogen adenine dan guanin, sedangkan Pirimidin tersusun dari basa nitrogen timin dan sitosin
- Gugus fosfat
- Gula pentosa deoksiribosa (deoxyribose) Karena adanya gugus gula pentosa deoksiribosa inilah maka asam nukleat jenis disebut sebagai Deoxyribonucleic acid (DNA) atau Asam Deoksiribosa Nukleat (ADN).



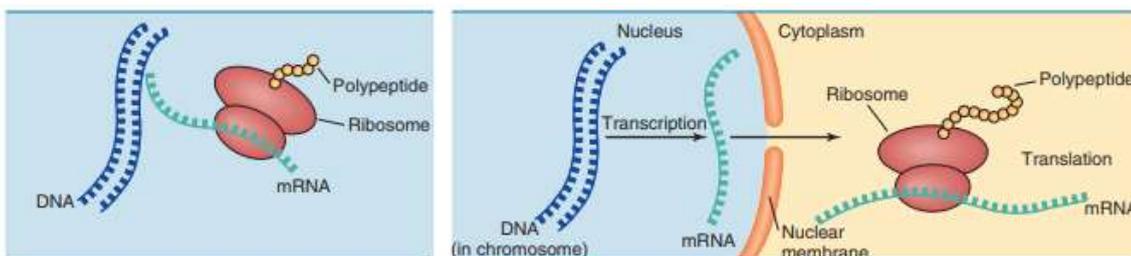
Gambar 6. Struktur Asam Deoksiribosa nukleat (DNA)

2. Asam Ribosa nukleat (RNA) Asam Ribosa nukleat adalah asam nukleat yang tersusun dari molekul yang merupakan hasil instruksi DNA yang disintesis melalui mekanisme transkripsi DNA untuk selanjutnya ditransfer keluar dari inti sel masuk ke dalam sitoplasma. Molekul RNA merupakan untai tunggal polinukleotida atau yang biasa di kenal dengan single stranded. Dimana nukleotida penyusun RNA tersusun dari beberapa komponen penting yang hampir sama dengan yang ada pada DNA, yaitu:

- Basa heterosiklik Purin dan Pirimidin. Hanya saja pada pirimidin, basa nitrogen yang menjadi penyusunnya adalah urasil dan sitosin. Sedangkan pada Purin, basa nitrogen penyusunnya adalah sama, yaitu Adenine dan Guanin.
- Gugus fosfat
- Gula pentosa Ribosa sehingga di sebut sebagai Ribonucleic acid(RNA)

SINTESA PROTEIN

Ekspresi gen merupakan proses dimana informasi yang dikode di dalam gen diterjemahkan menjadi urutan asam amino selama sintesis protein. Selama ekspresi gen, informasi genetik ditransfer secara akurat dari DNA melalui RNA untuk menghasilkan urutan asam amino yang spesifik. Ekspresi gen berupa sintesa protein mencakup dua tahap yaitu transkripsi dan translasi.



Gambar 7. Proses transkripsi dan translasi dalam sintesa protein

Transkripsi

Transkripsi merupakan sintesis RNA dari salah satu rantai DNA, yaitu rantai **cetakan** atau **sense**, sedangkan rantai komplementernya disebut rantai **antisense**. Rentangan DNA yang ditranskripsi menjadi molekul RNA disebut unit transkripsi. Informasi dari DNA untuk sintesis protein dibawa oleh mRNA. RNA dihasilkan dari aktifitas enzim RNA polimerase. Enzim polimerase membuka pilinan kedua rantai DNA hingga terpisah dan merangkaikan nukleotida RNA. Enzim RNA polymerase merangkai nukleotida- nukleotida RNA dari arah 5' - 3', saat terjadi perpasangan basa di sepanjang cetakan DNA. Urutan nukleotida spesifik di sepanjang cetakan DNA. Urutan nukleotida spesifik di sepanjang DNA menandai dimana transkripsi suatu gen dimulai dan diakhiri.

Transkripsi terdiri dari 3 tahap yaitu:

1. **Inisiasi** (permulaan), Daerah DNA di mana RNA polimerase melekat dan mengawali transkripsi disebut sebagai promoter. Suatu promoter menentukan di mana transkripsi dimulai, Inisiasi juga menentukan yang mana dari kedua untai heliks DNA yang digunakan sebagai cetakan

2. **Elongasi** (pemanjangan),

Saat RNA bergerak di sepanjang DNA, RNA membuka pilinan heliks ganda DNA, sehingga terbentuklah molekul RNA yang akan lepas dari cetakan DNA-nya.

3. **Terminasi** (pengakhiran) rantai mRNA.

Transkripsi berlangsung sampai RNA polimerase mentranskripsi urutan DNA yang disebut terminator. Terminator yang ditranskripsikan merupakan suatu urutan RNA yang berfungsi sebanyak sinyal terminasi yang sesungguhnya. Pada sel prokariot, transkripsi biasanya berhenti tepat pada akhir sinyal terminasi yaitu polimerase mencapai titik terminasi sambil melepas RNA dan polimerase mencapai titik terminasi sambil melepas RNA dan DNA. Sebaliknya pada sel eukariotik polimerase terus melewati sinyal terminasi, suatu urutan AAUAAA di dalam mRNA. Pada titik yang lebih jauh kira-kira 10 hingga 35 nukleotida, mRNA ini dipotong hingga terlepas dari enzim tersebut.

Translasi

Dalam proses translasi, sel menginterpretasikan suatu pesan genetik dan membentuk protein yang sesuai. Pesan tersebut berupa serangkaian kodon di sepanjang molekul mRNA, interpretasinya adalah RNA transfer. Setiap tipe molekul tRNA menghubungkan kodon tRNA tertentu dengan asam amino tertentu. Ketika tiba di ribosom, molekul tRNA membawa asam amino

spesifik pada salah satu ujungnya. Pada ujung lainnya terdapat triplet nukleotida yang disebut antikodon, yang berdasarkan aturan pemasangan basa, mengikat diri pada kodon komplementer di mRNA. tRNA mentransfer asam amino-asam amino dari sitoplasma ke ribosom.

BAB 9

STRUKTUR DAN FUNGSI JARINGAN DAN ORGAN

Sel yang merupakan bagian terkecil dari tubuh makhluk hidup akan menyatu membentuk jaringan. Jaringan (*tissue*) merupakan kumpulan sel-sel dengan struktur dan fungsi yang sama. Jenis jaringan yang berbeda memiliki struktur yang berbeda sesuai dengan fungsinya. Jaringan dikelompokkan bersama untuk membentuk organ.

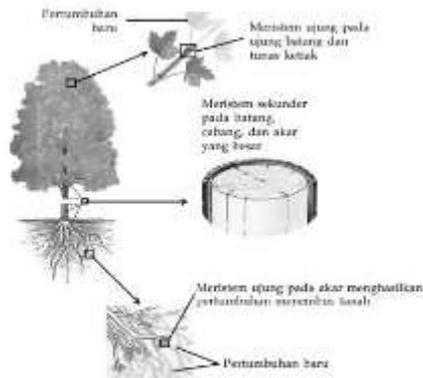
A. Struktur Dan Fungsi Jaringan Tumbuhan

Pada tumbuhan terdapat 2 macam jaringan penyusun yaitu: jaringan meristem (embryonal), dimana sel aktif membelah hanya di bagian tertentu; dan jaringan permanen (dewasa) yang merupakan bagian lain yang tidak mengalami pembelahan.

A1. **Jaringan meristem**, merupakan sekumpulan sel dengan bentuk dan fungsi yang sama serta memiliki sifat meristematik. Sel-sel meristematik tersebut aktif membelah sehingga menghasilkan sel-sel anakan yang banyak. Sebagian sel-sel anakan tersebut ada yang tetap mempertahankan diri sebagai meristem, sementara sel-sel anakan yang lain akan mengalami diferensiasi (perubahan bentuk dan fungsi). Sel-sel yang mengalami diferensiasi tersebut keluar dari meristem dan akhirnya bergabung ke dalam jaringan lain dan menjadi suatu bagian utama dari tumbuhan. Kelompok jaringan ini akan menjadi jaringan permanen.

Berdasarkan asal pembentukannya, jaringan meristem dapat dikelompokkan menjadi 3 macam, yaitu:

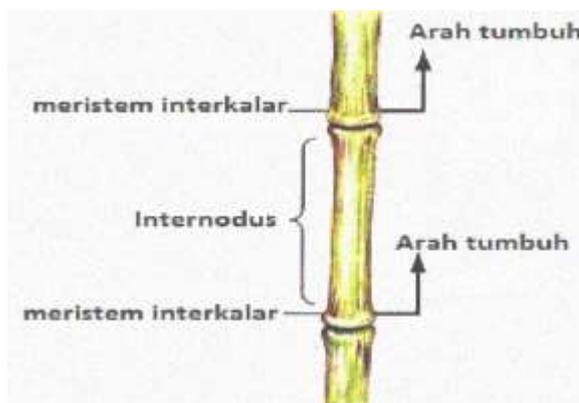
1. **Promeristem**, adalah jaringan meristem yang telah ada ketika tumbuhan masih dalam tingkat embrio.
2. **Meristem primer**, merupakan jaringan meristem yang ditemukan pada tumbuhan dewasa serta biasa ditemukan pada ujung batang (yang mengakibatkan tumbuhan bertambah tinggi) dan ujung akar (yang mengakibatkan akar bertambah dalam/panjang).
3. **Meristem sekunder**, yaitu jaringan meristem yang berasal dari jaringan yang telah mengalami diferensiasi. Contoh: kambium (keluar membentuk kulit, ke dalam membentuk kayu).



Gambar 1. Jaringan meristem pada tumbuhan.

Berdasarkan posisinya, jaringan meristem dibedakan menjadi 3 yaitu:

1. **Meristem apikal**, terdapat pada ujung batang dan ujung akar yang kelak menghasilkan pemanjangan batang dan akar. Meristem apikal mengalami pertumbuhan yang dikenal sebagai **pertumbuhan primer**, dan menghasilkan jaringan yang dikenal dengan **jaringan primer**.
2. **Meristem lateral**, menghasilkan pertumbuhan ke arah samping. Hasilnya adalah batang dan akar semakin membesar/menebal. Pertumbuhan ini disebut **pertumbuhan sekunder**.
Contoh: kambium vaskuler dan kambium gabus
 - Kambium vaskuler berperan dalam penebalan selama pertumbuhan sekunder
 - Kambium gabus menghasilkan lapisan pelindungan disebut periderm
3. **Meristem interkalar**. Meristem interkalar dapat tetap aktif, tetapi dalam waktu yang lama setelah selsel di ruas atas menjadi dewasa sepenuhnya. Pertumbuhan sel yang dilakukan oleh meristem interkalar menyebabkan munculnya bunga (Gambar 2).



Gambar 2. Meristem interkalar

A2. Jaringan Permanen

Jaringan permanen tidak aktif membelah dan sel selnya sudah terdiferensiasi. Ketika berdiferensiasi, seiring waktu sel-sel di jaringan permanen memiliki bentuk dan fungsi khusus sesuai peruntukannya di

dalam tubuh tumbuhan.

Berdasarkan fungsinya, jaringan permanen terbagi menjadi:

- a. Jaringan epidermis
- b. Jaringan dasar
- c. Jaringan penyokong
- d. Jaringan pengangkut
- e. Jaringan gabus

a. **Jaringan epidermis**, selalu terletak paling luar pada setiap organ tumbuhan. Fungsi lapisan epidermis adalah melindungi bagian dalam organ dari keadaan seperti hilangnya air karena penguapan, kerusakan mekanik, perubahan suhu, dan hilangnya zat-zat makanan. Epidermis memiliki beberapa ciri antara lain: terdiri dari sel-sel hidup, berbentuk persegi panjang, sel-selnya rapat tanpa ruang antar sel, tidak memiliki klorofil, dan mampu membentuk modifikasi jaringan epidermis.

Beberapa modifikasi epidermis antara lain adalah stomata, spina (duri), sel kipas, sel kersik, dan trikومات (rambut-rambut).

b. **Jaringan dasar (parenkim)**. Disebut jaringan dasar karena jaringan ini menyusun sebagian besar jaringan, baik pada akar, batang, daun, maupun buah. Ciri-ciri jaringan parenkim yang membedakannya dengan jaringan lain adalah: sel-selnya merupakan sel hidup yang berukuran besar dan tipis, serta umumnya berbentuk segi enam, memiliki banyak vakuola, inti sel terletak mendekati dasar sel, mampu bersifat merismatik karena dapat membelah diri, memiliki ruang antar sel yang banyak sehingga letaknya tidak rapat.

c. **Jaringan penyokong**. Dikenal juga dengan nama jaringan mekanik, jaringan penunjang, atau jaringan penguat. Jaringan inilah yang menunjang bentuk tumbuhan hingga dapat berdiri dengan kokoh, memiliki sel-sel dengan dinding yang tebal dan kuat, juga karena sel-selnya telah mengalami spesialisasi. Jaringan penyokong berfungsi untuk: menguatkan/ menegakkan batang dan daun, melindungi biji atau embrio, melindungi berkas pengangkut (vaskuler). Ada 2 jenis jaringan penyokong yaitu **jaringan kolenkim** dan **jaringan sklerenkim**.

Jaringan Kolenkim. Sifat utama dari jaringan kolenkim adalah:

- Sel sel penyusunnya hidup dan dinding selnya banyak mengandung selulosa
- Sifatnya mirip jaringan parenkim, dan dapat dianggap sebagai jaringan parenkim khusus yang menunjang organ muda pada tumbuhan

- Kolenkim terdapat langsung di bawah atau dekat permukaan batang muda dan tangkai daun muda, namun jarang ditemukan pada akar
- Sel-sel kolenkim mengalami penebalan di sudut-sudut selnya, tidak merata pada seluruh permukaan dinding sel. Dinding selulosa yang tebal pada kolenkim menyebabkan organ bersangkutan memiliki sifat lentur.
- Kolenkim baik sekali untuk menopang organ yang aktif tumbuh karena sel-selnya dapat meregang untuk menyesuaikan diri dengan perpanjangan organ.

Jaringan sklerenkim. Jaringan sklerenkim merupakan jaringan penunjang pada organ tumbuhan yang telah dewasa. Sel-sel dewasa jaringan sklerenkim telah mati dan memiliki dinding sel yang tebal, biasanya berlignin (mempunyai zat kayu). Ada 2 kelompok besar jaringan sklerenkim, yaitu:

a) **Serabut/serat.** Serabut merupakan sel yang panjang dan sempit yang berujung runcing. Sel-sel ini biasanya berkumpul menjadi sebuah jalur panjang, sementara ujung-ujungnya yang runcing bertumpang tindih dan menyatu dengan kuat. Serabut sklerenkim terdapat pada sebagian besar bagian tumbuhan.

b) **Sklereid,** merupakan sel-sel tumbuhan yang telah mati, bentuknya bervariasi dan berdinding keras yang tahan terhadap tekanan. Sklereid dapat dijumpai dalam keadaan tunggal atau berkelompok kecil di antara sel-sel lain, misalnya butiran pada daging buah jambu biji dan buah pir.

d. **Jaringan pengangkut,** disebut juga **berkas vaskuler.** Jaringan pengangkut ini berfungsi mengangkut air dan unsur hara, serta mengedarkan zat makanan hasil fotosintesis dari satu bagian ke bagian lain tumbuhan. Jaringan pengangkut pada tumbuhan dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan fungsinya yaitu **Xilem** dan **Floem**.

a) **Xilem** (pembuluh kayu) berfungsi untuk menyalurkan air dan unsur hara dari akar ke daun. Xilem tersusun dari parenkim dan serabut, serta trakeid, dan komponen pembuluh trakea.

b) **Floem** (pembuluh tapis) merupakan jaringan yang berfungsi mengangkut lalu menyalurkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan. Jaringan floem sangat rumit, terdiri atas berbagai macam bentuk sel dan diantaranya ada yang masih hidup dan ada pula yang telah mati. Komponen floem antara lain adalah **parenkim floem**, yang berfungsi menyimpan cadangan makanan dan berperan sebagai sekat pemisah antara floem yang satu dengan yang lain. **Serabut floem** merupakan jaringan sklerenkim yang berfungsi untuk memperkuat jaringan pembuluh. Selain itu, komponen lain dari floem adalah **pembuluh tapis** dan **sel pengiring**.

e. **Jaringan gabus**, sering berfungsi menggantikan epidermis ketika lapisan epidermis tersebut rusak karena usia atau faktor lain sehingga jaringan lain di bawahnya terlindung dari kehilangan banyak air dan gangguan mekanik. Jaringan gabus tersebut membentuk jaringan ke arah dalam yang tersusun dari sel-sel hidup dan dinamakan **feloderm**. Sebaliknya, kambium gabus membentuk jaringan ke arah luar yang tersusun dari sel-sel mati yang dinamakan **felem**. Felem inilah yang bersifat tidak tembus air (impermeabel) karena dinding selnya mengalami penebalan oleh **suberin**.

B. Struktur Dan Fungsi Organ Tumbuhan

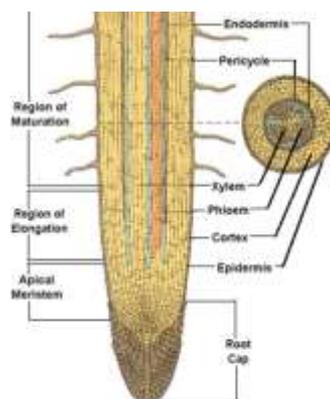
B1. Akar

Fungsi akar:

1. Sebagai penyokong batang tumbuhan.
2. Tempat melekatnya tumbuhan pada media (tanah) karena memiliki kemampuan menerobos lapisan-lapisan tanah.
3. Menyerap garam mineral dan air melalui rambut-rambut akar.
4. Pada beberapa tanaman, akar digunakan sebagai tempat penyimpanan makanan cadangan, misalnya wortel dan ketela pohon.
5. Pada tanaman tertentu seperti jenis tumbuhan bakau akar, berperan untuk pernapasan.

Secara anatomi (disayat melintang) struktur dan jaringan penyusun akar tumbuhan tersusun dari lapisan-lapisan jaringan berikut: (Gambar 3)

1. **Epidermis**, terdiri dari satu lapis sel yang tersusun rapat, dinding selnya tipis sehingga mudah ditembus air. Memiliki rambut-rambut akar yang merupakan hasil aktivitas sel dari belakang titik tumbuh. Rambut-rambut akar berfungsi memperluas bidang penyerapan.
2. **Korteks**, terdiri dari banyak sel dan tersusun berlapis-lapis. Dinding selnya tipis dan mempunyai banyak ruang antarsel untuk pertukaran gas.
3. **Endodermis**, terletak di sebelah dalam korteks. Endodermis berupa satu lapis sel yang tersusun rapat tanpa ruang antarsel. Dinding selnya mengalami penebalan gabus. Deretan sel-sel endodermis dengan penebalan gabusnya dinamakan **pita kaspary**.
4. **Perisikel**, terletak di sebelah dalam endodermis, terdiri dari satu lapis sel yang berfungsi membentuk cabang akar dan kambium gabus.
5. **Stele** (silinder pusat) terletak di sebelah dalam endodermis, tersusun dari sel-sel parenkim yang disebut **empulur**.
6. **Berkas pengangkut** (xylem, floem) terdapat di antara empulur.



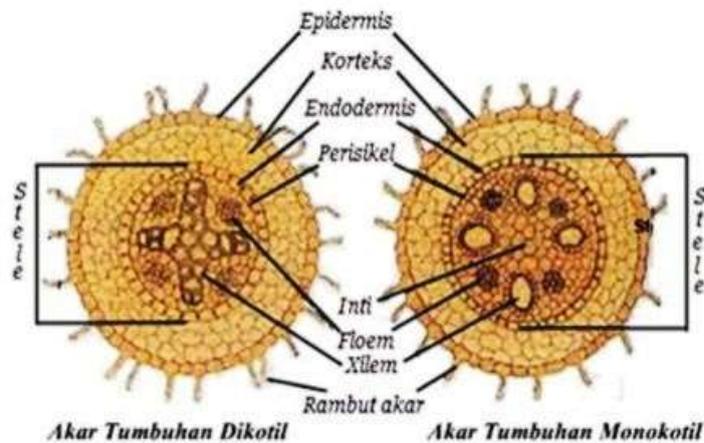
Gambar 3. Anatomi akar tumbuhan

Secara umum tumbuhan dibagi menjadi dua kelompok, yaitu tumbuhan **monokotil** dan **dikotil**. Salah satu yang membedakan keduanya yaitu terletak pada struktur akarnya (Tabel 1, Gambar 4).

Tabel 1 Perbedaan anatomi akar tumbuhan dikotil dan monokotil

| Jenis perbedaan | Dikotil | Monokotil |
|-----------------|---|---|
| tem perakaran | ggang | abut |
| iptra | batasan dengan ujung akar dan terlihat tidak jelas | batasan dengan ujung akar dan terlihat jelas |
| isikel | diri dari satu lapis sel yang berdinding tebal, Membentuk cabang-cabang akar sekunder yaitu kambium dan kambium gabus | diri dari beberapa lapis sel yang berdinding tebal, Hanya membentuk cabang akar |
| em dan Floem | sifat kolateral pada akar sekunder dimana xylem terletak di dalam dan floem terletak di luar (xylem dikelilingi oleh floem) | aknya berselang-seling |
| empulur | ak memiliki atau memiliki empulur yang sempit pada pusat akar | letak pada pusat akar, empulurnya luas |

| | | |
|-------|--|--------|
| mbium | a dan tampak seperti meristem sekunder | ak ada |
|-------|--|--------|



Gambar 4. Penampang melintang akar dikotil dan akar monokotil

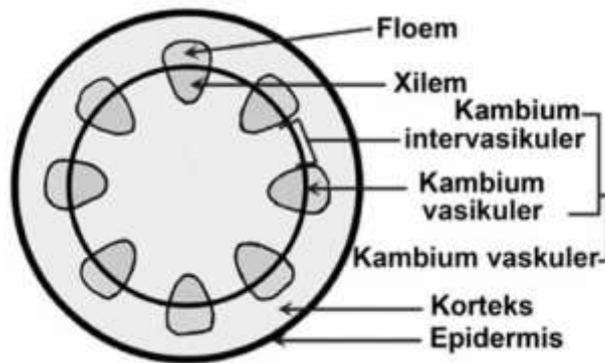
B2. Batang

Batang merupakan bagian tumbuhan yang berada di permukaan tanah yang mencakup batang, cabang, dan ranting. Batang berasal dari batang lembaga pada embrio. Batang berfungsi sebagai tempat duduk daun, sarana lintasan air, mineral dan makanan. Terdapat perbedaan antara batang dikotil dan batang monokotil (Gambar 5).

Batang Dikotil

Ujung batang berupa meristem apikal. Dibelakangnya terdapat protoderm yang menyusun epidermis; procambium, membentuk xilem, floem dan kambium, serta meristem dasar yang membentuk empulur dan korteks. Epidermis, merupakan selapis sel pipih yang tersusun rapat. Terdapat lentisel, yakni tempat pertukaran gas dan penguapan. Korteks, merupakan korteks luar terdiri dari sel-sel kolenkim. Stele terdiri dari perikambium. Batang dikotil memiliki empulur dan berkas vaskuler. Berkas vaskuler berupa kolateral terbuka, kambium di antara xylem dan floem. Kambium terdiri dari:

- Kambium vaskuler: kambium yang berada diantara xylem dan floem .
- Kambium intervaskuler: kambium di luar xylem dan floem (Gambar 5).

