

Pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup

Sumber. Modul Pendidikan Profesi Guru
Modul 2. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup
Penulis. Ikmanda Nugraha

A. Kompetensi

Penjabaran model kompetensi yang selanjutnya dikembangkan pada kompetensi guru bidang studi yang lebih spesifik pada pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup, ada beberapa kompetensi guru bidang studi yang akan dicapai pada pembelajaran ini, kompetensi yang akan dicapai pada pembelajaran ini adalah calon guru P3K mampumenguasai teori dan aplikasi materi pelajaran IPA yang mencakup: (1) inkuiri IPA, keterpaduan konsep dan proses dalam IPA, (2) materi dan interaksinya, (3) gerak, gaya, dan tekanan, (4) energi, usaha, dan pesawat sederhana, (5) gelombang dan optik serta aplikasinya dalam teknologi, (6) kelistrikan dan kemagnetan, (7) ciri, klasifikasi, sistem, struktur, fungsi makhluk hidup, zat aditif dan adiktif serta dampaknya terhadap kesehatan, (8) interaksi antar makhluk hidup dan lingkungan, (9) reproduksi, hereditas, evolusi (10) mikroorganisme dan bioteknologi, (11) tata surya, struktur bumi, perubahan iklim, dan mitigasi bencana, termasuk advanced materials dalam IPA secara bermakna yang dapat menjelaskan aspek “apa” (konten), “mengapa” (filosofi), dan “bagaimana” (penerapan) dalam kehidupan sehari-hari.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dalam rangka mencapai kompetensi guru bidang studi, maka dikembangkanlah indikator - indikator yang sesuai dengan tuntutan kompetensi guru bidang studi.

Indikator pencapaian kompetensi yang akan dicapai dalam pembelajaran 1. Sel, Organ, dan Kelangsungan Hidup adalah sebagai berikut.

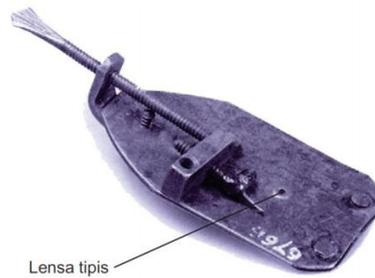
- 1.1.1 Mengidentifikasi konsep-konsep IPA yang dapat dipadukan jika akan melaksanakan pembelajaran tentang pengamatan sel dengan metode praktikum.
- 1.1.2 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi sel pada jaringan tertentu.
- 1.2.1 Mengaitkan hubungan antara struktur dan fungsi organ tersebut dalam mendukung sistem organ.
- 1.2.2 Memilih upaya untuk menjaga kesehatan dari penyakit tersebut.
- 1.2.3 Menganalisis materi esensial yang sesuai dengan metode dan teknologi yang digunakan sesuai dengan Kompetensi Dasar (KD) pada materi sistem organ.
- 1.3.1 Memprediksi perbandingan fenotif pada F₂ pada contoh kasus pewarisan sifat tertentu dari induk kepada keturunannya.
- 1.3.2 Menganalisis mekanisme munculnya kelainan genetik pada manusia.
- 1.3.3 Merumuskan alat evaluasi yang relevan dengan indikator pembelajaran Kompetensi Dasar (KD) materi hereditas.
- 1.4.1 Menentukan alasan kasus tersebut pada salah satu teori asal usul kehidupan berdasarkan contoh kasus tentang asal usul kehidupan.
- 1.4.2 Menarik kesimpulan terhadap fakta sebagai bukti adanya evolusi berdasarkan teori Darwin.

C. Uraian Materi

1. Struktur dan Fungsi Sel

- **Mikroskop**

Mikroskop merupakan suatu alat yang digunakan untuk meneliti objek-objek yang ukurannya sangat kecil (disebut mikroskopis), seperti sel misalnya. Ilmuwan Belanda bernama Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) merancang sebuah mikroskop kecil berlensa tunggal (Gambar 1.1). Mikroskop itu digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Ia menemukan organisme yang bergerak-gerak di dalam air, yang kemudian disebut Protozoa. Antonie van Leeuwenhoek merupakan orang pertama yang menemukan sel hidup. Ada dua jenis mikroskop yang umum digunakan saat ini yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.



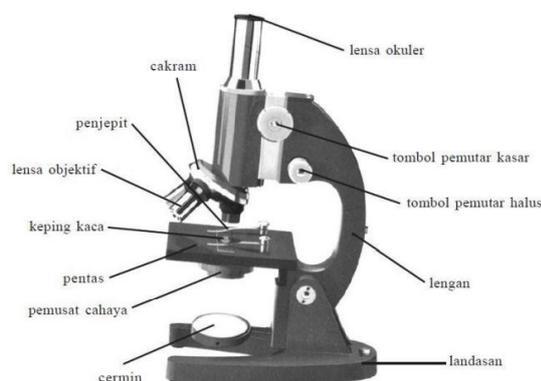
Gambar 2. Mikroskop Antonie van Leeuwenhoek
Sumber: <https://micro.magnet.fsu.edu>

a. Mikroskop Cahaya

Jenis mikroskop ini merupakan mikroskop yang memanfaatkan cahaya sebagai sumber energi. Mikroskop cahaya contohnya adalah yang sering digunakan di sekolah. Sumber cahaya yang digunakan biasanya dari cahaya matahari, bisa juga dari cahaya lampu dengan sumber listrik. Benda dapat diperbesar dengan 40 kali, 100 kali, 400 kali, bahkan 1000 kali dengan bantuan mikroskop cahaya. Ilmu yang mempelajari tentang benda kecil yang diamati dengan mikroskop disebut mikroskopi.

b. Bagian-Bagian Mikroskop Cahaya

Bagian mikroskop (Gambar. 1.2) dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian optik dan bagian mekanik.



Gambar 3. Mikroskop Cahaya
Sumber: <https://www.berpendidikan.com>

c. Bagian Optik

1) Lensa Okuler

Lensa okuler yaitu ada di ujung paling atas, digunakan untuk melihat objek melalui lensa. Lensa okuler berfungsi memperbesar bayangan dengan perbesaran 6 kali, 10 kali, atau 12 kali.

2) Lensa Objektif

Lensa objektif yaitu lensa yang paling dekat dengan objek. Terdapat tiga lensa objektif dengan perbesaran 10 kali, 40 kali, 100 kali atau juga ada yang 1000 kali pada jenis mikroskop terbaru. Saat menggunakan lensa objektif, perlu diberi minyak pelumas karena benda atau objek pada pembesaran 100 kali bisa sampai menempel atau bersentuhan dengan lensa. Untuk memperjelas gambaran benda, maka diberikanlah minyak pelumas atau minyak emersi.

3) Kondensor

Kondensor merupakan bagian yang bisa diputar naik turun berfungsi untuk memusatkan objek atau benda serta memperjelas cahaya yang dipantulkan oleh cermin.

4) Diafragma

Benda atau objek mikro biasanya diletakkan pada preparat atau lempengan kaca yang di jepitkan pada tatakan bawah lensa. Diafragma berfungsi mengatur seberapa banyak cahaya yang digunakan untuk melihat objek pada preparat.

5) Cermin

Cermin berada pada posisi bawah berbentuk bulat dan berfungsi menerima dan memantulkan cahaya ke arah preparat agar objek yang sedang diamati bisa terlihat jelas. Cermin bisa diarahkan ke segala arah untuk mendapatkan pencahayaan yang cukup terang.

d. Bagian Mekanik

1) Revolver

Revolver merupakan bagian yang digunakan untuk mengatur seberapa banyak perbesaran lensa yang diinginkan. Revolver bisa diatur dengan memutarinya sesuai dengan perbesaran yang tertera atau tertulis.

2) Tabung Mikroskop

Tabung mikroskop ini yang berbentuk panjang karena merupakan penghubung antara lensa objektif dan lensa okuler pada mikroskop.

3) Lengan Mikroskop

Lengan mikroskop merupakan tempat pegangan untuk pengamat. Lengan mikroskop ini untuk memberi kenyamanan bagi pengamat saat menggunakan mikroskop.

4) Meja Benda

Meja benda merupakan tatakan tempat objek atau preparat diletakkan. Pada meja tersebut terdapat penjepit di kanan dan kiri meja benda yang berfungsi untuk menjaga agar preparat tidak bergeser.

5) Makrometer

Makrometer merupakan bagian untuk menaikkan atau menurunkan tabung mikroskop secara cepat dengan tujuan memperjelas gambaran pada objek.

6) Mikrometer

Makrometer merupakan bagian untuk menaikkan atau menurunkan tabung mikroskop secara lambat dengan tujuan memperjelas gambaran pada objek.

7) Kaki Mikroskop

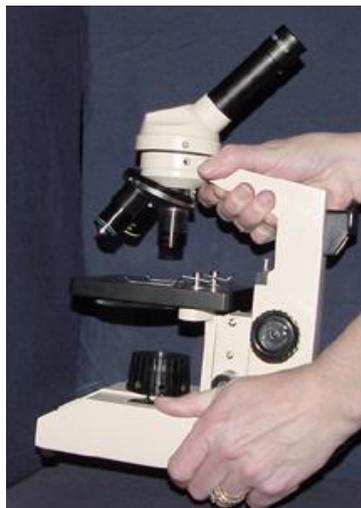
Kaki mikroskop merupakan bagian dasar yang menopang mikroskop secara keseluruhan, dan juga penyangga saat mikroskop akan dipindahkan. Pada umumnya kaki mikroskop ini berbentuk persegi empat.

8) Sendi Inklinasi

Pengatur sudut atau tegaknya mikroskop sesuai dengan kenyamanan pengamat. Sendi inklinasi ini bisa ditegakkan atau dibungkukkan tergantung kenyamanan pengamat dan disesuaikan dengan arah lensa okulernya.

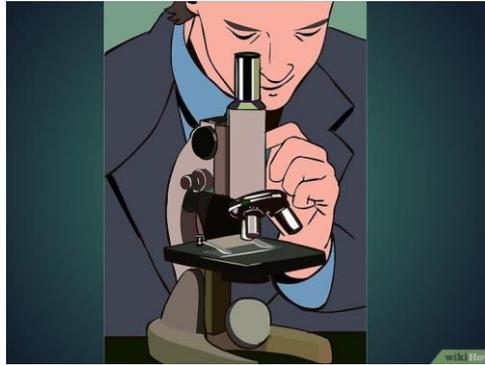
e. Cara Penggunaan Mikroskop

Ketika ingin mengangkat atau memindahkan mikroskop, peganglah lengan mikroskop dengan satu tangan dan tangan yang lain menopang bagian bawah mikroskop (**Gambar 1.3**). Letakkan di tempat yang dekat dengan sumber cahaya. Pasanglah lensa okuler dan hadapkan tepat dengan kenyamanan Anda.



Gambar 4. Cara membawa mikroskop
Sumber: <http://www.csun.edu>

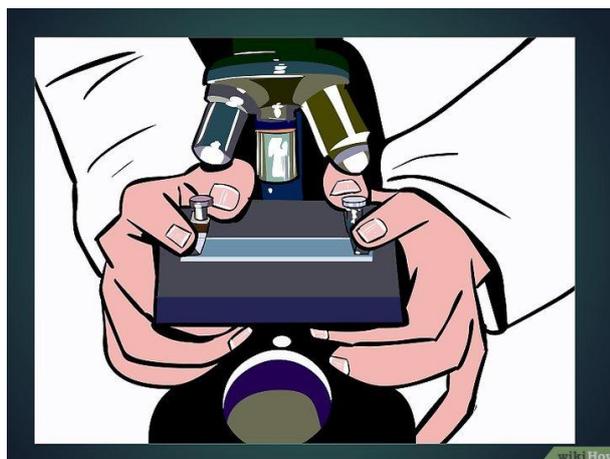
Untuk mendapatkan penglihatan yang baik, Anda bisa memperkecil gambaran lensa yang searah antara lensa objektif dan lensa okuler. Dapatkan gambaran objek dengan perbesaran paling kecil terlebih dahulu untuk menilai kualitas gambaran objek secara keseluruhan. Baru perbesarlah sedikit demi sedikit dan sesuaikan agar terlihat lebih jelas (5).



Gambar 5. Melihat objek dengan pembesaran paling kecil
Sumber: <https://www.wikihow.com>

Putar-putar cermin untuk mendapatkan pencahayaan yang cerah. Lihatlah melalui lensa okuler apakah medan atau area pengamatan sudah tampak terang atau belum. Jika sangat terang maka area pengamatan akan tampak putih, dan tampak suram ketika cahaya yang didapatkan kurang. Pastikan Anda mendapatkan cahaya yang baik agar tidak mempengaruhi hasil pengamatan. Cahaya yang digunakan bisa pantulan dari cahaya matahari atau cahaya lampu, namun biasanya cahaya matahari lebih cerah dan membuat objek lebih jelas.

Letakkan preparat objek yang akan diamati di meja benda dan jepitlah sisi kiri dan kanannya agar tidak bergeser (**Gambar 1.5**). Lakukan secara tepat sehingga cahaya bisa menembus kaca benda dan tampak objek terlihat dengan jelas.



Gambar 6. Meletakkan preparat
Sumber: <https://www.wikihow.com>

Dua cara untuk mencari fokus objek :

- (1) Perbesaran lemah : lensa okuler disetel pada perbesaran 5 kali dan lensa objektif 10 kali, hal ini menyatakan bahwa preparat diamati pada perbesaran 50 kali. Anda juga bisa memutar mutar makrometer untuk mendapatkan gambaran objek yang jelas.
- (2) Perbesaran kuat : lensa okuler dengan perbesaran 12,5 ditambah lensa objektif 60 kali memiliki arti bahwa pengamatan yang dilakukan dengan perbesaran 750 kali. Perbesaran ini sangat besar sehingga lensa bisa mendekat atau menyentuh preparat. Sehingga, preparat terlebih dahulu perlu ditutup dengan kaca penutup lalu kondensor dinaikkan sampai menyentuh kaca. Kaca pelapis ini berfungsi agar preparat tidak rusak karena bersentuhan dengan lensa mikroskop. Kemudian, Diafragma dibuka selebar-lebarnya dan lensa objektif diturunkan sampai menyentuh kaca preparat. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas, putar-putar makrometer sampai terlihat objek dengan jelas (**Gambar 1.6**).



Gambar 7. Pengaturan makrometer untuk melihat objek lebih jelas
Sumber: <https://www.wikihow.com>

Setelah selesai menggunakan, bersihkan mikroskop sebelum disimpan dengan xylol. Simpan mikroskop di tempat yang kering dan bersih.

f. Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron memanfaatkan elektron sebagai sumber energi. Jenis mikroskop ini menggunakan magnet sebagai pengganti lensa. Mikroskop

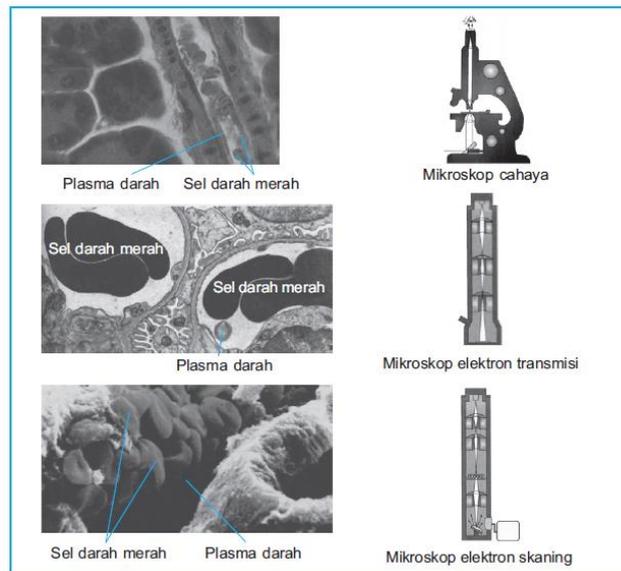
elektron lebih unggul daripada mikroskop cahaya dalam hal memperbesar objek bisa hingga jutaan kali (**Gambar 1.7**).



Gambar 8. Mikroskop Elektron
Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (1982)

Mikroskop elektron ada dua macam, yaitu mikroskop elektron skaning (SEM : Scanning Electron Microscope) dan mikroskop elektron transmisi (TEM : Transmission Electron Microscope). Mikroskop elektron skaning digunakan untuk mengamati secara detail permukaan sel, sedangkan mikroskop elektron transmisi digunakan untuk mengamati struktur internal sel. Perhatikan hasil pengamatan suatu objek menggunakan tiga jenis mikroskop yang berbeda (**Gambar 1.8**).

Jenis mikroskop ini jarang digunakan sebagai alat pembelajaran di sekolah sehingga jarang ditemui. Mikroskop semacam ini mungkin digunakan oleh para peneliti profesional untuk mendapatkan gambaran objek yang jelas hingga jutaan kali lipat pembesaran.



Gambar 9. Perbedaan hasil pembesaran mikroskop cahaya dan mikroskop electron
Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (1982)

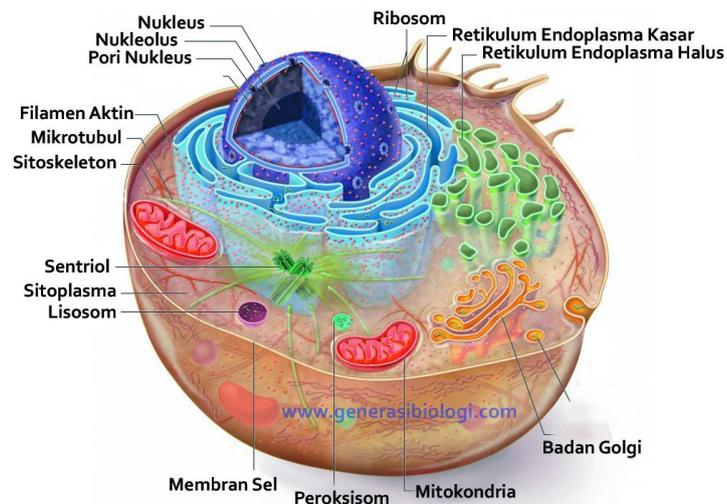
- **Organisasi Sel**

Unit satuan terkecil dari kehidupan ialah sel. Secara umum, sel dapat diartikan sebagai unit struktural dan fungsional makhluk hidup. Setiap sel memiliki membran plasma, nukleus, dan sitoplasma. Membran plasma yang mengelilingi sel menjaga sel tetap utuh dan mengatur apa yang masuk dan keluar dari sel. Membran plasma adalah fosfolipid bilayer yang bersifat semipermeabel karena memungkinkan molekul tertentu masuk ke sel. Protein dalam membran plasma memainkan peran penting dalam memungkinkan zat untuk memasuki sel.

Nukleus adalah struktur besar, berlokasi sentral di tengah sel dan sering dapat dilihat dengan bantuan mikroskop cahaya. Inti nukleus mengandung kromosom dan merupakan pusat kendali sel. Inti mengontrol fungsi metabolisme dan karakteristik struktural sel. Nukleolus adalah wilayah di dalam nukleus. Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks sitoplasma adalah media semifluid yang mengandung air dan berbagai jenis molekul yang tersuspensi atau terlarut dalam medium. Kehadiran protein dalam sitoplasma menjadikan sifat semifluid dari matriksnya.

Sitoplasma mengandung berbagai organel (**Gambar 1.9**). Organel berukuran kecil, biasanya memiliki membran yang paling bagus dilihat dengan mikroskop elektron. Setiap jenis organel memiliki fungsi tertentu. Sebagai contoh, satu jenis

organel mengangkut zat, dan jenis lain menghasilkan ATP untuk sel. Karena organel terdiri atas membran, kita dapat mengatakan bahwa membran membentuk sel, menjaga berbagai aktivitas seluler terpisah satu sama lain. Sama seperti kamar-kamar di rumah Anda yang memiliki perabot khusus yang melayani tujuan tertentu, organel memiliki struktur yang sesuai dengan fungsinya.



Gambar 10. Sel dengan organelnya.
Sumber: www.generasibiologi.com

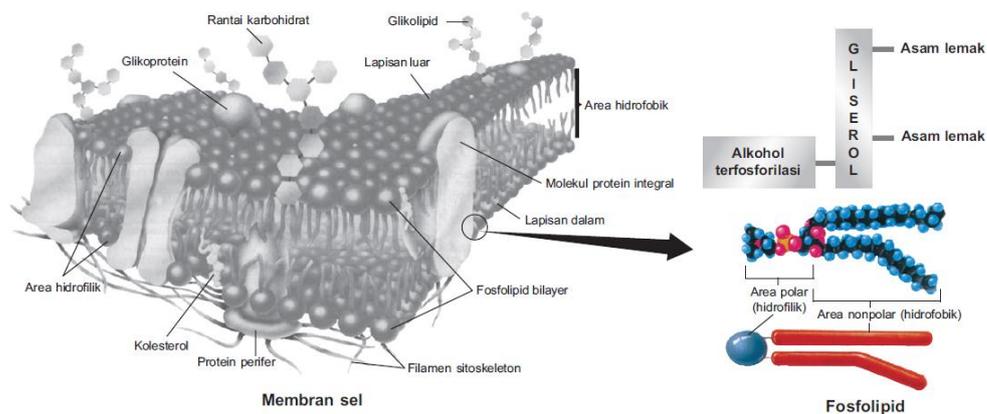
Sel juga memiliki sitoskeleton, jaringan filamen yang saling berhubungan dan mikrotubulus di sitoplasma. Nama sitoskeleton adalah cocok dengan sel karena memungkinkan kita untuk membandingkan sitoskeleton ke tulang dan otot kita. Tulang dan otot memberi kita struktur dan menghasilkan gerakan. Demikian pula, unsur-unsur sitoskeleton mempertahankan bentuk sel dan memungkinkan sel dan isinya untuk bergerak. Beberapa sel bergerak dengan menggunakan silia dan flagela, yang terdiri dari mikrotubulus.

2. Membran, Inti dan Organel Sel

Membran Sel (Plasmalemma atau Selaput Plasma)

Membran sel merupakan membran sel atau selaput yang letaknya paling luar yang terbentuk dari senyawa kimia Lipoprotein (gabungan protein dan lemak) dengan perbandingan 50:50. Lipid penyusun membran yaitu pospolid. Protein

yang ada di permukaan luar dan dalam disebut protein intrinsik yang mempunyai sifat hidrofilik (larut dalam air) dan yang ada dan menembus kedua lapis lipid disebut protein intriksi yang mempunyai sifat hidrofobik (tidak larut dalam air). Oleh karenanya membran sel bersifat Selektif Permeabel (Semi Permeabel) yang artinya hanya bisa dilewati oleh molekul tertentu saja (**Gambar. 1.10**).



Gambar 11. Membran sel
Sumber: Inquiry into Life, Mader, S (2015)

Khusus sel tumbuhan, selain selaput plasma terdapat satu struktur yang letaknya diluar selaput plasma yaitu Dinding Sel. Dinding sel tersusun dari dua lapisan senyawa Selulosa. Diantara kedua lapisan selulosa terdapat ronggayang dinamakan Lamel Tengah (Middle Lamel) yang bisa terisi oleh zat penguat (contoh: chitine, pektin, suberine, lignin). Pada sel tumbuhan terkadang juga terdapat celah yang disebut Noktah atau pit. Di noktah/pit ini sering dijumpai penjuluran Sitoplasma yang disebut Plasmodesma yang mempunyai fungsi hampir sama dengan fungsi saraf pada hewan.

a. Sitoplasma

Bagian cair dalam sel disebut dengan Sitoplasma yang ada dalam dua bentuk yaitu Fase Sol (padat) dan Fase Gel (cair) dan khusus cairan yang berada di dalam inti sel disebut Nukleoplasma. Sitoplasma disusun oleh 90% air dimana air menjadi penyusun utamanya, dan berfungsi melarutkan zat-zat kimia dan tempat reaksi kimia sel.

Matriks sitoplasma atau bahan dasar sitoplasma disebut sitosol. Sitoplasma dapat berubah dari fase sol ke gel dan sebaliknya. Matriks sitoplasma tersusun

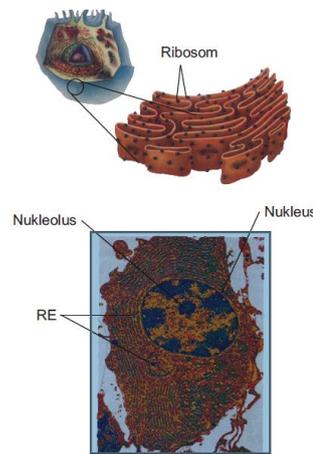
atas oksigen 62%, karbon 20%, hidrogen 10%, dan nitrogen 3% yang tersusun dalam senyawa organik dan anorganik. Unsur-unsur lain adalah: Ca 2,5%; P 1,14%; Cl 0,16%; S 0,14%; K 0,11%; Na 0,10%; Mg 0,07%; I 0,014%; Fe 0,10%; dan unsur-unsur lain dalam jumlah yang **sangat kecil**.

b. Organel Sel

Organel sel merupakan benda-benda solid yang ada di dalam sitoplasma dan menjalankan fungsi kehidupan (bersifat hidup).

1) Retikulum Endoplasma (RE)

Retikulum Endoplasma merupakan organel yang berupa sistem membran berlipat-lipat menghubungkan membran sel dengan membran inti berbentuk seperti benang-benang jala. Ikut berperan juga dalam proses transpor zat intra sel. Ada dua macam Retikulum Endoplasma yaitu RE Kasar dan RE Halus. Struktur Retikulum Endoplasma hanya bisa dilihat dengan mikroskop elektron. RE Halus memiliki fungsi sebagai transpor atau pengangkut sintesis lemak dan steroid, tempat menyimpan fosfolipid, glikolipid, dan steroid, melaksanakan detoksifikasi drug dan racun. Sedangkan Fungsi RE Kasar adalah untuk transpor atau pengangkut sintesis protein, terdapat juga di ribosom (**Gambar 1.11**).