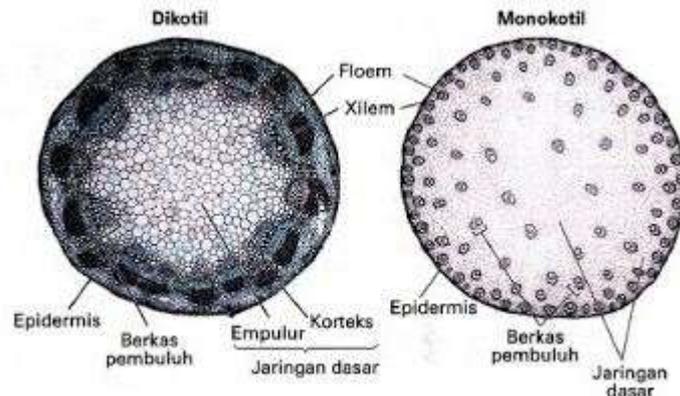


Gambar 5. Penampang melintang batang: kambium vaskuler dan kambium intervasikuler

Pada tumbuhan dikotil yang berkayu keras dan hidup menahun, pertumbuhan sekundernya berlanjut terus menerus. Karena perbedaan trend hujan dan trend kemarau, pertumbuhan sekunder ini tidak sama setiap tahun. Pada trend hujan, pertumbuhan xilem sekunder lebih aktif dibandingkan trend kemarau sehingga mengakibatkan batas yang terperinci yang dinamakan **lingkaran tahun**.

Batang Monokotil

Ujung batang berupa meristem apikal yang lebih kecil dari dikotil, yang membentuk tunas aksiler (di ketiak daun), bakal daun dan epidermis. Di bawah meristem apikal terdapat meristem perifer. Epidermis memiliki dinding sel yang lebih tebal dari dikotil. Korteks tersusun dari sel sklerenkim yang merupakan kulit batang. Stele, berisi berkas vaskuler yang tersebar pada empulur.



Gambar 6. Penampang melintang batang, (a) Batang Dikotil, (b) Batang Monokotil

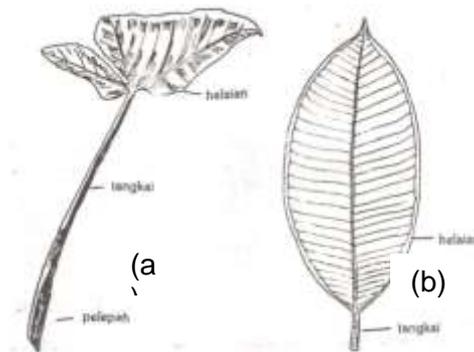
B3. Daun

Daun umumnya merupakan organ berwarna hijau yang terletak diatas tanah. Daun mengandung sejumlah besar klorofil, pigmen yang menyebabkan daun dapat mengabsorpsi energi cahaya dan menggunakannya untuk menghasilkan gula melalui fotosintesis. Morfologi daun sangat bervariasi, hasil adaptasi yang sering terjadi terhadap faktor pembatas lingkungan hidup tumbuhan. Secara umum daun memiliki struktur morfologi sebagai berikut (Tjitrosoepomo, 2009):

1. Helaiian daun (lamina).

2. Tangkai daun (petiolus), terdapat bagian yang menempel pada batang disebut pangkal tangkai daun. Ada tumbuhan tertentu yang daunnya tidak bertangkai daun, misalnya rumput.
3. Pelepah daun (folius), pada tumbuhan monokotil pangkal daun pipih dan lebar serta membungkus batangnya. Misalnya: pelepah daun pisang dan pelepah daun talas.

Daun yang memiliki ketiga bagian tersebut disebut **daun lengkap**, misalnya daun pisang dan daun talas. Daun yang tidak memiliki satu atau lebih bagian daun disebut daun tidak lengkap, misalnya daun mangga dan daun jambu (Gambar 7).



Gambar 7. (a) Daun lengkap dan (b) daun tidak lengkap (Tjitrosopomo, 2009)

Daun tumbuhan dikotil dan monokotil berbeda dalam susunan tulang daun utamanya. Sebagian besar monokotil memiliki tulang daun utama yang sejajar, yang menjalar sepanjang helai daun. Sebaliknya, tumbuhan dikotil memiliki banyak percabangan pada tulang daun utama.

Terdapat 3 struktur jaringan penyusun dari daun, diantaranya jaringan epidermis, jaringan mesofil, dan jaringan pengangkut.

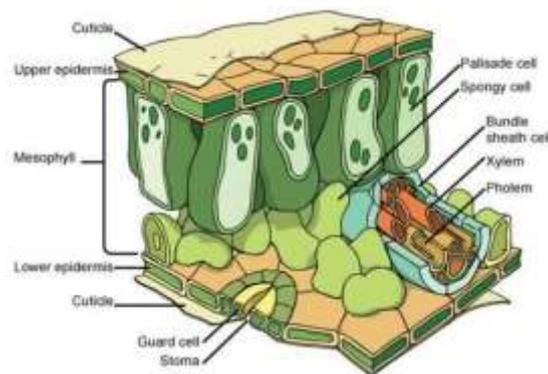
Epidermis, berupa satu lapis sel yang dindingnya mengalami penebalan dari zat kutin (kutikula) atau kadang dari lignin. Pada epidermis terdapat stomata (mulut daun) yang diapit oleh dua sel penutup. Stomata ada yang terletak di permukaan atas saja, misalnya pada tumbuhan yang daunnya terapung (pada daun teratai), ada yang di permukaan bawah saja, dan ada pula yang terdapat di kedua permukaan daun (atas dan bawah).

Alat-alat tambahan yang terdapat di antara epidermis daun, antara lain trikoma (rambut) dan sel kipas. Epidermis daun dari tumbuhan yang berbeda beragam dalam hal jumlah lapisan, bentuk, struktur, susunan stomata, penampilan, dan susunan trikoma, serta adanya sel khusus. Di antara sel epidermis terdapat sel penjaga yang membentuk **stomata**. Struktur stomata yang dapat membuka dan menutup ini berfungsi sebagai tempat terjadinya pertukaran gas dan air. Sifat terpenting pada jaringan

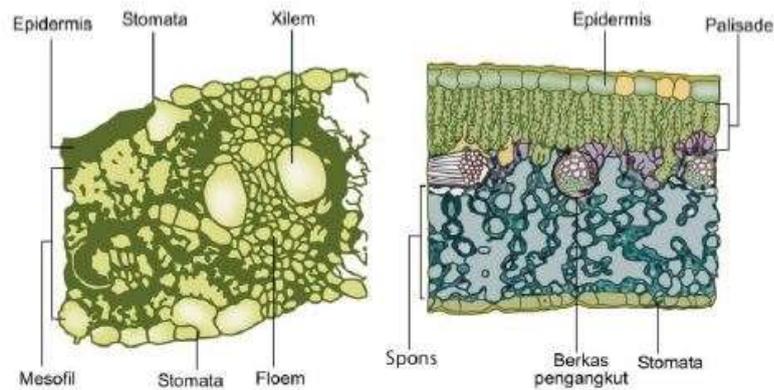
daun ini adalah susunan selnya yang kompak dan adanya kutikula serta stomata (Campbel, 2005).

Mesofil merupakan lapisan jaringan dasar yang terletak antara epidermis atas dan epidermis bawah dan diantara berkas pengangkut. Sesuai dengan fungsinya, parenkim mesofil merupakan daerah fotosintesis utama karena mengandung kloroplas. Pada kebanyakan tumbuhan terdapat dua jenis parenkim dalam mesofil, yaitu **parenkim palisade** dan **parenkim spons**.

Berkas pengangkut ini biasanya terbagi menjadi 2 jenis yaitu, **xylem** dan **floem**. Sel berkas pengangkut ini berdinding tipis untuk memudahkan terjadinya transpor antar sel, mungkin memiliki kloroplas seperti mesofil. Seringkali terdapat kristal. Pada kebanyakan daun dikotil, parenkim berkas pengangkut memperluas ke arah epidermis pada satu atau kedua sisi daun. Sel yang mencapai arah epidermis ini berfungsi dalam pengangkutan pada daun. Berkas pengangkut terdapat dalam daun dikotil dan juga daun monokotil (Campbel, 2005).



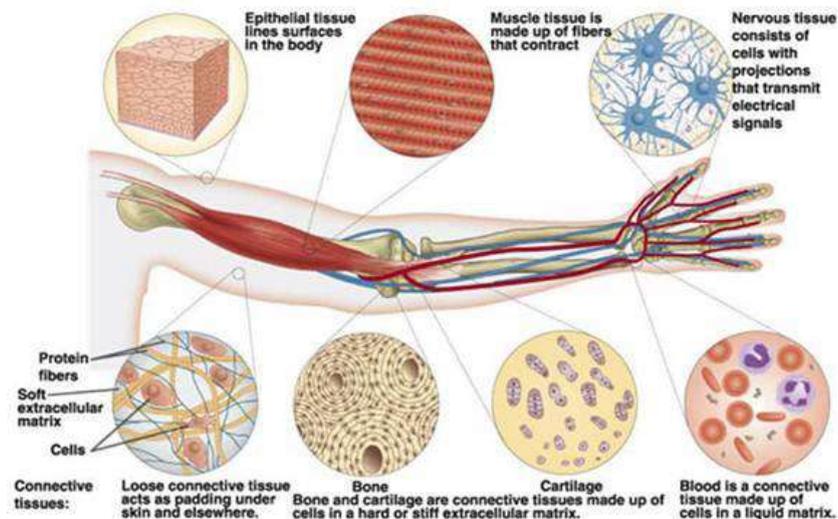
Gambar 8. Anatomi daun



Gambar 9. Anatomi daun monokotil dan dikotil

C. Struktur Dan Fungsi Jaringan Hewan

Jaringan hewan dapat dikelompokkan menjadi 4 jaringan utama, yaitu: jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot dan jaringan saraf. Keempat jaringan tersebut dapat ditemukan pada semua jenis hewan terutama yang termasuk kelompok vertebrata.



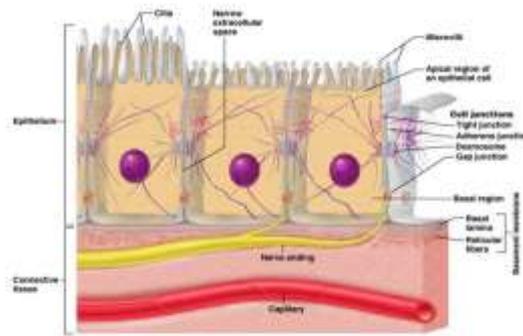
Gambar 10. Empat jaringan utama yang terdapat pada vertebrata

C1. **Jaringan Epitelium**, terdapat dalam wujud lapisan-lapisan sel yang terkemas dengan rapat. Sel-sel terpatri menjadi satu oleh persambungan ketat (*tight junction*). Permukaan bebasnya terpapar ke udara atau cairan, sedangkan permukaannya melekat ke membran basal (Gambar 11).

Fungsi jaringan epitelium:

1. Berperan dalam pertahanan dan perlindungan organ tubuh dari kerusakan mekanis, serangan mikroorganisme dan kehilangan cairan.
2. Mensekresi cairan lambung (*gastric juice*)
3. Berfungsi dalam penyerapan makanan di usus (*intestine*)
4. Mengeluarkan limbah, seperti keringat, melalui kulit.

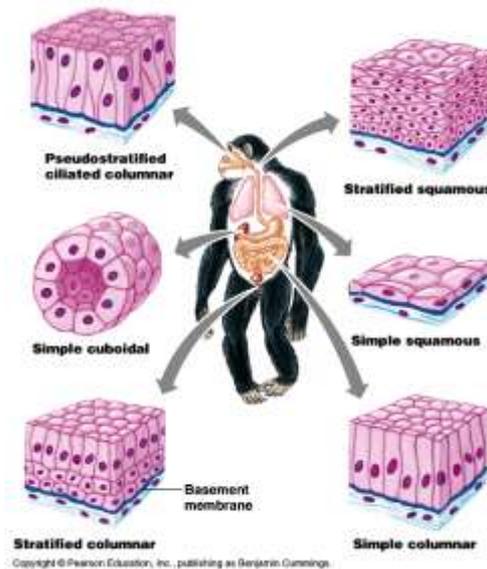
Kriteria dasar pengelompokan epitelium adalah berdasarkan jumlah lapisan (sel tunggal atau berlapis) dan berdasarkan bentuk sel (skuamosa/pipih, kuboidal/kubus, kolumnar/silindris/ batang). Ada juga epitelium yang berlapis semu (Gambar 12).



Gambar 11. Jaringan epitelium

Beberapa macam epitelium dapat menyerap atau mensekresikan larutan kimia. Contoh:

- Sel sel yang melapisi lumen (rongga) saluran pencernaan dan saluran pernapasan membran mukosa mukus pelumas dan menjaga tetap lembab
- Membran mukosa yang melapisi usus halus mensekresi enzim dan menyerap nutrisi.
- Epitelium bersilia pada saluran pernafasan menjerat debu dan partikel serta menyapu kembali ke atas trakea.



Gambar 12. Beberapa jenis sel epitel beserta letaknya dalam tubuh hewan.

Epitel Kelenjar, merupakan jaringan epitel yang khusus berperan dalam sekresi senyawa untuk membantu proses fisiologis tubuh. Kelenjar, terbagi atas :

1. Kelenjar Endokrin: kelenjar buntu yang tidak memiliki saluran langsung masuk pembuluh darah), contoh: kelenjar adrenal, kelenjar paratiroid

2. Kelenjar eksokrin: kelenjar yang sekresinya melalui saluran khusus kelenjar ludah, kelenjar keringat.

C2. Jaringan Ikat (*Connective Tissues*), merupakan jaringan yang ditemukan pada semua organ tubuh.

Jaringan ikat terdiri dari 2 komponen yaitu:

1. Sel-sel jaringan ikat
2. Matriks Ekstraseluler (MES), terdiri atas suatu anyaman serat yang tertanam dalam suatu dasar yang seragam dan dapat berupa cairan seperti agar atau padatan (substansi dasar).

Fungsi umum:

- Mengikat satu organ dengan organ lainnya
- Menopang organ tubuh
- Memberi perlindungan organ tubuh.

Sel-sel Jaringan Ikat:

1. Fibroblas berfungsi mensekresikan protein.
2. Makrofag berbentuk tidak teratur dan khusus terdapat di dekat pembuluh darah .
3. Sel tiang berfungsi menghasilkan substansi heparin (antikoagulan) dan histamin (zat yang keluar karena reaksi terhadap antigen yang sesuai).
4. Sel lemak adalah sel yang terspesialisasi khusus untuk menyimpan lemak.
5. Sel plasma

Serat jaringan ikat (MES), yang terbuat dari protein, terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1. **Serat berkolagen:** bersifat tidak elastis dan tidak mudah robek jika ditarik mengikuti panjangnya
2. **Serat elastis:** untaian panjang yang terbuat dari protein (elastin). Sifat: elastis
3. **Serat retikuler:** serat yang sangat tipis dan bercabang. Tersusun atas kolagen dan tersambung dengan serat berkolagen. Membentuk suatu anyaman yang menghubungkan jaringan ikat dengan jaringan yang ada di sebelahnya.

Jenis utama jaringan ikat pada vertebrata:

- a. Jaringan ikat longgar (*loose connective tissue*)
- b. Jaringan lemak (adiposa)
- c. Darah (*blood*)
- d. Jaringan ikat berserat (*fibrous connective tissue*)
- e. Tulang rawan (cartilago)
- f. Tulang sejati (*osteon/bone*)

Jaringan ikat longgar (*Loose connective tissue*), merupakan jaringan yang paling banyak ditemukan dalam tubuh vertebrata. Dicitrakan dengan susunan seratnya yang longgar tidak rapat. Jaringan ini memiliki 3 jenis serat yang ada: berkolagen, elastis dan retikuler. Komponen sel penyusun serat adalah sel fibroblast.

Fungsi dari jaringan ini adalah untuk:

- menyokong, mengelilingi dan menghubungkan elemen dari jaringan /organ lain.
- bahan pengemas yang menjaga agar organ tetap berada di tempatnya.

Jaringan lemak (adiposa), merupakan bentuk khusus dari jaringan ikat longgar yang menyimpan lemak dalam sel-sel adiposa yang tersebar di seluruh matriksnya. Fungsi jaringan ini adalah:

- melindungi beberapa organ
- melapisi dan menginsulasi tubuh
- menyimpan molekul- molekul bahan bakar (cadangan makanan)

Darah (*blood*)

Fungsi berbeda dari jaringan ikat lain, tetapi memenuhi salah satu kriteria jaringan ikat yaitu memiliki matriks ekstraseluler yang luas. Matriks tersebut disebut **plasma**, yang tersusun dari air, garam-garam dan berbagai jenis protein terlarut. Dalam plasma tersuspensi 2 macam sel darah, **eritrosit** dan **leukosit**; dan fragmen sel yang disebut **keping darah (platelet)**. Eritrosit bertugas membawa oksigen; leukosit berfungsi untuk pertahanan; dan keping darah membantu dalam penggumpalan darah.

Jaringan ikat berserat (*fibrous connective tissue*), disusun oleh sel-sel fibroblast. Komponen matriksnya berupa serat kolagen yang tersusun dalam berkas parallel, padat dan teratur sehingga dapat memaksimalkan kekuatan non elastis.

Contoh:

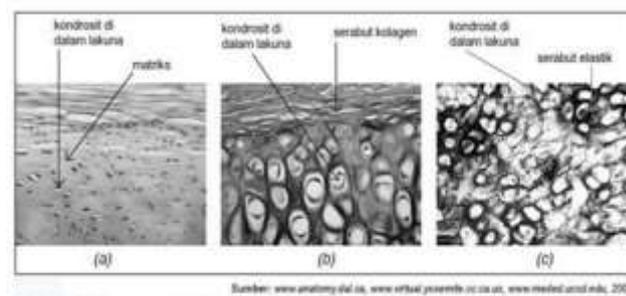
- Tendon Penghubung otot dgn tulang
- Ligamen Penghubung tulang dgn tulang pada persendian

Tulang Rawan (cartilago), merupakan hasil spesialisasi dari jaringan ikat berserat dengan matriks elastis. Sel tulang rawan disebut **kondrosit**. Tulang rawan memiliki serat berkolagen yang sangat berlimpah, yang tertanam pada suatu matriks yang tersusun atas kondroitin sulfat (kompleks protein karbohidrat). Kondroitin sulfat dan kolagen disekresi oleh kondrosit yang tersebar dalam **lacuna**.

Macam tulang rawan:

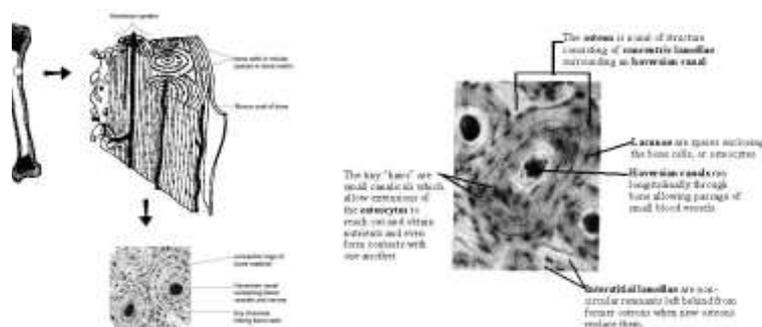
1. Tulang rawan hialin
 - Berwarna putih kebiruan dan transparan.

- Matriksnya memiliki serat kolagen yang tersebar dalam bentuk anyaman halus dan rapat.
 - Terdapat pada persendian, saluran pernapasan, ujung tulang rusuk.
2. Tulang rawan fibrosa
- Berwarna gelap dan keruh.
 - Matriksnya berupa serat kolagen.
 - Terdapat antar ruas tulang belakang dan pada tendon
3. Tulang rawan elastik
- Berwarna kuning.
 - Serat kolagen tulang rawan elastik tidak tersebar seperti pada tulang rawan hialin.
 - Terdapat pada laring, bagian telinga luar, dan daun telinga



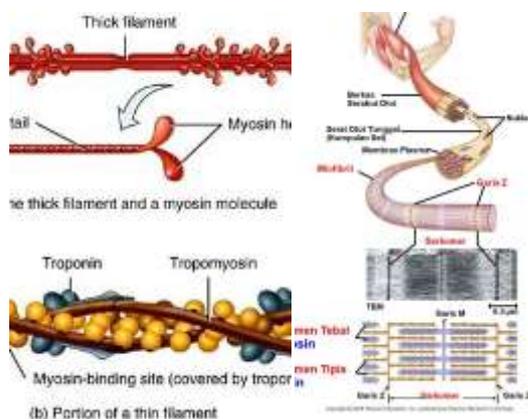
Gambar 13. Macam-macam tulang rawan (a) hialin, (b) fibrosa, (c) elastik.

Tulang sejati (bone), merupakan jaringan ikat bermineral. **Osteoblas** merupakan jenis sel mesenkimal yang bertanggungjawab untuk pembentukan dan perkembangan tulang, dengan mendeposit suatu matriks kolagen, menghasilkan ion kalsium, magnesium, dan fosfat, yang secara kimiawi menyatu dan mengeras di dalam matriks membentuk hidroksiapatit. **Osteosit**, jenis sel tulang berbentuk bintang, adalah sel yang paling sering ditemukan dalam jaringan tulang. Pada tulang sejati dikenal adanya **Sistem harvesian**.



Gambar 14. Anatomi tulang sejati (bone), Sistem Harvesian.

C3. **Jaringan Otot.** Serat otot mengandung **filamen aktin** (tipis) dan **filamen miosin** (tebal) sebagai alat gerak aktif. Jaringan otot tersusun atas sel-sel membujur dan myofibril (serat otot) yang mampu berkontraksi ketika dirangsang oleh impuls saraf.



Gambar 15. Komponen-komponen yang menyusun jaringan otot

Pada vertebrata, dapat ditemukan 3 jenis otot yaitu: (Gambar 16).

1. Otot polos (*smooth muscle*)

- Terdiri atas sel sel berbentuk seperti gelendong, panjangnya antara milimikron.
- Memiliki satu inti yang terletak di bagian tengah sel.
- Kontraksi sel otot polos tidak di bawah pengaruh kesadaran, disebut otot involunter.
- Aktivitas otot polos tidak menimbulkan kelelahan.
- Otot polos terdapat pada rongga tubuh seperti saluran pencernaan makanan.

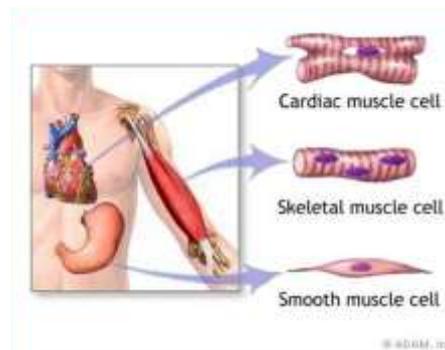
2. Otot rangka/otot lurik (*skeletal muscle*)

- Berbentuk silinder yang panjang dan tidak bercabang.
- Panjang sel bervariasi antara 3- 4 cm.
- Memiliki banyak inti sel yang terletak di bagian tepi sel.
- Kontraksi otot lurik di bawah kesadaran.
- Kontraksi otot lurik cepat dan kuat serta dapat menimbulkan kelelahan.
- Otot lurik melekat di bagian rangka.

3. Otot jantung (*cardiac muscle*)

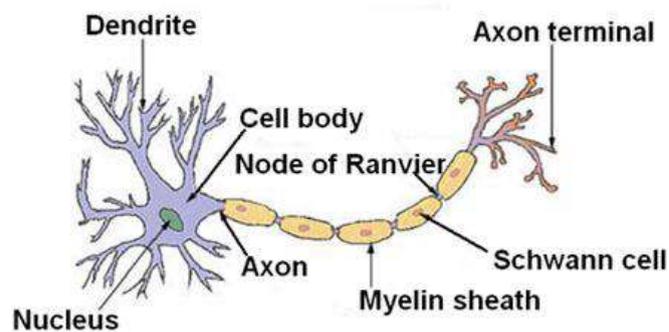
- Struktur otot jantung menyerupai otot lurik
- Sel-sel otot jantung membentuk rantai dan sering bercabang dua atau lebih membentuk **sinsitium**.