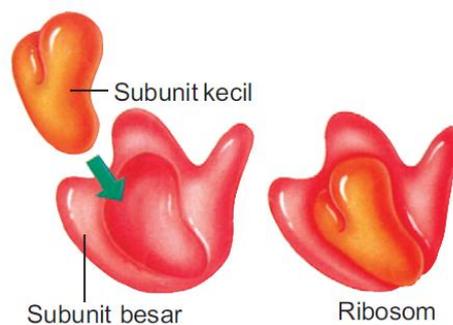


Gambar 12. Retikulum endoplasma
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

2) Ribosom (Ergastoplasma)

Ribosom merupakan organel pensintesis protein. Ribosom kerap menempel satu sama lain dan membentuk rantai yang sering disebut polisom atau

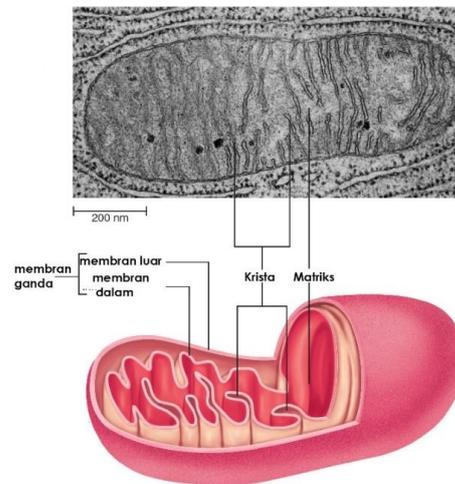
poliribosom. Struktur ribosom berbentuk bulat bundar terdiri dari dua partikel besar dan kecil, ada yang soliter dan ada yang melekat sepanjang R.E (**Gambar 1.12**). Ribosom adalah organel sel terkecil yang tersuspensi dalam sel. Antara satu ribosom dengan yang lainnya diikat oleh mRNA. Menurut kecepatan sedimentasi dibedakan menjadi ribosom sub unit kecil (40s) dan ribosom sub unit besar (60s). Ribosom berfungsi sebagai tempat berlangsungnya sintesis protein dan contoh organel tidak bermembran. Oleh penyusun utamanya yaitu asam ribonukleat dan berada bebas di dalam sitoplasma ataupun melekat pada RE.



Gambar 13. Struktur Ribosom
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

3) Mitokondria (*The Power House*)

Di dalam biologi Mitokondria diberi julukan *The Power House* karena merupakan organel yang mempunyai fungsi sebagai tempat respirasi aerob untuk pembentukan ATP sebagai sumber energi sel. Mitokondria memiliki dua lapisan membran yaitu membran dalam dan membran luar. Membran dalam membentuk tonjolan-tonjolan ke arah dalam (membran krista). Krista mempunyai fungsi memperluas permukaan agar proses pengikatan oksigen dalam respirasi sel berlangsung semakin efektif (**Gambar 1.13**). Terdapat Matrik Mitokondria yang terletak diantara membran krista dan banyak mengandung enzim pernafasan atau sitokrom, protein, DNA dan ribosom yang memungkinkan sintesis enzim-enzim respirasi secara otonom. Untuk melintasi membran mitokondria memerlukan mekanisme transpor aktif. Matrik Mitokondria berfungsi sebagai tempat berlangsungnya respirasi untuk menghasilkan energi.



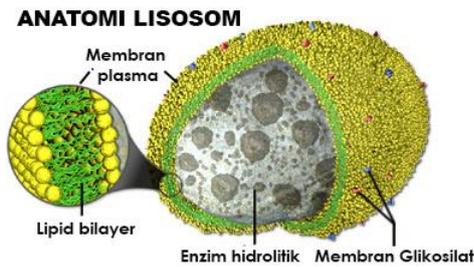
Gambar 14. Mitokondria

Sumber: Campbell biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

4) Lisosom

Lisosom dihasilkan oleh aparatus golgi yang penuh dengan protein. Berbentuk kantong-lantong kecil (**Gambar 1.14**) dan menghasilkan enzim-enzim hidrolitik seperti fosfatase, lipase, dan proteolitik. Enzim hidrolitik mempunyai fungsi untuk mencerna makanan yang masuk ke dalam sel secara fagositosis.

Lisosom menghasilkan zat kekebalan sehingga banyak ditemui pada sel darah putih, bersifat autofagi, autolisis, dan menghancurkan makanan secara edsosistosis. Fungsi organel sel lisosom ini ialah sebagai penghasil dan penyimpan enzim pencernaan seluler. Salah satunya yaitu Lisozym. Ada dua macam lisosom yaitu lisosom primer dan sekunder, lisosom primer memproduksi enzim yang belum aktif. Berfungsi sebagai vakuola makanan. Lisosom sekunder adalah lisosom yang terlibat dalam kegiatan mencerna, berfungsi sebagai autofagosom.

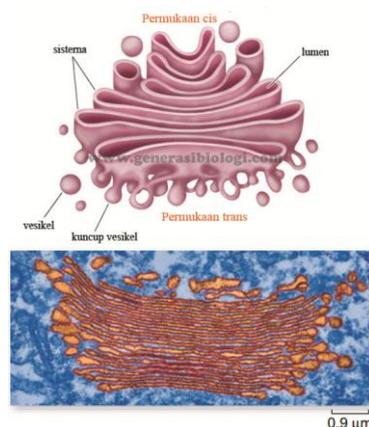


Gambar 15. Lisosom
Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

5) Badan Golgi (Aparatus Golgi = Diktiosom)

Badan Golgi terdiri dari kumpulan vesikel pipih yang mempunyai bentuk berkelok-kelok (sisternae) atau berbentuk seperti kantong pipih (**Gambar 1.15**). Badan golgi yang ada di dalam sel tumbuhan disebut diktiosom, dimana kebanyakan berada di dekat membran sel. Di dalam badan golgi terdapat banyak enzim pencernaan yang belum aktif, seperti koenzim dan zimogen. Dihasilkan juga lendir yang disebut musin, badan golgi juga dapat membentuk lisosom. Badan golgi bisa bergerak mendekati membran sel untuk mensekresikan isinya ke luar sel, karena ini disebut juga organ sekresi.

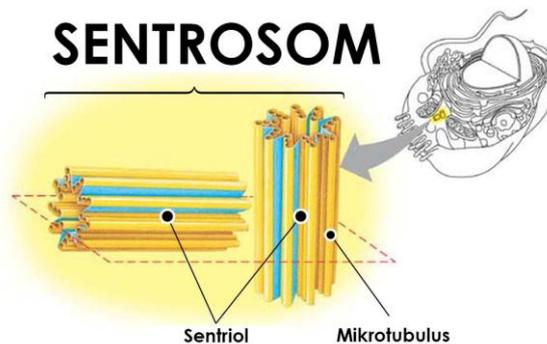
Organel sel ini dihubungkan dengan fungsi ekskresi sel, dan struktur nya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop cahaya biasa. Badan golgi banyak ditemui di organ tubuh yang melaksanakan fungsi eksresi atau sel-sel penyusun kelenjar seperti ginjal.



Gambar 16. Badan Golgi
Sumber : www.generasibiologi.com

6) Sentrosom (Sentriol)

Hal yang sangat penting yaitu sentrosom hanya bisa ditemukan pada sel hewan. Sentrosom disaat reproduksi sel akan membelah menjadi sentriol. Struktur sentrosom berbentuk bintang dengan fungsi untuk pembelahan sel (Meiosis maupun Mitosis). Sentriol berbentuk layaknya tabung dan tersusun oleh mikrotubulus yang terdiri 9 triplet, terletak disalah satu kutub inti sel (**Gambar 1.16**). Sentriol berperan dalam kegiatan pembelahan sel dengan membentuk benang spindel. Benang ini yang menarik kromosom menuju ke kutub sel berlawanan.

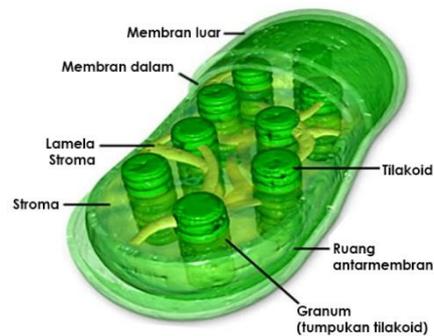


Gambar 17. Sentrosom

Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

7) Plastida

Plastida ialah organel yang umumnya berisi pigmen (**Gambar 1.17**). Plastida yang berisi pigmen klorofil disebut kloroplas, fungsinya yaitu sebagai organel utama dalam proses fotosintesis. Kloroplas berasal dari proplastida, proplastida berukuran lebih kecil dari kloroplas dimana terdapat sedikit bahkan tanpa membran internal. Kloroplas terbungkus membran ganda, membran yang berperang mengatur keluar masuk senyawa atau ion ke dan dari dalam kloroplas. Di membran internal kloroplas ada pigmen fotosintesis yang banyak ditemui di permukaan luar membran internal yang disebut thilakoid. Sedangkan plastida yang berisi pigmen selain klorofil (contoh: fikoerithin, xantofil, karoten) disebut dengan Kromoplas. Plastida yang tidak mempunyai warna (tidak berwarna) disebut leukoplas.



Gambar 18. Plastida/kloroplas
Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

Ada macam-macam leukoplas berdasarkan bahan yang dikandungnya yaitu elaioplas (lipoplas) berisi lemak, amiloplas berisi amilum, dan proteoplas berisi protein. Yang dapat dilihat dengan mikroskop cahaya biasa. Tiga jenis plastisida, yaitu:

- Lekoplas yaitu plastida berwarna putih yang berfungsi sebagai tempat menyimpan makanan. terdiri dari: Amiloplas: tempat menyimpan amilum; Elaioplas (Lipidoplas): tempat menyimpan lemak/minyak; dan Proteoplas: tempat menyimpan protein.
- Kloroplas yaitu plastida berwarna hijau yang berfungsi menghasilkan klorofil dan tempat berlangsungnya fotosintesis
- Kloroplas yaitu plastida yang mengandung pigmen, misalnya: Fikodanin (biru), Fikosantin (kuning), Karotin (kuning) dan Fikoeritrin (merah)

8) Vakuola (Rongga Sel)

Vakuola tidak dimasukkan dalam organel sel oleh beberapa ahli, benda ini bisa dilihat melalui mikroskop cahaya biasa. Vakuola berisi garam-garam organik, tanin (zat penyamak), glikosida, minyak eteris, enzim, alkaloid, dan butir-butir pati. Selaput pembatas antara vakuola dengan sitoplasma disebut Tonoplas. Pada beberapa spesies terdapat vakuola kontraktil dan vakuola nonkontraktil. Pada beberapa terdapat vakuola kecil atau bahkan tidak ada, kecuali hewan bersel satu. Hewan bersel satu terdapat dua jenis vakuola yaitu vakuola makanan dengan fungsi dalam proses pencernaan intrasel dan vakuola kontraktil yang berfungsi sebagai osmoregulator.

9) Mikrotubulus

Mikrotubulus berbentuk benang silindris, kaku dan mempunyai fungsi untuk membentuk silia, flagela, sentriol dan benang-benang spindel, serta mempertahankan bentuk sel dan sebagai rangka sel. Contoh organel ini antaranya yaitu benang-benang gelembung pembelahan. Mikrotubulus ini disusun oleh protein yang disebut tubulin. Diameter mikrotubulus kira-kira 25 nm. Organel ini merupakan serabut penyusun sitoskeleton terbesar.

10) Mikrofilamen

Organel mikrofilamen mirip seperti mikrotubulus tetapi mempunyai diameter yang lebih kecil. Bahan pembentuk mikrofilamen adalah miosin dan aktin seperti yang ditemui pada otot. Berdasarkan hasil penelitian, mikrofilamen ikut andil dalam proses pergerakan sel, eksositosis, dan endositosis. Contohnya yaitu gerakan amuba.

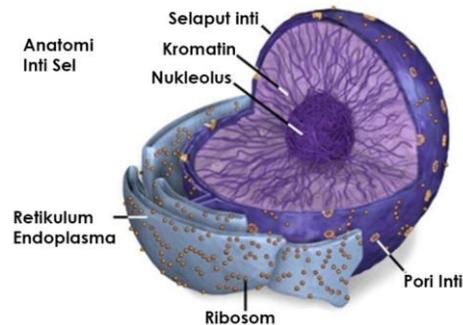
11) Peroxisom (Badan Mikro)

Peroxisom atau badan mikro mempunyai ukuran sama seperti Lisosom dan dibentuk dalam Retikulum Endoplasma Granular. organel peroksisom ini terus menerus berasosiasi dengan organel sel lain, banyak juga mengandung enzim katalase dan oksidase yang banyak disimpan dalam sel-sel hati. Peroxisom memiliki fungsi mengurangkan peroksida (H_2O_2) dimana ini merupakan sisa metabolisme yang bersifat toksik menjadi oksigen dan air. Badan mikro pada tumbuhan disebut Gliosisom, ikut andil dalam proses perubahan senyawa lemak menjadi sukrosa.

c. Inti Sel (Nukleus)

Nukleus merupakan bagian sel yang berukuran lebih besar dibandingkan dengan organel sel seperti biasanya, mempunyai ukuran 10 – 20 nm. Letak inti sel (nukleus) terkadang di bagian tepi atau di tengah, mempunyai bentuk bulat atau lonjong seperti cakram. Inti sel atau Nukleus merupakan bagian sel yang mempunyai fungsi sebagai pusat pengendali aktivitas atau pusat perintah sel karena adanya benang-benang kromosom di dalam nukleus. Umumnya sel-sel mempunyai satu nukelus inti. Inti sel (nukelus) dibatasi oleh membran inti atau selaput inti yang mempunyai kontrol keluar masuk nucleus (**Gambar 1.18**).

Nukleus diperlukan untuk mengontrol reaksi-reaksi kimia, pembelahan sel, dan pertumbuhan.



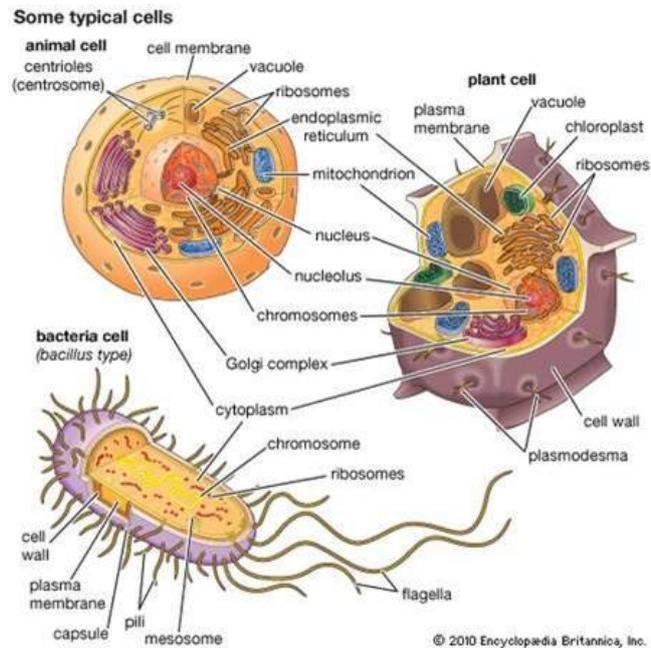
Gambar 19. Nukleous

Sumber: Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

Tetapi sesuai dengan fungsinya, ada juga sel yang mempunyai dua atau lebih inti. Nukelus juga mempunyai tugas untuk membawa perintah sintesis di inti DNA dikarenakan terdapat sandi DNA (*DNA code*) di dalamnya untuk menentukan urutan asam amino protein. Berdasarkan ada tidaknya selaput inti, dikenal dua penggolongan sel yaitu: Sel Prokariotik (Sel yang tidak memiliki selaput inti, contohnya pada ganggang biru, bakteri) dan Sel Eukariotik (Sel yang mempunyai selaput inti).

Fungsi dari nukelus sendiri adalah mengatur semua aktivitas sel, karena di dalam nukleus terdapat kromosom yang berisikan DNA yang mengatur sintesis protein. Inti mempunyai tugas mengendalikan semua kegiatan sel mulai dari metabolisme sampai pembelahan sel.

Pada sel eukariotik, inti diselubungi membran inti atau karioteka rangkap dua dan berpori, lain hal dengan sel prokariotik dimana sel ini tidak memiliki membran. Di dalam nukleus terdapat cairan yang biasa disebut nukleoplasma, kromosom yang biasanya berupa benang kromatin, serta Nukleolus (anak inti) yang digunakan sebagai tempat pembentukan asam ribonukleat (ARN). Perbedaan sel prokariotik dan eukariotik dapat dilihat pada gambar 1.19 berikut.



Gambar 20. Perbedaan sel prokariotik dan eukariotik (tumbuhan dan hewan)
Sumber: www.britannica.com

- **Teori Endosimbiosis**

Pada mulanya semua makhluk hidup diduga berasal dari makhluk bersel satu yang sangat sederhana, yaitu bakteri prokariot. Dugaan ini diperkuat dengan ditemukannya fosil sel prokariotik yang ada dalam batu-batuan yang berumur hingga miliaran tahun. Evolusionist juga menduga bahwa munculnya makhluk hidup yang terorganisasi dengan baik merupakan hasil dari proses evolusi dari sel-sel prokariotik sederhana yang berkembang menjadi sel eukarya yang lebih kompleks.

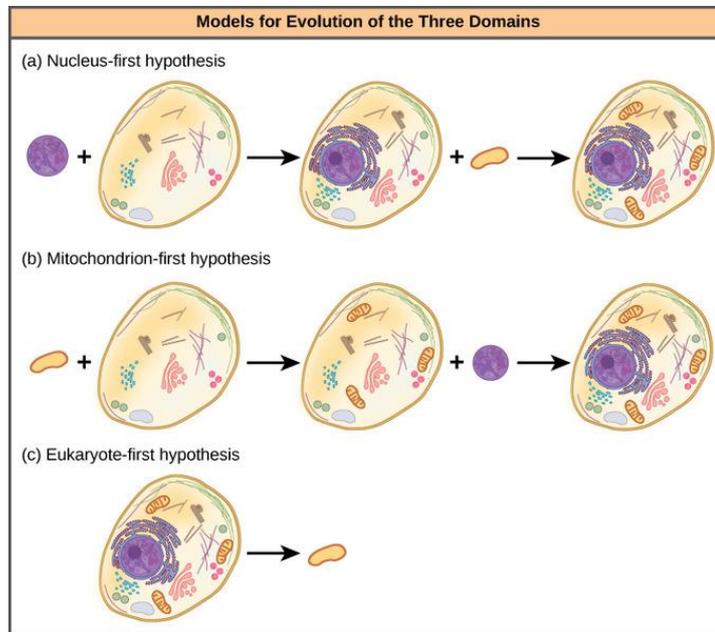
Perbedaan utama yang dapat dijumpai antara sel prokariotik dengan sel eukariotik adalah bahwa seluruh sel prokariotik tampak jelas tidak memiliki membran yang menyelimuti nukleus dan juga tidak memiliki organel-organel sel yang merupakan karakter kunci dari sel eukariotik. Sudah sejak lama dipelajari bagaimana asal-usul darimana asal-usul sel eukariotik, namun hingga kini fosil sel yang merupakan bentuk antara dari prokariotik dengan eukariotik seluler belum ditemukan. Juga belum diketahui bagaimana organel-organel terbentuk pada sel eukariotik.

Para peneliti pendahulu telah mencoba menjelaskan asal-usul makhluk hidup dengan berbagai hipotesis tentang asal-usul kehidupan. Salah satu hipotesis yang paling populer dan umum diterima adalah hipotesis endosimbiosis. Bagaimana hipotesis ini dapat diterima, dan bukti apa yang menyebabkan hipotesis ini dapat diterima akan dibahas dalam tulisan ini. Walaupun masih berupa hipotesis tetapi dugaan ini dapat disebut sebagai dugaan cerdas peneliti yang dapat dijadikan model pendekatan yang dapat menerangkan asal usul Eukariota dimasa lampau. Beberapa literatur menyebutnya sebagai “Teori Endosimbiosis” namun pada tulisan ini penulis menyebutnya sebagai “Hipotesis Endosimbiosis” dengan alasan karena memang hanya berupa hipotesis yang sampai saat ini belum ada bukti ilmiah yang empiris untuk membenarkan hipotesis ini. semua fakta yang mendukung berupa rekonstruksi untuk memperoleh bukti pendekatan saja atau kebenaran yang bersifat hipotetical.

Hipotesis endosimbiosis pertama sekali diusulkan oleh seorang biologis dari Universitas Boston bernama Lynn Margulis pada tahun 1970 dan secara resmi dalam bukunya “*Symbiosis in Cell Evolution*” (1981). Munculnya hipotesis ini dulu menjadi bahan tertawaan oleh para ahli biologi karena disebut-sebut sebagai teori yang dinilai tidak masuk akal, namun berkat kegigihan dan kesabarannya Lynn dapat memberi penjelasan, bukti yang mendekati yang membuat hipotesis ini menjadi hipotesis masuk akal dan diterima.

Ide atau gagasan tentang hipotesis Endosimbiosis ini sebelumnya pernah dikemukakan oleh seorang ahli biologi Rusia bernama C. Mereschkovsky memperkenalkan hipotesis bahwa kelompok yang berbeda dari cyanobacteria menjadi endosimbion sehingga terbentuk kloroplas. Teori inilah yang kemudian dikembangkan secara luas oleh Lynn Margulis adalah hipotesis endosimbiosis berseri (serial endosymbiosis) yang menyatakan bahwa mitokondria dan kloroplas pada awalnya adalah prokariota kecil yang hidup di dalam sel prokariota yang lebih besar (**Gambar 1.20**). (Istilah endosimbion digunakan untuk sel yang hidup di dalam sel lain, yang disebut sel inang). Nenek moyang mitokondria diperkirakan adalah heterotrofik aerobik yang menjadi endosimbion. Nenek moyang kloroplas pada eukariota awal diperkirakan adalah prokariota fotosintetik, kemungkinan sianobakteri, yang menjadi endosimbion. Bisa jadi nenek moyang prokariotik mitokondria dan kloroplas pada awalnya masuk ke

dalam sel inang sebagai mangsa yang tidak tercerna atau sebagai parasit internal.



Gambar 21. Teori Endosimbiosis
Sumber: <https://bio.libretexts.org>

Sel inang itu mungkin sebelumnya telah memiliki suatu sistem endomembran. Dengan cara apapun hubungan itu dimulai, tidak sulit membayangkan bahwa simbiosis akhirnya menjadi menguntungkan secara mutualistik. Inang heterotrofik dapat memperoleh zat-zat makanan dari endosimbion fotosintetik. Dan pada dunia yang semakin aerobik, suatu sel yang sendirinya telah anaerobik akan diuntungkan dari endosimbion aerobik tersebut, yang mengubah oksigen menjadi menguntungkan. Dalam proses menjadi saling tergantung itu, inang dan endosimbion menjadi suatu organisme tunggal, dan bagian-bagiannya menjadi tidak terpisahkan lagi. Hampir semua eukariota, baik heterotrofik ataupun autotrofik, memiliki mitokondria atau sisa-sisa genetik organel tersebut. Akan tetapi hanya eukariota fotosintetik yang memiliki kloroplas. Dengan demikian, hipotesis endosimbion berseri (serangkaian peristiwa endosimbiotik) mengasumsikan bahwa mitokondria berkembang sebelum kloroplas.

Para nenek moyang simbiosis masuk ke sel inang sebagai makanan yang tidak dicerna atau sebagai parasit internal yang kemudian antar mereka saling

bekerjasama yang disebut endosimbiosis. Ketika mereka menjadi saling tergantung maka simbiosis antar mereka menjadi saling tak terpisahkan.

Bukti bahwa mitokondria dan plastida berasal dari endosimbiosis adalah sebagai berikut:

- Mitokondria dan plastida awalnya terbentuk hanya melalui proses yang sama dengan pembelahan biner.
- Dalam beberapa ganggang, seperti *Euglena*, plastidanya dapat dihancurkan oleh bahan kimia tertentu tanpa mempengaruhi sel. Dalam kasus seperti itu, plastida tidak akan beregenerasi. Hal ini menunjukkan bahwa regenerasi plastid bergantung pada sumber ekstraseluler, seperti dari pembelahan sel atau endosimbiosis.
- Kedua organel ini dikelilingi oleh dua atau lebih membran, yang menunjukkan perbedaan komposisi dari membran sel lainnya.
- Kedua mitokondria dan plastida mengandung DNA yang berbeda dari inti sel.
- Analisa urutan DNA dan perkiraan filogenetik menunjukkan bahwa DNA nuklir mengandung gen yang mungkin berasal dari plastida.
- Ribosom dalam organel-organel ini adalah seperti yang ditemukan pada bakteri (70S).
- Protein asal organel, seperti bakterinya, juga menggunakan N-formilmethionin dalam menginisiasi asam amino.
- Sebagian besar struktur internal dan biokimia dari plastida, misalnya tilakoid dan klorofil tertentu, sangat mirip dengan cyanobacteria. Filogenetik menunjukkan bahwa plastida paling erat kaitannya dengan cyanobacteria.
- Mitokondria memiliki beberapa enzim dan sistem transportasi yang mirip dengan bakteri.
- Beberapa protein yang dikodekan dalam nukleus diangkut ke kedua organel ini, dan keduanya, mitokondria dan plastida memiliki genom kecil dibandingkan dengan bakteri. Ini konsisten dengan meningkatnya ketergantungan pada host eukariotik setelah mereka membentuk endosimbiosis. Sebagian besar gen pada genom organel telah hilang atau pindah ke nukleus.

Gen yang paling dibutuhkan untuk fungsi mitokondria dan plastid berada dalam nukleus bakterinya.

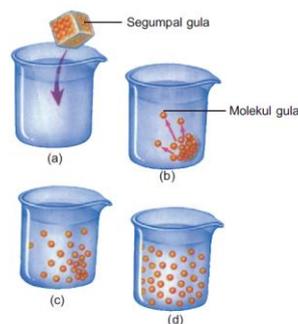
- **Mekanisme Transpor pada Membran**

Sel-sel membutuhkan zat atau molekul untuk menjalankan semua aktivitas metabolisme. Beberapa zat yang diperlukan harus bergerak masuk ke dalam sel. Hal ini berlawanan dengan sampah metabolisme yang harus bergerak ke luar sel. Membran sel memegang peranan yang sangat penting dalam proses keluar masuknya zat. Transportasi zat-zat dibagi menjadi dua, yaitu transportasi pasif dan transportasi aktif.

Transportasi pasif adalah perpindahan zat-zat mengikuti aliran perbedaan konsentrasi, sedangkan transportasi aktif adalah perpindahan zat-zat melawan aliran perbedaan konsentrasi dan memerlukan energi. Transportasi pasif berlangsung melalui proses difusi dan osmosis. Adapun transportasi aktif, berlangsung melalui proses transpor aktif, eksositosis, dan endositosis.

a. Difusi

Secara tidak sadar proses difusi sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Misalnya, Anda akan memasukan satu sendok gula ke dalam segelas air teh jika ingin membuat air teh manis. Apa yang akan terjadi dengan gula tersebut? Awalnya, gula tersebut akan mengendap di dasar gelas. Akan tetapi, lama kelamaan gula tersebut akan larut ke dalam air teh tersebut (**Gambar 1.21**). Peristiwa difusi sederhana dapat diamati ketika kita memasukkan segumpal gula ke dalam air teh (a), molekul-molekulnya terlarut (b), dan tersebar (berdifusi) (c). Pada akhirnya proses difusi menyebabkan gula tersebar merata ke dalam air (d).



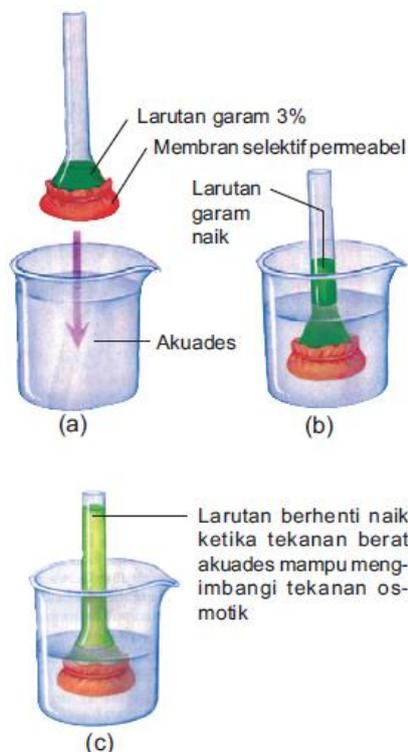
Gambar 22. Peristiwa difusi
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Peristiwa tersebut akan terjadi pula pada tinta yang Anda teteskan ke dalam air bening dalam suatu wadah. Tinta tersebut akan larut dan membuat air bening berubah warna menjadi seperti warna tinta. Peristiwa larutnya gula dan tinta merupakan contoh peristiwa difusi.

Difusi merupakan perpindahan molekul-molekul suatu zat dari bagian yang berkonsentrasi tinggi menuju bagian yang berkonsentrasi rendah. Difusi dapat terjadi melalui membran ataupun tidak melalui membran. Dalam tingkatan sel, difusi dapat diartikan perpindahan molekul sel dari konsentrasi molekul tinggi menuju konsentrasi molekul rendah.

b. Osmosis

Osmosis adalah pergerakan molekul air dari konsentrasi air yang tinggi menuju konsentrasi air yang rendah melalui membran selektif permeabel (semipermeabel). Dengan kata lain, osmosis adalah difusi molekul air melalui membran semipermeabel (**Gambar 1.22**).



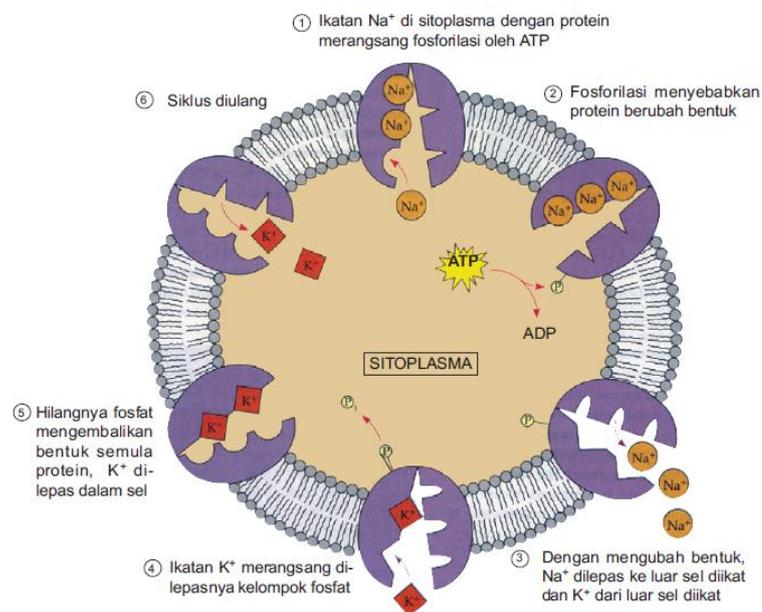
Gambar 23. Peristiwa Osmosis
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

Semipermeabel berarti membran tersebut hanya bisa dilalui oleh molekul-molekul air atau molekul-molekul seukuran dengan air. Air merupakan zat pelarut. Oleh karena itu, osmosis dapat diartikan sebagai gerak cairan yang encer menuju cairan yang pekat melalui membran semipermeabel. Apabila kepekatan cairan di luar dan di dalam sel sama (isotonis), kondisi sel akan tetap.

Namun, apabila cairan di luar sel lebih encer daripada di dalam sel (hipotonis) maka air akan masuk ke dalam sel. Sebaliknya, apabila cairan di luar sel lebih pekat daripada di dalam sel (hipertonis) maka air dari dalam sel akan bergerak ke luar. Kondisi hipotonis dapat mengakibatkan sel menggelembung dan mungkin pecah. Adapun pada kondisi hipertonis, sel akan mengerut.

c. Transpor Aktif

Transpor aktif terjadi apabila sel secara aktif memindahkan zat-zat melewati membran sel dengan menggunakan energi (**Gambar 1.23**). Biasanya, transpor aktif dilakukan untuk memindahkan zat dari konsentrasi rendah menuju konsentrasi tinggi. Misalnya, glukosa tidak dapat melewati membran sel karena ukurannya terlalu besar.



Gambar 24. Mekanisme Transpor Aktif

Campbell Biology. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011).

Oleh karena itu, molekul glukosa ini akan diangkut secara aktif. Energi yang digunakan untuk transpor aktif ini didapat dari pemecahan ATP menjadi ADP,

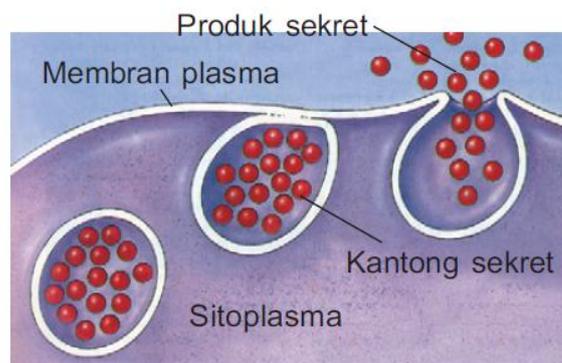
fosfat, dan energi. Glukosa tersebut akan berikatan dengan fosfat menjadi glukosa-fosfat. Glukosafosfat inilah yang dapat melewati membran sel. Contoh transpor aktif yang paling sering muncul adalah mekanisme pompa natrium-kalium. Mekanisme pompa natrium-kalium akan memompa masuk ion kalium (K^+) dan memompa keluar ion natrium (Na^+).

Mekanisme pompa natrium-kalium dapat Anda perhatikan pada dibawah. Ion Na^+ akan melekat pada protein di dalam membran sel. Ketika ATP dihidrolisis menjadi ADP, fosfat yang dihasilkan akan melekat pada protein. Melekatnya fosfat pada protein menyebabkan protein berubah bentuk. Perubahan bentuk protein membuat ion Na^+ keluar dari dalam sel.

d. Eksositosis

Eksositosis terjadi apabila terdapat molekul-molekul berukuran besar yang tidak dapat ditransportasikan melalui mekanisme transpor aktif. Eksositosis (ex = keluar dari, cytos = sel) merupakan mekanisme transpor molekul keluar dari sel dengan cara membentuk vesikula.

Suatu sel akan membentuk vesikula apabila akan mengeluarkan suatu molekul. Vesikula yang terbentuk akan melingkupi molekul yang akan dikeluarkan. Vesikula bersama molekul yang dilingkupinya tersebut akan bergerak menuju membran sel (**Gambar 1.24**). Setelah melekat dengan membran sel, molekul yang dibawa vesikula akan dikeluarkan dari dalam sel.



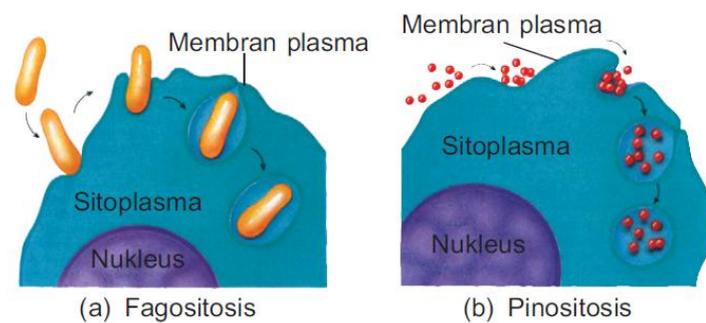
Gambar 25. Mekanisme Eksositosis
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

e. Endositosis

Sebaliknya dari eksositosis, endositosis merupakan mekanisme masuknya molekul ke dalam sel dengan bantuan vesikula. Endositosis berasal dari endon

yang berarti dalam dan cytos yang berarti sel. Mekanismenya, suatu sel akan membentuk vesikula dengan cara menjulurkan bagian luar membran sel.

Bagian luar membran sel tersebut akan mengurung atau menangkap molekul yang akan dibawa masuk. Kemudian, vesikula akan menelan molekul tersebut sehingga masuk ke dalam sel. Terdapat dua jenis endositosis (**Gambar 1.25**), yaitu pinositosis dan fagositosis. Pinositosis adalah proses endositosis berupa cairan, sedangkan fagositosis adalah proses endositosis tidak berupa cairan, misalnya bakteri.



Gambar 26. Mekanisme Endositosis
Sumber: Biology, Raven dan Johnson

- **Hubungan Bentuk sel pada jaringan dengan fungsinya**

Struktur dan bentuk setiap jenis sel manusia berkaitan dengan fungsi apa yang akan dilakukan dalam tubuh. Sebagai contoh, sel darah merah berukuran sangat kecil, berbentuk cakram datar, yang memungkinkan sel tersebut untuk dengan mudah masuk melalui kapiler darah yang sempit dalam sistem peredaran darah untuk mengirimkan oksigen ke seluruh tubuh.

Neuron atau sel saraf membawa pesan dari otak dan sumsum tulang belakang ke seluruh tubuh, menggunakan sinyal listrik sepanjang dan sinyal kimia di antara neuron. Karena sinyal listrik bergerak jauh lebih cepat daripada sinyal kimia, neuron berbentuk panjang dan tipis untuk meminimalkan jumlah sinyal kimia yang lebih lambat yang akan diperlukan antara hubungan neuron dalam rantai banyak neuron yang lebih pendek.

Bentuk sel otot yang memanjang memungkinkan protein kontraksi untuk berbaris dalam pola yang tumpang tindih yang memungkinkan pelenturan otot pada saat tubuh bergerak.

Struktur sel sperma manusia memungkinkan mereka untuk "berenang" jarak jauh untuk mencapai sel telur untuk pembuahan. Mereka melakukan ini dengan menggunakan flagela, ekor panjang seperti cambuk.

3. Sistem Organ

- **Sistem Organ**

Organ adalah struktur tubuh yang terdiri dari beberapa jaringan berbeda yang membentuk unit struktural dan fungsional. Sistem organ adalah sekelompok organ yang berfungsi bersama untuk melakukan kegiatan utama tubuh. Tubuh vertebrata mengandung 11 sistem organ utama, yaitu sistem rangka, sistem peredaran darah, sistem endokrin, sistem saraf dan indera, sistem pernapasan, sistem imunitas, sistem pencernaan, sistem ekskresi, sistem otot, sistem integumen dan sistem reproduksi.

- **Sistem Rangka**

Dari tiga kerajaan multiseluler, hanya hewan yang mengeksplorasi lingkungannya secara aktif, melalui gerak. Dalam kegiatan belajar ini kita akan mengkaji bagaimana vertebrata menggunakan otot yang terhubung ke tulang untuk melakukan gerakan.

a. Jenis-jenis rangka pada hewan

1) Rangka hidrostatik

Kerangka hidrostatik terutama ditemukan pada invertebrata bertubuh lunak seperti cacing tanah dan ubur-ubur. Dalam hal ini, rongga berisi cairan dikelilingi oleh serat otot. Saat otot berkontraksi, cairan dalam rongga bergerak dan mengubah bentuk rongga. Pada cacing tanah (**Gambar. 2.1**), misalnya, gelombang kontraksi otot-otot melingkar dimulai secara anterior dan menekan setiap segmen tubuh, sehingga tekanan cairan mendorongnya ke depan. Kontraksi otot longitudinal kemudian menarik bagian belakang tubuh ke depan.



Gambar 27. Rangka hidrostatik pada cacing tanah
Sumber: <https://nationalgeographic.com>

2) Eksoskeleton

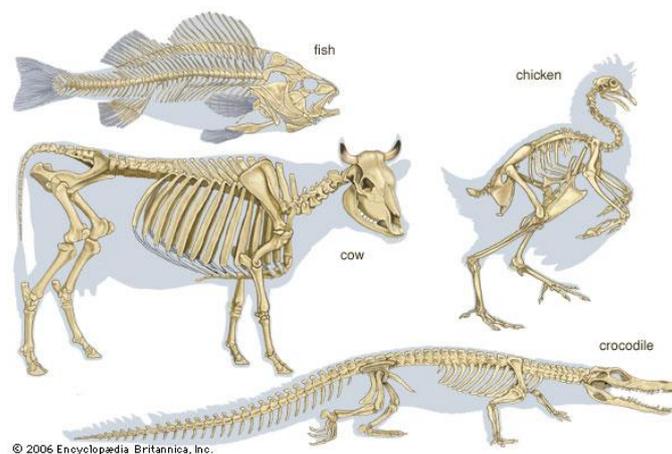
Eksoskeleton mengelilingi tubuh sebagai pembungkus keras yang kaku pada kebanyakan hewan. Arthropoda, seperti krustasea dan serangga, memiliki eksoskeleton yang terbuat dari polisakarida kitin. Eksoskeleton menawarkan perlindungan yang sangat baik bagi organ-organ internal dan menahan pembengkakan. Namun, untuk tumbuh, hewan harus mengganti kulit secara berkala. Memiliki eksoskeleton juga membatasi ukuran hewan. Hewan dengan eksoskeleton seperti serangga (Gambar. 2) tidak bisa menjadi terlalu besar karena eksoskeletonnya harus menjadi lebih tebal dan lebih berat, untuk mencegah kerusakan, karena hewan itu tumbuh lebih besar.



Gambar 2.2: Eksoskeleton pada serangga
Sumber: <https://australianmuseum.net.au>

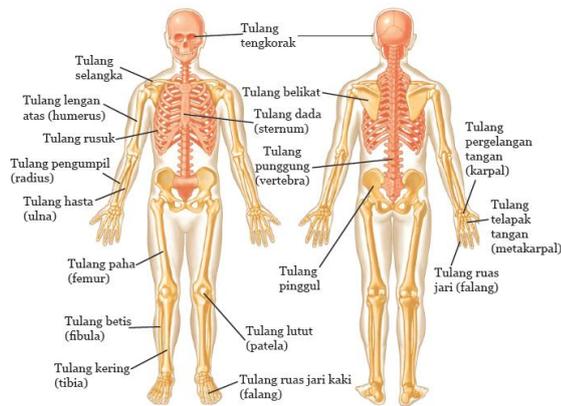
3) Endoskeleton

Endoskeleton, yang ditemukan pada vertebrata dan echinodermata, adalah kerangka internal yang kaku yang melekat pada otot. Vertebrata memiliki eksterior fleksibel yang mengakomodasi pergerakan kerangka mereka seperti terlihat pada Gambar. 2. 3. Endoskeleton vertebrata tersusun atas tulang rawan atau tulang. Tidak seperti chitin, tulang adalah sel, jaringan hidup yang mampu tumbuh, memperbaiki diri, dan mengubah bentuk tubuh sebagai respons terhadap tekanan fisik.



Gambar 28. Endoskeleton pada hewan vertebrata
Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Endoskeleton vertebrata contohnya pada manusia (Gambar. 2. 4) dibagi menjadi kerangka aksial dan appendicular. Tulang kerangka aksial membentuk poros tubuh, menopang dan melindungi organ-organ kepala, leher, dan dada. Tulang kerangka appendicular termasuk tulang tungkai, tulang penyangga pundak dan panggul yang menempel pada kerangka aksial. Tulang-tulang sistem kerangka mendukung dan melindungi tubuh, dan berfungsi sebagai pengungkit untuk kekuatan yang dihasilkan oleh kontraksi otot rangka. Sel-sel darah terbentuk di dalam sumsum tulang, dan matriks tulang yang dikalsifikasi bertindak sebagai cadangan bagi ion kalsium dan fosfat.



Gambar 29. Kerangka aksial dan appendicular pada manusia
Sumber: <https://www.scientistcindy.com>

Manusia terlahir dengan 300 tulang. Namun seiring dengan bertambahnya usia, beberapa tulang menyatu, sehingga saat dewasa menjadi terdapat 206 tulang di dalam tubuh manusia.

Kerangka aksial terdiri dari 80 tulang yang terletak di sepanjang sumbu tubuh manusia. Kerangka aksial terdiri dari tengkorak, tulang telinga tengah, tulang hyoid, tulang rusuk, dan tulang belakang. Kerangka apendikular terdiri dari 126 tulang yang merupakan tulang-tulang pelengkap yang menghubungkan kerangka aksial. Kerangka apendikular terletak di daerah tungkai atas, tungkai bawah, panggul, dan bahu. Fungsi sistem rangka untuk bergerak, menopang dan memberikan bentuk tubuh, melindungi organ-organ dalam, serta sebagai tempat melekatnya otot-otot.

b. Tipe-tipe Tulang

Berdasarkan bentuknya, tulang pada rangka tubuh manusia terbagi menjadi:

1) Tulang Pipih

Tulang pipih memiliki permukaan yang datar dan lebar. Tulang pipih di antaranya tulang tengkorak, tulang rusuk, tulang rahang bawah, tulang belikat, dan tulang dada (sternum).

2) Tulang Panjang

Tulang panjang berbentuk lurus dan tipis. Tulang yang tergolong tulang panjang yakni humerus (tulang lengan atas), femur (tulang paha), radius (tulang pengumpul), ulna (tulang hasta), dan tulang kering.

3) Tulang Pendek

Tulang pendek cenderung kecil dan berbuku. Yang termasuk ke dalam golongan ini di antaranya patella (tulang lutut), dan tulang-tulang kaki dan tangan.

4) Tulang Tidak Beraturan (Irregular)

Memiliki bentuk yang tidak sesuai dengan ketiga jenis tulang di atas. Contohnya adalah tulang belakang.

c. Gangguan dan Kelainan Sistem Rangka Manusia

1) Kelainan Tulang Belakang

Kelainan tulang belakang adalah kondisi yang terjadi ketika tulang belakang melengkung melebihi batas normal atau tidak selaras sehingga terlihat bengkok. Padahal seharusnya tulang belakang itu berbentuk lurus. Ada tiga jenis kelainan tulang belakang yang paling umum, yaitu:

- **Lordosis:** kondisi saat tulang belakang melengkung ke depan secara berlebihan. Biasanya lordosis memengaruhi punggung bawah dan leher.
- **Kifosis:** kondisi saat lengkungan pada punggung atas lebih dari 50 derajat. Biasanya orang dengan kifosis postur tubuhnya terlihat seperti membungkuk.
- **Skoliosis:** kondisi saat lengkungan tulang belakang justru menyamping, terkadang berbentuk seperti huruf S atau C. Seseorang dikatakan mengalami skoliosis ketika sudut lengkungannya mencapai lebih dari 10 derajat. Orang dengan skoliosis umumnya terlihat dari bahu atau pinggulnya yang tidak rata.

2) Fraktur

Fraktur merupakan kerusakan tulang bisa berupa retak atau patah sehingga memengaruhi fungsinya.

3) Osteomielitis

Osteomielitis adalah infeksi pada tulang. Infeksi bisa terjadi karena adanya infeksi pada bagian tubuh lain yang menyerang tulang, atau karena komplikasi dari operasi.

4) Rakitis

Rakitis merupakan pertumbuhan abnormal pada anak yang disebabkan kekurangan vitamin D.

5) Osteoporosis

Osteoporosis lebih mengancam wanita karena jumlah sel tulang wanita lebih sedikit daripada pria. Menopause juga berperan dalam meningkatnya risiko terkena osteoporosis.

6) Akromegali

Akromegali disebabkan oleh kelebihan jumlah hormon pertumbuhan (growth hormone) dalam tubuh. Akibatnya, terjadi pertumbuhan berlebihan pada tulang, terutama pada wajah, lengan, dan kaki.

7) Fibrous Dysplasia

Kelainan tulang langka di mana jaringan seperti luka tumbuh pada tulang yang normal. Jaringan ini dapat melemahkan tulang dan mengakibatkan kerusakan jaringan.

8) Osteogenesis Imperfecta

Penyakit akibat kelainan genetik yang menyebabkan seseorang terlahir dengan tulang yang rapuh dan tidak terbentuk dengan baik. Kelainan langka ini bersifat turunan.

9) Kanker tulang

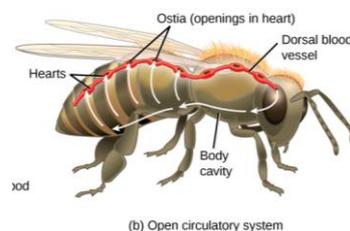
Umumnya kanker tulang berasal dari kanker pada organ lain, seperti prostat, paru-paru, ginjal, atau payudara, yang kemudian menyebar ke tulang.

- **Sistem Peredaran Darah**

Setiap sel dalam tubuh hewan harus mendapatkan energi yang dibutuhkan untuk hidup dari molekul-molekul yang ada dalam makanan. Sel-sel dalam tubuh membutuhkan kendaraan untuk membawa makanan.

a. Sistem Peredaran Darah Terbuka dan Tertutup

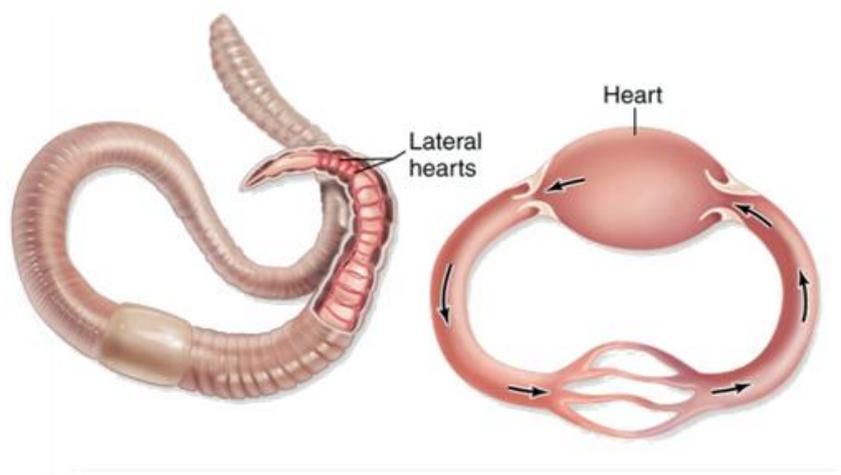
Ada dua jenis utama sistem sirkulasi: terbuka atau tertutup. Dalam sistem sirkulasi terbuka, seperti yang ditemukan dalam moluska dan arthropoda, tidak ada perbedaan antara cairan yang bersirkulasi (darah) dan cairan ekstraseluler dari jaringan tubuh (cairan interstitial atau getah bening). Cairan ini disebut hemolymph. Pada serangga (Gambar. 2. 5), jantung adalah tabung berotot yang memompa hemolimf melalui jaringan saluran dan rongga dalam tubuh. Cairan kemudian mengalir kembali ke rongga sentral.



Gambar 30. Sistem Peredaran darah terbuka pada serangga
Sumber: <https://www.texasgateway.org>

Dalam sistem sirkulasi tertutup, cairan yang bersirkulasi, atau darah, selalu tertutup di dalam pembuluh darah yang mengangkut darah dari dan kembali ke pompa, jantung. Annelida (Gambar 2.6) dan semua vertebrata memiliki sistem sirkulasi tertutup. Dalam annelida seperti cacing tanah, pembuluh dorsal berkontraksi secara ritmis untuk berfungsi sebagai pompa. Darah dipompa melalui lima arteri penghubung kecil yang juga berfungsi sebagai pompa, ke pembuluh darah ventral, yang mengangkut darah ke posterior sampai akhirnya memasuki kembali pembuluh dorsal. Pembuluh-pembuluh yang lebih kecil

bercabang dari masing-masing arteri untuk memasok jaringan cacing tanah dengan oksigen dan nutrisi dan untuk mengangkut produk limbah.