- Memiliki satu atau dua inti sel yang terletak di bagian tengah sel.
- Sel otot jantung dipengaruhi oleh sistem saraf autonom.
- Kontraksi tidak di bawah pengaruh kesadaran (involunter) dan tidak menimbulkan kelelahan



Gambar 16. Tiga jenis otot yang terdapat pada vertebrata

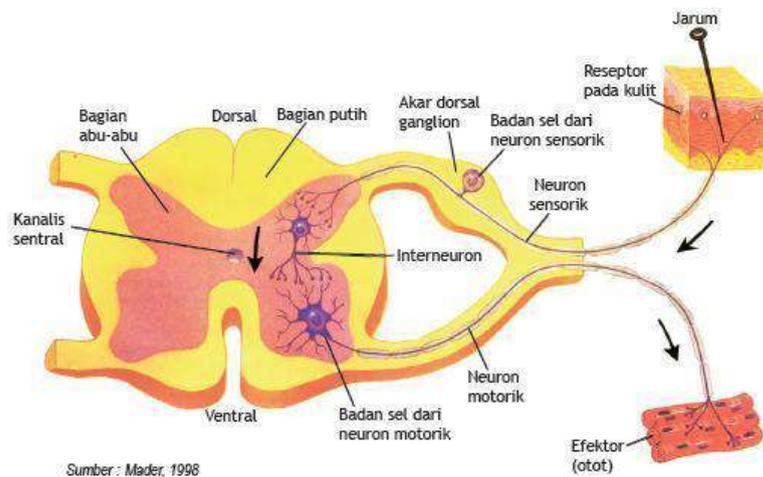
C4. **Jaringan saraf**, dapat merasakan stimulus dan menghantarkan sinyal dari satu bagian tubuh hewan ke bagian tubuh yang lain. Unit fungsionalnya adalah **neuron** atau **sel saraf**, menghantarkan sinyal impuls saraf. Neuron terdiri atas: badan sel, serta penjururan dendrit dan akson.



Gambar 17. Struktur sel saraf.

Jenis Sel Saraf

1. Neuron sensorik (neuron aferen), berfungsi menyampaikan rangsangan dari organ penerima rangsang (reseptor) kepada sistem saraf pusat otak dan sumsum tulang belakang).
2. Neuron intermediet (interneuron), membentuk mata rantai dan terdapat di dalam sistem saraf pusat. Dirangsang oleh impuls dari neuron sensori atau dari neuron intermediet lain.
3. Neuron motorik (neuron eferen), berfungsi mengirimkan impuls dari sistem saraf pusat ke otot dan kelenjar yang akan melakukan respons tubuh.



Sumber: Mader, 1998



Proses gerak refleksi

Gambar 18. Jenis sel saraf: neuron sensorik, neuron intermediet dan neuron motorik.

Jaringan-jaringan yang berbeda diorganisasikan membentuk organ kemudian sistem organ. Sistem organ melaksanakan fungsi utama tubuh sebagian besar hewan secara bersama-sama. Sistem-sistem organ hewan saling bergantung satu sama lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 2003. Biologi. Jilid 2. Edisi kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 2004. Biologi. Jilid 3. Edisi kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Tjitrosoepomo, G. 2009. Taksonomi Tumbuhan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

BAB 10

EVOLUSI

GLOSARIUM

- Evolusi** : Perubahan struktur tubuh makhluk hidup yang berlangsung secara bertahap-tahap dalam waktu yang sangat lama.
- Omne Vivum ex Ovo, Omne Ovum ex Vivo, Omne Vivum ex Vivo** : Kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari makhluk hidup dan kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya.
- Fosil** : Sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang telah membatu atau dapat juga berupa jejak-jejak organisme yang terdapat pada batu-batuan.
- Homologi** : Organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda.
- Analogi** : Organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda.
- Spesiasi** : Pembentukan dua atau lebih spesies dari satu spesies yang telah ada atau telah punah.
- Seleksi Alam** : Kemampuan alam untuk memilih makhluk hidup yang mampu hidup di lingkungannya.

Mutasi : Perubahan pada materi genetik yang mengakibatkan perubahan ekspresi gen.

PETA KONSEP



PENDAHULUAN

F. Identitas Modul

| | |
|----------------|-----------------|
| Mata Pelajaran | : BIOLOGI DASAR |
| Alokasi Waktu | : 2 JP |
| Judul Modul | : EVOLUSI |

G. Kompetensi Dasar

3.9 Menjelaskan teori, prinsip dan mekanisme evolusi serta pandangan terkini para ahli terkait spesiasi.

4.9 Menyajikan karya ilmiah terhadap gagasan baru tentang kemungkinan-kemungkinan pandangan evolusi berdasarkan pemahaman yang dimilikinya.

H. Deskripsi Singkat Materi

Pada masyarakat banyak persepsi yang mengatakan bahwa manusia berasal dari kera, artinya nenek moyang manusia adalah kera. Apakah persepsi tersebut benar? Kalian dapat melihat bahwa manusia berasal dari primata sebagai cikal bakalnya, kemudian primata akan mengalami proses perubahan dan perkembangan lebih lanjut. Makhluk hidup memiliki struktur morfologi yang beranekaragaman. Ada beberapa yang memiliki persamaan, namun banyak pula yang berlainan sama sekali. Perbedaan tersebut dapat dipelajari dengan melihat pola hubungan kekerabatan. Pola hubungan kekerabatan dapat menunjukkan tingkatan makhluk hidup yang memiliki struktur sederhana hingga yang kompleks. Pola hubungan kekerabatan makhluk hidup selanjutnya akan dibahas dalam proses evolusi. Secara bahasa evolusi berasal dari kata *evolve* (Bahasa Inggris) yang berarti berubah secara perlahan, sedangkan dalam bahasa Latin disebut *evoluit* yang berarti menggulir. Teori evolusi dapat mengajari kita dalam memahami beberapa hal, diantaranya ialah memahami proses kepunahan; kemampuan proses bertahan hidup; dan

terjadinya perubahan secara kontinyu dalam waktu yang lama. Pada modul pembelajaran berikut ini, akan disajikan asal-usul makhluk hidup, teori evolusi dan mekanismenya. Setelah mempelajari modul ini, diharapkan siswa lebih memahami dan memudahkan penyampaian kepada siswa dan para siswa dapat terbantu untuk lebih mudah dalam memahami esensi ilmu pengetahuan yang menyangkut perubahan struktur morfologi makhluk hidup.

I. Petunjuk Penggunaan Modul

Modul ini berisi kegiatan-kegiatan belajar yang disajikan dalam bentuk paparan yang memuat materi, latihan, rangkuman, dan penilaian diri.

Pada bagian Uraian Materi merupakan paparan sejumlah pengetahuan yang akan membekali anda untuk menguasai kompetensi yang dikemas dalam satu satuan aktivitas belajar dalam rangka mempermudah kalian menguasai kompetensi yang diharapkan. Di bagian latihan kalian akan melakukan kegiatan atau tugas yang bertujuan untuk memperkuat penguasaan kompetensi yang diharapkan. Sementara itu di bagian rangkuman, kalian akan mendapatkan informasi mengenai garis besar materi pada kegiatan belajar yang baru saja kalian pelajari.

Untuk mengetahui sejauh mana kalian telah menguasai materi dan keterampilan yang kalian pelajari, kalian akan melakukan kegiatan Penilaian Diri. Pada bagian akhir modul ini disajikan Tes Akhir yang dapat kalian gunakan untuk menguji kemampuan kalian dalam menguasai kompetensi yang diharapkan apakah sudah tercapai atau belum. Sikap jujur sangat diharapkan ketika kalian melakukan kegiatan ini dari awal sampai akhir.

J. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi 2 kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

Materi pokok yang dibahas dalam modul ini
Petunjuk dan mekanisme evolusi

PETUNJUK DAN MEKANISME EVOLUSI

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 1 ini diharapkan dapat:

1. Menjelaskan petunjuk-petunjuk adanya evolusi.
2. Menjelaskan mekanisme terjadinya evolusi makhluk hidup.
3. Mendeskripsikan terjadinya variasi makhluk hidup sebagai dasar terjadinya proses evolusi.

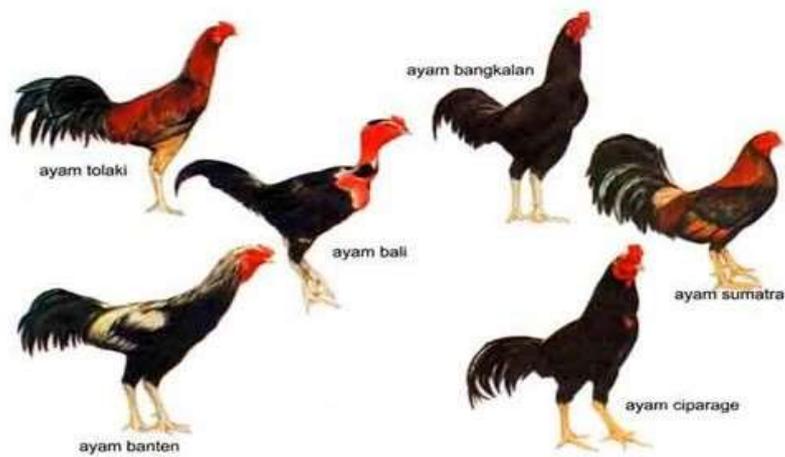
B. Uraian Materi

1. Petunjuk evolusi

Beberapa bukti yang dianggap memberikan petunjuk adanya evolusi antara lain:

a. Variasi makhluk hidup

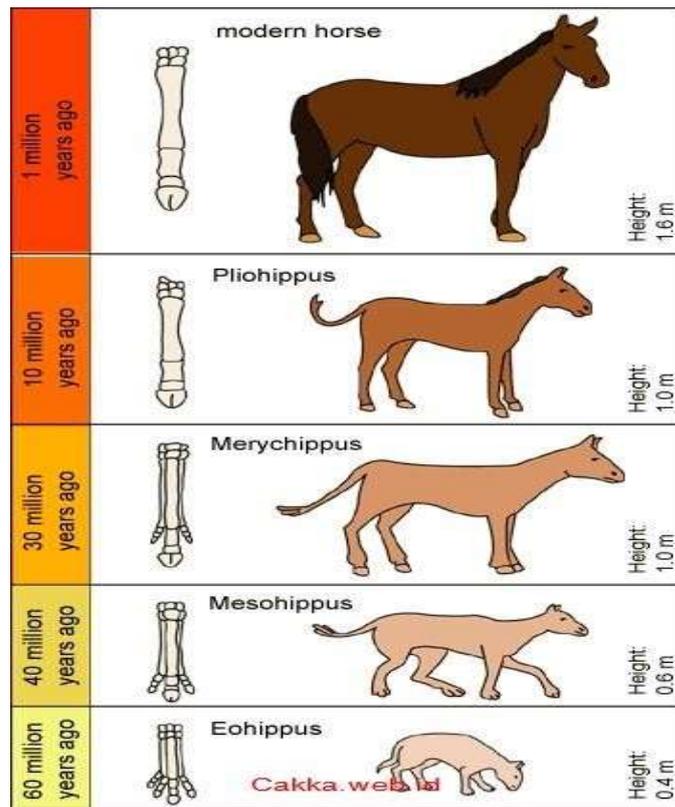
Variasi adalah perbedaan yang ditemukan pada individu-individu dalam satu spesies. Jika varian tersebut hidup pada lingkungan yang berbeda, maka akan menghasilkan keturunan yang berbeda pula. Jadi, adanya variasi merupakan petunjuk adanya evolusi yang menuju ke arah terbentuknya spesies baru.



Gambar 8. Variasi Genetik Pada Ayam

b. Fosil

Fosil-fosil yang ditemukan dalam lapisan bumi dari lapisan tua sampai muda menunjukkan adanya perubahan secara berangsur-angsur. Dengan membandingkan fosil-fosil yang ditemukan di berbagai lapisan bumi dapat diketahui adanya proses evolusi. Sejarah perkembangan kuda merupakan satu contoh yang paling dikenal untuk menerangkan adanya perubahan-perubahan bentuk dari masa ke masa.

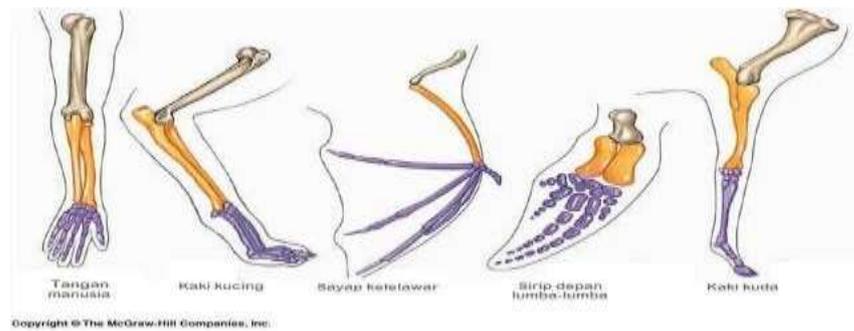


Gambar 9.
Perbandingan fosil
kuda

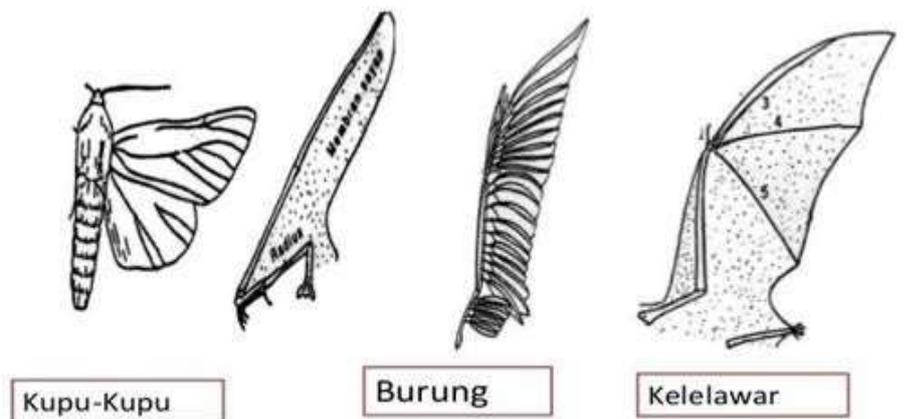
c. Homologi dan analogi organ tubuh

Homologi adalah organ-organ makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal (dasar) yang sama, kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda. Misalnya, sayap burung homolog dengan tangan manusia. Kaki depan kuda homolog dengan sirip dada ikan paus.

Analogi adalah organ-organ tubuh yang mempunyai fungsi sama tetapi bentuk asalnya berbeda. Contoh: sayap serangga dengan sayap burung.



Gambar 10. Homologi perbandingan

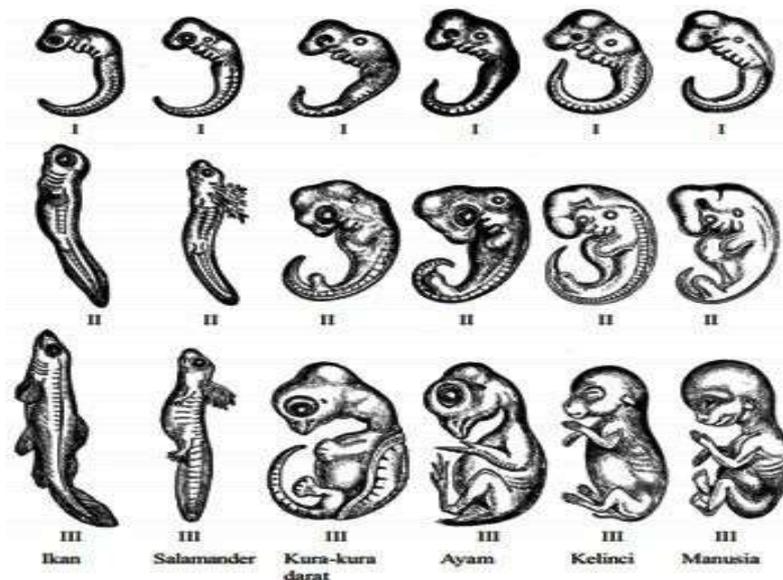


Gambar 11. Analogi perbandingan

d. Embriologi perbandingan

Beberapa kelas vertebrata, seperti: ikan, reptil, burung dan mamalia, walaupun tubuh individu dewasanya berbeda jenis satu sama lainnya, namun fase awal dari perkembangan embrionya sangat mirip. Makin mirip, makin dekat kekeluargaannya.

Ontogeni adalah perkembangan individu dari satu sel menjadi individu dewasa. Filogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup dari makhluk yang hidup sebelumnya. Para ahli berpendapat bahwa ontogeni (perkembangan individu) adalah ulangan dari revolusi filogeni (perkembangan hubungan kekerabatan organisme). Kaidah ini dianggap terlalu berlebihan karena tidak benar bahwa vertebrata berevolusi dari bentuk ikan menjadi bentuk reptil, kemudian menjadi bentuk berkaki empat.



Gambar 12.
Kemiripan
embriologi

e. Petunjuk secara Biokimia

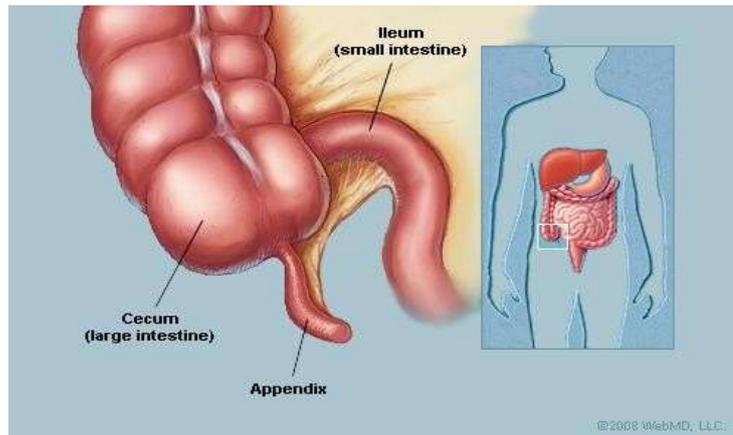
Jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara organisme satu dengan lainnya dapat ditunjukkan dengan uji secara biokimia yang disebut uji presipitin. Uji presipitin adalah uji adanya reaksi antara antigen-antibodi. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk akibat reaksi tersebut dapat digunakan untuk menentukan jauh dekatnya hubungan kekerabatan antara suatu organisme dengan organisme lainnya.

f. Perbandingan fisiologi

Organisme Organisme mempunyai ciri-ciri fisiologi yang sama, seperti respirasi, ekskresi, dan sebagainya. Meskipun ciri morfologi dan jumlah sel yang membentuk setiap organisme berbeda-beda, terdapat kemiripan-kemiripan dalam fisiologinya.

g. Petunjuk alat tubuh yang tersisa

Pada manusia dan beberapa jenis hewan dapat dijumpai berbagai alat tubuh yang tidak berfungsi. Alat tubuh manusia yang tersisa antara lain umbai cacing (apendiks) dan tulang ekor. Pada burung kiwi, burung yang tidak dapat terbang, terdapat alat tubuh yang tersisa sebagai akibat penyusutan sayap.



Gambar Apendiks

2. Mekanisme Evolusi

Proses evolusi dapat terjadi karena adanya seleksi alam dan variasi genetik sehingga akan memunculkan sifat-sifat baru yang akan diwariskan pada keturunannya. Adanya seleksi alam mengharuskan semua makhluk hidup berjuang untuk bertahap hidup. Dalam upaya agar dapat lolos seleksi alam, setiap makhluk hidup dapat mengalami perubahan baik secara morfologis, fisiologis, dan tingkah laku. Berikut faktor-faktor yang berperan dalam mekanisme evolusi, meliputi:

a. Mutasi

Mutasi merupakan peristiwa yang menyebabkan terjadinya perubahan pada frekuensi gen, sehingga mempengaruhi fenotipe dan genotipe. Mutasi ini bisa menguntungkan atau bahkan merugikan.

Menguntungkan apabila:

- Berpotensi menghasilkan sifat baru yang lebih menguntungkan.
- Menghasilkan spesies yang dapat beradaptasi.

- Memiliki kemampuan bereproduksi dengan bibit unggul. Jika sifat yang dihasilkan berkebalikan dengan sifat seperti tersebut di atas, maka mutasi yang terjadi merugikan.

b. Genetic Drift

Genetic Drift merupakan perubahan acak pada frekuensi gen pada populasi yang disebabkan oleh kematian, migrasi, ataupun isolasi. Genetic drift dapat disebabkan oleh dua kondisi, (1) the bottleneck effect, merupakan bencana alam seperti kebaran, gempa bumi sehingga populasi yang tinggal sangat sedikit, (2) the founder effect, ketika sejumlah kecil dari organisme berpindah ke suatu tempat lain.

c. Aliran gen

Aliran gen terjadi ketika terjadinya migrasi dan kawin pada individu di antara populasi-populasi. Aliran gen ini sangat bergantung pada jumlah individu yang datang dan seberapa banyak perbedaan genetik individu-individu yang datang bergabung.

d. Rekombinasi seksual

Adanya kemampuan reproduksi secara seksual pada setiap individu akan menghasilkan keturunan yang dapat berbeda dengan induknya. Hal ini dipengaruhi oleh penggabungan kromosom yang terjadi secara acak antara dua sel gamet pada tahap meiosis. Sehingga memberi peluang dihasilkannya keturunan yang

viabilitasnya tinggi dan berpengaruh terhadap evolusi populasi. Perkawinan yang tidak acak akan mengakibatkan terbentuknya gen resesif pada keturunan karena alel yang cenderung disukai akan mendominasi dalam populasi.

e. Seleksi Alam dan Adaptasi

Suatu adaptasi pada individu akan selalu diikuti oleh proses seleksi alam. Individu yang adaptatif, cenderung dapat lolos dari seleksi alam dengan perubahan sifat tertentu sehingga dapat bertahan hidup dan mewariskan sifat tersebut pada keturunannya.

Jadi, dapat disimpulkan bahwasanya evolusi merupakan peristiwa yang sifatnya fleksibel dan terus terjadi mengikuti perkembangan zaman. Setiap makhluk hidup harus mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungannya sehingga dapat lolos dari seleksi alam dan mampu bertahan hidup sehingga dapat melakukan rekombinasi seksual untuk melestarikan keturunannya meskipun sifatnya tidak identik.

3. Hukum Hardy Weinberg

Pada proses evolusi terjadi perubahan frekuensi gen. Bila perbandingan antara genotip-genotip dalam satu populasi tidak berubah dari satu generasi ke generasi, maka frekuensi gen dalam populasi tersebut ada dalam keadaan seimbang, artinya tidak terjadi evolusi.

Frekuensi gen berada dalam keseimbangan apabila:

- tidak terjadi migrasi;
- tidak ada mutasi, atau harus ada keseimbangan mutasi di mana perubahan genetik ke satu arah diimbangi oleh

sejumlah mutasi yang sama dalam arah berlawanan;

- tidak terjadi seleksi;
- reproduksi harus berlangsung acak;
- populasi harus besar.

Bila frekuensi gen dalam satu populasi ada dalam

keadaan seimbangberla

Apabila frekuensi gen yang satu dinyatakan dengan simbol

p, dan alelnya dengan simbol q, maka: $(p+q) = 1$

Bila frekuensi gen A = p dan frekuensi gen a = q, maka

frekuensi genotip AA : Aa : aa = $p^2 : 2pq : q^2$.

Cara mencari frekuensi gen

Jika dalam suatu populasi diketahui frekuensi genotipnya,

maka frekuensi gennya dapat dicari. Contohnya, frekuensi

genotip aa dalam suatu populasi 0,25. Tentukan frekuensi

gen A : a serta frekuensi genotip AA, Aa, dan aa.

Jawab:

$\sqrt{\text{Frekuensi}}$

gen a = aa =

0,25 = 0,5

Jumlah

frekuensi

gen A + a =

1 Jadi,

frekuensi

gen A = 1 -

0,5 = 0,5

Frekuensi genotip AA : Aa :

aa = $(0,5 A + 0,5a) (0,5 A +$

$0,5 a) = 0,25 AA : 0,50 Aa :$

0,25 aa.