Gambar 31. Sistem Peredaran darah tertutup
Sumber: <https://study.com>

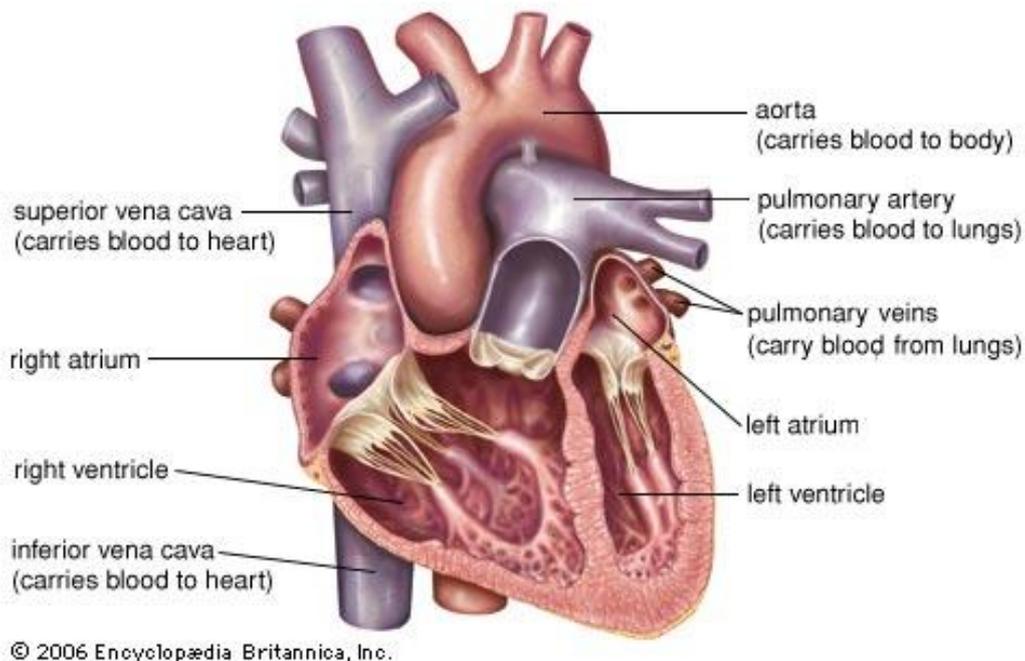
b. Sistem Peredaran Darah Manusia

Sistem peredaran darah terdiri dari jantung, pembuluh darah, dan sekitar 5 liter darah yang dibawa oleh pembuluh darah. Sistem peredaran darah didukung oleh jantung, yang hanya seukuran kepalan tangan tertutup. Bahkan pada saat istirahat, rata-rata jantung dengan mudah memompa lebih dari 5 liter darah ke seluruh tubuh setiap menitnya. Sistem peredaran darah memiliki tiga fungsi utama yaitu:

- 1) Mengedarkan darah ke seluruh tubuh. Darah memberikan nutrisi penting dan oksigen dan menghilangkan limbah dan karbon dioksida untuk dikeluarkan dari tubuh. Hormon diangkut ke seluruh tubuh melalui cairan plasma darah.
- 2) Melindungi tubuh melalui sel darah putih dengan melawan patogen (kuman) yang telah masuk ke dalam tubuh. Trombosit berfungsi untuk menghentikan perdarahan saat luka dan mencegah patogen memasuki tubuh. Darah juga membawa antibodi yang memberi kekebalan spesifik pada patogen yang sebelumnya telah terpapar tubuh atau telah divaksinasi.

- 3) Mempertahankan homeostasis (keseimbangan kondisi tubuh) pada beberapa kondisi internal. Pembuluh darah membantu menjaga suhu tubuh yang stabil dengan mengendalikan aliran darah ke permukaan kulit.

Mamalia seperti manusia memiliki empat bilik jantung (ventrikel) dengan dua atrium terpisah dan dua ventrikel terpisah (Gambar. 2.7). Atrium kanan menerima darah yang terdeoksigenasi dari tubuh dan mengirimkannya ke ventrikel kanan, yang memompa darah ke paru-paru. Atrium kiri menerima darah beroksigen dari paru-paru dan mengirimkannya ke ventrikel kiri, yang memompa darah teroksigenasi ke seluruh tubuh. Sirkulasi ganda ini didukung oleh pompa dua siklus. Kedua atria terisi dengan darah dan secara bersamaan berkontraksi, mengosongkan darah mereka ke ventrikel. Kedua ventrikel berkontraksi pada saat yang sama, mendorong darah secara bersamaan ke dalam sirkulasi paru dan sistemik. Peningkatan efisiensi sistem sirkulasi ganda pada mamalia dan burung dianggap penting dalam evolusi endotermia (hewan berdarah panas), karena sirkulasi yang lebih efisien diperlukan untuk mendukung laju metabolisme yang tinggi.



Gambar 32. Jantung Manusia
Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Karena sistem peredaran darah secara keseluruhan tertutup, maka volume darah yang sama harus bergerak melalui sirkulasi paru seperti melalui sirkulasi sistemik yang jauh lebih besar dengan setiap detak jantung. Oleh karena itu, ventrikel kanan dan kiri harus memompa jumlah darah yang sama setiap kali mereka berkontraksi. Jika output dari satu ventrikel tidak sesuai dengan yang lain, cairan akan menumpuk dan tekanan akan meningkat di salah satu bagian. Hasilnya akan meningkat penyaringan keluar dari kapiler dan edema (seperti yang terjadi pada gagal jantung kongestif). Meskipun volume darah yang dipompa oleh kedua ventrikel adalah sama, tekanan yang dihasilkannya tidak sama. Ventrikel kiri, yang memompa darah melalui jalur sistemik yang lebih resistan, lebih berotot dan menghasilkan lebih banyak tekanan daripada ventrikel kanan.

c. Gangguan dan Kelainan Sistem Peredaran Darah

1) Angina

Kondisi kurangnya pasokan darah atau suplai oksigen ke otot jantung. Kondisi tersebut menyebabkan dada menjadi nyeri.

2) Aritmia

Gangguan yang mengakibatkan irama jantung tidak teratur. Jantung tidak berdetak secara normal, melainkan menjadi berdetak lebih cepat atau berdetak lebih lambat.

3) Cardiomyopathy

Penyakit yang terjadi karena otot jantung melemah. Otot jantung tersebut juga mengalami kelainan, baik secara struktur maupun secara fungsi.

4) Penyakit Jantung Koroner (PJK)

PJK terjadi karena pasokan darah yang mengandung banyak oksigen tidak berhasil mencapai otot jantung karena ada plak pada arteri koroner.

5) Stroke

Kondisi yang terjadi ketika pasokan darah ke otak terganggu atau berkurang akibat penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah.

6) Aterosklerosis

Kondisi penyempitan dan penebalan arteri karena penumpukan plak pada dinding arteri. Plak yang menyebabkan aterosklerosis terdiri dari kolesterol, zat lemak, kalsium, dan fibrin (zat dalam darah).

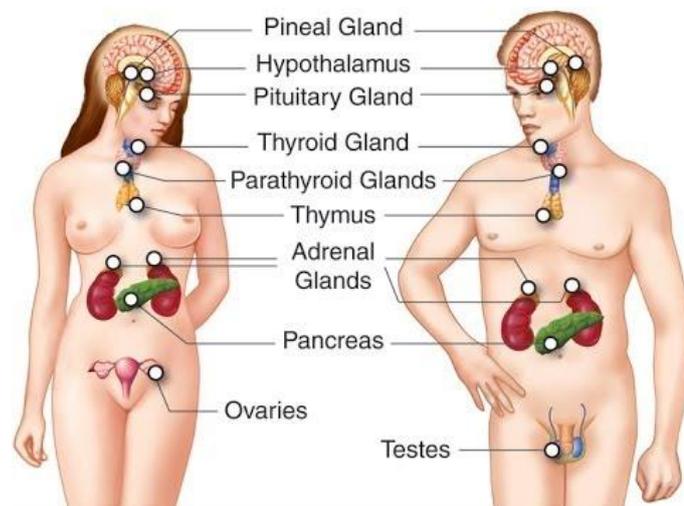
7) Arteriosklerosis

Kondisi pengerasan pembuluh darah arteri yang membawa darah dari jantung untuk dialirkan ke seluruh tubuh. Kondisi ini tidak normal karena pembuluh darah yang sehat seharusnya bersifat lentur, fleksibel, dan elastis. Arteriosklerosis menyebabkan aliran darah yang kaya akan oksigen dan nutrisi dari jantung menuju berbagai jaringan tubuh menjadi terganggu.

- **Sistem Endokrin**

Jaringan dan organ tubuh vertebrata bekerja sama untuk menjaga homeostasis lingkungan internal tubuh dan mengontrol fungsi tubuh lainnya seperti reproduksi. Homeostasis dicapai melalui mekanisme pengaturan yang melibatkan semua organ tubuh. Namun, dua sistem dikhususkan untuk pengaturan organ tubuh: sistem saraf dan sistem endokrin. Keduanya melepaskan molekul pengatur yang mengontrol organ-organ tubuh dengan pertama-tama mengikat protein reseptor dalam sel-sel organ-organ itu.

Hormon adalah zat kimia pengatur yang dikeluarkan ke dalam darah oleh kelenjar endokrin atau organ tubuh yang menunjukkan fungsi endokrin (Gambar. 2. 8). Darah membawa hormon ke setiap sel dalam tubuh, tetapi hanya sel target untuk hormon tertentu yang dapat meresponsnya. Dengan demikian, perbedaan antara neurotransmitter dan hormon tidak dalam sifat kimiawinya dari molekul pengatur, tetapi alih-alih dengan cara diangkut ke sel target, dan jaraknya dari sel target ini. Regulator kimia yang disebut norepinefrin, misalnya, dilepaskan sebagai neurotransmitter oleh ujung saraf simpatik dan juga disekresi oleh kelenjar adrenal sebagai hormon.



Gambar 33. Sistem Endokrin pada manusia
Sumber: <http://www.thyroiduk.org.uk>

Di dalam sistem endokrin, kelenjar dan hormon bagaikan sebagai fondasi. Hormon merupakan senyawa kimia yang tugasnya mengirim informasi dan perintah dari sel satu ke sel yang lain. Masing-masing hormon dirancang khusus

untuk bekerja spesifik pada sel-sel tertentu. Oleh karena itu, banyak hormon berbeda yang hilir mudik di dalam aliran darah.

Sistem endokrin terdiri dari beberapa kelenjar yang mengeluarkan hormon ke dalam darah. Kelenjar-kelenjar ini termasuk hipotalamus, kelenjar pituitari, kelenjar pineal, kelenjar tiroid, kelenjar paratiroid, kelenjar adrenal, pankreas, dan kelenjar kelamin (gonad).

Secara umum, kelenjar endokrin bertanggung jawab atas hampir seluruh proses dalam tubuh yang berlangsung lambat, mencakup pertumbuhan sel, tumbuh kembang badan, proses reproduksi, serta metabolisme. Sedangkan proses tubuh yang berlangsung lebih cepat, misalnya pernapasan dan pergerakan tubuh, diatur oleh sistem saraf. Kelenjar dikendalikan secara langsung oleh rangsangan dari sistem saraf dan juga oleh reseptor kimiawi dalam darah dan hormon yang diproduksi oleh kelenjar lain.

Dengan mengatur fungsi organ dalam tubuh, kelenjar ini membantu menjaga homeostasis tubuh. Metabolisme seluler, reproduksi, perkembangan seksual, homeostasis gula dan mineral, denyut jantung, dan pencernaan merupakan salah satu dari banyak proses yang diatur oleh hormon.

a. Kelenjar-kelenjar di dalam Sistem Endokrin

Macam-macam kelenjar di dalam sistem endokrin, antara lain adalah:

1) Kelenjar tiroid

Kelenjar tiroid memproduksi hormon tiroksin (T4) dan triiodotironin (T3) yang bertugas mengendalikan tingkat pembakaran energi dari makanan. Selain itu sel parafolikular di kelenjar tiroid menghasilkan hormon kalsitonin yang berperan dalam pembentukan tulang.

2) Kelenjar paratiroid

Kelenjar ini melepaskan hormon paratiroid yang tugasnya adalah mengatur kadar kalsium dalam darah. Tugas hormon ini dibantu oleh hormon kalsitonin yang dihasilkan tiroid.

3) Kelenjar pituitari

Kelenjar pituitari atau hipofisis merupakan kelenjar terpenting dalam sistem endokrin. Kelenjar pituitari memproduksi hormon yang fungsinya mengatur berbagai kelenjar endokrin lainnya. Termasuk di dalamnya hormon prolaktin yang sangat penting bagi ibu menyusui, dan hormon luteinizing yang berperan dalam mengatur estrogen pada wanita dan testosterone pada pria.

4) Kelenjar adrenal

Kelenjar adrenal terbagi menjadi dua bagian. Pertama, bagian korteks yang memproduksi hormon kortikosteroid. Hormon ini bertugas mengatur keseimbangan cairan dan kadar garam di dalam tubuh. Hormon ini juga memengaruhi metabolisme, sistem imun, respons tubuh terhadap stres, serta perkembangan dan fungsi seksual. Kedua, bagian medulla yang memproduksi hormon epinefrin atau adrenalin. Ketika tubuh mengalami stres, epinefrin meningkatkan tekanan darah dan detak jantung.

5) Kelenjar pankreas

Memproduksi dua hormon penting, yaitu glukagon dan hormon insulin. Kedua hormon ini bekerja sama untuk memelihara kadar gula darah dan memelihara simpanan energi di dalam tubuh.

6) Kelenjar reproduksi

Kelenjar reproduksi pada pria (testis) terdapat di skrotum, sedangkan kelenjar reproduksi wanita (indung telur atau ovarium) terdapat di rongga panggul. Testis memproduksi hormon testosterone, sedangkan indung telur memproduksi hormon estrogen dan progesteron.

b. Gangguan dan Kelainan Sistem Endokrin

Tubuh terdiri dari begitu banyak unsur dan senyawa kimia. Jika terjadi gangguan yang menyebabkan kondisi berbagai senyawa tersebut menjadi tidak seimbang, misalnya terlalu sedikit atau terlalu banyak, dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan. Berikut adalah gangguan dan penyakit pada system endokrin.

1) Diabetes mellitus

Gangguan endokrin yang paling umum adalah diabetes mellitus, yang terjadi apabila pankreas tidak menghasilkan insulin yang cukup atau tubuh tidak dapat menggunakan insulin yang tersedia dengan optimal.

2) Akromegali

Akromegali adalah gangguan di mana kelenjar pituitari menghasilkan hormon pertumbuhan yang berlebih. Hal ini menyebabkan pertumbuhan yang berlebih, terutama pada tangan dan kaki.

3) Penyakit Addison

Penyakit Addison ditandai dengan penurunan produksi kortisol dan aldosteron akibat kerusakan kelenjar adrenal.

4) Sindrom Cushing

Sindrom Cushing disebabkan oleh kelebihan kortisol, dihasilkan oleh kelenjar adrenal. Gejala dari sindrom Cushing biasanya adalah Buffalo hump (lemak di antara bahu seperti punuk) dan diskolorasi kulit seperti memar.

5) Penyakit Graves

Penyakit Graves merupakan salah satu jenis hipertiroidisme yang mengakibatkan produksi hormon tiroid. Gejala penyakit Graves biasanya adalah Mata menonjol.

6) Hashimoto's thyroiditis

Hashimoto's thyroiditis adalah suatu kondisi di mana tiroid diserang oleh sistem imun, menyebabkan hipotiroidisme dan produksi hormon tiroid yang rendah.

7) Hipertiroidisme

Hipertiroidisme adalah kondisi yang ditandai dengan kelenjar tiroid yang overaktif.

8) Hipotiroidisme

Hipotiroidisme merupakan kondisi di mana tiroid underaktif dan menghasilkan terlalu sedikit hormon tiroid.

9) Prolaktinoma

Prolaktinoma muncul apabila kelenjar pituitari yang disfungsi menghasilkan hormon prolactin berlebih, yang berguna dalam produksi ASI. Prolaktin berlebih dapat menyebabkan berbagai gejala, seperti disfungsi ereksi dan kemandulan.

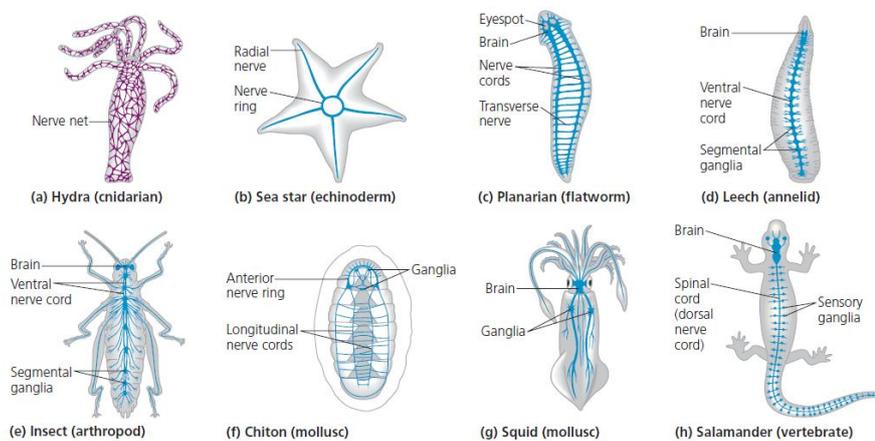
- **Sistem Saraf**

Semua input dari semua neuron sensorik yang dikirim ke sistem saraf pusat tiba dalam bentuk yang sama, karena potensi aksi diperkuat oleh neuron sensorik aferen (penghantar ke dalam). Neuron sensorik yang berbeda memproyeksikan ke daerah otak yang berbeda, dan berhubungan dengan modalitas sensorik yang berbeda. Intensitas sensasi tergantung pada frekuensi potensial aksi yang dilakukan oleh neuron sensorik. Matahari terbenam, simfoni, dan rasa sakit yang membakar dibedakan oleh otak hanya dalam hal identitas neuron sensorik yang membawa potensi aksi dan frekuensi impuls ini. Jadi, jika saraf pendengaran dirangsang secara artifisial, otak menganggap stimulasi sebagai suara. Tetapi jika saraf optik dirangsang secara artifisial dengan tepat dengan cara dan tingkat yang sama, otak merasakan kilatan cahaya.

Hydra, ubur-ubur, dan cnidaria lainnya adalah hewan paling sederhana dengan sistem saraf. Hewan-hewan ini memiliki tubuh simetris radial yang diorganisir di sekitar kompartemen pencernaan pusat, rongga gastrovaskular. Pada kebanyakan cnidaria, sel-sel saraf yang saling berhubungan membentuk jaringan saraf difus yang mengontrol kontraksi dan perluasan rongga gastrovaskular. Berbeda dengan sistem saraf hewan lain, jaringan saraf cnidaria tidak memiliki kelompok neuron yang melakukan fungsi khusus. Macam-macam sistem saraf dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini.

Pada hewan yang lebih kompleks, akson dari beberapa sel saraf sering dibundel bersama, membentuk saraf. Struktur berserat ini menyalurkan dan mengatur aliran informasi di sepanjang rute tertentu melalui sistem saraf. Sebagai contoh, bintang laut memiliki satu set saraf radial yang menghubungkan ke cincin saraf pusat. Dalam setiap lengan bintang laut, saraf radial terhubung ke jaringan saraf yang darinya ia menerima input dan yang mengirimkan sinyal yang mengendalikan kontraksi otot. Hewan yang memanjang, tubuh simetris bilateral

bahkan memiliki sistem saraf yang lebih khusus. Hewan-hewan tersebut menunjukkan spesialisasi (membentuk kepala).

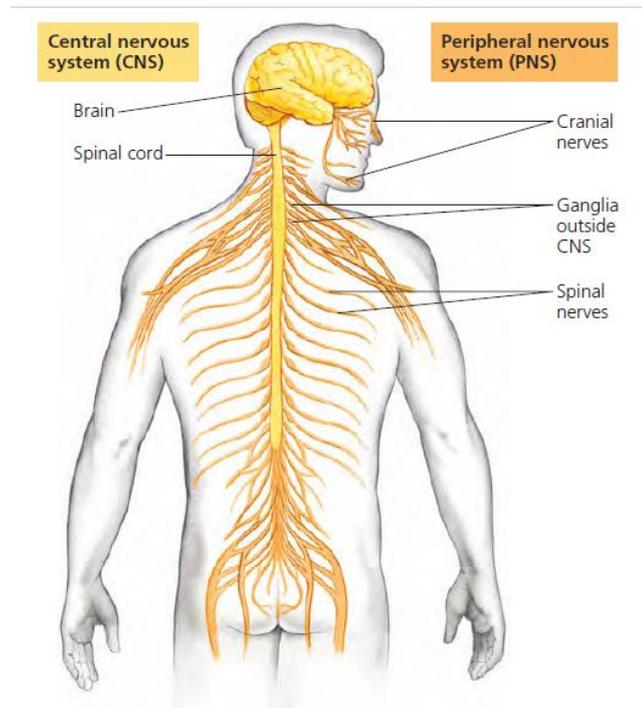


Gambar 34. Sistem Saraf pada berbagai hewan
 Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

a. Sistem Saraf pada Manusia

Semua yang dilakukan tubuh terhubung dengan saraf. Sistem saraf terdiri dari otak, sumsum tulang belakang, organ-organ sensorik, dan semua saraf yang menghubungkan organ-organ ini dengan seluruh tubuh. Sistem saraf bertugas mengoordinasikan setiap tindakan bagian tubuh dengan mengirimkan sinyal ke dan dari berbagai bagian tubuhnya. Bersama-sama, setiap organ ini bertanggung jawab untuk mengendalikan tubuh dan komunikasi di antara bagian-bagiannya. Contoh, saraf memberi tahu jantung untuk berdetak atau memberi tahu paru-paru untuk bernapas tanpa harus Anda sadari.

Sistem saraf manusia itu sendiri terbagi menjadi dua, yaitu sistem saraf pusat dan saraf tepi (Gambar. 2. 9). Saraf pusat terdiri dari otak dan sumsum tulang belakang, sementara saraf tepi terdiri dari sistem saraf somatik dan otonom.



Gambar 35. Sistem saraf Pusat dan system saraf tepi
Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Sistem saraf pusat berfungsi menerima informasi dari semua area tubuh dan kemudian mengkoordinasikan semua arus lalu lintas tersebut untuk menghasilkan respons tubuh. Organ tubuh yang termasuk dalam sistem saraf pusat manusia meliputi:

Otak adalah mesin pengendali utama dari segala fungsi tubuh termasuk sensasi, pikiran, gerakan, kesadaran, dan memori atau ingatan. Sumsum tulang belakang langsung terhubung ke otak melalui batang otak dan kemudian mengalir sepanjang ruas tulang belakang. Sumsum tulang belakang berfungsi membawa informasi dari berbagai bagian tubuh ke otak dan sebaliknya.

Neuron adalah blok sel yang membangun sistem saraf pusat. Miliaran sel-sel saraf ini dapat ditemukan di seluruh tubuh dan berkomunikasi satu sama lain untuk menghasilkan respons dan tindakan fisik. Diperkirakan ada 86 miliar neuron yang ada di otak, belum lagi yang ada di seluruh tubuh. Saraf tepi fungsinya menghubungkan respon sistem saraf pusat ke organ tubuh dan bagian lainnya di tubuh Anda. Saraf ini meluas dari sistem saraf pusat ke area terluar

tubuh sebagai jalur penerimaan dan pengiriman rangsangan dari dan ke otak. Saraf yang membentuk sistem saraf tepi dinamakan sebagai akson. Dalam beberapa kasus, saraf ini sangat kecil tetapi beberapa ikatan saraf ada yang bentuknya besar dan dapat dilihat jelas oleh mata.

1) Sistem saraf somatik

Sistem ini terdiri dari serabut saraf perifer. Fungsi saraf ini mengambil informasi sensorik atau sensasi dari organ perifer seperti kulit, dan nantinya dibawa ke sistem saraf pusat. Pada saraf somatik juga terdiri serabut saraf motor yang keluar dari otak dan membawa pesan untuk menggerakkan tubuh yang dibantu oleh otot rangka. Misalnya saat menyentuh termos panas, saraf sensorik membawa informasi bahwa ini adalah sensasi panas ke otak. Saraf motorik memberi tahu otak untuk menggerakkan otot-otot tangan untuk segera menghindar, melepas, atau menarik tangan dari termos panas tersebut. Keseluruhan proses ini terjadi kurang lebih dalam waktu satu detik.

2) Sistem saraf otonom

Ada dua bagian lagi dari saraf ini:

a) Sistem simpatik

Sistem ini mengatur respons perlawanan dari dalam tubuh ketika ada ancaman pada diri Anda. Sistem ini juga mempersiapkan tubuh untuk mengeluarkan energi dan menghadapi potensi ancaman di lingkungan.

Contoh, ketika Anda sedang cemas atau takut saraf simpatik akan memicu respons dengan mempercepat detak jantung, meningkatkan laju pernapasan, meningkatkan aliran darah ke otot, mengaktifkan kelenjar produksi keringat, dan melebarkan pupil mata. Ini dapat membuat tubuh merespon dengan cepat dalam situasi gawat darurat.