Penerapan hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen dalam populasi sebagai berikut:

- a) Dalam suatu populasi terdapat kelompok perasa pahit kertas PTC (*phenylthiocarbamide*) sebesar 64%, sedangkan yang lainnya bukan perasa PTC. Bukan perasa PTC dikendalikan oleh gen t dan perasa PTC dikendalikan oleh gen T. Tentukan frekuensi gen dan genotip populasi orang PTC dan non PTC. **Jawab:**

Jumlah PTC dan non-PTC =

100% orang PTC (genotip TT atau

Tt) = 64%

Frekuensi orang tidak perasa PTC

(bergenotip tt = q^2) = 100% -

64% = 36% $q^2 = 36\% = 0,36$

maka frekuensi gen t = $q = \sqrt{0,36} = 0,6$

T + t = 1, maka

frekuensi T = 1 - 0,6 =

0,4 frekuensi T : t = 0,4

: 0,6 frekuensi genotip

TT

: Tt : tt = (T + t) (T + t)

= (0,4 T + 0,6 t) (0,4 T + 0,6 t)

= 0,16 TT + 2(0,24 Tt) + 0,36 tt = 0,16 TT + 0,48 Tt +

0,36 tt

Jadi, frekuensi genotip TT : Tt : tt = 16 : 48 : 36 = 4 : 12 : 9

Untuk mencari frekuensi gen, coba kamu cari dahulu frekuensi individu yang bergenotip homozigot resesif, sebab genotif dominan bisa bergenotip TT atau Tt.

- b) Diketahui frekuensi orang albino pada suatu masyarakat adalah 25 di antara 10.000 orang. Berapa persentase orang pembawa

sifat albino yang heterozigot?

Jawab:

Orang albino aa (q^2)

$$\sqrt{\quad} \quad q^2 = 25$$

$$/10.000 =$$

$$0,0025 \quad q =$$

$$0,0025$$

$$= 0,05 \quad p + q = 1$$

$$p + 0,05 = 1 \rightarrow p = 1 - 0,05 = 0,95$$

Orang pembawa sifat albino dinotasikan dengan $2pq$

$$= 2(0,95 \times 0,05)$$

$$= 0,0475$$

$$= 0,0475 \times 100\%$$

$$= 4,75\%$$

4. Perubahan perbandingan frekuensi gen pada populasi

Saat ini, telah diketahui beberapa faktor penting yang menyebabkan perubahan keseimbangan genetik di dalam suatu populasi. Faktor-faktor tersebut, antara lain: mutasi, seleksi alam, emigrasi dan imigrasi, rekombinasi dan seleksi, dan *genetic drift*. Untuk lebih mengetahui, mari cermati uraian berikut ini.

a. Mutasi

Apabila ada satu atau beberapa gen yang bermutasi, maka akan terjadi perubahan keseimbangan gen-gen dalam suatu populasi.

Contoh:

Gen b yang mempengaruhi rambut tikus berwarna putih adalah normal. Kemudian, bermutasi menjadi gen B yang menyebabkan rambut tikus berwarna

kuning. Gen ini menyebabkan letal apabila dalam keadaan homozigot BB. maka:

P : Bb × Bb
 (kuning) (kuning)

F : BB Bb Bb
 bb

 1 1 1

 1

 1 2

 Letal kuning

putih Dengan demil

b. Seleksi alam

Di danau buatan di Amerika Serikat pernah ditemukan jenis katak berkaki banyak dan jenis katak normal. Katak yang berkaki banyak fertilitasnya rendah atau mandul dan bersifat resesif. Sedangkan, katak berkaki normal mempunyai fertilitas normal dan bersifat dominan. Karena katak berkaki banyak bersifat mandul, maka katak ini dapat dihasilkan dari perkawinan antara katak berkaki normal heterozigot.

Jadi, apabila katak berkaki normal heterozigot (Nn) dikawinkan dengan yang berkaki normal Nn, maka akan dihasilkan rasio keturunannya, sebagai berikut:

P : Nn × Nn
 F N : (Nn + Nn) : nn
 N

  
 25% : 50% : 25%

Katak yang bergenotif nn adalah mandul sehingga yang mampu menghasilkan keturunan yang bergenotif NN dan Nn , atau 75% dari seluruh populasi.

b. Spesiasi

Spesiasi atau pembentukan spesies pada dasarnya dapat digunakan sebagai saksi hidup mengenai apa yang terjadi di masa lalu, maka dari itu proses spesiasi dapat pula dianggap sebagai bukti bahwa proses evolusi memang berlangsung.

Syarat terjadinya spesiasi adalah :

1. Adanya perubahan lingkungan, Perubahan lingkungan dapat menyebabkan perubahan evolusi. Contohnya, bencana alam dapat menyebabkan timbulnya kepunahan massal di muka bumi.
2. Adanya relung (niche) yang kosong, Relung merupakan tempat hidup dan interaksi suatu organisme. Suatu spesies selalu menempati relung tertentu. Suatu relung umumnya hanya dapat ditempati oleh satu jenis spesies saja. Kepunahan massal akan menimbulkan relung-relung kosong yang akan menyebabkan relung-relung baru terisi kembali dalam jangka waktu yang panjang. Apabila relung tersebut kosong (tidak ada organisme yang menempatinya), maka akan ada banyak organisme yang berusaha menempati relung tersebut.
3. Adanya keanekaragaman suatu kelompok organisme. Selalu akan ada sejumlah organisme yang mencoba mengisi relung yang kosong. Keberhasilan suatu organisme mengisi relung

ditentukan oleh seberapa besar kecocokan organisme tersebut dibandingkan dengan persyaratan relung yang kosong.

c. Isolasi Geografi

Isolasi geografi/batas alam. Apabila batas alam tidak dapat dilewati, suatu populasi tidak akan pernah bertemu dengan populasi lainnya maka dapat menyebabkan terjadinya spesiasi baik simpatri maupun tidak simpatri

- Proses spesiasi simpatri: proses spesiasi yang terjadi dalam area geografi yang sama dari suatu spesies yang paling berkerabat. Spesiasi terjadi karena aspek genetik, morfologi, tingkah laku, fisiologi, dan lain-lain. Contoh: populasi mencit di Eropa Barat memiliki sejumlah populasi kecil yang tidak interfertilisasi dengan populasi di sebelahnya walaupun penyebarannya sangat luas di Eropa Barat.
- Spesiasi tidak simpatri: proses spesiasi yang terdapat dalam area geografi yang berbeda dibandingkan dengan area geografi suatu spesies yang paling berkerabat. Dibagi menjadi 3 yaitu:
 1. Spesiasi alopatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang berjauhan atau berlainan dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Sebagian dari populasi suatu spesies terpisah dan hidup di daerah yang berlainan. Karena adanya pemisahan, keanekaragaman yang terbawa dari populasi yang terpisah, berbeda dalam frekuensi alelnya. Oleh karena kedua daerah memiliki perbedaan

dalam banyak hal, seleksi alam yang bekerja pada masing-masing area akan berbeda pula. Ketika kedua populasi tersebut bertemu di kemudian hari, tidak ada lagi interaksi social di antara kedua populasi tersebut. Contoh: *Macaca brunnescens* dianggap jenis berbeda dari *Macaca ochreata* karena terpisah secara geografi.

2. Spesiasi parapatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah yang bersebelahan dengan daerah dari suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Daerah penyebaran meliputi lebih dari satu macam habitat dengan persyaratan yang berbeda. Dengan berjalannya waktu, terbentuklah suatu populasi yang tetap bersebelahan tetapi kemampuan interfertilnya secara gradual menurun, berbanding lurus dengan jarak antara dua populasi. Akhirnya pada suatu keadaan akan ada dua populasi yang sudah tidak mampu berinteraksi secara interfertil, sehingga harus dianggap sebagai spesies tersendiri.
3. Spesiasi peripatri: proses spesiasi yang terjadi di daerah pinggir dari daerah suatu spesies yang paling dekat hubungan kekerabatannya. Suatu organisme memiliki kisaran toleransi tertentu, akibatnya jenis tersebut akan menempati daerah tertentu. Semakin jauh dari pusat penyebarannya, maka lingkungannya pun makin berbeda. Dengan demikian spesies yang menempati daerah tersebut akan semakin

berbeda dengan spesies yang menempati pusat. Dengan demikian, interaksi antara populasi tersebut dengan populasi satu spesiesnya menjadi sangat terbatas.

d. Isolasi Reproduksi

Proses spesiasi yang ditinjau dari: keberhasilan terjadinya pembuahan (kemungkinan pertemuan antara dua jenis sel gamet proses pra-kawin) dan keberhasilan suatu perkawinan (proses pasca kawin).

1. Spesiasi pra kawin meliputi:

- Kromosomal: perbedaan jumlah, bentuk, urutan kromosom berpengaruh dalam perubahan.
- Musim: perbedaan musim kawin atau musim berbunga menyebabkan individu hanya dapat saling membuahi individu tertentu yang cocok.
- Parthenogenesis: individu identik dengan induk yang menghasilkannya.
- Morfologi atau struktural: perbedaan struktur tubuh (morfologi) menyebabkan pembuahan menjadi tidak mungkin.

2. Spesiasi pasca kawin meliputi:

- Letalitas: adanya embrio yang letal
- Sterilitas: individu yang dilahirkan tidak dapat memiliki keturunan.
- Semi-letal: individu yang dihasilkan, meskipun hidup normal dan dapat memiliki keturunan, memiliki vitalitas yang sangat rendah.

C. Rangkuman

1. Evolusi merupakan proses satu arah dalam waktu yang

tidak terbalikkan. Proses evolusi hanya dapat dipelajari dari petunjuk-petunjuk yang ada yaitu adanya variasi makhluk hidup, fosil-fosil yang ditemukan, homologi dan analogi organ, embriologi perbandingan, petunjuk biokimia, perbandingan fisiologi, alat tubuh yang tersisa.

2. Mekanisme evolusi dapat terjadi melalui mutasi, genetik drif, aliran gen, rekombinasi seksual, seleksi alam, dan adaptasi.

D. Latihan Soal

Kerjakan semua soal di bawah ini di kertas, kemudian cocokkan dengan kunci jawaban yang tersedia untuk penyelesaiannya!

1. Salah satu petunjuk evolusi adalah homologi organ tubuh. Jelaskan yang dimaksud dengan Homolog!
2. Bagaimana teori Darwin dan Lamarck menjelaskan fenomena jerapah berleherpanjang!
3. Sebutkan akibat dari terjadinya seleksi alam!
4. Sebutkan kelemahan teori evolusi Darwin menurut August Weismann!

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar, kemudian gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konver

si

tingkat

penguas

aan:90 -

100% =

baik

sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. Bagus! Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 1, terutama bagian yang belum dikuasai.

| No | Kunci jawaban | Skor |
|----|---|------|
| 1. | Organ homolog adalah organ-organ yang memiliki struktur asal sama, tetapi fungsinya, berbeda. Tangan manusia homolog dengan kaki depan kadal, sayap burung, sayap, kelelawar, maupun sirip lumba-lumba. Akan tetapi, tangan manusia tidak homolog, dengan sayap kupu-kupu karena keduanya tidak memiliki struktur asal yang sama. | 25 |

| | | |
|----|--|----|
| 2. | <p>Menurut teori Darwin, panjangnya leher jerapah merupakan salah satu contoh seleksi alam. Jerapah memiliki leher yang bervariasi, ada yang panjang dan ada yang pendek. Jerapah berleher panjang mampu meraih daun-daun yang ada di pucuk pohon sebagai makanannya, sedangkan jerapah berleher pendek tidak. Akibatnya, jerapah berleher pendek tidak mampu bertahan hidup dan jumlahnya terus berkurang sehingga yang tersisa adalah jerapah berleher panjang. Menurut teori Lamarck, dahulu semua jerapah berleher pendek. Namun, akibat tertarik selama bertahun-tahun untuk meraih daun-daun di pucuk pohon, leher jerapah menjadi panjang. Selanjutnya, leher panjang itu diwariskan kepada keturunannya.</p> | 25 |
| 3. | <p>Organisme yang dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang baru akan dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya, Organisme yang tidak dapat menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang baru akan mati atau pindah ke daerah lain yang tidak mengalami perubahan lingkungan.</p> | 25 |
| 4. | <p>Weismann berpendapat bahwa sifat leher panjang dan leher pendek pada jerapah dikendalikan oleh gen. Gen untuk leher panjang bersifat dominan, sedangkan gen untuk leher pendek bersifat resesif. Oleh karena itu, jerapah berleher panjang merupakan keturunan yang bersifat homozigot dominan atau heterozigot. Sebaliknya, jerapah berleher pendek merupakan keturunan yang bersifat homozigot resesif. Jerapah berleher pendek yang homozigot resesif tidak mampu beradaptasi dengan lingkungannya sehingga akhirnya punah. Weismann berpendapat bahwa evolusi berkaitan dengan gejala seleksi</p> | 25 |

| | | |
|--|--------------------------------------|--|
| | alam terhadap faktor-faktor genetik. | |
|--|--------------------------------------|--|

EVALUA

SI

1. Pernyataan *omne vivum ex ovo, omve ovum ex vivo* menjelaskan bahwa
 - A. kehidupan selalu berasal dari organisme yang bertelur
 - B. kehidupan dapat berasal dari benda mati
 - C. tak ada kehidupan tanpa telur
 - D. sebelum ada individu, maka harus ada telur terlebih dahulu
 - E. kehidupan ada karena telah ada kehidupan sebelumnya
2. Evolusi merupakan perubahan pada suatu individu yang disebabkan oleh lingkungan dan bersifat diturunkan. Pendapat tersebut merupakan gagasan dari
 - A. De Lamarck
 - B. C. Darwin
 - C. Lelley
 - D. Antoni
 - E. August. W
3. Populasi jerapah adalah heterogen, ada yang berleher pendek dan ada yang berleher panjang. Dalam kompetisi mendapatkan makanan, jerapah yang berleher panjanglah yang lestari,

sedangkan jerapah berleher pendek lenyap secara perlahan-lahan. Peristiwa tersebut mengingatkan teori evolusi yang dikemukakan oleh

- A. Weismann
- B. Gerabah
- C. Charles Darwin
- D. Lamarck
- E. Gregor Johan Mendel

4. Seorang sejarawan melakukan penelitian mengenai evolusi dan menemukan beberapa fakta yang terjadi di alam antara lain:
- 1) Terdapat homologi organ
 - 2) Adanya variasi individu dalam satu keturunan
 - 3) Ditemukannya hewan yang sama pada tempat yang berbeda
 - 4) Semua species mempunyai potensi reproduksi yang tinggi
- Fakta yang diperoleh dan dapat dijadikan sebagai dasar teori evolusi adalah...

- A. 1 dan 2
- B. 1 dan 3
- C. 2 dan 3
- D. 2 dan 4
- E. 3 dan 4

5. Hal - hal berikut yang bukan merupakan petunjuk evolusi adalah

- A. fosil pada berbagai lapisan batuan
- B. anatomi perbandingan yang bersifat analog
- C. anatomi perbandingan yang bersifat homolog
- D. embriologi perbandingan
- E. perkawinan silang

6. Di bawah ini organ-organ dari berbagai hewan:

- 1) sayap kelelawar
- 2) kaki manusia
- 3) sayap kupu-kupu
- 4) kaki depan kuda
- 5) sirip paus

Organ tubuh yang
bersifat homologi

adalah....A. 1, 2, 5

B. 2, 4, 5

C. 2, 4, 5

D. 2, 4, 5

E. 3, 4, 5

7. Bila 2 jenis hewan memiliki banyak organ yang homolog, maka ini dapat diartikan bahwa kedua jenis hewan tersebut
 - A. dekat hubungan secara evolusi
 - B. besar kemampuan untuk beradaptasi
 - C. banyak persamaan habitatnya
 - D. tinggi tingkatan pertumbuhan evolusinya
 - E. besar kemungkinan untuk bersimbiosis
8. Sayap lebah dan sayap kelelawar termasuk organ yang analog, karena....
 - A. bentuk dasar berbeda
 - B. bentuk berbeda, fungsi sama
 - C. asal sama, fungsi sama
 - D. asal berbeda, fungsi berbeda
 - E. tidak ada persamaan apapun
9. Filogeni menjelaskan perkembangan makhluk hidup dalam

evolusi, sedangkan ontogeni mempersoalkan perkembangan zigot sampai dewasa, pernyataan berikut yang benar

- A. filogeni sangat bertentangan dengan ontogeni
- B. filogeni sangat erat hubungannya dengan evolusi
- C. filogeni merupakan rekapitulasi dari ontogeni
- D. ontogeni sangat erat hubungannya dengan evolusi
- E. ontogeni merupakan rekapitulasi dari filogeni

10. Alat-alat yang tersisa pada organisme dapat di anggap sebagai petunjuk adanya evolusi. Pada manusia yang bukan merupakan alat tubuh yang tersisa adalah....

- A. Rambut pada dada
- B. Tulang telapak tangan
- C. Umbai cacing (usus buntu)
- D. Gigi taring yang runcing
- E. Otot-otot (penggerak) telinga

11. Faktor utama yang mengakibatkan penurunan populasi kupu-kupu jenis *biston betularia* bersayap cerah setelah adanya revolusi industri adalah

- A. seleksi alam
- B. adaptasi terhadap lingkungan
- C. persaingan dalam hal panga
- D. perubahan warna cerah menjadi gelap
- E. warna gelap lebih adaptif dengan lingkungan

12. Perhatikan pernyataan berikut!

- 1) Perubahan struktur materi genetik yang diturunkan kepada generasi berikutnya.
- 2) Proses penyesuaian diri makhluk hidup terhadap lingkungan.
- 3) proses penggabungan gen dari organisme yang berbeda.

4) pemilihan yang dilakukan oleh alam untuk memilih makhluk hidup yang dapat terus bertahan hidup dan tidak dapat terus bertahan hidup.

Perubahan burung Finch di Kepulauan Galapagos sebagai contoh terjadinya evolusi yang disebabkan oleh

- A. 1 dan 2
 - B. 1 dan 3
 - C. 2 dan 3
 - D. 2 dan 4
 - E. 3 dan 4
13. Pada suatu daerah dengan 10.000 penduduk terdapat 4% warga albino, maka perbandingan jumlah orang yang berkulit homozigot dan normal heterozigot berturut-turut adalah ...
- A. 6.400 dan 1.600
 - B. 6.400 dan 3.200
 - C. 3.200 dan 1.600
 - D. 3.200 dan 4.00
 - E. 1.600 dan 4.00
14. Suatu populasi burung terpisah menjadi dua populasi. Setelah ribuan tahun kedua populasi burung tersebut bersatu kembali, tetapi gagal melakukan perkawinan. Berikut ini yang bukan penjelasan untuk hal tersebut adalah ...
- A. Masa kawin kedua populasi tersebut berubah
 - B. Populasi asal berevolusi menjadi dua spesies berbeda
 - C. Tidak terjadi isolasi gamet
 - D. Dua populasi tersebut menjadi terisolasi secara geografis
 - E. Telah terjadi isolasi gamet
15. Kesimpulan dari teori Darwin adalah ...

- A. Manusia bisa saja berasal dari monyet
- B. Homologi menjadi dasar makhluk hidup berevolusi
- C. Makhluk hidup dapat berubah sendiri secara spontan
- D. Makhluk hidup dapat berubah sendiri secara spontan
- E. Hanya melalui mutasi makhluk hidup berubah bentuk dan berevolusi
- F. Makhluk hidup berubah bentuk karena seleksi dan adaptasi

Cocokkanlah jawaban Anda dengan Kunci Jawaban yang terdapat di bagian akhir modul ini. Hitunglah jawaban yang benar. Kemudian, gunakan rumus berikut untuk mengetahui tingkat penguasaan Anda terhadap materi Kegiatan Belajar 2.

$$\text{Nilai} = \frac{\text{Jumlah Skor Perolehan}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100 \%$$

Konversi tingkat penguasaan:

90 - 100% = baik sekali

80 - 89% = baik

70 - 79% = cukup

< 70% = kurang

Apabila mencapai tingkat penguasaan 80% atau lebih, Anda dapat meneruskan dengan Kegiatan Belajar 2. Jika masih di bawah 80%, Anda harus mengulangi materi Kegiatan Belajar 2, terutama bagian yang belum dikuasai.

Kunci jawaban soal evaluasi

| Nomor soal | Kunci jawaban | Nomor soal | Kunci jawaban | Nomor soal | Kunci jawaban |
|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| 1. | A | 6. | B | 11. | A |
| 2. | B | 7. | A | 12. | D |
| 3. | C | 8. | B | 13. | B |
| 4. | A | 9. | C | 14. | C |
| 5. | E | 10. | C | 15. | E |

BAB 11

KEANEKARAGAMAN HAYATI

Pengertian Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati (*biological diversity* atau *biodiversity*) merupakan istilah yang digunakan untuk menerangkan keragaman ekosistem dan berbagai bentuk variabilitas hewan, tumbuhan, serta jasad renik di alam. Dengan demikian keanekaragaman hayati mencakup keragaman ekosistem (habitat), jenis (spesies) dan genetik (varietas/ras). Sementara Pasal 2, Konvensi tentang Keanekaragaman Hayati (*Convention on Biological Diversity, CBD*) mendefinisikan bahwa keanekaragaman hayati sebagai variasi yang terdapat diantara makhluk hidup dari semua sumber termasuk diantaranya ekosistem daratan, lautan, dan ekosistem perairan lain, serta kompleks ekologis yang merupakan bagian dari keanekaragamannya (Dahuri, 2003).

Indonesia merupakan negara yang mempunyai keanekaragaman Tumbuhan yang besar dengan jumlah 300.000 jenis. Tumbuhan paku (Pteridophyta) termasuk dalam golongan tumbuhan yang mempunyai keanekaragaman yang besarkurang lebih 10.000 jenis dan hampir dapat dijumpai pada setiap wilayah di Indonesia. Sampai saat ini tumbuhan paku kurang mendapat perhatian dibanding dengan kelompok tumbuhan lain. Masyarakat menganggap tumbuhan ini kurang memberikan manfaat yang berarti bagi kehidupan. Dari segi cara hidupnya ada jenis-jenis paku yang hidup terestrial (paku tanah), ada paku epifit, dan ada paku air. Di masa yang silam (jutaan tahun yang lalu), hutan-hutan di bumi kita terutama tersusun atas warga tumbuhan paku yang berupa pohon-pohon yang tinggi besar, dan dikenal fosilnya sekarang sebagai batu bara.

Keanekaragaman hayati dapat ditinjau dari tiga tingkatan. Pertama adalah tingkat gen dan kromosom yang merupakan pembawa sifat keturunan. Bila kita perhatikan persamaan suatu individu organisme

dengan lainnya, dapat kita lihat bahwa tidak ada satu individu yang peampilannya persis sama dengan individu yang lain. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan gen yang terkandung di dalamnya.

Pada konsep keanekaragaman gen ini satu hal yang sangat penting untuk diketahui karena terkait dengan kehidupan sehari-hari adalah plasma nutfah. Plasma nutfah adalah substansi genetik yang ada pada setiap individu makhluk hidup. Sebagai ilustrasi dapat kita contohkan suatu jenis tumbuhan yang memiliki plasma nutfah yang tinggi yakni pisang. Kita ketahui banyak terdapat "jenis" pisang, isalnya pisang kepok, uli, raja, rajasere, ambon, tanduk, kapas, lampung, dan pisang batu. Contoh lain adalah plasma nutfah untuk mangga, misalnya mangga arumanis, golek, kweni, kebembem, bacang, kopyor, telur, santok, janis, dan bapang.

Kedua, adalah keanekaragaman pada tingkat jenis, atau dalam istilah biologi dikenal dengan istilah spesies. Di dalam rumah, misalnya kita dapat mendaftar berbagai spesies yang ada, misalnya rumput manila, puring, kelapa, pisang, bunga pukul empat, bunga mawar, bambu, belalang sembah, katak sawah, semut merah, cacing, kadal, capung, kupu-kupu, burung sesap madu, burung kaca mata. Semuanya ini merupakan spesies tumbuhan dan hewan.

Ketiga, adalah keanekaragaman ekosistem. Keanekaragaman ekosistem ini berkaitan dengan kekayaan tipe habitat (tempat tumbuh). Andaikan kita berada di daerah gurun, maka tipe habitat yang mungkin ada hanyalah padang pasir dan oase. Jika kita berpindah ke daerah pedesaan di Jawa Barat, maka kita akan dapat dengan mudah menemukan berbagai tipe habitat, misalnya sawah, ladang, sungai, kolam ikan, hutan bambu, kebun kopi dan seterusnya. Dengan demikian, maka dapat disebutkan bahwa daerah pedesaan Jawa Barat memiliki keanekaragaman ekosistem yang lebih tinggi daripada daerah gurun.