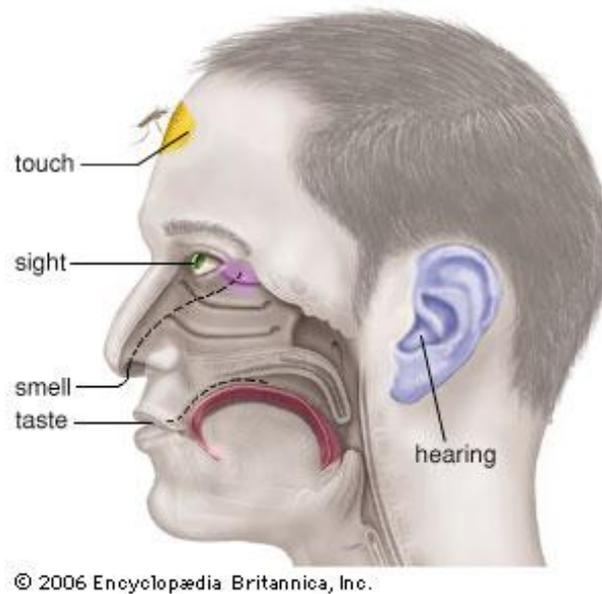
b) Sistem parasimpatik

Sistem ini gunanya menjaga fungsi tubuh normal setelah ada sesuatu yang mengancam diri Anda. Setelah ancaman berlalu, sistem ini akan memperlambat detak jantung, memperlambat pernapasan, mengurangi aliran darah ke otot, dan

menyempitkan pupil mata. Ini memungkinkan kita untuk mengembalikan tubuh ke kondisi rileks yang normal.

b. Alat-Alat Indera

Alat indera merupakan organ-organ pada tubuh manusia yang mampu untuk menerima rangsang dari luar dan mengolahnya di otak sebelum diterjemahkan menjadi kerja organ tersebut. Manusia mempunyai 5 alat indera meliputi mata, kulit, lidah, telinga, dan hidung (Gambar. 10). Alat indera ini hanya akan berfungsi apabila tidak terjadi kelainan pada organnya, saraf penghubung antara organ indera dan sistem saraf pusat, dan sistem saraf pusat manusia. Ke lima alat indera yang ada di tubuh manusia itu sendiri mempunyai fungsi masing-masing. Mata memiliki fungsi sebagai indera penglihatan, lidah memiliki fungsi sebagai indera perasa, kulit sebagai indera peraba, telinga sebagai indera pendengaran, dan hidung sebagai indera penghirup.



Gambar 36. Alat Indera pada Manusia
Sumber: <https://cdn.britannica.com>

Bermula dari rangsangan dari dunia luar yang diterima oleh masing-masing alat indera ini, maka rangsangan tersebut akan diteruskan ke otak dalam bentuk impuls. Sesampai di otak, impuls tersebut akan diolah menjadi data-data

sehingga selanjutnya akan diteruskan ke organ indera semula untuk memberikan tanggapan atas rangsangan yang diterima sebelumnya.

c. Gangguan dan Kelainan pada system saraf manusia

Sistem saraf manusia berfungsi sangat vital, tapi di sisi lain juga rentan mengalami masalah. ada banyak macam gangguan otak dan saraf yang bisa mengacaukan lalu lintas pengiriman dan pemrosesan sinyal neuron. Beberapa di antaranya adalah:

1) Alzheimer

Alzheimer adalah penyakit yang menyerang sel-sel otak dan neurotransmitter (bahan kimia yang membawa pesan di antara sel-sel otak). Penyakit ini memengaruhi fungsi otak, memengaruhi ingatan Anda, dan cara Anda berperilaku.

2) Bell's palsy

Bell's palsy adalah kondisi lemah atau lumpuh tiba-tiba pada satu sisi wajah. Ini disebabkan karena adanya saraf di wajah Anda sedang meradang. Biasanya kondisi ini hanya sementara, bisa pulih dalam jangka waktu tertentu.

3) Multiple sclerosis

Multiple sclerosis adalah penyakit kronis yang memengaruhi sistem saraf pusat. Ini 3 kali lebih umum menyerang wanita daripada pria. Kondisi ini ditandai dengan adanya kerusakan pada selubung pelindung (dikenal sebagai mielin) yang mengelilingi serabut saraf di otak dan sumsum tulang belakang.

4) Epilepsi

Epilepsi adalah kelainan pada neuron di otak. Penderita epilepsi tidak dapat merespon berbagai rangsangan dalam berbagai bentuk. Selain itu, otot-otot rangka juga berkontraksi secara tidak terkontrol.

5) Amnesia

Amnesia adalah ketidakmampuan mengingat hal yang telah terjadi karena ada cedera pada otak. Amnesia sendiri ada yang bersifat permanen, ada pula yang bersifat sebagian.

- **Sistem Respirasi**

Hewan menggunakan energi dari molekul makanan menggunakan proses biokimia yang disebut respirasi sel. Sementara istilah respirasi seluler berkaitan dengan penggunaan oksigen dan produksi karbon dioksida pada tingkat seluler, istilah respirasi secara umum menggambarkan penyerapan oksigen dari lingkungan dan pembuangan karbon dioksida ke lingkungan pada tingkat sistem tubuh. Sistem pernapasan dapat diartikan sebagai proses pemasukan oksigen menuju dalam tubuh hingga menghasilkan energi CO₂ dan uap air.

a. Sistem Respirasi pada Hewan Bersel Satu

Proses respirasi pada hewan bersel satu seperti protozoa melewati membran sel kulit. Sistem pernapasannya secara difusi sebagai alat bernafas, dimana konsentrasi oksigen dalam sel semakin berkurang sementara diluar konsentrasi sisa metabolismenya berbentuk CO₂ justru semakin meningkat.

b. Sistem Respirasi pada Insekta

Hewan yang termasuk dalam insekta/serangga bernapas menggunakan alat pernapasan bernama trakea. Trakea mempunyai struktur bercabang-cabang dengan menembus struktur jaringan tubuh (disebut trakeol). Trakea berakhir dilubang kecil bernama spirakel. Spirakel adalah tempat yang memfasilitasi dari masuk keluarnya udara pernapasan insekta. Pada umumnya, sistem pernapasan serangga dibagi menjadi 3 fase, yakni fase inspirasi, fase pertukaran gas, serta fase ekspirasi.

c. Sistem Respirasi pada Cacing

Pada umumnya, cacing bernapas menggunakan permukaan kulitnya. Hewan ini, biasanya memanfaatkan permukaan kulitnya guna melakukan pertukaran gas oksigen dan karbondioksida dengan cara memanfaatkan proses difusi.

d. Sistem Respirasi pada Arachnida

Hewan yang termasuk jenis arachnida biasanya bernapas memakai alat pernapasan yang disebut paru-paru buku bila sedang hidup di darat, sementara

insang buku bila sedang hidup di air. Hewan yang tergolong ke dalam golongan arachnida adalah laba-laba dan kalajengking.

Masing-masing dari paru-paru buku arachnida ini mempunyai sejenis lembaran-lembaran tipis dengan menyusun sejajar yang biasa disebut lamela. Selain itu juga, paru-paru buku arachnida ini juga mempunyai spirakel sebagai tempat keluar masuknya sebuah udara dari luar serta dalam tubuh arachnida.

e. Sistem Respirasi pada Crustacea

Hewan yang termasuk dalam kelompok crustacea tersebut adalah hewan yang napasnya dengan menggunakan insang, sama halnya pada ikan. Hewan yang jenis crustacea adalah udang, lobster, dan kepiting. Secara umum, insang yang ada pada crustacea ini letaknya pada kamar-kamar insang yakni terletak diantara branchiostegit maupun sebagai pelindung insang serta dinding badan.

Pada insang yang ada pada hewan crustacean, terkadang juga ada suatu pembuluh darah menggunakan membran yang tipis. Nah, pembuluh darah pada membran yang tipis tersebut akan paling bermanfaat guna pertukaran gas secara difusi, yang mana proses pemasukan oksigen udara luar menuju darah dan pengeluaran karbondioksida dari dalam darah menuju ke udara luar bisa berjalan secara cepat serta efisien.

f. Sistem Respirasi pada Ikan

Sistem pernapasan pada ikan ini ialah memakai insang yang terkadang jumlahnya empat pasang. Nah, keempat pasang insang dari ikan tersebut ada disamping kiri dan juga kanan pada ikan serta ada di bagian kepalanya. Insang ini mempunyai lembaran yang terselubung dengan jaringan kapitel yang isinya jaringan-jaringan pada pembuluh darah kapiler. Ikan melakukan sebuah sistem pernapasan dengan cara membuka dan menutup mulutnya sambil bergantian membuka dan juga menutup insangnya.

g. Sistem Respirasi pada Amfibia

Hewan amfibi adalah hewan yang bisa hidup di dua wilayah tempat, yakni di darat dan di air. Maka tidak heran bila sistem pernapasan dari hewan amfibi ini bisa berupa kulit, paru-paru, maupun insang. Contohnya ialah katak. Pada waktu

katak masih dalam bentuk larva, maka katak akan bernapas dengan cara menggunakan insang luar, sementara ketika katak masih bentuk beludru, maka bernapasnya akan menggunakan insang dalam jadi ketika ia sudah tumbuh menjadi dewasa, katak nantinya akan bernapas dengan menggunakan paru-paru dan kulit.

h. Sistem Respirasi pada Reptil

Proses respirasi hewan reptile identik dengan proses pernapasan hewan mamalia, yakni fase inspirasi dan ekspirasi. Ketika fase inspirasi, tulang rusuknya mengangkat dan merenggang jadi volume rongga dada juga semakin besar sehingga terjadilah masuknya udara ke paru-paru. Sementara fase ekspirasi ini tulang rusuk melemas dan melaksanakan relaksasi jadi volume rongga dada juga semakin kecil.

Khusus untuk reptile buaya, ada katup dalam hidung, batang tenggorok serta kerongkongan. Sementara kura-kura pernapasannya menggunakan paru-paru dibantu lapisan kulit tipis dan disekitar kloaka banyak kapiler darah.

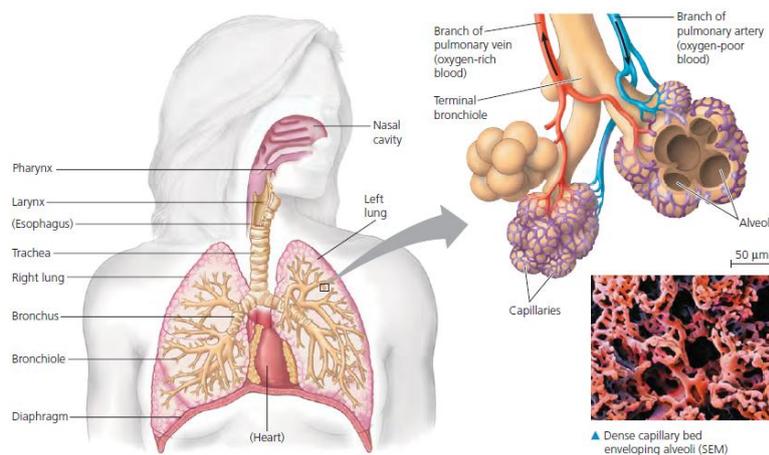
i. Sistem Respirasi pada Aves

Pada umumnya, cara hewan aves dalam melakukan sistem pernapasannya ini dibagi ketika sedang terbang dan sedang tak terbang. Hewan aves memanfaatkan cadangan udara pada saat diatas/ terbang melalui pundi-pundi udaranya lalu udara tersebut masuk dalam paru-paru.

j. Sistem Respirasi pada Manusia

Pada mamalia seperti manusia, sistem saluran pernafasan bercabang menyampaikan udara ke paru-paru, yang terletak di rongga dada. Udara masuk melalui lubang hidung dan kemudian disaring oleh rambut, dihangatkan, dilembabkan, dan diindera untuk mendapatkan bau ketika udara mengalir melalui labirin ruang pada rongga hidung. Rongga hidung mengarah ke faring, persimpangan tempat jalur udara dan jalur masuk makanan. Ketika makanan ditelan, laring (bagian atas dari saluran pernapasan) bergerak ke atas dan memberi ujung epiglotis di atas glotis (pembukaan trakea, atau batang tenggorokan). Hal ini memungkinkan makanan untuk turun ke kerongkongan ke perut. Setiap saat, glotis terbuka, memungkinkan pernapasan.

Dari laring, udara masuk ke trakea. Tulang rawan yang memperkuat dinding laring dan trakea membuat bagian jalan napas ini tetap terbuka. Di dalam laring mamalia, udara yang dihembuskan mengalir oleh sepasang pita elastis otot yang disebut lipatan vokal, atau, pada manusia, pita suara. Bunyi dihasilkan ketika otot-otot di laring menegang, meregangkan pita suara sehingga bergetar.



Gambar 37. Sistem Respirasi pada Manusia

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Trakea bercabang menjadi dua bronkus (tunggal, bronkus), satumengarah ke masing-masing paru-paru. Di dalam paru-paru, cabang bronkus kembali bercabang menjadi tabung yang lebih kecil dan lebih kecil lagi yang disebut bronkiolus (Gambar. 2.11) . Seluruh sistem saluran udara memiliki bentuk seperti pohon terbalik, batangnya adalah trakea. Epitel yang melapisi cabang-cabang utama pohon pernapasan ini ditutupi oleh silia dan lapisan tipis lendir. Lendir menjebak debu, serbuk sari, dan kontaminan partikulat lainnya, dan silia yang bergerak terus untuk memindahkan lendir ke atas ke faring, tempat lendir itu dapat ditelan ke dalam kerongkongan. Proses ini, kadang-kadang disebut sebagai "escalator lendir" yang memainkan peran penting dalam membersihkan sistem pernapasan.

Pertukaran gas pada mamalia terjadi pada alveoli (singular, alveolus), kantung udara yang terkumpul di ujung bronkiolus terkecil. Paru-paru manusia mengandung jutaan alveoli, yang bersama-sama memiliki luas permukaan sekitar 100 m², 50 kali lipat dari luas permukaan kulit. Oksigen di udara yang masuk ke alveoli larut dalam Lapisan lembab yang melapisi permukaan bagian

dalam mereka dan dengan cepat berdifusi melintasi epitel ke dalam jaringan kapiler yang mengelilingi setiap alveolus. Difusi bersih karbon dioksida terjadi dalam arah yang berlawanan, dari kapiler melintasi epitel alveolus dan ke ruang udara.

k. Gangguan dan Kelainan pada Sistem Respirasi

Jika salah satu bagian dari organ respirasi bermasalah, secara otomatis sistem respirasi pun akan terganggu. Berikut beberapa gangguan respirasi:

1) Flu (Influenza)

Penyakit influenza disebabkan oleh virus dan mudah sekali menular. Penularan bisa melalui kontak langsung ke cairan atau melalui cairan yang keluar dari penderita saat batuk atau bersin. Saat flu, hidung dipenuhi lendir sehingga mengganggu pernapasan.

2) Faringitis

Keluhan utama pada penyakit ini adalah nyeri tenggorokan. Faringitis seringkali disebabkan oleh infeksi virus, namun dapat juga disebabkan oleh bakteri, sehingga untuk penanganannya dibutuhkan antibiotik. Beberapa kasus faringitis disebabkan oleh alergi atau iritasi pada tenggorokan.

3) Laringitis

Laringitis adalah gangguan pernapasan yang menyerang laring atau pita suara. Peradangan yang terjadi biasanya disebabkan oleh penggunaan pita suara berlebihan, iritasi, atau infeksi pada laring. Suara serak atau parau bahkan hilang sama sekali adalah gejala umum yang muncul jika seseorang mengalami laringitis.

4) Asma

Asma disebabkan oleh penyempitan saluran napas. Sesak napas menjadi tanda umum dari penyakit ini. Biasanya sesak napas dibarengi oleh mengi (wheezing) yang merupakan suara khas bernada tinggi saat pasien mengeluarkan napas.

5) Bronkitis

Bronkitis adalah peradangan pada bronkus, yang merupakan saluran udara dari dan ke paru-paru. Bronkitis umumnya dicirikan dengan batuk berdahak yang kadang dahaknya bisa berubah warna.

6) Emfisema

Emfisema menyerang kantung udara alias alveoli. Seseorang yang terkena emfisema tidak selalu menunjukkan gejala yang khas. Namun seiring perjalanan penyakitnya, biasanya penderita kondisi ini lambat laun akan mengalami sesak saat bernapas. Gangguan ini adalah salah satu kondisi yang digolongkan sebagai penyakit paru obstruktif kronik (PPOK).

7) Pneumonia

Pneumonia, atau yang biasa disebut dengan radang paru-paru, merupakan peradangan akibat infeksi. Batuk berdahak, demam, dan sesak napas adalah gejala umum dari pneumonia. Ciri lain dari penyakit ini adalah dahak kental yang dapat berwarna kuning, hijau, cokelat, atau bernoda darah.

8) Kanker Paru-Paru

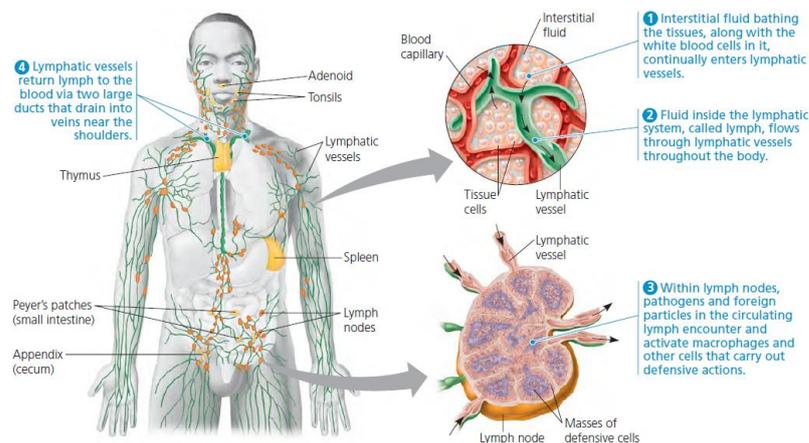
Merupakan salah satu jenis kanker paling berbahaya dengan angka kematian yang tinggi. Terjadinya kanker paru-paru pada seseorang berkaitan erat dengan merokok baik aktif maupun pasif, riwayat kanker paru-paru di keluarga, riwayat paparan zat kimia dan gas beracun seperti asbestos dan radon, atau menghirup udara berpolusi dalam jangka panjang.

- **Sistem Imunitas**

Sistem imunitas atau kekebalan tubuh adalah pertahanan tubuh terhadap bakteri, virus, dan patogen lainnya yang mungkin berbahaya, dengan menjaga dan menyerang dari patogen-patogen tersebut. Ini termasuk kelenjar getah bening, limpa, sumsum tulang, limfosit (termasuk sel B dan sel T), timus, dan leukosit, yang merupakan sel darah putih.

Dalam anatomi tubuh manusia, sistem limfatik mencakup kelenjar getah bening, saluran getah bening, dan pembuluh getah bening, dan juga berperan dalam pertahanan tubuh (Gambar. 2. 12). Tugas utamanya adalah membuat dan memindahkan getah bening, cairan bening yang mengandung sel darah putih,

yang membantu tubuh melawan infeksi. Sistem limfatik juga menghilangkan kelebihan cairan getah bening dari jaringan tubuh, dan mengembalikannya ke darah. Terdapat 2 jenis imunitas yang dimiliki oleh tubuh kita. Kedua jenis imunitas tersebut adalah imunitas aktif dan imunitas pasif.



Gambar 38. Sistem Imunitas pada Manusia

Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Imunitas aktif alami terjadi jika setelah seseorang terpapar penyakit, sistem imunitas memproduksi antibodi dan limfosit khusus. Imunitas ini dapat bersifat seumur hidup, seperti pada kasus cacar dan campak, atau sementara seperti pada kasus gonore dan pneumonia. Berbeda dengan imunitas aktif alami, imunitas aktif buatan timbul karena adanya rangsangan dari patogen yang dimasukkan ke dalam tubuh melalui vaksin yang kemudian mengaktifkan sistem imun. Vaksin sendiri merupakan patogen yang sudah dilemahkan atau toksin yang sudah diubah sebelumnya. Oleh karena itu, vaksin ini tidak menimbulkan penyakit, contohnya adalah vaksin TFT (tetanus formol toxoid) untuk melawan tetanus.

Imunitas pasif alami terjadi melalui pemberian ASI kepada bayi dan saat antibodi IgG (inunoglobulin G) milik ibu masuk ke plasenta. Antibodi IgG tersebut dapat memberikan kekebalan sementara untuk beberapa minggu atau beberapa bulan setelah kelahiran. Imunitas pasif buatan adalah imunitas pasif yang terjadi melalui injeksi antibodi dalam serum. Imunitas pasif dihasilkan oleh orang atau hewan yang kebal karena pernah terpapar antigen tertentu. Contohnya antara

lain antibodi dari kuda yang kebal terhadap gigitan ular dapat diinjeksikan kepada manusia yang digigit ular sejenis.

Gangguan dan Kelainan pada Sistem Imunitas

Terdapat beberapa penyakit yang termasuk dalam gangguan autoimun, yaitu:

a. Lupus

Lupus adalah kondisi di mana tubuh mengembangkan antibodi autoimun yang dapat menempel pada jaringan di seluruh tubuh, seperti sendi, paru-paru, sel darah, saraf, dan ginjal. Sel darah putih pada pengidap lupus justru menyerang tubuh sendiri, sehingga kerap disebut penyakit autoimun. Penyakit yang tidak bisa sembuh ini membutuhkan terapi jangka panjang, untuk menekan efek serangan sistem imun.

b. Rheumatoid arthritis

Rheumatoid arthritis atau radang sendi adalah peradangan kronis pada sendi yang bisa menghancurkan jaringan persendian dan bentuk tulang. Jika tidak diobati dengan baik, pengidapnya akan mengalami cacat permanen. Perawatan untuk rheumatoid arthritis dapat mencakup berbagai obat oral atau injeksi yang mengurangi aktivitas dari sistem kekebalan tubuh itu sendiri.

c. Multiple sclerosis (MS)

MS adalah gangguan progresif yang terkait dengan kerja sistem imun. Sistem yang seharusnya bertugas menjaga tubuh, justru berbalik menyerang organ yang penting untuk kehidupan sehari-hari. Gangguan sistem imun ini merusak lapisan pelindung sistem saraf dan menyebabkan penurunan fungsi sel tersebut di otak dan tulang punggung. Akibatnya, koordinasi antara otak dan bagian tubuh lain terganggu.

d. Sindrom Guillain-Barre

Sindrom Guillain-Barre (GBS) merupakan penyakit langka di mana sistem imun tubuh kita menyerang saraf. Penyebab dari penyakit ini belum diketahui, namun kerap GBS didahului dengan penyakit pernapasan atau flu perut. Rasa lumpuh dan kesemutan di kaki dan tangan (atau wajah pada beberapa orang) biasanya jadi gejala pertama dari penyakit langka ini. Lalu sensasi ini dengan cepat

menyebarkan dan akhirnya membuat seluruh tubuhmu lumpuh. Jika gejalanya terlalu parah, pasien harus segera dapat pertolongan medis dan dirawat di rumah sakit.

e. Psoriasis

Pada pengidap Psoriasis sel-sel darah sistem kekebalan tubuh yang terlalu aktif yang disebut sel-T berkumpul di kulit. Aktivitas sistem kekebalan merangsang sel-sel kulit untuk bereproduksi dengan cepat, dan menghasilkan plak bersisik atau berwarna perak pada kulit.

f. Penyakit Graves

Penyakit Graves terjadi saat sistem kekebalan tubuh menghasilkan antibodi yang merangsang kelenjar tiroid untuk melepaskan kelebihan hormon tiroid ke dalam darah (hipertiroidisme). Gejala penyakit Graves dapat berupa mata melotot serta penurunan berat badan, gugup, lekas marah, detak jantung yang cepat, kelemahan, dan rambut rapuh.

g. Penyakit Hashimoto

Penyakit Hashimoto sendiri merupakan gangguan pada kelenjar tiroid yang membuat fungsinya tidak maksimal, atau dalam beberapa kasus menjadi tidak aktif sama sekali. Gangguan pada produksi hormon tiroid ini memicu serangkaian gejala, termasuk kelelahan ekstrem dan gangguan metabolisme. Satu lagi efek penyakit Hashimoto adalah penambahan berat badan. Meski begitu, sebagian besar berat badan yang bertambah hanya air, dan bisa ditangkal dengan diet sehat.

h. Myasthenia gravis (MG)

MG merupakan penyakit autoimun yang cukup langka yang dipicu karena ada kelainan di paut saraf dan otot. Bagian tersebut merupakan tempat di mana saraf mengirim sinyal ke otot untuk bergerak tapi hal ini tak terjadi karena imunitas menyerang reseptor atau penerima sinyal. Akibatnya tubuh pasien MG akan sulit mengendalikan otot-ototnya termasuk juga otot pernapasan yang vital.

i. Vaskulitis

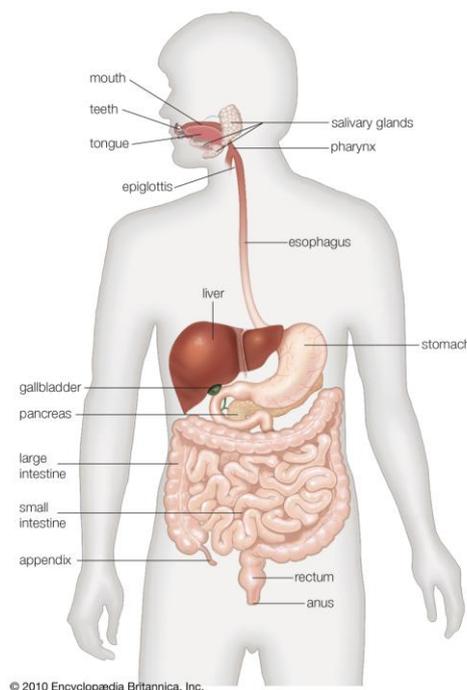
Vaskulitis adalah penyakit yang disebabkan sistem kekebalan tubuh menyerang dan merusak pembuluh darah dalam kelompok penyakit autoimun ini. Vaskulitis

dapat memengaruhi organ apa pun, sehingga gejalanya sangat bervariasi dan dapat terjadi hampir di semua bagian tubuh.

- **Sistem Pencernaan**

Sistem pencernaan adalah sekelompok organ yang bekerja untuk menerima makanan, mengubah dan memproses makanan menjadi energi, menyerap zat gizi yang terdapat pada makanan ke aliran darah, serta membuang sisa makanan yang tersisa atau tidak dapat dicerna oleh tubuh.

Makanan melewati saluran pencernaan yang terdiri dari rongga mulut, faring (tenggorokan), laring (kerongkongan), lambung, usus halus, usus besar, dan berakhir di anus. Selain saluran pencernaan, ada beberapa organ aksesori penting dalam anatomi tubuh manusia yang membantu mencerna makanan. Organ aksesori dari sistem pencernaan meliputi gigi, lidah, kelenjar ludah, hati, kantong empedu, dan pankreas. Organ-organ yang terlibat dalam proses pencernaan manusia dapat dilihat pada gambar 2.13 berikut.



Gambar 39. Sistem Pencernaan pada Manusia
Sumber: <https://www.britannica.com>

Proses pencernaan dimulai di mulut, di mana pencernaan kimia dan mekanik terjadi. Di dalam mulut terdapat organ aksesori yang membantu pencernaan makanan, yaitu lidah, gigi, dan kelenjar air liur. Mulut berfungsi untuk mengunyah makanan menjadi lebih halus dan lunak agar lebih mudah untuk ditelan dan dicerna. Gigi memotong makanan menjadi potongan-potongan kecil, yang dibasahi oleh air liur sebelum lidah dan otot-otot lain mendorong makanan ke dalam faring (Pharynx) dan melewatkannya ke dalam kerongkongan (esophagus).

Esofagus (kerongkongan) adalah saluran penghubung antara mulut dengan lambung, yang letaknya di antara tenggorokan dan lambung. Kerongkongan sebagai jalan untuk makanan yang telah dikunyah dari mulut menuju lambung. Otot kerongkongan dapat berkontraksi sehingga mendorong makanan masuk ke dalam lambung. Gerakan ini disebut dengan gerak peristaltik. Pada ujung kerongkongan terdapat sfingter (cincin otot), yang memungkinkan makanan untuk masuk ke lambung dan kemudian menutupnya untuk mencegah makanan dan cairan naik kembali ke kerongkongan.

Lambung adalah organ berbentuk huruf "J", yang ukurannya sekitar dua kepalan tangan. Lambung terletak di antara esofagus dan usus halus di perut bagian atas.

Lambung memiliki tiga fungsi utama dalam sistem pencernaan, yaitu untuk menyimpan makanan dan cairan yang tertelan; untuk mencampur makanan dan cairan pencernaan yang diproduksinya, dan perlahan-lahan mengosongkan isinya ke dalam usus kecil. Hanya beberapa zat, seperti air dan alkohol, yang dapat diserap langsung dari lambung. Zat-zat makanan lainnya harus menjalani proses pencernaan lambung.

Dinding otot perut yang kuat mencampur dan mengocok makanan dengan asam dan enzim, memecahnya menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Makanan diolah menjadi bentuk semi padat yang disebut chyme. Setelah makan, chyme perlahan dilepaskan sedikit demi sedikit melalui pyloric sphincter, sebuah cincin otot antara lambung dan bagian pertama dari usus halus yang disebut duodenum (usus 12 jari). Sebagian besar makanan meninggalkan perut hingga empat jam setelah makan.

Usus halus berbentuk tabung tipis sekitar satu inci dengan panjang sekitar 10 meter. Usus halus terletak hanya lebih rendah daripada lambung dan memakan sebagian besar ruang di rongga perut. Seluruh usus halus digulung seperti selang dan permukaan bagian dalamnya penuh dengan banyak tonjolan dan lipatan. Lipatan ini digunakan untuk memaksimalkan pencernaan makanan dan penyerapan nutrisi. Pada saat makanan meninggalkan usus halus, sekitar 90 persen dari semua nutrisi telah diekstraksi dari makanan yang masuk ke dalamnya.

Usus besar membentuk huruf "U" terbalik di atas usus halus yang digulung. Ini dimulai di sisi kanan bawah tubuh dan berakhir di sisi kiri bawah. Usus besar berukuran sekitar 5-6 meter, yang memiliki tiga bagian, yaitu sekum (cecum), kolon dan rektum (rectum). Sekum adalah kantung di awal usus besar. Area ini memungkinkan makanan lewat dari usus halus ke usus besar. Kolon adalah tempat cairan dan garam diserap dan memanjang dari sekum ke rektum. Bagian terakhir dari usus besar adalah rektum, yang mana kotoran (bahan limbah) disimpan sebelum meninggalkan tubuh melalui anus.

Fungsi utama dari usus besar adalah membuang air dan garam (elektrolit) dari bahan yang tidak tercerna dan membentuk limbah padat yang dapat dikeluarkan. Bakteri di usus besar membantu memecah bahan yang tidak tercerna. Sisa isi usus besar dipindahkan ke arah rektum, di mana feses disimpan sampai meninggalkan tubuh melalui anus.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Pencernaan

Berikut ini akan dijelaskan beberapa penyakit gangguan pencernaan beserta penyebab yang mendasarinya.

a. Penyakit refluks asam lambung

Penyakit refluks asam lambung atau gastroesophageal reflux disease (GERD) adalah kondisi ketika asam lambung naik ke esofagus (kerongkongan). Kondisi ini terjadi akibat melemahnya cincin otot kerongkongan yang berfungsi mencegah makanan kembali ke kerongkongan setelah masuk ke lambung.

b. Esofagitis

Esofagitis adalah peradangan di lapisan kerongkongan yang dapat menimbulkan nyeri, sulit menelan, dan nyeri di bagian dada. Apabila dibiarkan tidak tertangani, esofagitis dapat menyebabkan penyempitan pada kerongkongan.

c. Akalasia

Akalasia adalah kondisi ketika saraf di area esofagus (kerongkongan) mengalami kerusakan. Kondisi tersebut menyebabkan otot katup di antara kerongkongan dan lambung kehilangan kelenturan, sehingga makanan sulit terdorong ke lambung.

d. Gastritis

Gastritis adalah peradangan di dinding lambung, yang dapat terjadi tiba-tiba (akut), atau berlangsung dalam jangka panjang (kronis). Kondisi ini dapat menyebabkan tukak lambung.

e. Tukak lambung

Tukak lambung (peptic ulcer) merupakan luka terbuka yang terbentuk di lapisan lambung, atau bisa juga terjadi di usus 12 jari (ulkus duodenum). Tukak lambung dapat disebabkan oleh infeksi bakteri, dan penggunaan aspirin atau obat antiinflamasi nonsteroid dalam jangka panjang.

f. Radang usus

Sebagaimana namanya, radang usus adalah kondisi ketika usus mengalami peradangan. Radang usus terdiri dari 2 jenis, yaitu penyakit Crohn dan kolitis ulseratif. Bedanya, radang pada kolitis ulseratif hanya terjadi di usus besar. Sedangkan pada penyakit Crohn, radang dapat terjadi di seluruh bagian saluran pencernaan.

g. Divertikulitis

Divertikulitis adalah peradangan pada divertikula. Divertikula sendiri adalah kantong-kantong abnormal yang terbentuk di saluran pencernaan. Divertikulitis

dapat menimbulkan gejala demam, sakit perut, mual, muntah, sembelit atau diare.

h. Proktitis

Proktitis adalah peradangan pada rektum (bagian akhir dari usus besar yang tersambung ke anus). Kondisi ini dapat menimbulkan rasa ingin BAB yang sering (tenesmus). Proktitis juga menyebabkan nyeri di perut, rektum, dan anus.

i. Kanker usus besar

Kanker usus besar bisa bermula dari tumor jinak yang disebut polip adenoma. Seiring waktu, polip tersebut berkembang menjadi ganas.

j. Fisura ani

Fisura ani adalah luka terbuka pada jaringan yang melapisi anus. Kondisi ini dapat menyebabkan nyeri dan tegang pada dubur atau anus. Penderita juga dapat mengalami perdarahan saat buang air besar.

k. Wasir

Wasir merupakan pembengkakan pembuluh darah di sekitar atau di dalam anus. Meskipun wasir bisa tidak menimbulkan gejala, pada beberapa kasus dapat menimbulkan gatal dan nyeri pada anus, serta keluarnya darah atau nanah saat atau setelah buang air besar.

- **Sistem Ekskresi**

Sistem ekskresi yaitu sistem pengeluaran zat sisa metabolisme dari dalam tubuh keluar tubuh. Sistem ekskresi sering diartikan keliru dengan sistem sekresi. Memang keduanya memiliki kemiripan, yaitu berhubungan dengan zat yang dikeluarkan dari dalam tubuh. Akan tetapi sesungguhnya keduanya berbeda. Zat sisa metabolisme dari sekresi tidak benar-benar dikeluarkan dari tubuh, melainkan masih digunakan lagi untuk keperluan yang lain. Sementara itu, ekskresi benar-benar mengeluarkan zat sisa metabolisme dari tubuh. Dengan kata lain, zat hasil ekskresi benar-benar tak bisa dimanfaatkan lagi oleh tubuh manusia.

a. Sistem Ekskresi Pada Hewan Invertebrata

Hewan invertebrate adalah hewan yang tidak memiliki tulang belakang. Hewan invertebrate adalah hewan yang ukurannya relative kecil dan bahkan ada yang mikroskopik, seperti cacing, insect (serangga), porifera, coelenterate, dan protozoa (baca pula sistem pernapasan hewan invertebrate). Berikut adalah sistem ekskresi dari hewan-hewan tersebut:

1) Porifera dan coelenterate

Porifera adalah hewan berpori sedangkan coelenterate adalah hewan berongga. Porifera dan coelenterate adalah hewan tingkat terendah. Baik porifera dan coelenterate mengeluarkan zat sisa metabolismenya tanpa alat ekskresi tertentu. Porifera dan coelenterata megeluarkan zat sisa berupa karbon dioksida dengan cara gas tersebut berdifusi secara langsung dari sekujur tubuhnya.

2) Protozoa

Protozoa adalah hewan bersel satu. Contoh dari protozoa adalah amoeba dan paramecium. Sebenarnya amoeba tidak termasuk dalam kingdom animalia, melainkan Protista. Namun pada beberapa buku, protozoa dikelompokkan dalam kingdom animalia karena kemiripannya dengan hewan. Protozoa mengeluarkan zat sisa metabolisme tubuhnya juga dengan cara berdifusi secara langsung.

3) Insecta

Serangga mengeluarkan zat sisa metabolisme tubuhnya melalui pembuluh malphigi. Pembuluh malphigi terletak di dekat usus. Hal ini berguna karena pembuluh malphigi akan menyerap zat sisa dari darah dan menyalurkannya ke usus untuk kemudia dikeluarkan dari sana. Baca pula artikel sistem pernapasan pada serangga.

4) Cacing

Cacing dibagi menjadi tiga, yaitu Platyhelminthes, nemathelminthes, dan annelida. Secara umum, ketiganya memiliki sistem ekskresi yang mirip. Alat ekskresi

cacing tanah bernama nefridia. Nefridia berpasangan dan terletak pada setiap segmen tubuh cacing tanah. Nefridia yang berpasangan disebut metanefridia.

Sedangkan cacing pipih memiliki alat ekskresi berupa sel api. Sel api akan menyerap zat sisa dari tubuh. Kemudian zat sisa akan dikeluarkan melalui saluran yang bermuara di permukaan tubuh.

b. Sistem Ekskresi pada Vertebrata

Hewan vertebrata adalah hewan bertulang belakang. Jenis ini dibagi lagi menjadi lima, sesuai urutan dari yang paling primitive ke yang paling modern adalah pisces, amfibi, reptile, aves, dan mamalia (baca pula sistem pernapasan hewan vertebrata). Kelimanya memiliki sistem ekskresi yang berbeda sebagai berikut:

1) Pisces

Ikan memiliki tiga buah organ atau alat yang turut berperan dalam sistem ekskresi, yaitu insang, ginjal, dan kulit. Pada ikan, ginjal dan saluran genitalia bermuara di lubang yang sama, yaitu lubang urogenital. Sebenarnya hal ini juga berlaku mirip buat manusia, di mana saluran urin dan genital bermuara di tempat yang searea, namun berbeda lubang.

Sementara itu, insang dan kulit pada ikan berfungsi sebagai sistem pernapasan pada ikan. Insang akan membuka dan menutup sejalan dengan membuka dan menutupnya operculum. Lalu insang akan menyaring air yang masuk melaluinya dan mengikat oksigen yang ada di sana, lalu melepaskan karbon dioksida.

2) Amfibi

Amfibi adalah kelompok hewan yang dapat hidup baik di daratan maupun di air. Contoh dari hewan amfibi adalah katak dan salamander. Organ ekskresi dari amfibi adalah ginjal, paru-paru, dan kulit.

Ginjal pada amfibi sama halnya dengan pisces, juga bermuara pada saluran genitalia, bermuara pada kloaka. Seperti halnya pada manusia, ginjal pada amfibi juga menyaring dan membuang zat sisa metabolisme yang disebut dengan urin.

Sementara itu paru-paru dan kulit berperan dalam sistem pernapasan pada hewan amfibi. Pada amfibi, selain dilakukan oleh paru-paru selama di daratan, selama berada di air pernapasan dilakukan oleh kulit.

3) Reptil

Hewan reptil contohnya adalah cicak, ular, biawak, bunglon, dan buaya. Sama seperti hewan sebelumnya, alat sekresi pada reptile juga merupakan ginjal, paru-paru, dan kulit. Baca pula artikel mengenai sistem peredaran darah pada reptile. Ginjal berfungsi dalam pengeluaran urin. Pada beberapareptil seperti kura-kura, saluran ginjalnya sangatlah pendek. Bahkan untuk ular tidak memiliki kandung kemih yang berfungsi untuk menampung urin. Sementara itu, paru-paru dan kulit berperan dalam sistem pernapasan pada hewan reptile.

4) Aves

Aves adalah kelompok burung. Aves adalah hewan yang sistemnya telah mendekati mamalia. Oleh karena itu sistem ekskresinya juga mirip dengan mamalia. Alat ekskresinya adalah ginjal dan paru-paru.

5) Mamalia

Salah satu ciri-ciri hewan mamalia yang paling terkenal adalah menyusui karena mamalia memang berarti hewan menyusui. Mamalia adalah kelompok hewan yang tertinggi. Bahkan beberapa buku mengelompokkan manusia sebagai bagian dari mamalia. Sistem-sistem pada tubuhnya mayoritas sama dengan manusia. Baca pula sistem peredaran darah pada mamalia.

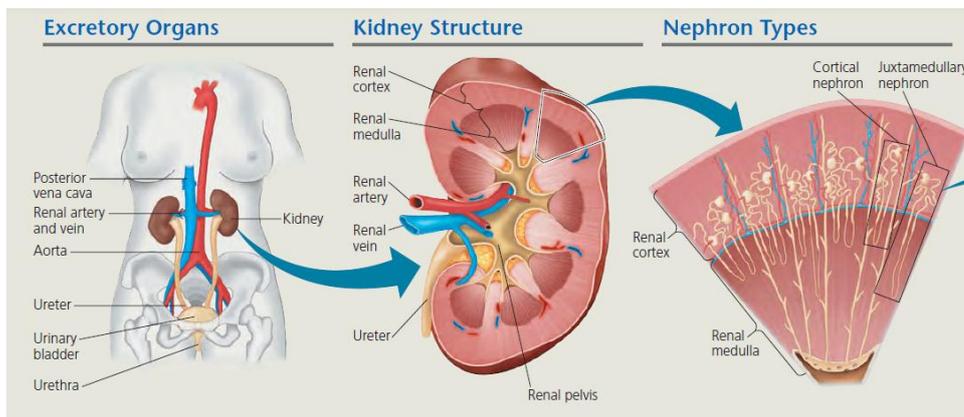
Alat ekskresinya sama seperti manusia yaitu kulit, paru-paru, ginjal, dan hati. Kulit mengeluarkan keringat, ginjal mengeluarkan urin, hati mengeluarkan urea, dan paru-paru mengeluarkan karbon dioksida.

c. Sistem Ekskresi pada Manusia

Sistem ekskresi mengeluarkan zat sisa yang tidak dibutuhkan lagi oleh manusia. Pada anatomi tubuh manusia, organ-organ ekskresi terdiri dari ginjal, hati, kulit, dan paru-paru.

Sistem urinaria atau perkemihan termasuk ke dalam sistem eksresi yang terdiri dari ginjal, ureter, kandung kemih, dan uretra. Ginjal menyaring darah untuk

membuang limbah dan menghasilkan urine. Ureter, kandung kemih, dan uretra bersama-sama membentuk saluran kemih, yang berfungsi sebagai sistem untuk mengalirkan urine dari ginjal, menyimpannya, dan kemudian melepaskannya saat buang air kecil. Selain menyaring dan menghilangkan limbah dari tubuh, sistem urinaria juga mempertahankan homeostasis air, ion, pH, tekanan darah, kalsium, dan sel darah merah.



Gambar 40. Sistem Ekskresi pada Manusia
Sumber: Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). Campbell biology.

Pembentukan urine terdiri dari tiga proses yaitu filtrasi (penyaringan), reabsorpsi (penyerapan kembali), dan augmentasi (pengumpulan) atau sekresi.

1) Filtrasi (penyaringan)

Setiap ginjal memiliki sekitar satu juta nefron, yang merupakan tempat pembentukan urine. Pada waktu tertentu, sekitar 20 persen dari darah akan melalui ginjal untuk disaring sehingga tubuh dapat menghilangkan zat-zat sisa metabolisme dan menjaga keseimbangan cairan, pH darah, dan kadar darah.

Bagian pertama dari proses pembentukan urine adalah filtrasi yaitu proses penyaringan darah yang mengandung zat sisa metabolisme yang dapat menjadi racun untuk tubuh. Filtrasi terjadi di badan malphigi yang terdiri dari glomerulus dan kapsul Bowman. Glomerulus menyaring air, garam, glukosa, asam amino, urea dan limbah lainnya untuk melewati kapsul Bowman. Hasil filtrasi ini menghasilkan urine primer.

Urine primer termasuk urea di dalamnya, yang dihasilkan dari amonia yang terkumpul ketika hati memproses asam amino dan disaring oleh glomerulus.

2) Reabsorpsi

Sekitar 43 galon cairan melewati proses filtrasi, tetapi sebagian besar diserap kembali sebelum dikeluarkan dari tubuh. Reabsorpsi terjadi di tubulus proksimal nefron, lengkung Henle (loop of Henle), tubulus distal dan tubulus pengumpul.

Air, glukosa, asam amino, natrium, dan nutrisi lainnya diserap kembali ke aliran darah di kapiler yang mengelilingi tubulus. Air bergerak melalui proses osmosis, yaitu pergerakan air dari area konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Hasil pada proses pembentukan urine ini adalah urine sekunder.

Biasanya semua glukosa diserap kembali. Namun, pada orang dengan diabetes, kelebihan glukosa tetap bertahan dalam filtrat. Natrium dan ion-ion lain diserap kembali secara tidak lengkap, dengan proporsi yang lebih besar tersisa dalam filtrat ketika lebih banyak dikonsumsi dalam makanan, menghasilkan konsentrasi darah yang lebih tinggi. Hormon mengatur proses transport aktif di mana ion seperti natrium dan fosfor diserap kembali.

3) Sekresi atau augmentasi

Sekresi adalah tahap terakhir dalam pembentukan urine, yaitu ketika urine akhirnya dibuang. Beberapa zat mengalir langsung dari darah di sekitar tubulus distal (distal convoluted tubule) dan tubulus pengumpul (collecting tubule) ke tubulus tersebut.

Sekresi alias pembuangan ion hidrogen melalui proses ini adalah bagian dari mekanisme tubuh untuk menjaga pH yang tepat, atau keseimbangan asam dan basa tubuh. Ion kalium, ion kalsium, dan amonia juga dibuang pada tahap ini, seperti beberapa obat. Ini supaya komposisi kimia darah tetap seimbang dan normal.

Prosesnya terjadi dengan meningkatkan pembuangan zat seperti kalium dan kalsium ketika konsentrasi tinggi dan dengan meningkatkan reabsorpsi dan mengurangi sekresi ketika tingkatnya rendah. Urine yang dibuat oleh proses ini kemudian mengalir ke bagian tengah ginjal yang disebut pelvis ginjal, kemudian

terus mengalir ke ureter dan kemudian tersimpan di kandung kemih. Dari kandung kemih, urine selanjutnya mengalir ke uretra dan akan dibuang keluar saat buang air kecil.

d. Gangguan dan Kelainan pada sistem Ekskresi

Organ utama yang membantu dalam pembentukan urine adalah ginjal. Ginjal menyaring semua limbah dalam tubuh dan aliran darah. Hal ini menyebabkan pembentukan urine yang memerah keluar dari tubuh. Penyakit umum yang memengaruhi ginjal adalah sebagai berikut:

1) Diabetes Insipidus

Diabetes insipidus adalah suatu penyakit yang penderitanya mengeluarkan urine terlalu banyak. Penyebab penyakit ini adalah kekurangan hormon ADH (Anti Diuretic Hormone). ADH adalah hormon yang memengaruhi proses reabsorpsi cairan pada ginjal. Bila kekurangan hormon ADH, jumlah urine dapat meningkat menjadi 30 kali lipat.

2) Glukosuria

Glukosuria adalah penyakit yang ditandai adanya glukosa dalam urine. Penyakit ini disebut juga kencing manis. Kadar gula dalam darah meningkat karena kekurangan hormon insulin. Nefron tidak mampu menyerap kembali kelebihan glukosa, sehingga kelebihan glukosa dibuang bersama urine.

3) Batu ginjal

Batu ginjal dapat terbentuk karena pengendapan garam kalsium di dalam rongga ginjal, saluran ginjal, dan kantong kemih. Batu ginjal terbentuk kristal yang tidak bisa larut dan mengandung kalsium oksalat, asam urat, dan kristal kalsium fosfat. Penyebabnya adalah karena terlalu banyak mengonsumsi garam mineral dan terlalu sedikit mengonsumsi air. Batu ginjal tersebut dapat menimbulkan hidronefosis (membesarnya ginjal karena urine tidak dapat mengalir keluar) hal itu akibat penyempitan aliran ginjal atau tersumbat oleh batu ginjal.

4) Gagal ginjal

Gagal ginjal adalah kelainan ginjal yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Penyakit ini disebabkan karena kondisi yang mengganggu fungsi ginjal. Penyakit

ini terbagi menjadi 2 yaitu penyakit ginjal semestara dan penyakit ginjal tetap. Penderita penyakit ginjal sementara dapat ditolong dengan cuci darah. Sedangkan penderita penyakit ginjal tetap dapat ditolong dengan cangkok ginjal.

5) Nefritis

Nefritis adalah peradangan pada ginjal yang terjadi karena infeksi bakteri penyakit pada nefron. Bakteri ini masuk melalui saluran pernapasan kemudian dibawa darah ke ginjal. Karena infeksi ini nefron mengalami peradangan sehingga protein dan sel-sel darah yang masuk bersama urine primer tidak dapat disaring dan keluar bersama urine.

6) Albuminuria

Albuminuria adalah penyakit gangguan sistem ekskresi yang ditandai dengan urine penderita mengandung albumin. Albumin merupakan protein yang bermanfaat bagi manusia karena berfungsi untuk mencegah agar cairan tidak terlalu banyak keluar dari darah. Penyakit ini menyebabkan terlalu banyak albumin yang lolos dari saringan ginjal dan terbuang bersama urine.

- **Sistem Otot**

Sistem otot terdiri dari sekitar 650 otot yang membantu pergerakan, aliran darah, dan fungsi tubuh lainnya. Ada tiga jenis otot yaitu otot rangka yang terhubung dengan tulang, otot polos yang ditemukan di dalam organ pencernaan, dan otot jantung yang ditemukan di jantung dan membantu memompa darah.



Gambar 41. Sistem otot pada Manusia
Sumber: <https://www.britannica.com>

a. Fungsi sistem otot manusia

Setiap jenis otot manusia memiliki fungsinya masing-masing. Berikut beberapa fungsi dari sistem otot manusia.

1) Melakukan gerakan tubuh

Otot rangka bertanggung jawab atas gerakan yang Anda lakukan. Otot rangka melekat pada tulang dan sebagian dikendalikan oleh sistem saraf pusat (SSP). Manusia menggunakan otot rangka kapan pun untuk bergerak. Otot mengikuti arah gerakan yang diinginkan, bersama-sama dengan tulang dan tendon.

2) Membantu dalam peredaran darah manusia

Otot jantung dan otot polos yang tidak disadari membantu detak jantung dan aliran darah ke seluruh tubuh dengan menghasilkan impuls listrik. Otot jantung ditemukan di dinding jantung. Ini dikendalikan oleh sistem saraf otonom yang bertanggung jawab untuk sebagian besar fungsi tubuh. Pembuluh darah sendiri terdiri dari otot polos, dan juga dikendalikan oleh sistem saraf otonom.

3) Pernapasan

Diafragma adalah otot utama yang bekerja selama pernapasan. Saat bernapas lebih berat, seperti saat sedang berolahraga, diafragma memerlukan bantuan dari otot lain, seperti otot perut, otot leher, dan otot punggung.

4) Proses pencernaan

Pencernaan dikendalikan oleh otot-otot polos yang ditemukan di saluran pencernaan. Otot polos melemas dan menegang saat makanan melewati tubuh selama pencernaan. Otot-otot ini juga membantu mendorong makanan keluar dari tubuh melalui buang air besar, atau muntah ketika sakit.

5) Persalinan

Otot polos juga ditemukan di rahim. Selama kehamilan, otot-otot ini tumbuh dan meregang saat bayi tumbuh. Saat proses melahirkan, otot polos di rahim berkontraksi dan relaksasi untuk membantu mendorong bayi melewati vagina.

6) Keseimbangan

Otot rangka membantu melindungi tulang belakang dan membantu keseimbangan. Dalam otot ada yang disebut dengan otot inti, yang termasuk otot perut, otot punggung, dan otot panggul. Semakin kuat otot inti, maka akan keseimbangan tubuh semakin baik.