Tingkat Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati dapat terjadi pada tingkat gen, tingkat jenis, dan tingkat ekosistem yang dijumpai di permukaan bumi.

1. Keanekaragaman Hayati Tingkat Gen

Keanekaragaman tingkat gen disebut pula **keanekaragaman genotip**, yaitu tingkat variasi pada organisme sejenis sebagai akibat interaksi antar gena-gena di dalam genotipnya dengan lingkungan sehingga memunculkan fenomena yang berbeda sekalipun gena-genanya sama. Hal ini terjadi sebagai akibat sifat gena-gena ada yang dominan dan ada yang resesif. Itulah sebabnya, sekalipun gena-gena di dalam genotipnya sama dalam satu keluarga terdapat anggota keluarga yang memiliki ciri atau sifat penampilan yang berbeda dengan anggota lainnya dalam keluarga itu. Penampakan sifat genotif berinteraksi dengan lingkungannya disebut **fenotif**. Dengan begitu, akibat adanya sifat **dominansi dan resesif** gena-gena dalam genotip induk organisme itu, suatu induk akan menghasilkan fenotip yang berbeda pada keturunannya. Keanekaragaman genotip disebut juga **plasma nutfah**. Individu yang masih alami atau belum termutasi oleh manusia, memiliki kekayaan plasma nutfah yang berharga, karena gena-genanya masih bisa direkayasa lebih lanjut. Keanekaragaman hayati dalam bentuk hutan seisinya merupakan sumber plasma nutfah untuk kesejahteraan hidup manusia di masa kini dan masa datang, sehingga keberadaan hutan di tiap wilayah semestinya dipelihara dan dilestarikan .

2. Keanekaragaman Tingkat Jenis

Variasi pada keanekaragaman tingkat gen adalah bukan disebabkan oleh keanekaragaman gen, melainkan perbedaan pengaruh interaksi antar gena-gena pada genotip dengan lingkungan yang berbeda. Tetapi keanekaragamantingkat jenis merupakan variasi yang terjadi pada tingkat individu sebagai akibat pengaruh keanekaragamangena-

genayang membentuk genotip individu-individu itu. Keanekaragaman tingkat jenis, contohnya variasi pada jenis kelapa (*Cocos nucifera*), yaitu ada kelapa gading, kelapa kopyor, dan kelapa hijau adalah berbeda varietasnya, tetapi sama jenisnya.

Individu yang satu dengan individu yang lainnya memiliki persamaan dan perbedaan. Makin banyak persamaannya atau makin sedikit perbedaannya, makin dekat kekerabatannya, dan sebaliknya. Untuk melihat jauh dekatnya kekerabatan suatu organisme satu dengan organisme lainnya, para ahli membuat sistem pengelompokan-pengelompokan atau klasifikasi yang disebut tingkatan **takson**. Ilmu yang khusus mempelajari pengelompokan atau klasifikasi organisme ini disebut **Taksonomi**.

3. Keanekaragaman Tingkat Ekosistem

Istilah Ekosistem berasal dari bahasa Greek, yaitu **Ecosistem** (*oikos*= rumah tangga, + *sistema*= keseluruhan bagian-bagian sebagai satu kesatuan). Ekosistem berarti satu kesatuan yang ada dalam rumah tangganya, yaitu satu kesatuan antara semua makhluk hidup dengan lingkungan abiotiknya. Seringkali faktor abiotik menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup. Faktor pembatas dapat berupa perbedaan iklim, bentang alam yang luas, keadaan air tanah dan mineral yang mempengaruhi pertumbuhan organisme. Oleh karena setiap jenis makhluk hidup memiliki daya toleransi, adaptasi, dan suksesi yang berbeda-beda terhadap lingkungan yang berbeda-beda, menyebabkan di dunia terjadi keanekaragaman **ekosistem** maupun **bioma**. Pengaruh ketinggian tempat dan jauh dekatnya ke kutub (garis lintang) menyebabkan adanya perbedaan dan persamaan sebaran vegetasinya. Puncak gunung bersalju dan daerah kutub memiliki jenis vegetasi yang sama, juga di daerah gahari dan ketinggian antara 1.000 - 1.500 m di atas permukaan laut

ditemukan hutan pinus (berdaun jarum) yang subur, dan seterusnya.

PENTINGNYA KEANEKARAGAMAN HAYATI INDONESIA

Semua kebutuhan manusia seperti bahan makanan, tempat tinggal, obat-obatan dan lain lain berasal dari kekayaan keanekaragaman hayati. Selain itu keanekaragaman hayati juga dapat menjadi sumber ilmu pengetahuan dan teknologi, inspirasi sosial budaya umat bagi manusia dan memberikan nuansa keindahan (Abidin, dkk., 2020).

Tiap-tiap masyarakat di Indonesia memiliki pengetahuan yang berbeda-beda dalam mengelola dan memanfaatkan keanekaragaman hayati yang ada di sekitarnya. Masyarakat secara alamiah telah mengembangkan pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh kehidupan dari keragaman hayati yang ada di lingkungannya baik yang hidup secara liar maupun budidaya. Misalnya masyarakat pemburu memanfaatkan ribuan jenis hewan dan tumbuhan untuk makanan, obat-obatan dan tempat berteduh. Masyarakat petani, peternak dan nelayan mengembangkan pengetahuan dan teknologi untuk memanfaatkan keragaman hayati di darat, sungai, danau dan laut untuk memenuhi berbagai kebutuhan hidup.

Keanekaragaman hayati di Indonesia sebagian telah diketahui dan dimanfaatkan (Astirin, 2000). Mengingat pentingnya keanekaragaman hayati dalam kehidupan manusia, maka perlu dilakukan konservasi terhadap kekayaan hayati yang ada. Sehingga keanekaragaman hayati tidak hanya dimanfaatkan generasi sekarang tetapi juga generasi yang akan datang.

Nilai Ekonomi Keanekaragaman Hayati

Perkembangan teknologi di suatu habitat sangat tergantung dari interaksi antara kualitas sumberdaya manusia dan sumber daya alam

yang tersedia. Oleh karena itu, keragaman hayati sangat menentukan perkembangan teknologi. Banyak teknologi yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan manusia memanfaatkan proses-proses biologi oleh organisme. Industri minuman beralkohol seperti anggur, bir dan roti serta pengawetan daging telah ada sejak zaman prasejarah. Adanya keragaman jenis mikroba memungkinkan berkembangnya teknologi fermentasi lainnya untuk menghasilkan keju, yoghurt, susu masam, kecap dan sebagainya.

Nilai Sosial Budaya Keanekaragaman Hayati

Gambaran mengenai hubungan keragaman hayati dengan perubahan sosial budaya, penulis ingin mengajak para pembaca untuk mengingat kembali kondisi dan praktek pertanian yang dilakukan oleh masyarakat Bali sebelum revolusi hijau yaitu sebelum tahun 70-an. Petani Bali saat itu masih menanam beberapa puluh jenis atau varietas padi lokal seperti : Ijo Gading, Cicih, Bengawan dan Cicih Beton. Umur padi ini adalah sekitar 200 hari (sekitar 6 bulan).

Keanekaragaman hayati memiliki berbagai nilai dalam kehidupan yang mencakup aspek ekonomi, aspek sosial, lingkungan, aspek sistem pengetahuan, dan etika serta kaitan di antara berbagai aspek ini.

a. Nilai Eksistensi Keanekaragaman Hayati

Nilai eksistensi merupakan nilai yang dimiliki oleh keanekaragaman hayati karena keberadaannya. Nilai ini tidak berkaitan dengan potensi suatu organisme tertentu, tetapi berkaitan dengan beberapa faktor berikut:

- Faktor hak hidupnya sebagai salah satu bagian dari alam;
- Faktor yang dikaitkan dengan etika, misalnya nilainya dari segi etika agama. Berbagai agama dunia menganjurkan manusia untuk memelihara alam ciptaan Allah; dan
- Faktor estetika bagi manusia.

b. Jasa Lingkungan Keanekaragaman Hayati

Jasa lingkungan yang dimiliki oleh keanekaragaman hayati ialah dalam bentuk jasa ekologis bagi lingkungan dan kelangsungan hidup manusia. Sebagai contoh jasa ekologis dari hutan yang merupakan salah satu bentuk dari ekosistem keanekaragaman hayati, mempunyai beberapa fungsi bagi lingkungan seperti:

- Pelindung keseimbangan siklus hidrologi dan tata air sehingga menghindarkan manusia dari bahaya banjir maupun kekeringan;
- Penjaga kesuburan tanah melalui pasokan unsur hara dari serasah hutan;
- Pencegah erosi dan pengendali iklim mikro

c. Nilai Warisan keaneka

Nilai warisan adalah nilai yang berkaitan dengan keinginan untuk menjaga kelestarian keanekaragaman hayati agar dapat dimanfaatkan oleh generasi mendatang. Nilai ini acap terkait dengan nilai sosiokultural dan juga nilai pilihan. Spesies atau kawasan tertentu sengaja dipertahankan dan diwariskan turun temurun untuk menjaga identitas budaya dan spiritual kelompok etnis tertentu atau sebagai cadangan pemenuhan kebutuhan mereka di masa datang.

d. Nilai Pilihan

Keanekaragaman hayati menyimpan nilai manfaat yang sekarang belum disadari atau belum dapat dimanfaatkan oleh manusia; namun seiring dengan perubahan permintaan, pola konsumsi dan asupan teknologi, nilai ini menjadi penting di masa depan. Potensi keanekaragaman hayati dalam memberikan keuntungan bagi masyarakat di masa datang ini merupakan nilai pilihan.

e. Nilai Konsumtif

Manfaat langsung yang dapat diperoleh dari keanekaragaman hayati disebut nilai konsumtif. Dari keanekaragaman hayati. Sebagai contoh Dari nilai konsumtif ini ialah pemanfaatan keanekaragaman hayati untuk pemenuhan kebutuhan sandang, pangan maupun papan.

f. Nilai Produktif

Nilai produktif adalah nilai pasar yang didapat dari perdagangan keanekaragaman hayati di pasar lokal, nasional maupun internasional. Persepsi dan pengetahuan mengenai nilai pasar ditingkat lokal dan global berbeda. Pada umumnya, nilai keanekaragaman hayati local belum terdokumentasikan dengan baik sehingga sering tidak terwakili dalam perdebatan maupun perumusan kebijakan mengenai keanekaragaman hayati di tingkat global mau pun lokal.

ANCAMAN KEANEKARAGAMAN HAYATI INDONESIA

Populasi manusia yang terus bertambah menyebabkan berkurangnya hutan sebagai salah satu ekosistem pendukung keanekaragaman hayati. Kegiatan manusia yang mengancam keanekaragaman antara lain kerusakan habitat, fragmentasi habitat, degradasi habitat, perubahan iklim global, pemanfaatan spesies yang berlebihan, invasi spesies asing, dan meningkatnya penyebaran penyakit (Abidin, dkk., 2020).

1. Kerusakan Habitat

Indonesia adalah Negara *megadiversity* terutama kekayaan hayatinya, tetapi juga merupakan negara dengan tingkat keterancaman kepunahan jenis yang tinggi. Salah satu ancaman kekayaan hayati Indonesia adalah kerusakan habitat. Hutan yang merupakan tempat plasma nutfah biota darat banyak mengalami degradasi dan beralih menjadi lahan budidaya kelapa sawit, pertanian, transmigrasi, pertambangan dan perumahan selain itu banyak terjadi kasus *illegal logging* yang turut mentumbang persentase angka degradasi hutan yang ada. Hutan di pulau Sumatra mengalami degradasi 2,5% per tahun (Abidin, dkk., 2020).

Kegiatan manusia yang dapat menyebabkan degradasi hutan

sebagai pusat keanekaragaman hayati antara lain adalah tekanan pertumbuhan penduduk, fragmentasi hutan, penebangan liar, perambahan hutan, pembakaran hutan, dan konversi hutan untuk pertanian dan perkebunan (Yudohartono, 2008:1). Program industri per kayu nasional dianggap sebagai penyebab utama kerusakan hutan. Indikator ini dapat tercermin dari jumlah total produksi tahunan menunjukkan adanya aktivitas pembukaan hutan alam setiap tahun dengan luasan yang berbanding lurus, Kebutuhan kawasan hutan di luar kegiatan (kehutanan, terutama perkebunan dan pertambangan) serta pemegang konsesi hutan tanaman industri banyak melakukan penebangan terhadap pohon-pohon di hutan alam secara besar-besaran dengan memanfaatkan izin pemanfaatan kayu (Abidin, dkk., 2020).

2. Pemanasan Global

Pemanasan global merupakan peristiwa dimana suhu rata-rata atmosfer bumi mengalami peningkatan. Pemanasan global disebabkan oleh terperangkapnya radiasi gelombang panjang matahari atau inframerah di atmosfer bumi oleh gas yang disebut dengan gas-gas rumah kaca. Peristiwa ini disebut dengan istilah efek rumah kaca. Dampak pemanasan global adalah terjadinya perubahan iklim, naiknya air laut, gangguan ekologi, munculnya penyakit baru, munculnya hama-hama baru. Selain itu banyak makhluk hidup baik lora maupun fauna tidak akan mampu menyesuaikan diri sehingga banyak yang punah (Abidin, dkk., 2020).

3. Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan turut serta dalam menyumbang kepunahan spesies. Zat-zat polutan yang kadang bersifat toksik dapat membunuh flora maupun fauna yang ada baik secara langsung maupun tidak langsung. Belum lagi polutan padat yang sulit terurai seperti sampah-sampah plastik yang dibuang ke laut menyebabkan sejumlah biota mati karena terjatuh atau karena sampah-sampah tersebut tertelan dalam tubuh organisme.

4. Eksploitasi Berlebihan

Eksploitasi terhadap flora maupun fauna secara berlebihan merupakan salah satu penyebab utama punahnya suatu spesies. Sejumlah flora maupun fauna langka sekarang menjadi perburuan karena memiliki nilai ekonomi tinggi seperti gajah untuk diambil gadingnya, harimau dan macan untuk diambil kepala dan kulitnya. Eksploitasi flora dan fauna seharusnya diimbangi dengan adanya kultivasi suatu organisme, sehingga pengambilan organisme di alam dapat dikurangi bahkan dihilangkan.

5. Datangnya Spesies Asing

Adanya introduksi tanaman maupun hewan yang bersifat invasif dapat menjadi kompetitor organisme lokal. Hal ini menyebabkan beberapa organisme lokal tidak dapat bersaing dan akhirnya punah. Introduksi spesies asing yang dapat menurunkan keanekaragaman hayati dapat merusak keseimbangan lingkungan dan pada gilirannya akan berujung pada kerugian ekonomi. Keberadaan spesies invasif jika tidak ditanggulangi akan dapat mengakibatkan rusaknya suatu ekosistem. Hal ini pernah terjadi di Ranu Pane sebuah danau vulkanik di kawasan Taman Nasional Bromo Tengger Semeru, pada tahun 2011 hingga saat ini terkena spesies invasif *Salvinia molesta*, keberadaan spesies ini dapat mengakibatkan rusaknya ekosistem danau yaitu berupa pendangkalan danau, sehingga pihak pengelola taman nasional dibantu masyarakat lokal dan berbagai instansi melakukan pembersihan spesies ini secara mekanis dengan biaya yang cukup besar.

KONSERVASI KEANEKARAGAMAN HAYATI

Mencegah kepunahan adalah tujuan utama dari konservasi keanekaragaman hayati. Walaupun pencegahan kepunahan bertumpu pada konservasi di tingkat spesies, konservasi keanekaragaman hayati harus dilaksanakan di tiga tingkat keanekaragamannya, yaitu ekosistem, spesies dan genetik (Samedi, 2015).

Konservasi ditingkat Ekosistem

Keanekaragaman hayati yang tinggi di Indonesia disebabkan letaknya pada persilangan pengaruh antara benua Asia dan Australia. Sebelah barat wilayah Indonesia (Sumatra, Kalimantan dan Jawa) dipengaruhi oleh sifat-sifat tumbuhan dan hewan Oriental. Sementara, seluruh pulau Papua, Australia dan Tasmania masuk dalam kawasan yang dipengaruhi oleh biogeografi Australia. Sedangkan Sulawesi, Nusa Tenggara dan Maluku merupakan peralihan antara keduanya, sehingga bersifat unik dengan tumbuhan dan hewan yang sama sekali berbeda dengan Oriental maupun Australia. Bappenas pada tahun 1993 mengidentifikasi sedikitnya 47 jenis ekosistem alam khas di Indonesia, yang masih dapat terbagi lagi ke dalam lebih dari 90 tipe ekosistem yang lebih spesifik.³⁵ Ekosistem yang paling kaya keragaman hayatinya adalah hutan hujan tropis yang walaupun hanya meliputi 7% permukaan bumi, namun mengandung paling sedikit 50% s.d. 90% dari semua spesies tumbuhan dan satwa yang ada di dunia.

Perlindungan setiap tipe ekosistem di sebanyak-banyaknya lokasi dapat melindungi lebih banyak lagi keanekaragaman spesies dan genetik. Tidak ada teori yang dapat menjelaskan berapa luasan atau proporsi ideal kawasan konservasi dalam suatu wilayah atau negara. Konvensi Keanekaragaman Hayati ("CBD")³⁷ mendesak negara anggota untuk paling tidak mencadangkan 10% dari wilayah daratannya menjadi kawasan dilindungi, dimana secara global saat ini telah ada sekitar 10-15% kawasan konservasi.

Perlindungan ekosistem saat ini banyak berbenturan dengan kebutuhan lahan bagi pembangunan ekonomi, sehingga kita tidak dapat melindungi semua tipe ekosistem sebanyak-banyaknya di dalam jejaring kawasan yang dilindungi (kawasan konservasi). Dalam kondisi banyak ekosistem penting yang tidak dapat atau sulit dimasukkan ke dalam sistem atau jaringan kawasan konservasi, diperlukan sistem pengelolaan yang dapat

melindungi ekosistem penting tersebut dan keanekaragaman hayatinya tanpa mengorbankan tujuan pemanfaatan lahan.

Dalam pedoman perencanaan kawasan konservasi, IUCN memberikan arahan bahwa kawasan konservasi telah menjadi tonggak bagi interaksi antara manusia dan alamnya. Menurut IUCN, sekarang kawasan konservasi menjadi satu-satunya harapan yang kita punya untuk mencegah terjadinya kepunahan spesies endemik atau spesies terancam punah.

Konservasi ditingkat Spesies

Ancaman terbesar dalam konservasi spesies adalah kepunahan. Sampai jumlah tertentu, kepunahan spesies secara alami dapat ditoleransi. Namun, tidak ada seorang pun yang dapat menduga berapa banyak kehilangan spesies yang dapat menyebabkan bumi ini kolaps, dan dalam berapa lama. Berdasarkan status populasi terkait dengan ancaman terhadap kepunahan dan tekanan pada populasi spesies dari kerusakan habitat dan perdagangan spesies, maka spesies perlu diklasifikasikan ke dalam status perlindungan yang secara hukum mengikat agar tindakan perlindungannya dapat efektif.

Konservasi ditingkat Genetik

Dalam kerangka perlindungan sumber daya genetik untuk menghindari “pencurian” atau yang sering disebut sebagai *biopiracy*, sumber daya genetik yang dapat berupa materi genetik, termasuk informasi yang terkandung di dalamnya dan asal-usulnya (*origin*) – yang berupa tumbuhan, hewan, *mikroba* dan turunannya yang diperoleh dari kondisi *in-situ* dan *ex-situ*. Definisi ini menjadi penting bagi Indonesia sebagai negara yang kaya akan keanekaragaman hayati namun yang masih relatif tertinggal dari segi bioteknologi. Indonesia perlu melindungi kekayaan

hayatinya agar tidak hanya menjadi “pasar” bagi teknologi berbasis keanekaragaman hayati yang justru bersumber dari negara seperti Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Purnomo, Chandra, P. 2020. Keanekaragaman Hayati Sebagai Komunitas. Berbasis Autentitas Kawasan. UNHAWA. Jombang.
- Astirin, OP. 2000. Permasalahan Pengelolaan Keanekaragaman Hayati di Indonesia. *Biodiversitas*, Volume 1. Nomor 1. Halaman 36-40.
- Dahuri, R. 2003. Keanekaragaman Hayati Laut. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Indrawan, M; Primack, R.B.; dan Supriatna, J. 2007. Biologi Konservasi. 3rd Ed. Yayasan Obor, Jakarta.
- Samedi. 2015. *Jurnal Hukum Lingkungan*. Vo. 2. Issue 2, Desember 2015.

BAB 12

EKOLOGI

A. Ruang Lingkup Ekologi

Kata ekologi berasal dari bahasa Yunani oikos, yang berarti "rumah" atau "tempat untuk hidup", dan "logos" yang berarti ilmu, sehingga ekologi berarti ilmu yang mengkaji interaksi antar makhluk hidup maupun interaksi antara makhluk hidup dan lingkungannya. Ekologi juga dapat didefinisikan sebagai pengkajian hubungan organisme-organisme atau kelompok organisme terhadap lingkungannya, atau ilmu hubungan timbal balik antara organisme-organisme hidup dengan lingkungannya (Odum, 1996). Istilah ekologi pertama kali dikemukakan oleh Ernst Haeckel (1834 – 1914). Dalam ekologi, makhluk hidup dipelajari sebagai kesatuan atau sistem dengan lingkungannya.

Pembahasan ekologi tidak lepas dari pembahasan mengenai lingkungan atau dikenal juga sebagai ekosistem dengan berbagai komponen penyusunnya yaitu faktor abiotik dan biotik. Faktor abiotik antara lain suhu, air, kelembaban, cahaya, dan topografi, oleh karenanya ekologi turut mengkaji arus energi dan daur materi. Faktor biotik adalah makhluk hidup yang terdiri dari manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroba. Adanya keterkaitan antar makhluk hidup, baik intraspesies ataupun interspesies menjadikan populasi beserta fungsi dan peranannya dalam suatu lingkungan dikaji dalam ekologi (Wirakusumah, 2003). Keterkaitan dan ketergantungan komponen biotik (manusia, tumbuhan, dan hewan) dan komponen abiotik (tanah, air, dan udara), harus dipertahankan dalam kondisi yang stabil dan seimbang. Perubahan yang terjadi pada salah satu komponen akan mempengaruhi komponen yang lainnya.

Ekologi menggunakan metode pendekatan secara menyeluruh pada komponen-komponen yang berkaitan dalam suatu sistem dan berkisar pada ruang lingkup ekologi, yakni pada tingkat populasi, komunitas, dan ekosistem. Berdasarkan bidang kajiannya, ekologi dapat dibagi menjadi dua, yaitu:

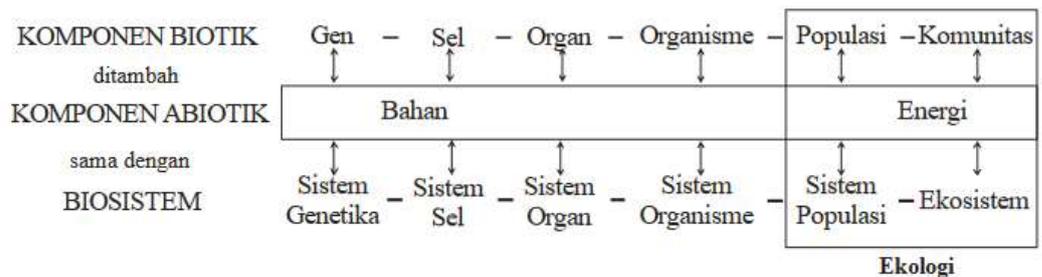
1. Autoekologi, mengkaji individu organisme atau spesies terutama sejarah hidup dan perilaku dalam menyesuaikan diri dengan lingkungan.

2. Sinekologi, mengkaji hubungan antar kumpulan organisme sebagai satu kesatuan.

B. Keterkaitan Ekologi Dengan Bidang Ilmu Lain

Ekologi merupakan ilmu yang banyak memanfaatkan informasi dari berbagai ilmu pengetahuan lain, seperti: kimia, fisika, geologi, dan klimatologi untuk pembahasannya. Penerapan ekologi di bidang pertanian dan perkebunan di antaranya adalah penggunaan biokontrol untuk pengendalian populasi hama guna meningkatkan produktivitas.

Ekologi berkepentingan dalam menyelidiki interaksi organisme dengan lingkungannya. Pengamatan ini bertujuan untuk menemukan prinsip-prinsip yang terkandung dalam hubungan timbal balik tersebut. Keterkaitan antara organisme dan lingkungan diawali dengan pemahaman tentang organisme itu sendiri. Organisme terdiri dari sistem-sistem biologi yang berinteraksi dengan lingkungannya masing-masing. Sistem-sistem ini berjenjang mulai dari molekul hingga organ, sistem organ, dan selanjutnya populasi, komunitas hingga ekosistem (Gambar 1). Studi interaksi pada jenjang yang lebih sederhana menjadi penting karena hasil interaksi ini berpengaruh pada proses interaksi jenjang di atasnya, misalnya hasil interaksi populasi akan mempengaruhi proses interaksi komunitas.



Gambar 1. Ruang Lingkup Ekologi.

C. Ekosistem

Konsep Ekosistem

Ekosistem merupakan kesatuan ekologi yang tercipta dari interaksi antara komunitas dan lingkungannya. Konsep ekosistem merupakan konsep yang luas, fungsi utamanya di dalam pemikiran atau pandangan ekologi merupakan penekanan hubungan ketergantungan, dan hubungan sebab akibat, yang merangkai komponen-komponen untuk membentuk satuan-satuan fungsional. Ekosistem merupakan tingkat organisasi biologi yang paling baik untuk teknik-teknik analisis sistem (Odum, 1996).

Berdasarkan fungsi ekologi, ekosistem terdiri dari tiga komponen biotik (produsen, konsumen, pengurai) dan komponen abiotik. Produsen, konsumen dan pengurai disebut sebagai “three functional kingdoms of nature”, karena ketiga komponen tersebut dipisahkan berdasarkan tipe nutrisi dan sumber energi yang digunakan. Berdasarkan segi penyusunnya, ekosistem terdiri dari empat komponen, antara lain:

1. Produsen, yaitu organisme autotrofik yang mampu menyediakan/mensintesis makanan sendiri yang berupa bahan organik dari bahan anorganik dengan bantuan energi seperti matahari dan zat-zat kimia. Umumnya merupakan tumbuhan berklorofil yang mampu berfotosintesis.
2. Konsumen, merupakan organisme heterotrofik yang memanfaatkan bahan-bahan organik sebagai makanannya dan bahan tersebut disediakan organisme lain. Yang termasuk dalam heterotrof: manusia, hewan (herbivora dan karnivora).
3. Pengurai (dekomposer) yaitu organisme heterotrofik yang menguraikan bahan organik yang berasal dari organisme mati (bahan organik kompleks), menyerap sebagian hasil penguraian tersebut dan melepas bahan-bahan yang sederhana yang dapat dipakai kembali oleh produsen. Bakteri dan jamur termasuk dalam kelompok ini.

4. Komponen Abiotik adalah faktor tak hidup yang meliputi faktor-faktor fisik dan kimia. Faktor tak hidup merupakan medium atau substrat tempat berlangsungnya kehidupan, atau lingkungan tempat hidup.

Faktor-faktor abiotik utama meliputi suhu, air, cahaya matahari, angin, batu dan tanah serta gangguan periodik.

- a. Suhu

Suhu berpengaruh terhadap ekosistem karena suhu merupakan syarat yang diperlukan organisme untuk hidup. Suhu juga merupakan faktor penting pada persebaran organisme karena pengaruh pada proses biologis dan ketidakmampuan sebagian besar organisme untuk mengatur suhu tubuhnya. Setiap organisme memiliki kisaran suhu optimum tertentu agar kerja fungsi endotermis berjalan dengan normal. Ada jenis-jenis organisme yang hanya dapat hidup pada kisaran suhu tertentu, tinggi ataupun rendah.

- b. Air

Air berpengaruh terhadap ekosistem karena air dibutuhkan untuk kelangsungan hidup organisme. Air diperlukan oleh tumbuhan untuk pertumbuhan, perkecambahannya, dan penyebaran biji, sedangkan bagi hewan dan manusia, air diperlukan sebagai air minum dan sarana hidup lain seperti tempat hidup bagi ikan, dan sarana transportasi bagi manusia. Bagi unsur abiotik lain, misalnya tanah dan batuan, air berperan dalam proses-proses pelarutan dan pelapukan. Struktur fisik air seperti kedalaman, kekeruhan air, jenis batuan, arus air; dan struktur kimia (pH, salinitas) akan membatasi tumbuhan dan hewan yang hidup di dalamnya.

- c. Cahaya matahari

Cahaya matahari mempengaruhi ekosistem secara global karena matahari menentukan suhu dan merupakan unsur vital yang dibutuhkan oleh organisme fotosintetik. Cahaya merupakan faktor terpenting yang membatasi pertumbuhan tumbuhan di lingkungan terrestrial, terutama karena berkaitan dengan persaingan mendapatkan cahaya matahari. Intensitas dan kualitas cahaya juga membatasi persebaran organisme fotosintetik di lingkungan akuatik. Cahaya juga mempengaruhi perkembangan dan perilaku tumbuhan

dan hewan yang sensitive terhadap fotoperiode.

d. Angin

Angin memperkuat pengaruh suhu lingkungan pada organisme dengan cara penguapan (evaporasi) dan konveksi (pendinginan). Selain berperan dalam menentukan kelembaban, angin juga berperan dalam penyebaran biji tumbuhan tertentu.

e. Batu dan Tanah

Struktur fisik, pH dan komposisi mineral batu dan tanah akan membatasi persebaran tumbuhan dan hewan yang memakannya. Jenis dan komposisi tanah yang berbeda menyebabkan organisme yang hidup di dalamnya juga berbeda.

f. Gangguan periodik

Gangguan yang sangat merusak, seperti kebakaran, badai, tornado dan letusan gunung berapi akan menghancurkan komunitas biologis. Setelah terjadinya gangguan, daerah akan dikolonisasi ulang oleh organisme yang tertinggal, tetapi struktur komunitas akan mengalami suksesi perubahan selama proses pemulihan. Apabila gangguan yang terjadi dapat diprediksi dan terjadi berulang, maka ada kemungkinan spesies tumbuhan beradaptasi terhadap gangguan periodik tersebut.

Empat faktor abiotik pertama yaitu suhu, air, cahaya matahari, dan angin merupakan komponen utama iklim (*climate*), yang menggambarkan cuaca dominan pada suatu lokasi. Iklim inilah yang berdampak besar pada persebaran dan keberadaan organisme, baik tumbuhan ataupun hewan (Campbell, Reece & Mitchell, 2004).

Macam Ekosistem

Ekosistem merupakan suatu interaksi yang kompleks dan memiliki penyusun yang beragam dan membentuk suatu kesatuan yang teratur akan membentuk bermacam-macam ekosistem. Interaksi ini harus bersifat dinamis

serta melibatkan transfer dan transformasi energi antar komponen. Semua ekosistem pada tingkat organisasi yang berbeda memiliki komponen, interaksi antar komponen, dan proses ekosistem yang sama. Perbedaannya terletak pada keanekaragaman jenis organisme produsen, organisme konsumen, dan organisme pengurai; banyaknya macam-macam komponen abiotik; kompleksitas interaksi antar komponen; dan berbagai proses yang berjalan dalam ekosistem (Odum, 1983).

Ekosistem merupakan perpaduan berbagai jenis dengan bermacam kombinasi fisik dan kimia. Apabila susunan kombinasi berubah maka akan terbentuk ekosistem yang berbeda. Setiap ekosistem akan memiliki perbedaan dalam energetika, pendauran hara dan produktivitasnya. Secara garis besar ekosistem dibedakan menjadi:

1. Ekosistem darat, merupakan ekosistem yang lingkungan fisiknya berupa daratan. Berdasarkan letak geografisnya (garis lintangnya), dapat dibedakan menjadi bioma hutan hujan tropis, sabana, gurun, padang rumput, hutan gugur, taiga (hutan konifer) dan tundra.
2. Ekosistem perairan, terbagi menjadi
 - a. ekosistem air tawar, terbagi menjadi badan air yang tetap (danau, kolam) dan jenis badan air yang bergerak (sungai dan anak sungai)
 - b. ekosistem air laut, Ekosistem air laut dibedakan atas: lautan, pantai, estuary dan terumbu karang.

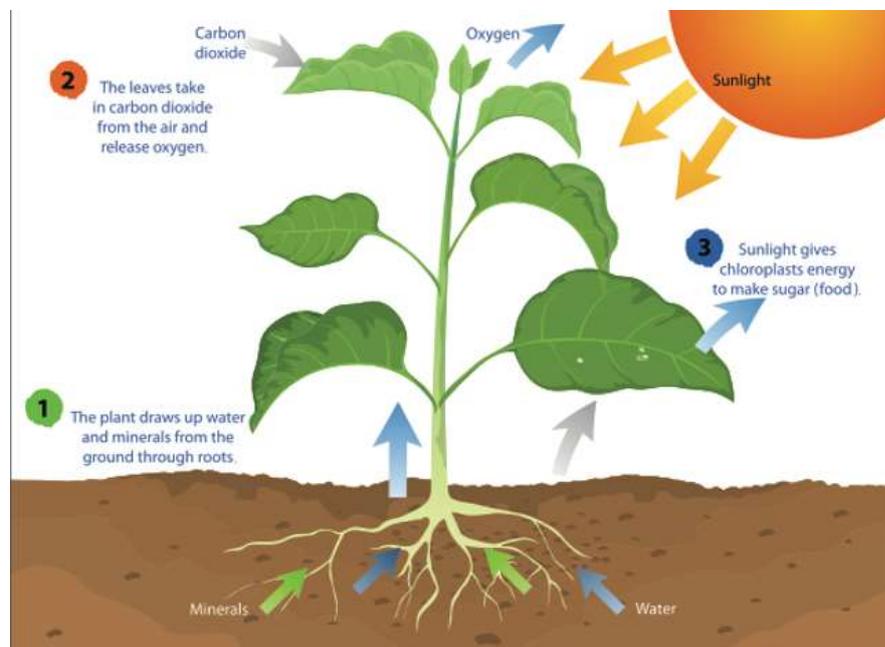
Homeostatis Ekosistem

Homeostatis (homeo=sama; stasis=berdiri) merupakan istilah yang umumnya diterapkan kepada kecenderungan sistem-sistem biologi untuk bertahan terhadap perubahan-perubahan dan tetap berada di dalam keadaan keseimbangan. Cannon (1939) menyimpulkan homeostatis sebagai keseimbangan antara organisme-organisme dan lingkungan yang dapat dipertahankan oleh faktor-faktor yang tahan terhadap perubahan di dalam sistem sebagai keseluruhan. Homeostatis memiliki batasan yang apabila terlampaui akan mengakibatkan kerusakan.

Ekosistem dan organisme di dalamnya secara alami memiliki kemampuan untuk memulihkan diri sendiri. Misalnya, air dalam suatu ekosistem sungai memiliki kemampuan untuk menjernihkan dirinya sendiri yang disebut dengan *self-purification*. Jika mekanisme ini terganggu dengan penambahan zat beracun dalam jumlah yang signifikan dan melampaui homeostatis air sungai, maka kondisi air akan berubah (rusak) secara permanen. Ekosistem tidak selalu dalam keadaan stabil, selain itu ekosistem bukanlah suatu sistem yang tertutup, sehingga gangguan dari luar ekosistem mampu merubah keseimbangan, seperti bencana alam, kebakaran hutan, migrasi organisme, dan gangguan-gangguan lainnya.

D. Rantai Makanan, Aliran Energi Dan Siklus Biogeokimia

Di dalam ekosistem terjadi rantai makanan, aliran energi, dan siklus biogeokimia. Interaksi yang dinamis meliputi sumber pakan (materi) dari komponen abiotik yang dibutuhkan oleh komponen biotik. Aliran energi bergerak dari sinar matahari yang digunakan oleh organisme dalam mengolah makanan (fotosintesis), sehingga disebut juga sebagai produsen yang terdiri dari tumbuhan berklorofil (Gambar 2).



Gambar 2. Ilustrasi fotosintesis (Sumber: Smithsonian Science Education Center)

Rantai Makanan (*Food Chain*)

Rantai makanan adalah pengalihan energi dari sumbernya dalam tumbuhan melalui sederetan organisme yang makan dan yang dimakan. Para ilmuwan ekologi mengenal tiga macam rantai pokok, yaitu:

1. Rantai pemangsa

Landasan utama rantai pemangsa adalah tumbuhan hijau sebagai produsen.

Rantai pemangsa dimulai dari hewan yang bersifat herbivora sebagai konsumen ke-1, dilanjutkan dengan hewan karnivora yang memangsa herbivora sebagai konsumen ke-2 dan berakhir pada hewan pemangsa, karnivora maupun herbivora sebagai konsumen ke-3.

2. Rantai parasit.

Rantai parasit dimulai dari organisme besar hingga organisme yang hidup sebagai parasit. Contoh organisme parasit antara lain cacing, bakteri, dan benalu.

3. Rantai saprofit

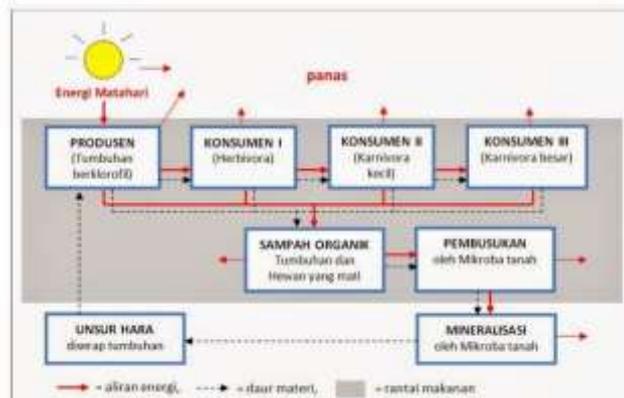
Rantai saprofit dimulai dari organisme mati ke jasad pengurai. Yang termasuk dalam rantai saprofit adalah jamur dan bakteri.

Salah satu cara suatu komunitas berinteraksi adalah dengan peristiwa makan dan dimakan, sehingga terjadi pemindahan energi, elemen kimia, dan komponen lain dari satu bentuk ke bentuk lain di sepanjang rantai makanan (Gambar 3). Rantai-rantai di atas tidak berdiri sendiri tapi saling berkaitan satu dengan lainnya hingga membentuk jaring jaring makanan (*food web*).

Aliran Energi

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Energi diperoleh organisme dari rantai makanan dan jaring-jaring makanan. Cahaya matahari merupakan sumber energi utama kehidupan. Tumbuhan berklorofil yang merupakan produsen memanfaatkan cahaya matahari untuk berfotosintesis. Energi yang tersimpan dalam makanan inilah yang digunakan oleh konsumen untuk

aktivitas hidupnya. Pembebasan energi yang tersimpan dalam makanan dilakukan dengan cara oksidasi respirasi. Golongan organisme autotrof merupakan makanan penting bagi organisme heterotrof (organisme yang tidak dapat membuat makanan sendiri).



Gambar 3. Rantai makanan, aliran materi dan energi dalam ekosistem

Siklus Biogeokimia

Materi yang berupa unsur-unsur terdapat dalam senyawa kimia yang merupakan materi dasar makhluk hidup dan tak hidup. Siklus biogeokimia atau siklus organik-anorganik adalah siklus unsur atau senyawa kimia yang mengalir dari komponen abiotik ke biotik dan kembali lagi ke komponen abiotik. Siklus unsur-unsur tersebut tidak hanya melalui organisme, tetapi juga melibatkan reaksi-reaksi kimia dalam lingkungan abiotik. Siklus-siklus tersebut antara lain: siklus air, siklus oksigen, siklus karbon, siklus nitrogen, dan siklus sulfur.

Di atmosfer terdapat kandungan karbondioksida sebanyak 0.03%. Sumber-sumber karbondioksida di udara berasal dari respirasi manusia dan hewan, erupsi vulkanik, pembakaran batubara, dan asap pabrik. Karbon dioksida di udara dimanfaatkan oleh tumbuhan untuk berfotosintesis dan menghasilkan oksigen yang nantinya akan digunakan oleh manusia dan hewan untuk berespirasi. Hewan dan tumbuhan yang mati, dalam waktu yang lama akan membentuk batubara di dalam tanah. Batubara akan dimanfaatkan lagi sebagai bahan bakar yang juga menambah kadar karbondioksida di udara (Gambar 4).



Gambar 4. Daur karbon dan oksigen dalam suatu ekosistem.

E. Interaksi Antar Komponen Ekosistem

Interaksi antar komponen ekosistem dapat merupakan interaksi antar organisme, antar populasi, dan antar komunitas. Interaksi antar organisme dalam komunitas ada yang sangat erat dan ada yang kurang erat. Interaksi dapat bersifat intraspesifik (antar individu dalam satu spesies) dan interspesifik (antar spesies). Interaksi interspesifik dapat terjadi antara populasi dua spesies yang berbeda yang hidup bersama-sama di dalam komunitas. Interaksi interspesies dapat berpengaruh positif, negatif atau netral terhadap kepadatan suatu populasi. Interaksi antar spesies tidak terbatas antara hewan dan hewan tetapi dapat juga terjadi dengan tumbuhan. Diketahui juga bahwa persebaran geografis spesies ditentukan oleh adaptasi terhadap faktor-faktor lingkungan abiotik dan interaksi biotik dengan individu lain di sekelilingnya.

Tabel 1 Interaksi spesies dan sifat umumnya

| INTERAKSI | SIFAT UMUM |
|---|--|
| Neutralisme (0/0) | Tidak ada interaksi |
| Predatorisme/Predasi (+/-) | Predator mendapat keuntungan, sedangkan mangsa menderita |
| Parasitisme (+/-) | Parasit memperoleh keuntungan, sedangkan inang dirugikan |
| Kompetisi (-/-) • kompetisi interferensi • kompetisi eksploitatif | Interaksi yang merugikan bagi kedua spesies |
| Mutualisme (+/+) | Interaksi yang menguntungkan bagi kedua spesies |
| Komensalisme (+/0) | Satu spesies diuntungkan, akan tetapi spesies yang lain tidak terpengaruh |
| Amensalisme (-/0) | Spesies populasi pertama dihambat atau dirintangi, sedangkan spesies/populasi kedua tidak mendapat akibat apa-apa. |

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa kompetisi merupakan interaksi yang sifatnya merugikan kedua belah pihak, dan terjadi ketika populasi dua atau lebih spesies dalam suatu komunitas mengandalkan sumberdaya terbatas yang sama. Hal tersebut berkaitan dengan Hukum Gause (Gause's Law) yang menyebutkan bahwa "dua spesies dengan kebutuhan sumberdaya yang serupa tidak dapat hidup berdampingan (co-exist) dalam tempat yang sama" atau disebut juga sebagai Prinsip Eksklusi Kompetitif (*Competitive Exclusion Principle*).

Dalam ekologi dikenal istilah relung ekologis (*ecological niche*), yang merupakan total semua penggunaan sumberdaya biotik dan abiotik oleh suatu organisme di lingkungannya. Sifat komponen ekosistem yang dinamis, memiliki ketahanan hingga batas tertentu (*resilience*) akan mengarah pada pola pembagian sumberdaya (*resource partitioning*) dan pergantian karakter (*character displacement*) sehingga memungkinkan adanya koeksistensi di antara spesies.

F. Rangkuman

Pemahaman terkait organisme, lingkungan, dan interaksi yang terbentuk sekaligus dinamika yang berkembang dibahas secara menyeluruh sebagai satu kesatuan dalam ekologi. Ekosistem dalam biologi dipelajari secara menyeluruh sebagai suatu kesatuan, dengan keterkaitan antara komponen-komponen biotik dan abiotik yang terdapat di dalamnya. Perubahan komposisi dalam komponen ekosistem akan membentuk ekosistem yang berbeda ditandai dengan perbedaan energetika, daur hara dan produktivitasnya. Interaksi yang terjadi di dalam suatu ekosistem tidak terbatas antara organisme yang satu dengan yang lainnya, tetapi juga antara organisme dengan lingkungannya. Keterkaitan ini menghasilkan hubungan timbal balik dalam bentuk pengaruh lingkungan terhadap organisme dan pengaruh organisme terhadap lingkungannya.

G. Tes Formatif

1. Uraikan kedudukan dan keterkaitan ilmu geografi dalam mempelajari ekologi !
2. Berdasarkan fungsi ekosistem, tumbuh-tumbuhan termasuk komponen autotrof. Uraikan apa yang dimaksud autotrof !
3. jelaskan mengapa faktor lingkungan dikatakan mempengaruhi persebaran organisme!

Daftar Pustaka

- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 2004. Biologi. Jilid III. Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Cannon, W.B. 1939. The Wisdom of the Body. New York: W.W.Norton & Co.
- Odum, E.P. 1996. Dasar-Dasar Ekologi. Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Wirakusumah, S. 2003. Dasar-Dasar Ekologi: Menopang Pengetahuan Ilmu-Ilmu Lingkungan. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.

BAB 13

PERILAKU HEWAN

A. Pengantar Perilaku

Definisi perilaku pada kamus berupa bertindak, bereaksi atau berfungsi dalam suatu cara tertentu sebagai respon terhadap beberapa stimulus (rangsangan). Perilaku hewan diartikan sebagai apa yang dilakukan oleh seekor hewan dan bagaimana hewan tersebut melakukannya. Perilaku meliputi aktivitas muscular dan non muscular. Banyak perilaku yang terdiri atas aktivitas muscular yang bisa diamati secara eksternal, yang merupakan komponen “bertindak” dan “bereaksi”. Dalam hal ini beberapa perilaku dapat diamati, baik yang berkenaan dengan gerak ataupun tidak, seperti penyimpanan memori dalam otak hewan. Sebagai contoh adalah kemampuan burung muda yang mendengarkan kicauan burung dewasa, tersimpan dalam memorinya hingga beberapa waktu dan muncul sebagai respon yang dapat diamati.

Ketika mengamati perilaku tertentu muncul pertanyaan proksimat (jangka pendek) dan pertanyaan ultimat (jangka panjang). Pertanyaan proksimat bersifat mekanistik, berkaitan dengan stimulus lingkungan yang memicu perilaku dan juga mekanisme fisiologis dan genetik yang mendasari munculnya perilaku; sedangkan pertanyaan ultimat berkaitan dengan makna evolusioner perilaku. Pengamatan pada *Magnolia Warbler* (sejenis burung) yang kawin pada musim semi dan pada awal musim panas menunjukkan bahwa dalam *causa proximat* perkawinan dipicu oleh pengaruh peningkatan panjang siang hari pada fotoreseptor burung tersebut. Stimulus ini mempengaruhi perubahan neural dan hormonal yang menstimulasi perilaku, berhubungan dengan reproduksi kicauan & pembuatan sarang. Sebaliknya, secara ultimat mempertanyakan alasan seleksi alam lebih mengarah pada perilaku tersebut. Hipotesis yang memungkinkan adalah karena perilaku tersebut dapat memaksimalkan kelestarian hidup spesies melalui beberapa cara. Perkawinan pada musim semi atau awal musim panas berkaitan dengan waktu produktif dan adaptif, yang berkaitan dengan melimpahnya sumber makanan bagi anakan

(*offspring*) agar bisa tumbuh dan berkembang dengan baik sehingga dapat meningkatkan keberhasilan reproduksi.

Pengetahuan tentang perilaku hewan sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Dengan mempelajari kebiasaan hewan di sekitar, manusia bisa meningkatkan peluang untuk mendapatkan ketersediaan makanan dan tetap menjaga kelestarian hidup. Ilmu yang mempelajari perilaku dikenal sebagai Etologi.