7) Mengatur postur tubuh

Otot rangka juga mengatur postur tubuh. Kelenturan dan kekuatan adalah kunci untuk mempertahankan postur yang tepat. Otot-otot leher kaku, otot punggung yang lemah, atau otot-otot pinggul yang kaku dapat merusak keselarasan. Postur yang buruk dapat memengaruhi bagian tubuh dan menyebabkan nyeri sendi dan otot yang lebih lemah.

b. Gangguan dan Kelainan pada Sistem Otot

Secara garis besar, kelainan pada otot bisa dikategorikan menjadi dua, yaitu kelainan bawaan (inherited) dan kelainan yang didapat (acquired). Beberapa kondisi yang termasuk dalam kelainan otot bawaan yakni:

1) Distrofi otot

Distrofi otot adalah kelainan bawaan yang menyebabkan penurunan dan kelemahan massa otot secara bertahap. Kondisi yang termasuk distrofi otot antara lain adalah distrofi otot Duchenne, distrofi otot Becker, distrofi miotonik, distrofi otot facioscapulohumeral, serta distrofi otot anggota gerak dan badan (Limb-girdle dystrophy).

2) Miopati kongenital

Kelainan otot jenis ini biasanya ditandai dengan keterlambatan perkembangan pada keterampilan motorik, serta kelainan otot rangka dan wajah sejak lahir. Kelainan otot jenis ini umumnya mulai terlihat sejak lahir atau sebelum usia 2 tahun. Miopati nemaline dan miopati central core adalah jenis miopati kongenital yang umum ditemukan.

3) Miopati mitokondria

Miopati yang satu ini disebabkan oleh kelainan genetik pada mitokondria, yaitu komponen di dalam sel yang berfungsi menghasilkan energi.

4) Miopati metabolik

Kelainan otot juga dapat terjadi karena adanya masalah pada enzim di dalam tubuh yang berperan dalam metabolisme otot. Kelainan otot metabolik bisa disebabkan oleh beberapa kondisi, seperti defisiensi carnitine, kelainan oksidasi asam lemak, defisiensi carnitine palmitoyl transferase, gangguan penyimpanan glikogen, defisiensi asam maltase (penyakit Pompe).

5) Miopati inflamatori

Kelainan otot yang disebabkan oleh peradangan otot kronis. Miopati inflamatori yang umum terjadi adalah polimiositis dan dermatomiositis.

Polimiositis memengaruhi otot rangka di kedua sisi tubuh dan umumnya terjadi pada rentang usia 30 dan 60 tahun. Tanda dan gejala polimiositis bervariasi dari orang ke orang. Sedangkan kelainan otot dermatomiositis ditandai dengan munculnya ruam kulit yang disertai kelemahan otot. Orang dewasa penderita dermatomiositis mungkin mengalami penurunan berat badan atau demam ringan, radang paru-paru, dan sensitif terhadap cahaya.

6) Miopati infeksi

Ini adalah kelainan otot yang disebabkan oleh infeksi virus, bakteri dan parasit. Infeksi virus yang menyebabkan miopati antara lain HIV, virus influenza, dan virus Epstein-Barr. Sedangkan infeksi bakteri dan parasit yang bisa menyebabkan kelainan otot adalah infeksi *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus*, *Spirochaeta* (penyebab penyakit Lyme), dan infeksi parasit *Trichinella* (penyebab trichinosis). Dalam kasus yang sangat jarang, infeksi jamur juga bisa menyebabkan kelainan otot.

7) Miopati karena obat-obatan (toxic myopathy)

Gangguan atau kelainan pada otot juga bisa disebabkan oleh efek samping obat-obatan tertentu, seperti kortikosteroid, obat penurun kolesterol golongan statin, obat antimalaria chloroquine, obat asam urat colchicine, dan obat golongan NAPZA seperti kokain. Minuman beralkohol dan zat kimia beracun juga bisa menjadi penyebabnya.

8) Miopati yang terkait penyakit sistemik

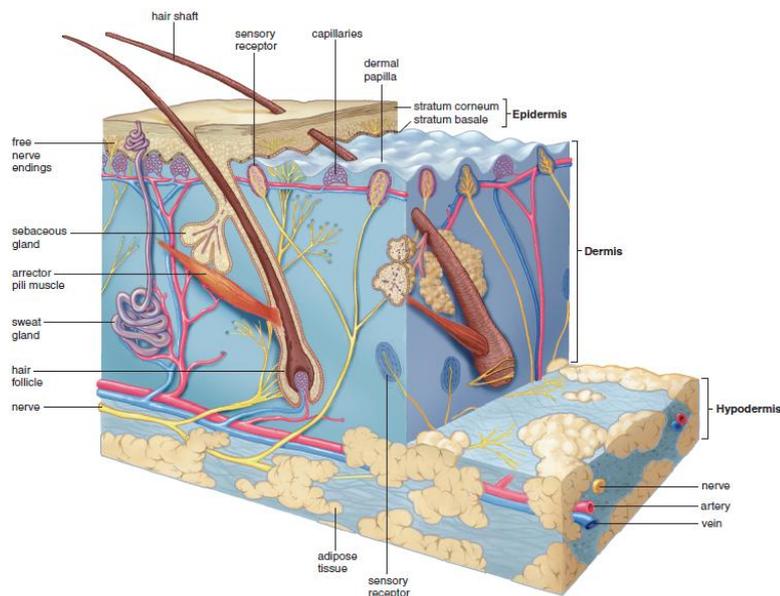
Miopati jenis ini terjadi akibat adanya penyakit yang menyerang sistem organ tertentu di dalam tubuh. Kelainan otot jenis ini dapat disebabkan oleh banyak penyakit seperti gangguan tiroid, penyakit autoimun seperti lupus dan rheumatoid arthritis, gangguan elektrolit, gizi buruk, dan critical illness myopathy atau kelainan otot akibat kondisi kritis pada pasien yang terlalu lama berada di ruangan ICU.

- **Sistem Integumen**

Kulit atau sistem integumen adalah organ terbesar dalam anatomi tubuh manusia. Sistem ini melindungi dari dunia luar, dan merupakan pertahanan pertama tubuh melawan bakteri, virus dan patogen lainnya. Kulit juga membantu mengatur suhu tubuh dan menghilangkan limbah zat sisa melalui keringat.

Kata integumen itu sendiri berasal dari bahasa latin yaitu *integumentum*, yang artinya adalah penutup. Sistem integumen adalah suatu sistem organ membedakan, memisahkan, melindungi, dan menginformasikan hewan atau

manusia terhadap lingkungan sekitarnya. Sistem integumen ini meliputi kulit,ambut, bulu, sisik, kuku, kelenjar keringat dan produknya seperti misalnya keringat atau lendir.



Gambar 42. Penampang kulit

Sumber: Losos, J. B., Mason, K. A., Singer, S. R., Raven, P. H., & Johnson, G. B. (2008). *Biology*. Seluruh bagian tubuh manusia di bagian terluar dibungkus oleh sistem, yang disebut dengan sistem integumen. Jadi sistem integumen adalah bagian sistem organ pada manusia di bagian terluar. Sistem ini terdiri dari kulit dan juga aksesorisnya, termasuk pada kuku, rambut, kelenjar seperti keringat dan sebaceous, serta reseptor saraf khusus. Yang menstimuli perubahan internal dan lingkungan eksternal. Sesuai dengan fungsinya, beberapa organ pada integumen memiliki fungsi yaitu untuk menutup organ atau jaringan pada manusia di bagian luar.

Sistem integumen manusia ini terdiri dari kulit, kuku, rambut, kelenjar keringat, kelenjar minyak dan kelenjar susu. Sistem integumen juga mampu memperbaiki dirinya sendiri, serta memiliki mekanisme pertahanan tubuh yang pertama. Atau sebagai pembatas diantara lingkungan di luar tubuh dan di dalam tubuh.

Kulit adalah organ tubuh pada manusia yang kontribusinya paling luas, pada total berat tubuhnya dengan jumlah 7%. Keberadaan kulit ini memiliki peranan yang penting, dalam mencegah terjadinya kehilangan cairan yang berlebihan. Serta

mencegah masuknya agen yang ada di lingkungan misalnya bakteri, kimia dan radiasi ultraviolet. Kulit akan menahan jika terjadi beberapa kekuatan mekanik, seperti misalnya gesekan, getaran, dan dapat mendeteksi perubahan fisik pada lingkungan luar. Dengan demikian hal itu memungkinkan seseorang untuk menghindari terjadinya stimuli yang tidak nyaman. Kulit juga membangun sebuah barier yang memisahkan beberapa organ internal, dengan lingkungan luarnya. Serta ikut berpartisipasi dalam berbagai fungsi tubuh yang vital.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Integumen

Penyakit kulit atau integumen banyak ditemukan timbulnya dari kesalahan penderita sendiri, misalnya kesehatan kurang baik atau tidak memperhatikan kondisi kulit. Berikut ini adalah macam-macam penyakit kulit yang sering terjadi:

a. Bisul (furunkel)

Bisul adalah infeksi kulit berbentuk benjolan merah dan dapat membesar. Bisul dapat tumbuh di seluruh sisi tubuh, namun bisul lebih sering ditemukan di bagian tubuh yang lembap, seperti lipatan paha, sela bokong, leher, ketiak hingga kepala.

Bisul disebabkan karena adanya infeksi bakteri stafilokokus aureus pada kulit yang melewati folikel rambut, kelenjar minyak, kelenjar keringat, lantas menyebabkan infeksi lokal. Faktor yang menambah risiko terkena bisul diantaranya kebersihan yang buruk, luka yang terinfeksi, pelemahan diabetes, kosmetik yang menyumbat pori, serta penggunaan bahan kimia. Untuk menghindari bisul, jaga kebersihan diri serta lingkungan, dan konsumsi gizi yang seimbang.

b. Kudis (skabies)

Kudis adalah penyakit kulit yang disebabkan oleh parasit tungau yakni *sarcoptes scabiei var hominis*. Orang yang terjangkit penyakit kulit kudis biasanya tinggal di tempat kumuh serta tidak melindungi kebersihan tubuhnya. Tanda-tanda kudis yaitu ada rasa gatal yang demikian hebat saat malam hari, terlebih di sela-sela jari kaki, tangan, di bawah ketiak, alat kelamin, pinggang dan sebagainya. Kudis amat mudah menular pada orang lain.

c. Eksim (dermatitis)

Tanda-tanda utama yang dirasakan pasien penyakit kulit eksim yaitu rasa gatal berlebih pada kulit dibarengi dengan kulit memerah, bersisik serta pecah-pecah, hingga timbul gelembung-gelembung kecil yang mengandung air atau nanah. Tangan, kaki, lipatan paha serta telinga yaitu sisi tubuh yang sangat berisiko terkena eksim.

Eksim disebabkan karena alergi pada rangsangan zat kimia spesifik seperti detergen, sabun, obat-obatan serta kosmetik. Sementara kepekaan pada tipe makanan spesifik seperti udang, ikan laut, telur, daging ayam, alkohol, vetsin (msg), dan sebagainya. Eksim juga bisa dikarenakan alergi serbuk sari tanaman, debu, iklim, hingga masalah emosi. Eksim sering kali menyerang orang-orang yang memiliki kecenderungan alergi.

d. Kurap

Kurap disebabkan karena adanya jamur. Gejala yang mudah dikenali adalah timbul lingkaran-lingkaran yang bersisik, bercak putih, lembap, dan disertai rasa gatal. Penyakit kulit urap timbul dikarenakan kurangnya menjaga kebersihan kulit. Bagian tubuh yang sering diserang kurap yakni tengkuk, leher serta kulit kepala.

e. Melanoma

Melanoma adalah kanker kulit berbahaya yang bisa mengakibatkan kematian bila tidak diobati. Melanoma amat beresiko bila nampak pada leher atau kulit kepala. Melanoma menunjukkan tanda berbahaya apabila tahi lalat yang ada pada kulit semakin membesar, mengalami perubahan warna dan menunjukkan gejala peradangan.

f. Herpes

Jenis penyakit kulit herpes sering menjangkit orang dewasa. Tanda munculnya penyakit ini adalah adanya ruam tidak rata dan berukuran kecil yang akhirnya melepuh. Dampak yang dirasa penderita adalah rasa perih dan gatal serta membuat kulit menjadi lebih sensitif. Daerah kulit yang sering terkena adalah daerah tubuh yang lembap seperti lipatan paha, bokong atau bagian tubuh lainnya.

g. Jerawat

Ini merupakan jenis penyakit kulit yang cukup populer karena sekitar 80% orang pernah mengalami hal ini. Jerawat disebabkan karena masalah pada kelenjar minyak kulit. Untuk diketahui, pori-pori terhubung ke kelenjar oleh kanal yang disebut folikel. Ketika folikel dari kelenjar kulit tersumbat, maka timbulah jerawat.

h. Psoriasis

Psoriasis termasuk salah satu penyakit kulit yang sulit untuk didiagnosa. Bagian tubuh yang biasa terkena eksim biasanya sama dengan bagian tubuh yang terkena psoriasis. Kulit kepala, punggung sisi bawah, telapak tangan, serta telapak kaki adalah beberapa bagian tubuh yang rawan terkena psoriasis. Stres, trauma, serta tingkat kalsium yang rendah juga bisa mengakibatkan psoriasis.

Tanda-tanda psoriasis yaitu munculnya bercak-bercak merah dan di atasnya ada sisik-sisik putih berlapis-lapis. Apabila digaruk, sisik-sisik tersebut dapat rontok. Meski pada awalnya luas permukaan kulit yang terkena kecil, psoriasis bisa semakin melebar jika tidak segera ditangani.

• Sistem Reproduksi

Sistem reproduksi memungkinkan manusia untuk bereproduksi. Sistem reproduksi pria mencakup penis dan testis, yang menghasilkan sperma.

a. Penis

Penis adalah organ vital pria yang digunakan untuk berhubungan seksual. Di saat mencapai klimaks seksual, sperma keluar melalui saluran di dalam penis.

b. Skrotum

Skrotum adalah kantong kulit yang menggantung pada pangkal penis. Kantong kecil dan berotot ini melindungi testis, beserta saraf dan pembuluh darah.

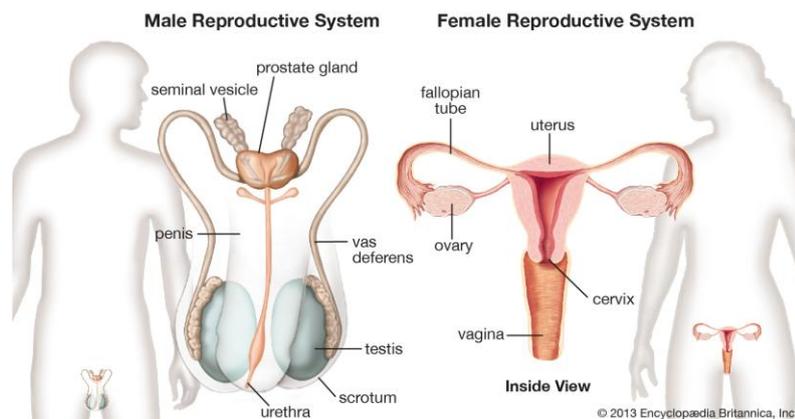
c. Testis

Testis adalah organ paling penting dari sistem reproduksi laki-laki yang terletak di dalam skrotum. Testis merupakan kelenjar di mana sperma dan testosteron diproduksi. Selain itu, struktur organ reproduksi pria didukung oleh organ internal yang juga dikenal sebagai organ aksesoris. Organ-organ ini

bermanfaat untuk membantu menjalankan fungsi produksi, penyimpanan dan keluarnya sperma meliputi uretra, vas deferens, epididimis, vesikula seminalis, duktus ejakulatorius, kelenjar prostat dan kelenjar bulbourethral.

Kinerja organ-organ reproduksi pria akan bergantung pada kondisi hormon reproduksi dalam tubuh pria, yakni testosteron yang memiliki manfaat dalam perkembangan karakteristik seorang pria termasuk fisik dan gairah seksual, serta FSH (follicle stimulating hormone) dan LH (luteinizing hormone) yang bekerja membantu produksi sperma.

Sistem reproduksi wanita terdiri dari vagina, rahim dan ovarium, yang menghasilkan ovum (sel telur). Selama pembuahan, sel sperma bertemu dengan sel telur di tuba falopi. Kedua sel tersebut kemudian melakukan pembuahan yang ditanamkan dan tumbuh di dinding rahim. Bila tidak dibuahi, dinding rahim yang telah menebal untuk mempersiapkan kehamilan akan luruh menjadi menstruasi.



Gambar 43. Sistem Reproduksi pada Manusia
Sumber: <https://www.britannica.com>

Bagi wanita, struktur organ reproduksinya lebih banyak terletak di bagian dalam tubuh (organ reproduksi internal), meliputi:

a. Tuba Falopi

Organ ini berbentuk tabung kecil yang menempel bagian atas rahim. Tuba falopi berfungsi sebagai jalur sel telur untuk bergerak dari ovarium ke rahim.

b. Ovarium

Ovarium adalah kelenjar berbentuk oval kecil yang terletak di kedua sisi rahim. Ovarium menghasilkan sel telur dan hormon estrogen serta progesteron.

c. Vagina & Serviks

Vagina adalah jalur yang menghubungkan serviks (mulut rahim) ke bagian luar tubuh. Vagina dikenal juga sebagai jalan lahir. Pada saat berhubungan seksual, penis akan masuk ke dalam organ ini.

d. Uterus (Rahim)

Rahim adalah organ berongga berbentuk seperti buah pir yang merupakan tempat bagi janin berkembang semasa kehamilan.

Organ reproduksi wanita dilengkapi dengan organ reproduksi eksternal pada wanita yakni labium mayor, labium minor, kelenjar Bartholin dan klitoris. Organ-organ eksternal ini berfungsi untuk memicu hasrat seksual pada wanita, melindungi organ reproduksi internal wanita dari berbagai penyebab infeksi, dan juga memiliki peran dalam memungkinkan sperma untuk memasuki tubuh wanita, guna mencapai sel telur.

Sistem reproduksi wanita bekerja bersama dengan empat hormon reproduksi utama yakni FSH dan LH yang membantu proses pembentukan sel telur di ovarium, serta estrogen dan progesteron yang berperan penting untuk kehamilan.

Sistem reproduksi pada manusia, baik itu pria maupun wanita, memiliki keunikan dengan fungsinya masing-masing. Kesehatan setiap organ dalam sistem reproduksi perlu dijaga dengan baik, dimulai dari pola hidup yang sehat, hingga perilaku seksual yang aman, demi menunjang proses reproduksi dan kesehatan tubuh secara keseluruhan.

Gangguan dan Kelainan pada sistem Reproduksi

a. Vaginitis

Vaginitis adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita dengan kondisi vagina yang mengalami infeksi. Infeksi pada vagina disebabkan oleh beberapa jenis mikroorganisme, yaitu seperti bakteri, jamur, dan parasit.

b. Condiloma accuminata

Condiloma Accuminata adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita yang disebabkan oleh virus yang tak asing lagi. Virus yang dimaksud adalah virus Human Papiloma.

Virus tersebut juga merupakan virus penyebab kutil. Wanita yang mengalami penyakit condiloma accuminata sebaiknya segera diobati. Hal ini dikarenakan obat condiloma accuminata bisa berkembang menjadi kanker pada organ lainnya seperti rahim wanita.

c. Kanker ovarium

Kanker ovarium juga termasuk ke dalam penyakit pada sistem reproduksi wanita. Penyakit ini berawal dari kista ovarium yang merupakan tumor jinak dan kecil di dalam rahim.

Kista ovarium yang paling sering terjadi adalah kista dermoid, kista lutein, dan kista coklat. Tumor jinak atau kista ovarium tersebut lambat laun akan berkembang menjadi semakin besar dan ganas yang menjadi kanker ovarium.

Tumor ganas ovarium (kanker ovarium) dengan ukuran besar dapat menyebabkan kelainan letak janin. Penyebab penyakit kanker ovarium disebabkan oleh gaya hidup yang keliru, asupan, kurang olahraga, dan lainnya. Berhati-hatilah jika memiliki siklus menstruasi yang tidak teratur karena itu merupakan gejala dari penyakit kanker ovarium.

d. Kanker serviks

Kanker serviks adalah penyakit pada sistem reproduksi wanita yang juga umum terjadi. Penyakit ini disebabkan karena adanya sel-sel abnormal yang tumbuh

pada lapisan epitel serviks. Sel abnormal tersebut akan terus tumbuh dengan ganas.

Hal tersebut membuat jaringan yang ada di sekitar leher rahim jadi kurang berfungsi. Pengobatan kanker serviks umumnya dilakukan dengan mengangkat rahim, oviduk, ovarium, sepertiga dari vagina (bagian atas).

e. Kanker payudara

Kanker payudara adalah salah satu penyakit pada sistem reproduksi wanita. Meski pria juga memiliki payudara, namun penyakit yang satu ini lebih rentan menyerang wanita sebab jaringan lemak pada payudara wanita jauh lebih besar jika dibandingkan dengan pria.

f. Prostatitis

Penyakit pada sistem reproduksi pria yang umumnya sering terjadi adalah prostatitis. Prostatitis adalah penyakit pada sistem reproduksi pria di mana kelenjar prostat mengalami infeksi.

Penyebab dari prostatitis adalah bakteri. Bakteri yang menginfeksi kelenjar prostat pria adalah *E. coli*, *Klebsiella*, dan *Proteus*. Pria yang mengalami prostatitis akan memiliki beberapa gejala seperti sulit ejakulasi, gagal ereksi, disuria, dan demam.

g. Epididimitis

Penyakit pada sistem reproduksi pria yang disebabkan karena adanya infeksi pada organ reproduksi pria. Penyakit tersebut adalah epididimitis. Epididimitis adalah kondisi di mana bagian epididimis mengalami peradangan.

Beberapa bakteri yaitu *Chlamydia trachomatis*, *E. coli*, dan *Neisseria gonorrhoeae* adalah jenis bakteri yang sering menyebabkan penyakit epididimitis. Penyakit ini sering menimpa para pria yang suka berganti-ganti pasangan seks

h. Sifilis

Penyakit pada sistem reproduksi lainnya adalah sifilis. Penyakit sifilis juga biasa disebut 'raja singa'. Sifilis bisa terjadi karena aktivitas seksual. Selain itu, bisa juga karena transfusi darah. Bakteri yang menyebabkan sifilis adalah bakteri *Reponema Pallium*.

i. Gonorhea

Gonorhea atau kencing nanah juga merupakan penyakit reproduksi pria yang sering terjadi. Penyebab dari gonorhea adalah bakteri *Neisseria Gonorrhoeae*. Penyakit ini ditularkan melalui aktivitas seksual yang bebas dan menyimpang.

j. Hipogonadisme

Penyakit pada sistem reproduksi lainnya pada pria adalah hipogonadisme. Hipogonadisme adalah kondisi di mana testis pria tidak dapat memproduksi hormon testosteron yang cukup. Masalah ini bisa dialami sejak janin berkembang di perut.

4. Reproduksi Sel dan Hereditas

- **Reproduksi Sel**

Sel merupakan bagian terkecil yang menyusun tubuh kita. Setiap sel dapat memperbanyak diri dengan membentuk sel-sel baru melalui proses yang disebut pembelahan sel atau reproduksi sel. Pada organisme bersel satu (uniseluler) seperti bakteri dan protozoa, proses pembelahan sel merupakan salah satu cara untuk berkembang biak. Protozoa melakukan pembelahan sel dari satu sel menjadi dua, dari dua sel menjadi empat, dan dari empat sel menjadi delapan, dan seterusnya.

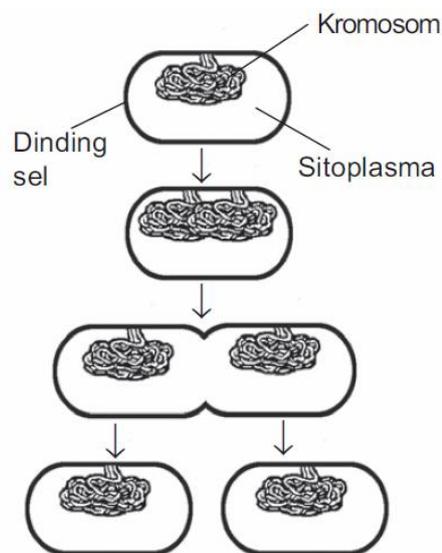
Pada makhluk hidup bersel banyak (multiseluler) pembelahan sel mengakibatkan bertambahnya sel-sel tubuh yang mengakibatkan terjadinya proses pertumbuhan pada makhluk hidup. Pembelahan sel juga berlangsung pada sel kelamin atau sel gamet yang bertanggung jawab dalam proses perkawinan antar individu. Setelah dewasa, sel kelenjar kelamin pada tubuh manusia membelah membentuk sel-sel kelamin. Seorang laki-laki menghasilkan sperma di dalam testis, sedangkan wanita menghasilkan sel telur atau ovum di dalam ovarium.

Pada dasarnya, pembelahan sel dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan secara langsung (amitosis) dan pembelahan secara tidak langsung (mitosis dan meiosis).

a. Pembelahan Sel secara Langsung (Amitosis)

Proses pembelahan secara langsung disebut juga pembelahan amitosis atau pembelahan biner. Pembelahan biner merupakan proses pembelahan dari 1 sel menjadi 2 sel tanpa melalui fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel (Gambar 3.1). Pembelahan biner banyak dilakukan organisme uniseluler (bersel satu) seperti bakteri, protozoa, dan mikroalga (alga bersel satu yang bersifat mikroskopis). Setiap terjadi pembelahan biner, satu sel akan membelah menjadi dua sel yang identik (sama persis satu dengan yang lain). Dua sel ini akan membelah lagi menjadi empat, begitu seterusnya.