B. Perilaku Dihasilkan Oleh Gen Dan Faktor-Faktor Lingkungan

Dalam biologi, terbentuknya suatu perilaku merupakan perpaduan pengaruh dari gen (*nature/alam*) dan lingkungan (*nurture/pemeliharaan*). Sejauh mana komponen gen atau komponen lingkungan mempengaruhi sifat fenotipik, akan tercermin dalam sifat atau ciri perilaku, seperti halnya semua sifat anatomis dan fisiologis seekor hewan.

Sebagaimana ciri fenotipik lainnya, perilaku memperlihatkan variasi fenotipik (*norma reaksi*) yang bergantung pada lingkungan dimana genotip tersebut diekspresikan. Studi kasus mengenai *lovebird* (sejenis burung beo), menunjukkan perilaku dengan genetik yang kuat. Dalam hal ini terlihat adanya norma reaksi. Perilaku dapat diubah oleh pengalaman di lingkungan, tetapi di sisi lain bentuk penyelesaian masalah yang paling berkembang ditandai dengan norma reaksi yang luas. Perilaku yang muncul pada akhirnya juga dipengaruhi oleh komponen genetik, yang ekspresinya menghasilkan sistem neuron yang tanggap terhadap pembelajaran. Sebagian besar perilaku adalah filogenik, dengan norma reaksi yang luas.

Faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi perilaku adalah semua kondisi dimana gen yang mendasari perilaku itu diekspresikan. Hal tersebut meliputi lingkungan kimiawi dalam sel, kondisi hormonal, kondisi kimiawi dan fisik selama perkembangan di dalam sel telur ataupun di dalam rahim. Perilaku juga meliputi interaksi beberapa komponen sistem saraf hewan, berbagai interaksi kimia, beberapa komponen sistem indera dengan organisme lain.

Etologi klasik merupakan awal dari pendekatan evolusioner terhadap

biologi perilaku. Biologi perilaku modern bersumber dari suatu penelitian di lapangan. Dimulai pada tahun 1939an oleh para naturalis yang mencoba memahami bagaimana berbagai ragam hewan berperilaku dalam habitat alaminya. Beberapa penelitian etologi klasik terkenal adalah yang dilakukan oleh Karl von Frisch, Konrad Lorenz dan Niko Tinbergen, penerima Nobel 1973.

Para ahli etologi awal mengembangkan konsep pola aksi yang tetap (*Fixed Action Pattern/FAP*). FAP merupakan suatu urutan tindakan perilaku yang pada dasarnya tidak dapat diubah, yang jika sudah dimulai akan dilakukan sampai selesai. FAP dipicu oleh stimulus sensoris eksternal. Stimulus sinyal (*sign stimulus*) merupakan ciri khas spesies. FAP dipicu oleh petunjuk sederhana yang mencegah seekor hewan untuk tidak membuang waktunya untuk mengolah suatu input atau rangsangan yang beranekaragam. Sensitivitas seekor hewan memiliki hubungan yang erat dengan stimulus umum dan perilakunya.

Contoh kasus stimulus sinyal dan FAP dapat dilihat pada perilaku ikan stickleback jantan, menyerang jantan lain yang memasuki wilayahnya. Stimulus yang memicu perilaku penyerangan adalah bagian perut berwarna merah. Ketika dihadirkan “unrealistic models” dengan bentuk yang berbeda-beda, ternyata selama ada warna merah, tetap terjadi penyerangan.

C. Penggolongan Perilaku

Perilaku terbagi menjadi beberapa golongan, yaitu:

1. Perilaku Bawaan (*innate behavior*)
2. Pembelajaran
 - a. Habitulasi
 - b. Penanaman (*Imprinting*)
 - c. Pembelajaran Asosiatif (*Associative Learning*)
 - d. Penyelesaian Masalah (*Problem Solving*)
 - e. *Spatial Learning (Cognitive Map)*
 - f. Pembelajaran Sosial (*Social learning*)

3. Bermain (*Play*)

Perilaku Bawaan merupakan salah satu jenis perilaku yang secara jelas dikendalikan oleh gen dan tunduk pada seleksi alam. Perilaku ini disebut juga sebagai perilaku instingtif (perilaku naluriah). Naluri adalah kemampuan hewan untuk melakukan perilaku tertentu sebagai respons terhadap stimulus yang diberikan saat pertama kali hewan tersebut terkena stimulus. Perilaku ini tidak memerlukan pengalaman atau proses belajar, seringkali terjadi pada saat baru lahir, dan bersifat genetis (diturunkan), merupakan perilaku yang telah ada di dalam suatu individu. Semua makhluk hidup memiliki beberapa insting dasar, biasanya melibatkan fungsi kehidupan dasar, seperti merawat keturunan, sehingga sering kali diperlukan untuk keberhasilan reproduksi. Perilaku yang timbul karena bawaan lahir berkembang secara tetap/pasti (*developmentally fixed*).

Pembelajaran (*learning*) merupakan modifikasi (perubahan) perilaku sebagai akibat dari pengalaman spesifik. Pembelajaran seringkali mempengaruhi perilaku bawaan, tetapi perubahan dalam perilaku bawaan tidak selalu disebabkan oleh pembelajaran. Perilaku bisa berubah karena perubahan perkembangan yang terus menerus pada sistem neuromuskuler (pendewasaan).

a. Habitulasi

Suatu jenis pembelajaran yang melibatkan hilangnya responsivitas terhadap stimulus yang mengirimkan sedikit atau tidak sama sekali informasi. Contoh: mamalia dan burung mengenali alarm oleh spesies sejenis yang berada dalam keadaan terancam oleh pemangsa, tetapi akhirnya mereka akan berhenti merespon jika panggilan ini tidak diikuti oleh serangan yang sesungguhnya (efek *crywolf*).

Habitulasi bisa meningkatkan kelestarian hidup dengan cara membiarkan sistem saraf seekor hewan terfokus pada stimulus yang memberikan sinyal makanan, teman kawin atau bahaya yang sungguh mengancam daripada membuang waktu atau energi pada banyak stimulus lainnya yang tidak relevan dengan kelangsungan hidup dan reproduksinya.

b. Penanaman (*Imprinting*)

Imprinting meliputi pembelajaran dan komponen bawaan. Pembelajaran yang dimaksud terjadi pada suatu waktu tertentu dalam kehidupan seekor hewan. Pada umumnya bersifat *irreversible* dan terbatas pada suatu periode waktu kritis (*critical period*), yaitu suatu fase terbatas dalam perkembangan seekor hewan ketika pembelajaran perilaku dapat berlangsung.

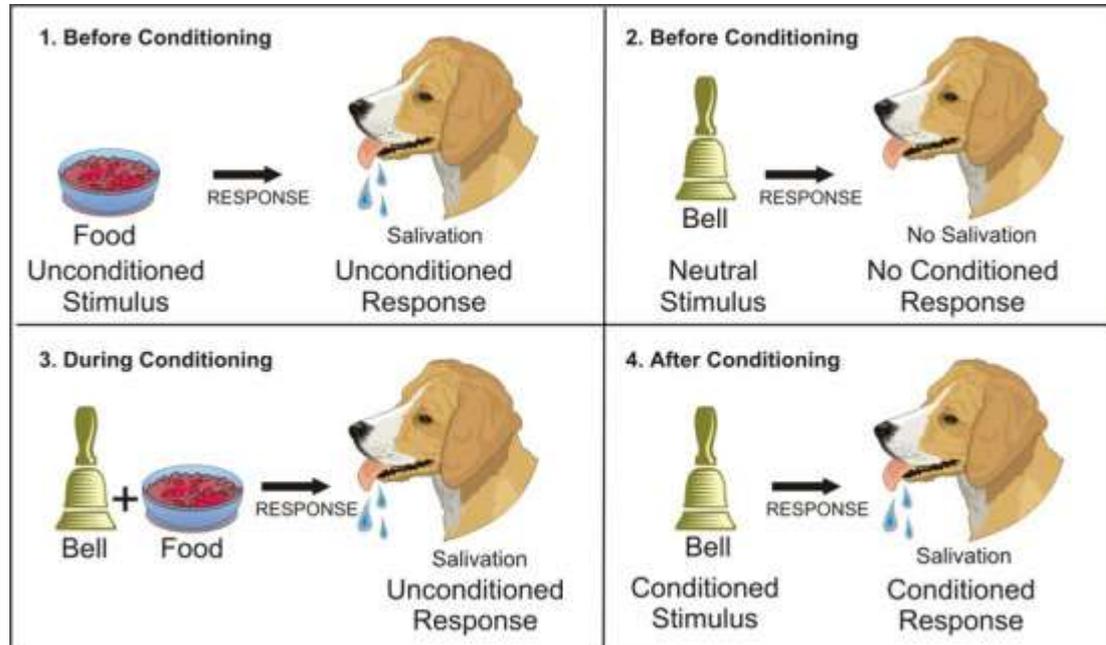
Contoh perilaku ini dapat diamati dari percobaan Konrad Lorenz pada sarang telur angsa berkaki abu abu. Beberapa telur ditinggalkan dengan induknya dan telur-telur yang lain dimasukkan ke dalam inkubator. Anak angsa yang dibesarkan oleh induknya menunjukkan perilaku normal, yaitu mengikuti induknya sebagaimana layaknya anak angsa. Selama awal masa pertumbuhan (periode kritis), anak angsa akan mengamati semua perilaku dan juga cara induk berkomunikasi. Sebaliknya, ketika telur yang dierami menggunakan inkubator menetas, anak angsa akan menghabiskan beberapa jam pertama bersama peneliti sebagai pengganti induknya. Selama beberapa hari anak-anak angsa tersebut akan mengikuti Lorenz, tidak berubah, dan tidak menunjukkan tanda-tanda pengenalan terhadap induknya ataupun angsa dewasa dari spesiesnya. Dalam perkembangannya, mereka lebih menyukai berada di sekitar Lorenz atau manusia lainnya dibandingkan dengan angsa dari spesiesnya sendiri. Pada akhirnya, anak angsa yang dibesarkan oleh induknya akan belajar apa saja yang diperlukan dan memiliki peluang yang lebih besar untuk bertahan hidup jika dibandingkan dengan anak angsa yang tidak dibesarkan induknya.

c. Pembelajaran Asosiatif (*Assosiative Learning*)

Pembelajaran asosiatif merupakan kemampuan hewan untuk belajar mengaitkan satu stimulus dengan stimulus lainnya. Ada dua macam pembelajaran asosiatif, yakni: Pengkondisian klasik (*classical conditioning*) dan Pengkondisian operan (*Operant conditioning*)/ pembelajaran sistem coba-coba (*trial & error*).

Sebagai contoh dari pengkondisian klasik adalah percobaan yang dilakukan

oleh Pavlov, yang merupakan pembelajaran untuk mengasosiasikan suatu stimulus dengan suatu hukuman atau hadiah (Gambar 1).



Classical Conditioning

Gambar 1. Pengkondisian klasik: eksperimen Pavlov (Sumber: <https://sites.psu.edu>)

Pengkondisian operan atau sistem coba-coba merupakan pembelajaran mengasosiasikan salah satu dari perilaku dengan suatu hadiah atau hukuman dan kemudian cenderung mengulangi atau menghindari perilaku tersebut. Penelitian yang terkenal dari pembelajaran ini dilakukan oleh ahli psikologi B.E. Skinner (tahun 1930an). Seekor mencit atau hewan lain ditempatkan dalam Skinner box menemukan dan menggunakan sebuah pengungkit dalam kotak tersebut, yang umumnya secara kebetulan, dan kemudian diberikan makanan sebagai hadiah. Hewan tersebut akhirnya belajar menghubungkan penggunaan pengungkit tersebut dengan hadiah makanan.

Di alam, seekor hewan pemangsa secara cepat akan belajar mengasosiasikan jenis mangsa tertentu dengan pengalaman yang menyakitkan dan mengubah perilakunya. Rasa enak atau tidak enak yang dirasakan seekor hewan kemungkinan dipengaruhi oleh seleksi alam

berdasarkan nilai makanannya, pengaruh gen terdapat pada hasil akhir dalam pengkondisian operan ini.

d. Penyelesaian masalah (*Problem Solving*)

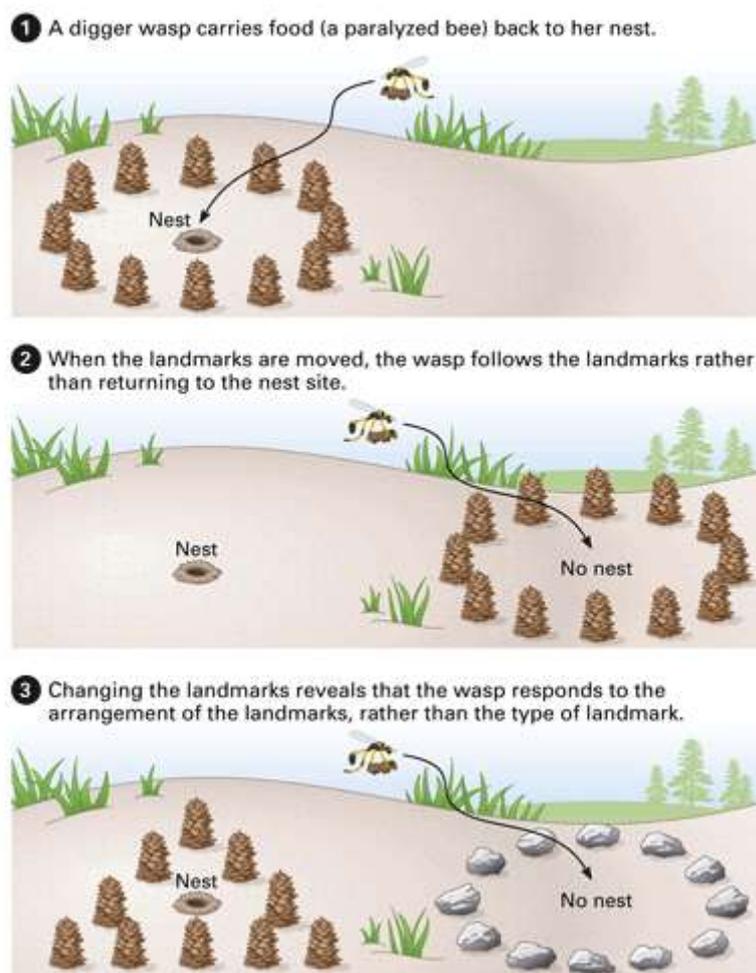
Kemampuan sistem saraf seekor hewan untuk merasa, menyimpan, dan menggunakan informasi yang dikumpulkan oleh reseptor sensoris dari keadaan di sekelilingnya dianggap dapat menimbulkan kesadaran (*consciousness/awareness*). Kemampuan menyelesaikan suatu masalah (*problem solving*) melalui pemahaman terhadap berbagai bagian masalah. Kemampuan menggunakan pengalaman lampau yang mungkin melibatkan stimulus yang berbeda untuk menyelesaikan problem baru. Pemecahan masalah ini merupakan perilaku yang dapat dipelajari dengan mengamati perilaku hewan lain. Perilaku ini berkembang sangat baik pada mamalia, khususnya primata dan lumba-lumba.

Sebagai contoh, seekor simpanse ditempatkan pada suatu ruangan dengan pisang yang menggantung tinggi tidak terjangkau dan beberapa kotak diletakkan tersebar di lantai, Simpanse itu akan dapat “mengira-ngira” situasi dan menumpuk kotak-kotak tersebut sehingga simpanse bisa menjangkau makanan yang tergantung tinggi tadi.

e. *Spatial Learning*

Perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain seringkali bergantung pada pengkodean internal hubungan spasial. Contoh dapat dilihat dari cara lebah dan tawon menemukan sarang. Niko Tinbergen mengemukakan hipotesis bahwa tawon betina penggali menggunakan petunjuk visual (*landmark visual*) untuk menemukan sarangnya dan menggunakan sarang tawon penggali untuk menguji hipotesisi tersebut. Tinbergen menggunakan kerucut pinus dan batu sebagai penanda dalam eksperimennya. Dengan prosedur sederhana, pola lingkaran dan segitiga, menggunakan kerucut pinus ataupun batu, yang diletakkan mengelilingi sarang. Hasil yang didapat cukup untuk menyimpulkan bahwa tawon penggali menggunakan pola penanda untuk menemukan sarangnya (Gambar 2).

Banyak hewan merumuskan peta kognitif (*cognitive map*) sebagai representasi internal, atau kode, dari hubungan spasial diantara benda-benda yang ada di sekitarnya. Representasi internal dari hubungan spasial di lingkungan hewan membantu hewan menemukan jalan mereka dengan mengarahkan ke *landmark* tujuan, seperti yang terlihat pada migrasi, menemukan arah dalam perpindahan jarak pendek (*piloting*) dan kemampuan hewan menemukan jalan pulang (*homing*). Migrasi merupakan perpindahan teratur dalam jarak yang relatif jauh. Banyak ciri perilaku migrasi pada burung telah ditemukan diprogram secara genetik.



Gambar 13.2 Percobaan Niko Tinbergen pada perilaku penentuan lokasi sarang pada tawon penggali (Sumber: Campbell, Reece & Mitchell, 2004).

f. Social Learning

Pembelajaran ini melibatkan perilaku mengamati dan meniru apa yang dilakukan anggota spesies yang sama. Sebagai contoh adalah perilaku mencuci makanan pada kera Jepang, dimana betina dewasa melakukannya dan ditiru oleh anggota kelompok yang lebih muda. Demikian pula mengenai panggilan (*call*) oleh monyet vervet, akan berbeda antara individu muda dengan individu dewasa dan berbeda pula antara *call* untuk peringatan bahaya karena adanya predator (elang), ular ataupun hewan lain.

Bermain (*play*) dilakukan oleh beberapa mamalia dan sejumlah burung. Perilaku tersebut sesungguhnya tidak memiliki tujuan eksternal, tetapi melibatkan gerakan-gerakan yang diasumsikan sebagai perilaku “berlatih”. Sebagai contoh, perilaku bergumul, saling mengejar dan saling menggigit yang dilakukan oleh anak-anak dari keluarga kucing dan anjing yang tampak seperti bermain-main ini mengarah pada perburuan mangsa yang sebenarnya.

Berdasarkan jumlah individu yang terlibat, perilaku dapat digolongkan menjadi perilaku individu dan perilaku sosial. Sebagian besar perilaku individu dilakukan untuk memenuhi kebutuhan dasar individu organisme itu sendiri dan berkaitan dengan kenyamanan dirinya (*self-comforting*). Sebaliknya, perilaku sosial merupakan perilaku yang dilakukan oleh satu individu atau lebih, yang menyebabkan terjadinya interaksi antar individu dan antar kelompok. Perilaku sosial bisa dibagi menjadi Perilaku Afiliasi, Perilaku Agonistik/Agresif (Teritorialitas dan Dominansi), Perilaku Reproduksi dan Perilaku Pemeliharaan Anak.

Ekologi perilaku menekankan hipotesis evolusioner dimana sains sebagai proses. Seleksi alam bekerja pada variasi genetik yang sangat besar jumlahnya, yang dibentuk oleh mutasi dan rekombinasi, maka diharapkan organisme akan memaksimalkan perwujudan genetik dalam generasi mendatang. Cara memaksimalkan kelestarian hidup adalah dengan membentuk perilaku optimal. Perilaku hewan berkaitan dengan adaptasi, karena untuk mempertahankan hidupnya setiap individu harus mampu beradaptasi untuk menyesuaikan diri

dengan lingkungannya.

D. Rangkuman

Perilaku berfungsi dalam cara tertentu sebagai tanggapan terhadap adanya rangsangan (stimulus). Perilaku terbentuk sebagai hasil perpaduan antara komponen gen dan pengaruh faktor-faktor lingkungan. Perilaku bawaan bersifat tetap dari sisi perkembangan hewan, sedangkan pembelajaran merupakan modifikasi perilaku yang didasarkan pada pengalaman. Perubahan pada perilaku bawaan tidak selalu disebabkan oleh pembelajaran, tetapi perubahan perilaku bisa terjadi karena adanya pendewasaan (*maturation*).

E. Tes Formatif

1. Berikan penjelasan mengenai apa yang mendasari terbentuknya suatu perilaku!
2. Apa yang membedakan antara perilaku bawaan dan perilaku yang terbentuk karena pembelajaran?
3. Apakah kemampuan menyelesaikan masalah (*problem solving*) ditunjukkan oleh semua jenis hewan? Jelaskan alasan dari jawaban yang diberikan!

Daftar Pustaka

Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 2004. Biologi. Jilid III. Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.

BAB 14

BIOTEKNOLOGI

Definisi Bioteknologi

Istilah bioteknologi untuk pertama kalinya dikemukakan oleh Karl Ereky, seorang insinyur Hongaria pada tahun 1917 untuk mendeskripsikan produksi babi dalam skala besar dengan menggunakan bit gula sebagai sumber pakannya (Nurcahyo, 2011). Beragam batasan dan pengertian dikemukakan oleh berbagai lembaga untuk menjelaskan tentang Bioteknologi. Beberapa diantaranya akan diulas singkat sebagai berikut:

1. Menurut Bull *et al.* 1998 dalam Nurcahyo (2011), bioteknologi merupakan penerapan asas-asas sains (ilmu pengetahuan alam) dan rekayasa (teknologi) untuk pengolahan suatu bahan dengan melibatkan aktivitas jasad hidup untuk menghasilkan barang dan/atau jasa.
2. Bioteknologi merupakan penerapan prinsip-prinsip ilmu pengetahuan dan rekayasa untuk penanganan dan pengolahan bahan dengan bantuan agen biologis untuk menghasilkan bahan dan jasa (OECD, 1982).
3. Bioteknologi adalah teknik pendayagunaan organisme hidup atau bagian organisme untuk membuat atau memodifikasi suatu produk dan meningkatkan/memperbaiki sifat tanaman atau hewan atau mengembangkan mikroorganisme untuk penggunaan khusus (OTA-US, 1982).
4. Menurut Primrose (1987), secara lebih sederhana bioteknologi merupakan eksploitasi komersial organisme hidup atau komponennya seperti; enzim.
5. Bioteknologi berasal dari dua kata, yaitu 'bio' yang berarti makhluk hidup dan 'teknologi' yang berarti cara untuk memproduksi barang atau jasa. Dari paduan dua kata tersebut *European Federation of Biotechnology* mendefinisikan bioteknologi sebagai perpaduan dari ilmu pengetahuan alam dan ilmu rekayasa yang bertujuan meningkatkan aplikasi organisme hidup,

sel, bagian dari organisme hidup, dan/atau analog molekuler untuk menghasilkan produk dan jasa.

6. Atau secara tegas dinyatakan, Bioteknologi merupakan penggunaan terpadu biokimia, mikrobiologi, dan ilmu-ilmu keteknikan dengan bantuan mikroba bagian-bagian mikroba atau sel dan jaringan organisme yang lebih tinggi dalam penerapannya secara teknologis dan industri (EFB., 1983)

Berdasarkan terminologinya, maka bioteknologi dapat diartikan sebagai berikut:

1. “*Bio*” memiliki pengertian agen hayati (*living things*) yang meliputi; organisme (bakteri, jamur (ragi), kapang), jaringan/sel (kultur sel tumbuhan atau hewan), dan/atau komponen sub-selulernya (enzim).
2. “*Tekno*” memiliki pengertian teknik atau rekayasa (*engineering*) yaitu segala sesuatu yang berkaitan dengan rancang-bangun, misalnya untuk rancang bangun suatu bioreaktor. Cakupan teknik disini sangat luas antara lain; teknik industry dan kimia.
3. “*Logi*” memiliki pengertian ilmu pengetahuan alam (sains) yang mencakup; biologi, kimia, fisika, matematika dsb. Ditinjau dari sudut pandang biologi (biosain), maka bioteknologi merupakan penerapan (*applied*); biologi molekuler, mikrobiologi, biokimia, dan genetika.

Dengan demikian, bioteknologi merupakan penerapan berbagai bidang (disiplin) ilmu (interdisipliner). Oleh karena itu, tidak ada seorangpun yang dapat menguasai seluruh aspek bioteknologi.

Bioteknologi : Konsep dasar dan Perkembangan

Bull, *et al.*, (1982) menyatakan bahwa: Istilah bioteknologi mempunyai pengertian sebagai penerapan teknik-teknik biologi, biokimia dan rekayasa dalam pengolahan bahan dengan memanfaatkan agensia jasad hidup dan komponen-komponen untuk menghasilkan barang dan jasa (Triwibowo Juwono, 2001).

Secara umum, bioteknologi dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu: bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern.

Aplikasi bioteknologi sesungguhnya telah berlangsung cukup lama, dalam peradapan manusia; seperti upaya produksi antibiotik, fermentasi, alcohol, pangan dan teknologi pengolahan limbah ; yang kesemuanya dapat dikelompokkan ke dalam bioteknologi konvensional. Tetapi mengapa nampaknya bioteknologi baru saja berkembang pada kurun abad ke dua puluh ini? Karena secara implisit yang dimaksud bioteknologi adalah bioteknologi modern, yang intinya adalah rekayasa genetik, dengan teknik gen kloning yang berkembang berdasar penemuan struktur dan fungsi DNA oleh Watson dan Crick.

Dalam perkembangannya, bioteknologi telah mencapai tingkat rekayasa yang lebih terarah, sehingga hasilnya dapat dikendalikan. Dengan teknik yang dikenal sebagai teknik DNA rekombinan, atau secara populer dikenal sebagai rekayasa genetika. Para ilmuwan dapat menyambung molekul-molekul DNA yang berbeda menjadi suatu molekul DNA rekombinan yang inti prosesnya adalah “kloning gena”

Bioteknologi konvensional

Bioteknologi sederhana sudah dikenal oleh manusia sejak ribuan tahun yang lalu.

- 8000 SM Pengumpulan benih untuk ditanam kembali. Bukti bahwa bangsa Babilonia, Mesir, dan Romawi melakukan praktik pengembangbiakan selektif (seleksi artifisial) untuk meningkatkan kualitas ternak.
- 6000 SM Pembuatan bir, fermentasi anggur, membuat roti, membuat tempe dengan bantuan ragi
- 4000 SM Bangsa Tionghoa membuat yogurt dan keju dengan bakteri asam laktat
- 1500 Pengumpulan tumbuhan di seluruh dunia
- 1665 Penemuan sel oleh Robert Hooke (Inggris) melalui mikroskop.
- 1800 Nikolai I. Vavilov menciptakan penelitian komprehensif tentang pengembangbiakan hewan

- 1880 Mikroorganisme ditemukan
- 1856 Gregor Mendel mengawali genetika tumbuhan rekombinan
- 1865 Gregor Mendel menemukan hukum hukum dalam penyampaian sifat induk ke turunannya.
- 1919 Karl Ereky, insinyur Hongaria, pertama menggunakan kata bioteknologi
- 1970 Peneliti di AS berhasil menemukan enzim pembatas yang digunakan untuk memotong gen gen
- 1975 Metode produksi antibodi monoklonal dikembangkan oleh Kohler dan Milstein
- 1978 Para peneliti di AS berhasil membuat insulin dengan menggunakan bakteri yang terdapat pada usus besar
- 1980 Bioteknologi modern dicirikan oleh teknologi DNA rekombinan. Model prokariot-nya, *E. coli*, digunakan untuk memproduksi insulin dan obat lain, dalam bentuk manusia.
- 1992 FDA menyetujui makanan GM pertama dari Calgene: tomat “flavor saver”
- 2000 Perampungan Human Genome Project

Contoh produk bioteknologi konvensional, misalnya:

- di bidang pangan ada pembuatan bir, roti, maupun keju yang sudah dikenal sejak abad ke-19,
- pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas-varietas baru di bidang pertanian, serta pemuliaan dan reproduksi hewan.
- di bidang medis, antara lain dengan penemuan vaksin, antibiotik, dan insulin walaupun masih dalam jumlah yang terbatas akibat proses fermentasi yang tidak sempurna. Perubahan signifikan terjadi setelah penemuan *bioreactor* oleh Louis Pasteur. Dengan alat ini, produksi antibiotik maupun vaksin dapat dilakukan secara massal.

-

Bioteknologi Modern

Sekarang bioteknologi berkembang sangat pesat, terutama di negara-negara maju. Kemajuan ini ditandai dengan ditemukannya berbagai macam teknologi misalnya:

- Rekayasa genetika, kultur jaringan, DNA rekombinan, pengembangbiakan sel induk, kloning, dan lain-lain. Teknologi ini memungkinkan kita untuk memperoleh penyembuhan penyakit-penyakit genetik maupun kronis yang belum dapat disembuhkan, seperti kanker ataupun AIDS.
- Penelitian di bidang pengembangan sel induk juga memungkinkan para penderita stroke ataupun penyakit lain yang mengakibatkan kehilangan atau kerusakan pada jaringan tubuh dapat sembuh seperti sediakala.
- Di bidang pangan, dengan menggunakan teknologi rekayasa genetika, kultur jaringan dan DNA rekombinan, dapat dihasilkan tanaman dengan sifat dan produk unggul karena mengandung zat gizi yang lebih jika dibandingkan tanaman biasa, serta juga lebih tahan terhadap hama maupun tekanan lingkungan.
- Penerapan bioteknologi di saat ini juga dapat dijumpai pada pelestarian lingkungan hidup dari polusi. Misalnya saja penguraian minyak bumi yang tertumpah ke laut oleh bakteri, dan penguraian zat-zat yang bersifat toksik (racun) di sungai atau laut dengan menggunakan bakteri jenis baru.

Berikut ini adalah daftar kemajuan bidang bioteknologi yang telah diaplikasikan. Mayoritas didominasi oleh bidang peternakan, perikanan, Kesehatan, tanaman dan pangan .

Bioteknologi dalam Bidang Peternakan dan Perikanan

Penggunaan bioteknologi guna meningkatkan produksi peternakan meliputi :

- teknologi produksi, seperti *inseminasi buatan*, *embrio transfer*, *kriopreservasi embrio*, *fertilisasi in vitro*, *sexing sperma maupun embrio*, *cloning* dan *splitting*.

- rekayasa genetika, seperti *genome maps*, *marker assisted selection*, *transgenik*, *identifikasi genetik*, *konservasi molekuler*,
- peningkatan efisiensi dan kualitas pakan, seperti manipulasi mikroba rumen,
- bioteknologi yang berkaitan dengan bidang veteriner (Gordon, 1994; Niemann dan Kues, 2000).

Teknologi reproduksi yang telah banyak dikembangkan adalah:

- *transfer embrio* berupa teknik *Multiple Ovulation and Embryo Transfer* (MOET). Teknik ini telah diaplikasikan secara luas di Eropa, Jepang, Amerika dan Australia dalam dua dasawarsa terakhir untuk menghasilkan anak (embrio) yang banyak dalam satu kali siklus reproduksi.
- *cloning* telah dimulai sejak 1980-an pada domba. Saat ini pembelahan embrio secara fisik (*embryo splitting*) mampu menghasilkan kembar identik pada domba, sapi, babi dan kuda.
- produksi embrio secara in vitro: teknologi *In vitro Maturation* (IVM), *In Vitro Fertilisation* (IVF), *In Vitro Culture* (IVC), telah berkembang dengan pesat. Kelinci, mencit, manusia, sapi, babi dan domba telah berhasil dilahirkan melalui fertilisasi in vitro (Hafes, 1993).

Bioteknologi Reproduksi Hewan

Bioteknologi reproduksi terus berkembang untuk meningkatkan konsistensi dan keamanan produk dari ternak yang berharga secara genetik dan menyelamatkan spesies langka. Bioteknologi reproduksi juga memudahkanantisipasi kemungkinan industri yang mengarah pada produk dengan sifat-sifat genetik bernilai ekonomis seperti pertumbuhan jaringan otot, produk rendah lemak, dan ketahanan terhadap penyakit (Saru, 2004).

1. Inseminasi Buatan dan Seksing Sperma

Program peningkatan produksi dan kualitas pada ternak berjalan lambat bila proses reproduksi berjalan secara alamiah. Melalui rekayasa bioteknologi reproduksi, proses reproduksi dapat dimaksimalkan antara lain dengan teknologi IB (inseminasi buatan). Tujuan utama dari teknik IB ialah memaksimalkan potensi pejantan berkualitas unggul. Sperma dari satu pejantan berkualitas unggul dapat digunakan untuk beberapa ratus bahkan ribuan betina, meskipun sperma tersebut harus dikirim ke suatu tempat yang jauh.

Jenis kelamin anak pada ternak yang diprogram IB dapat ditentukan dengan memanfaatkan teknologi seksing sperma X dan sperma Y. Dewasa ini ada dua teknik yang umum dipakai untuk seksing sperma yaitu separasi albumin yang menghasilkan 75 sampai 80 persen sperma Y dan filtrasi *sephadex* yang menghasilkan 70 hingga 75 persen sperma X. Perubahan proporsi sperma X atau Y akan menyebabkan peluang untuk memperoleh anak dengan jenis kelamin yang diharapkan lebih besar. Seleksi gender pada hewan digunakan untuk beberapa tujuan diantaranya :

1. memproduksi lebih banyak anak betina dari induk superior untuk meningkatkan produksi susu, daging dan kulit.
2. menghasilkan lebih banyak anak jantan untuk produksi daging dari betina-betina yangtelah diculling.
3. mencegah *intersex* pada kelahiran kembar (khususnya ternak sapi).

2. Transfer Embrio

Di Indonesia, transfer embrio mulai dilakukan pada tahun 1987. Dengan teknik ini seekor sapi betina, mampu menghasilkan 20-30 ekor anak sapi (pedet) pertahun. Penelitian terakhir membuktikan bahwa, menciptakan jenis ternak unggul sudah bukan masalah lagi. Dengan teknologi transgenik, yakni dengan jalan mengisolasi gen unggul, memanipulasi, dan kemudian memindahkan gen tersebut dari satu organisme ke organisme lain, maka ternak unggul yang diinginkan dapat

diperoleh.

TE (transfer embrio) merupakan teknologi yang memungkinkan induk betina unggul memproduksi anak dalam jumlah banyak tanpa harus bunting dan melahirkan. TE dapat mengoptimalkan bukan hanya potensi dari jantan saja tetapi potensi betina berkualitas unggul juga dapat dimanfaatkan secara optimal. Pada proses reproduksi alamiah, kemampuan betina untuk bunting hanya sekali dalam 1 tahun (9 bulan bunting ditambah persiapan untuk bunting berikutnya) dan hanya mampu menghasilkan 1 atau 2 anak bila terjadi kembar. Menggunakan teknologi TE, betina unggul tidak perlu bunting tetapi hanya berfungsi menghasilkan embrio yang untuk selanjutnya bisa ditransfer (dititipkan) pada induk titipan (resipien) dengan kualitas genetik rata-rata tetapi mempunyai kemampuan untuk bunting.

3. Kriopreservasi Embrio

Kriopreservasi merupakan komponen bioteknologi yang memiliki peranan yang sangat besar dan menentukan kemajuan teknologi transfer embrio. Hal ini dikaitkan dengan kemampuannya dalam mempertahankan viabilitas embrio beku dalam waktu yang tidak terbatas sehingga sewaktu-waktu dapat ditransfer ketika betina resipien telah tersedia, serta dapat didistribusi ke berbagai tempat secara luas. Dengan kata lain, Kriopreservasi merupakan suatu proses penghentian sementara kegiatan metabolisme sel tanpa mematikan sel dimana proses hidup dapat berlanjut setelah kriopreservasi dihentikan. Metode kriopreservasi dapat dilakukan dengan dua cara yakni kriopreservasi secara bertahap dan kriopreservasi secara cepat (vitrikasi). Secara umum, mekanisme kriopreservasi merupakan perubahan bentuk fisik timbal balik dari fase cair ke padat dan kembali lagi ke fase cair. Mekanisme fisika kriopreservasi meliputi penurunan temperatur pada tekanan normal disertai dengan dehidrasi sampai tingkat tertentu dan mencapai temperatur jauh di bawah 0°C (-196 °C). Proses ini harus reversibel ke kondisi fisiologis awal. Tujuan kriopreservasi adalah mempertahankan sesempurna mungkin sifat-sifat material biologis terutama viabilitasnya.

4. Hewan Transgenik

Hewan transgenik merupakan satu alat riset biologi yang potensial dan sangat menarik karena menjadi model yang unik untuk mengungkap fenomena biologi yang spesifik (Pinkert, 1994). Kemampuan untuk mengintroduksi gen-gen fungsional ke dalam hewan menjadi alat berharga untuk memecah proses dan sistem biologi yang kompleks. Transgenik mengatasi kekurangan praktek pembiakan satwa secara klasik yang membutuhkan waktu lama untuk modifikasi genetik.

1. Aplikasi hewan transgenik melingkupi berbagai disiplin ilmu dan area riset diantaranya: 1. basis genetik penyakit hewan dan manusia, disain dan pengetesan terapinya; 2. resistensi penyakit pada hewan dan manusia;
2. 3. terapi gen. Hewan transgenik merupakan model untuk pertumbuhan, immunologis, neurologis, reproduksi dan kelainan darah);
3. obat-obatan dan pengetesan produk;
4. pengembangan produk baru melalui “molecular farming” Introduksi gen ke dalam hewan atau mikroorganisme dapat merubah sifat dari hewan atau organisme tersebut agar dapat menghasilkan produk tertentu yang diperlukan oleh manusia seperti factor IX dan hemoglobin manusia.
5. produksi pertanian Pemanfaatan teknologi transgenik memungkinkan diperolehnya ternak dengan karakteristik unggul (Saru, 2004).

Di masa yang akan datang hewan transgenik akan diproduksi dengan penyisipan gen pada lokasi yang spesifik dalam genom. Teknik ini telah terbukti berhasil pada mencit tetapi masih intensif diteliti pada hewan-hewan besar.

Bioteknologi dalam Bidang Kesehatan dan Pengobatan

Suatu terobosan baru telah dilakukan di Colorado AS. Pasangan Jack dan

Lisa melakukan program bayi tabung bukan semata-mata untuk mendapatkan turunan, tetapi karena perlu donor bagi putrinya Molly yang berusia 6 tahun dan menderita penyakit *fanconi anemia*. *Fanconi anemia* adalah suatu penyakit yang disebabkan oleh tidak berfungsinya sumsum tulang belakang sebagai penghasil darah. Jika dibiarkan akan menyebabkan penyakit leukemia. Satu-satunya pengobatan adalah melakukan pencangkokan sumsum tulang dari saudara sekandung, tetapi masalahnya, Molly adalah anak tunggal. Teknologi bayi tabung diterapkan untuk mendapatkan anak yang bebas dari penyakit *fanconi anemia*. Melalui teknik "*Pra Implantasi genetik diagnosis*" dapat dideteksi embrio-embrio yang membawa gen fanconi. Dari 15 embrio yang dihasilkan, ternyata hanya 1 embrio yang terbebas dari gen fanconi. Embrio ini kemudian ditransfer ke rahim Lisa dan 14 embrio lainnya dimusnahkan. Bayi tabung ini lahir 29 Agustus 2000 yang lalu, dan beberapa jam setelah lahir, diambil sampel darah dari umbilical cord (pembuluh darah yang menghubungkan bayi dengan placenta) untuk ditransfer ke darah Molly. Sel-sel dalam darah tersebut diharapkan akan merangsang sumsum tulang belakang Molly untuk memproduksi darah.

Bioteknologi Tanaman dan Pangan

Tanaman Transgenik

Tanaman transgenik diperoleh dengan menyisipkan gen-gen tertentu baik berasal dari tanaman, hewan atau mikroorganisme ke dalam DNA tanaman. Adanya gen baru yang disisipkan akan merubah sifat tanaman sesuai yang diinginkan atau memberikan kemampuan pada tanaman untuk memproduksi substansi baru yang diperlukan untuk tujuan tertentu. Dengan teknik ini diperoleh tanaman yang mempunyai sifat baru seperti tahan hama dan penyakit dan menghasilkan senyawa baru yang penting baik untuk tanaman itu sendiri maupun kepentingan manusia. Beberapa tanaman hasil rekayasa genetika diantaranya adalah:

1. *Round Up Ready R Soybean* yaitu kedelai yang toleran terhadap senyawa aktif

glifosfat yang terdapat pada herbisida.

2. Tomat yang dirancang agar proses pematangannya terhambat sehingga lebih tahan lama. 3. Kapas dan jagung *Bt*, yaitu kapas dan jagung yang dirancang mengandung protein insektisida yang berasal dari bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt).

4. Beras yang mengandung vitamin A (*golden rice*)

5. Tanaman pisang penghasil protein asing (baik untuk nutrisi maupun obat)

Tanaman dan produk tanaman transgenik sudah beredar di pasaran, sebagian besar diproduksi perusahaan multinasional, sebagian diproduksi dalam skala kecil oleh laboratorium riset di berbagai negara. Di Indonesia sedang dikembangkan dua jenis padi transgenik oleh DR. Inez Loedin dari Pusat Penelitian Bioteknologi (P2 Biotek) LIPI bekerja sama dengan Badan Penelitian Biologi, Deptan, Universitas Leiden dan Plant Research International (PRI). Padi ini merupakan padi yang tahan kering dan tahan hama penggerek. Dr. Arief Witarto dan koleganya juga dari LIPI sedang mengembangkan “protein farming” yaitu tanaman transgenik dari tanaman biasa yang sudah dikenal seperti pohon pisang yang direkayasa sedemikian rupa sehingga mampu menghasilkan protein protein yang diinginkan. Protein-protein nantinya diperbanyak mengikuti perkembangbiakan tanaman induk secara terus-menerus dan masal seperti bercocok tanam biasa.

Di lapangan para petani di Indonesia sudah menanam kapas transgenik produksi Monsanto. Pengembangan tanaman ini telah menimbulkan pro dan kontra terhadap resiko yang akan ditimbulkannya. Penanaman tanaman transgenik secara masal perlu dilakukan secara hati-hati untuk menghindari dampak negatifnya.

Pemanfaatan Bioteknologi di Wilayah Pesisir dan Laut

Wilayah pesisir dan lautan Indonesia dengan keanekaragaman hayati tertinggi di dunia, berpotensi besar untuk pengembangan Industri Bioteknologi.

Produk-produk yang dihasilkan dari kegiatan tersebut bermanfaat bagi manusia (sebagai makanan, obatobatan, dan kosmetika) dan aman bagi lingkungan.

Menurut Dahuri (2002), aplikasi bioteknologi di wilayah pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi 4 tujuan penggunaan, yaitu (1) menghasilkan produk bahan alami dari laut, (2) pengendalian pencemaran, (3) pengendalian biota penempel (*biofouling*), dan (4) industri akuakultur.

1. Produk Bahan Alami dari Laut

Aplikasi teknologi dalam rangka menghasilkan produk bahan alami semakin meningkat dengan adanya kecenderungan umat manusia untuk kembali ke alam (*back to nature*), disadari bahwa bahan-bahan produk dari laut khususnya organisme laut relative aman bagi kesehatan karena dapat terurai secara alamiah (*biodegradable*) disbanding bahan-bahan sintetik.

Kekayaan sumberdaya pesisir dan laut yang sangat melimpah merupakan sumber bahan baku untuk pengembangan industri pangan, farmasi dan obat-obatan. Jenis alga merah dapat digunakan untuk produk makanan, susu, es krim, dan pasta gigi (produk industri). Sedangkan potensi sumberdaya ikan demersal dan ikan pelagis yang mengandung protein tinggi, merupakan bahan baku bagi industri pangan, demikian pula dengan rumput laut.

Perkembangan industri farmasi dapat dilakukan dengan menggunakan bahan baku dari berbagai jenis bioaktif yang terkandung dalam biota perairan laut, seperti insulin yang diekstrak dari ikan paus dan tuna. Obat cacing yang dihasilkan dari alga. Di Amerika perkembangan industri farmasi dan kosmetik dengan menggunakan bahan bioaktif dari pesisir dan laut telah berhasil dengan baik, misalnya pembuatan tulang dan gigi palsu dari karang.

2. Pengendalian Pencemaran

Keaneragaman sumberdaya di daerah pesisir dan laut, juga berguna sebagai biokatalis yang dapat menetralkan yang masuk ke perairan, seperti rumput laut,

lamun, moluska, dan berbagai mikroorganisme yang dapat menyerap bahan pencemar. Pengembangan teknik bioremediasi melalui pemanfaatan organisme laut merupakan solusi yang aman. Penerapan teknologi tersebut tergantung pada kemampuan memahami pengaruh terhadap kondisi dan degradasi lingkungan. Mikroalga juga dapat dipergunakan dalam sistem pengolahan limbah dan dapat menyerap nutrisi (N dan P) di dalam air limbah, sehingga organisme tersebut dapat digunakan untuk pembersihan limbah cair (Shanghao Li, 1988 dalam Dahuri, 2002).

3. Pengendalian Biota Penempel (Biofouling)

Biofouling biasanya banyak menempel pada kapal, perahu, dan bangunan-bangunan pantai, dapat menghambat kegiatan dan menyebabkan kerusakan. Untuk menanggulangi biofouling tersebut, maka digunakan bioaktif dari rumput laut (jenis *Ulva fasciata*) dan lamun spesies *Zostera marina*.

Kontroversi

Dalam perkembangannya, kemajuan di bidang bioteknologi tak lepas dari berbagai kontroversi. Sebagai contoh:

- teknologi kloning dan rekayasa genetika terhadap tanaman pangan mendapat kecaman dari bermacam-macam golongan terutama kaum konservatif religius
- pro dan kontra penggunaan tanaman transgenik, salah satu contohnya adalah kapas transgenik. Pihak yang pro, terutama para petinggi dan wakil petani yang tahu betul hasil uji coba di lapangan memandang kapas transgenik sebagai mimpi yang dapat membuat kenyataan, sedangkan Pihak yang kontra, sangat ekstrim mengungkapkan berbagai bahaya hipotetik tanaman transgenik (Linawati, 1998).
- selain kapas, Setyarini (2000) memaparkan tentang kontroversi penggunaan tanaman jagung yang telah direkayasa secara genetik untuk pakan unggas. Kekhawatiran yang muncul adalah produk akhir unggas Indonesia akan mengandung *genetically modified organism* (GMO).

- masalah lain yang menjadi kekhawatiran berbagai pihak adalah potensinya dalam mengganggu keseimbangan lingkungan antara lain serbuk sari jagung dialam bebas dapat mengawini gulma-gulma liar, sehingga menghasilkan gulma unggul yang sulit dibasmi. Sebaliknya, kelompok masyarakat yang pro mengatakan bahwa dengan jagung transgenik selain akan mempercepat swa sembada jagung, manfaat lain adalah jagung yang dihasilkan mempunyai kualitas yang hebat, kebal terhadap serangan hama sehingga petani tidak perlu menyemprot pestisida.

Bagaimana cara kita menyikapinya? Satu-satunya jalan adalah dengan melakukan beberapa tahapan pengujian, studi kelayakan, serta sistem pengawasan yang ketat oleh instansi yang berwenang. Disini, pihak peneliti memegang peranan penting dalam mengungkap dan membuktikan atau menyanggah berbagai kekhawatiran yang timbul.

Daftar Pustaka

- Dahuri, R. 2002. Paradigma Baru Pembangunan Indonesia Berbasis Kelautan. Orasi Ilmiah Guru Besar Tetap Bidang Pengelolaan Sumber daya Pesisir dan Lautan. Fakultas Perikanan dan Kelautan. Institut Pertanian Bogor.
- Linawati, 1998. Marine Bioteknologi. Opportunities and Challengers for Sustainable Development of Coastal and Marine Resources. Paper in Workshop on Marine Bioteknologi. 16 – 20 February 1998. center for Coastal and Marine Resources Studies. Bogor.
- Nurchahyo, H. 2011. Diktat Kuliah *Bioteknologi*. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Primrose, S.B. (1987). *Modern Biotechnology*. Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Shupnik, M.A. (1999). Introduction to Molecular Biology. In: Fauser, B.C.J.M., Rutherford, A.J., Strauss, III., J.F., and Van Steirteghem, A. (eds.) *Molecular Biology in Reproductive Medicine*. The Parthenon Publishing Group.
- Saru, A. 2004. Bioteknologi dan Aplikasinya. Makalah Falsafah Sains. Sekolah Pascasarjana IPB. Bogor.