Pembelahan biner dimulai dengan pembelahan inti sel menjadi dua, kemudian diikuti pembelahan sitoplasma. Akhirnya, sel terbelah menjadi dua sel anakan. Pembelahan biner dapat terjadi pada organisme prokariotik atau eukariotik tertentu. Perbedaan antara organisme prokariotik dan eukariotik, terutama berdasarkan pada ada tidaknya membran inti selnya. Membran inti sel tersebut membatasi cairan pada inti sel (nukleoplasma) dengan cairan di luar inti sel, tempat terdapatnya organel sel (sitoplasma). Organisme prokariotik tidak mempunyai membran inti sel, sedangkan organisme eukariotik mempunyai membran inti sel. Oleh karena itu, eukariotik dikatakan mempunyai inti sel (nukleus) sejati.

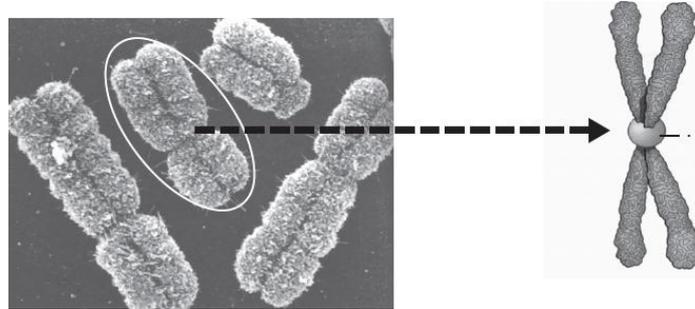


Gambar 44. Pembelahan Amitosis

Pembelahan biner pada organisme prokariotik terjadi pada bakteri. DNA bakteri terdapat pada daerah yang disebut nukleoid. DNA pada bakteri relatif lebih kecil dibandingkan dengan DNA pada sel eukariotik. DNA pada bakteri berbentuk tunggal, panjang dan sirkuler sehingga tidak perlu dikemas menjadi kromosom sebelum pembelahan.

b. Pembelahan Sel secara Tidak Langsung (Mitosis dan Meiosis)

Pembelahan sel secara tidak langsung adalah pembelahan yang melalui tahapan-tahapan tertentu. Setiap tahapan pembelahan ditandai dengan penampakan kromosom yang berbeda-beda. Di dalam inti sel terdapat benang-benang kromatin. Ketika sel akan membelah, benang-benang kromatin ini menebal dan memendek, yang kemudian disebut kromosom. Kromosom dapat berikatan dengan warna tertentu sehingga mudah diamati dengan mikroskop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kromosom merupakan benang pembawa sifat. Di dalam kromosom terdapat gen sebagai faktor pembawa sifat keturunan. Gambar kromosom ketika menebal dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 45.Kromosom

Pada waktu sel sedang membelah terjadi proses pembagian kromosom di dalamnya. Keadaan kromosom selama sel membelah dibedakan menjadi fase-fase atau tahap-tahap pembelahan sel. Pembelahan sel yang terjadi melalui fase-fase itulah yang disebut pembelahan secara tidak langsung.

Pembelahan sel secara tidak langsung dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan mitosis dan meiosis. Proses pertumbuhan dan perkembangan jaringan atau organ tubuh organisme terjadi melalui proses pembelahan sel secara mitosis. Pembelahan mitosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom induknya. Proses pembelahan mitosis terjadi pada semua sel tubuh makhluk hidup, kecuali pada jaringan yang menghasilkan gamet (sel kelamin).

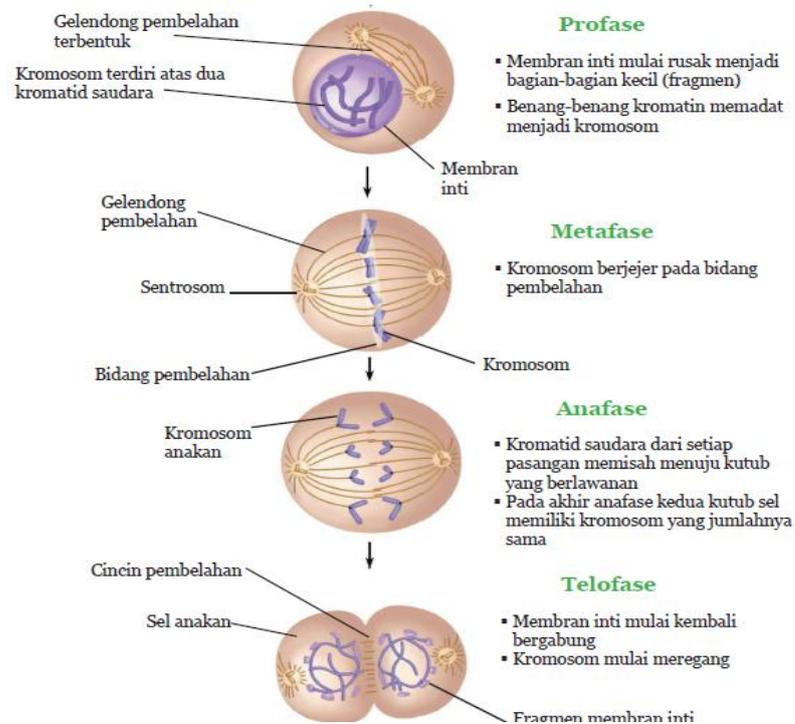
Pada pembelahan mitosis, satu sel induk membelah diri menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom diploid.

Pembelahan mitosis terjadi selama pertumbuhan dan reproduksi secara aseksual. Pada manusia dan hewan, pembelahan mitosis terjadi pada sel meristem somatik (sel tubuh) muda yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Sebagai contoh, sel telur yang telah dibuahi sperma akan membelah beberapa kali secara mitosis untuk membentuk embrio. Sel-sel pada embrio ini terus menerus membelah secara mitosis dan akhirnya terbentuk bayi. Pertumbuhan manusia dari bayi hingga dewasa juga melalui mekanisme pembelahan sel secara mitosis.

Pembelahan meiosis yang disebut juga sebagai pembelahan reduksi merupakan pembelahan sel induk dengan jumlah kromosom diploid ($2n$) menghasilkan empat sel anakan. Setiap sel anakan mengandung separuh kromosom sel induk atau disebut haploid (n). Pembelahan meiosis terjadi pada proses pembentukan sel gamet (sel kelamin) pada organ reproduksi (testis atau ovarium). Pada manusia atau hewan, sperma yang haploid dihasilkan di dalam testis dan sel telur yang juga haploid dihasilkan di dalam ovarium. Pada tumbuhan berbunga, sel gamet dihasilkan di dalam putik dan benang sari. Pembentukan gamet jantan dan gamet betina terjadi melalui tahapan gametogenesis. Penyatuan kedua gamet akan menghasilkan zigot dengan variasi genetik. Ini disebabkan karena sel anakan merupakan hasil penyatuan dua sel yang berbeda materi genetiknya. Perpaduan ini menyebabkan adanya variasi genetik.

c. Pembelahan Mitosis

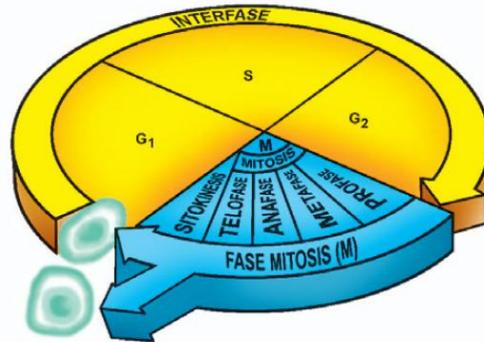
Pembelahan sel secara mitosis meliputi sejumlah tahapan tertentu. Sebenarnya, pembelahan mitosis hanyalah sebagian kecil dari siklus sel. Siklus sel terdiri dari fase pembelahan mitosis (M) dan periode pertumbuhan yang disebut interfase. Interfase merupakan bagian terbesar dari siklus sel. Interfase terdiri dari tiga sub fase, yaitu fase G1 (pertumbuhan primer), fase S (sintesis), dan fase G2 (pertumbuhan sekunder) (Gambar 3.4). Pembelahan mitosis merupakan pembelahan yang menghasilkan sel-sel tubuh (sel somatik). Secara garis besar, pembelahan sel secara mitosis terdiri dari fase istirahat (interfase), fase pembelahan inti sel (kariokinesis), dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Adapun tahapan pembelahan Mitosis dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 46. Tahapan pembelahan Mitosis.
Sumber: Campbell Biology, 2012

Interfase (Fase Istirahat)

Pada tahap ini, sel dianggap sedang istirahat dan tidak melakukan pembelahan. Namun, interfase merupakan tahap yang penting untuk mempersiapkan pembelahan atau melakukan metabolisme sel. Pada interfase, tingkah laku kromosom tidak tampak karena berbentuk benang-benang kromatin yang halus. Walaupun begitu, sel anak yang baru terbentuk sudah melakukan metabolisme. Sel perlu tumbuh dan melakukan berbagai sintesis sebelum memasuki proses pembelahan berikutnya. Pada saat interfase, sel mengalami subfase berikut.



Gambar 47. Tahapan Interfase
Sumber: Campbell Biology, 2012

Fase Pertumbuhan Primer (Growth 1 disingkat G1)

Sel yang baru terbentuk mengalami pertumbuhan tahap pertama. Pada subfase ini, sel-sel belum mengadakan replikasi DNA yang masih bersifat $2n$ (diploid). Sementara organel-organel yang ada di dalam sel seperti mitokondria, retikulum endoplasma, kompleks golgi, dan organel lainnya memperbanyak diri guna menunjang kehidupan sel.

Fase Sintesis (S)

Pada subfase ini sel melakukan sintesis materi genetik. Materi genetik adalah bahan-bahan yang akan diwariskan kepada keturunannya yaitu DNA. DNA dalam inti sel mengalami replikasi (penggandaan jumlah salinan). Jadi, subfase sintesis (penyusunan) menghasilkan 2 salinan DNA.

Fase Pertumbuhan Sekunder (Growth 2 disingkat G2)

Setelah DNA mengalami replikasi, subfase berikutnya adalah pertumbuhan sekunder (G2). Pada subfase ini, sel memperbanyak organel-organel yang dimilikinya. Ini bertujuan agar organel-organel tersebut dapat diwariskan kepada setiap sel turunannya. Pada subfase ini replikasi DNA telah selesai dan sel bersiap-siap mengadakan pembelahan secara mitosis. Selain itu, inti sel (nukleus) telah terbentuk dengan jelas dan terbungkus membran inti.

Pada subfase ini, inti sel mempunyai satu atau lebih nukleolus (membran inti sel). Di luar inti terdapat dua sentrosom yang terbentuk oleh replikasi sentrosom pada tahap sebelumnya. Sentrosom mengalami perpanjangan menyebar secara radial yang disebut aster (bintang). Pada sentrosom terdapat sepasang sentriol

yang berfungsi menentukan orientasi pembelahan sel. Walaupun kromosom telah diduplikasi pada fase S, namun pada fase G₂, kromosom belum dapat dibedakan secara individual karena masih berupa benang-benang kromatin.

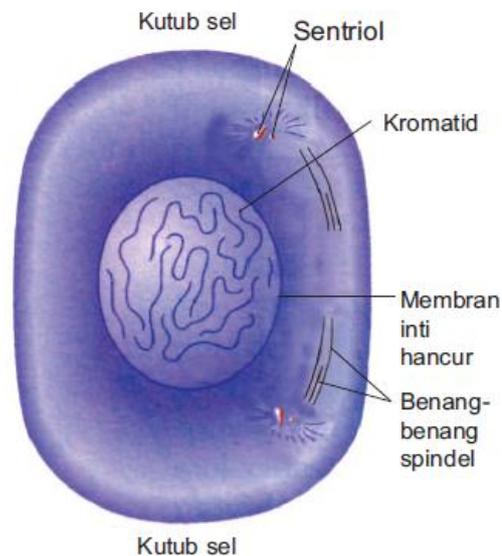
Setelah ketiga tahapan interfase dilalui, sel telah siap menjalani pembelahan secara mitosis. Seperti fase interfase, pembelahan mitosis juga terdiri dari beberapa fase. Untuk mengetahui lebih jauh tentang fase-fase pada pembelahan mitosis, simaklah penjelasan berikut.

Mitosis

Anda telah mengetahui bahwa pembelahan mitosis menghasilkan sel anakan yang identik dengan induknya. Secara garis besar, fase pembelahan mitosis terbagi menjadi dua fase, yaitu fase pembelahan inti (kariokinesis) dan fase pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Kariokinesis adalah fase pembelahan inti sel. Secara rinci, fase kariokinesis dibagi menjadi empat subfase, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Sekarang, marilah kita bahas keempat subfase tersebut.

Profase

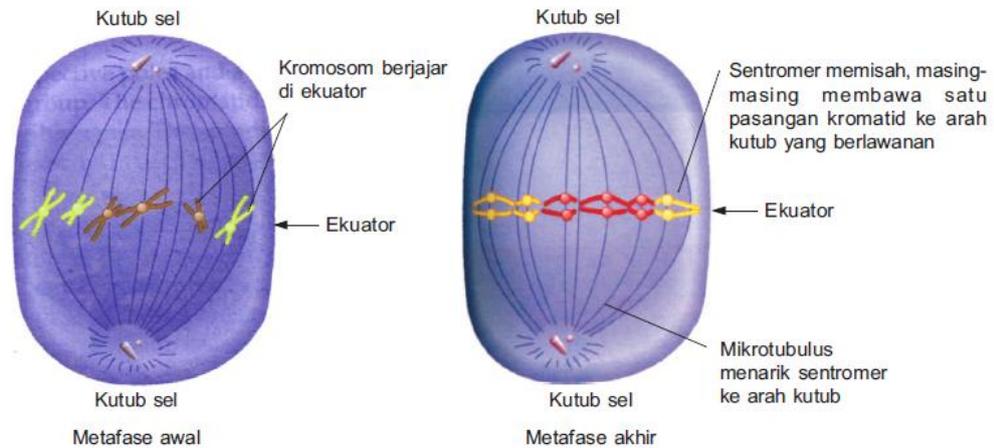
Pada permulaan profase, di dalam nukleus mulai terbentuk kromosom, yaitu benang-benang rapat dan padat yang terbentuk akibat menggulungnya kromatin. Pada fase ini, kromosom dapat dilihat menggunakan mikroskop. Selanjutnya, nukleolus menghilang dan terjadi duplikasi kromosom (kromosom membelah dan memanjang) menghasilkan 2 kromosom anakan yang disebut kromatid. Kedua kromatid tersebut bersifat identik sehingga disebut kromatid kembar (sister chromatid yang bersatu atau dihubungkan oleh sentromer pada lekukan kromosom. Perhatikan Gambar 3.5. Sentromer merupakan bagian kromosom yang menyempit, tampak lebih terang dan membagi kromosom menjadi 2 lengan. Pada akhir profase, di dalam sitoplasma mulai terbentuk gelendong pembelahan (spindel) yang berasal dari mikrotubulus. Mikrotubulus tersebut memanjang, seolah-olah mendorong dua sentrosom di sepanjang permukaan inti sel (nukleus). Akibatnya, sentrosom saling menjauh. Proses ini kemudian berlanjut ke fase berikutnya, yaitu metafase.



Gambar 48. Tahap Profase

Metafase

Tahap awal metafase (prometafase) ditandai dengan semakin memadatnya kromosom (kromosom ini terdiri dari 2 kromatid) dan terpecahnya membran inti (membran nukleus). Hal ini menyebabkan mikrotubulus dapat menembus inti sel dan melekat pada struktur khusus di daerah sentromer setiap kromatid, disebut kinetokor. Oleh karena itu, kinetokor ini berfungsi sebagai tempat bergantung bagi kromosom. Sebagian mikrotubulus yang melekat pada kinetokor disebut mikro-tubulus kinetokor, sedangkan mikrotubulus yang tidak memperoleh kinetokor disebut mikrotubulus non kinetokor. Sementara itu, mikrotubulus non kinetokor berinteraksi dengan mikrotubulus lain dari kutub sel yang berlawanan. Pada metafase, kromosom tampak jelas. Perhatikan Gambar 3.6.



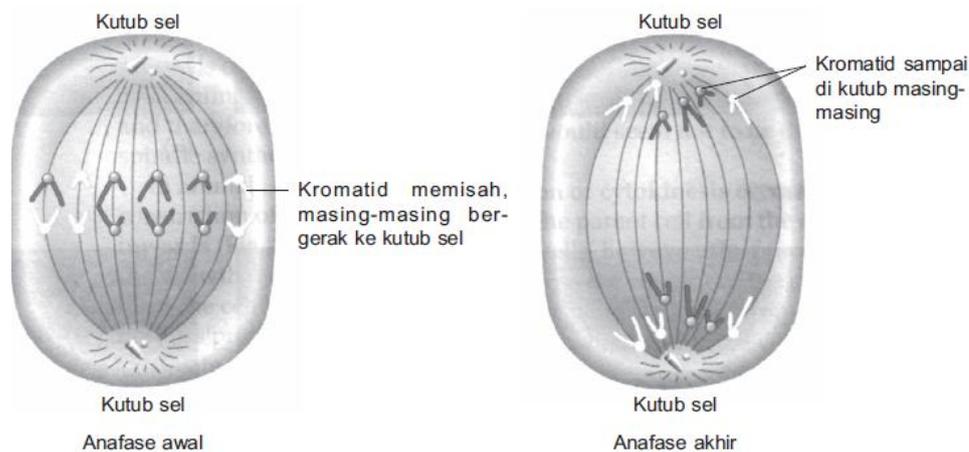
Gambar 49. Tahapan Metafase

Pada tahap metafase sesungguhnya, sentrosom telah berada pada kutub sel. Membran inti sel menghilang. Sementara itu, kromosom menempatkan diri pada bidang pembelahan yang disebut bidang metafase. Bidang ini merupakan bidang khayal yang terletak tepat di tengah sel, seperti garis katulistiwa bumi sehingga disebut juga bidang ekuator. Pada bidang ini, sentromer dari seluruh kromosom terletak pada satu baris yang tegak lurus dengan gelendong pembelahan. Kinetokor pada setiap kromatid menghadap pada kutub yang berlainan. Dengan letak kromosom berada di bidang pembelahan, maka pembagian jumlah informasi DNA yang akan diberikan kepada sel anakan yang baru, benar-benar rata dan sama jumlahnya. Tahapan ini merupakan akhir dari metafase.

Anafase

Setelah berakhirnya tahap metafase, pembelahan sel berlanjut pada tahap anafase. Tahap anafase ditandai dengan berpisahnya kromatid saudara pada bagian sentromer kromosom. Gerak kromatid ini disebabkan tarikan benang mikrotubulus yang berasal dari sentriol pada kutub sel. Anda telah mengetahui bahwa mikrotubulus melekat pada sentromer. Hal ini menyebabkan sentromer tertarik terlebih dahulu. Akibatnya, sentromer berada di depan dan bagian lengan kromatid berada di belakang. Struktur ini seperti huruf V. Perhatikan Gambar 3.7. Gerakan ini menempuh jarak sekitar $1\mu\text{m}$ (10^{-6} meter) tiap menit. Pada saat bersamaan, mikrotubulus non kinetokor semakin memanjang sehingga jarak kedua kutub sel semakin jauh. Selanjutnya, masing-masing kromatid bergerak ke

arah kutub yang berlawanan dan berfungsi sebagai kromosom lengkap, dengan sifat keturunan yang sama (identik). Untuk menjalankan tugasnya ini, mikrotubulus telah mengalami peruraian pada bagian kinetokornya. Lalu bagaimanakah bidang pembelahan sel pada hewan dan tumbuhan?

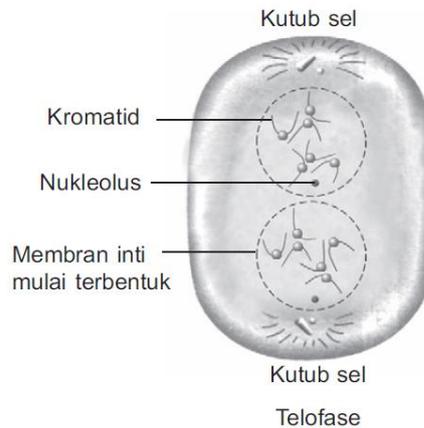


Gambar 50. Tahapan Anafase

Salah satu perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan adalah ada tidaknya sentriol. Pada sel tumbuhan, peran sentriol digantikan oleh kromosom sehingga arah pembelahan tetap menuju ke kutub sel. Pada sel hewan, sentriol pada kutub sel merupakan arah yang dituju oleh gerakan kromatid saat pembelahan.

Telofase

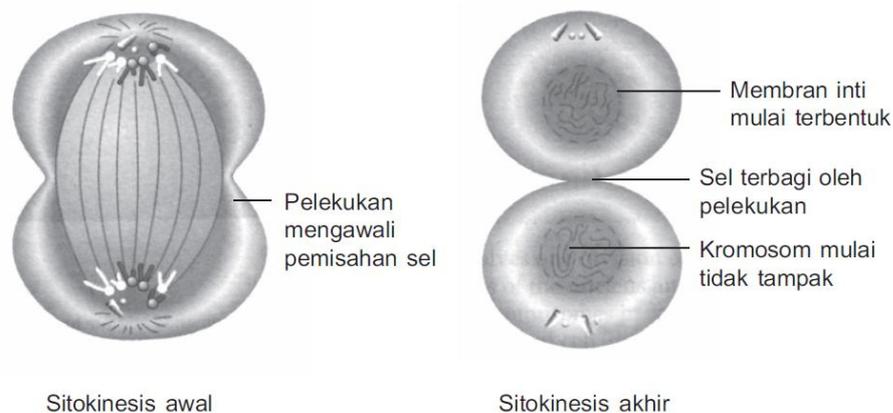
Pada tahap telofase ini, inti sel anakan terbentuk kembali dari fragmen-fragmen nukleus. Bentuk selnya memanjang akibat peran mikrotubulus non kinetokor. Benang-benang kromatin mulai longgar. Perhatikan gambar 3.8. Dengan demikian, fase kariokinesis yang menghasilkan dua inti sel anak yang identik secara genetik telah berakhir, namun dua inti sel masih berada dalam satu sel. Agar kedua inti terpisah menjadi sel baru, perlu adanya pembelahan sitoplasma yang disebut sitokinesis. Sitokinesis terjadi, segera setelah telofase selesai. Pada fase sitokinesis terjadi pembelahan sitoplasma diikuti pembentukan sekat sel baru, sehingga terbentuk dua sel anakan.



Gambar 51. Tahapan Telofase

Pada sel hewan, sitokinesis ditandai dengan pembentukan alur pembelahan melalui pelekukan permukaan sel di sekitar bekas bidang ekuator. Di sepanjang alur melingkar, terdapat mikrofilamen yang terdiri dari protein aktin dan miosin. Protein tersebut berperan dalam kontraksi otot atau pergerakan sel yang lain. Kontraksi ini semakin ke dalam sehingga menjepit sel dan membagi isi sel menjadi 2 bagian yang sama.

Berbeda dengan sel hewan, sel tumbuhan mempunyai dinding sel yang keras. Oleh karena itu, pada sitokinesis tidak terbentuk alur pembelahan. Perhatikan Gambar 3.9. Sitokinesis terjadi dengan pembentukan pelat sel (cell plate) yang terbentuk oleh vesikula di sekitar bidang ekuator. Vesikula-vesikula yang dibentuk oleh badan golgi tersebut saling bergabung. Penggabungan juga terjadi dengan membran plasma diikuti terbentuknya dinding sel yang baru oleh materi dinding sel yang dibawa oleh vesikula.

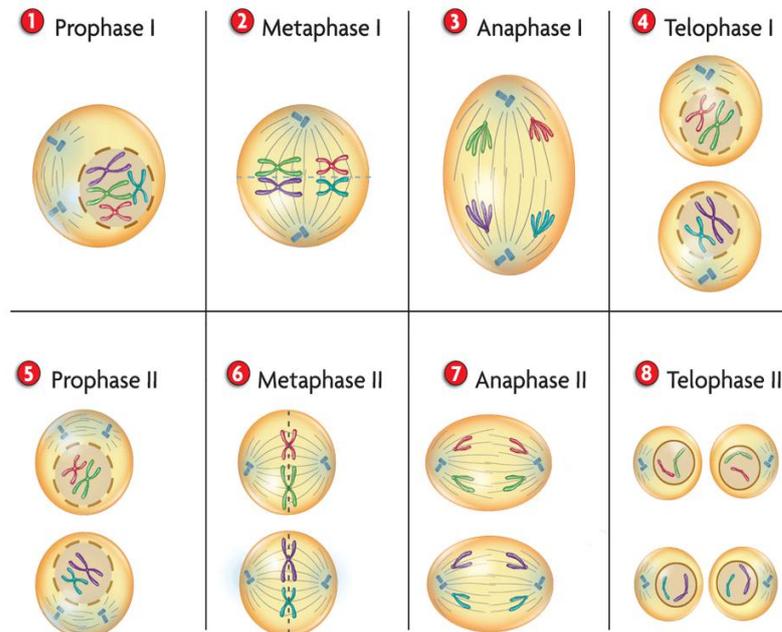


Gambar 52. Tahapan Sitokinesis

d. Pembelahan Meiosis

Makhluk hidup yang sejenis mempunyai jumlah kromosom yang sama pada setiap sel. Misalnya, manusia mempunyai 46 kromosom, kecuali pada sel reproduksi atau sel kelaminnya. Sel kelamin pada manusia hanya mempunyai setengah jumlah kromosom sel tubuh lainnya, yaitu 23 kromosom. Jumlah setengah kromosom (haploid) ini diperlukan untuk menjaga agar jumlah kromosom anak tetap 46. Anak terbentuk dari perpaduan antara sel kelamin betina (sel telur) dan sel kelamin jantan (sperma). Perpaduan kedua sel kelamin yang masing-masing memiliki 23 kromosom ini akan menghasilkan sel anak (calon janin) yang mempunyai 46 kromosom. Oleh sebab itu, pembelahan meiosis sangat berpengaruh dalam perkembangan makhluk hidup.

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi, yaitu pengurangan jumlah kromosom pada sel-sel kelamin (sel gamet jantan dan sel gamet betina). Sel gamet jantan pada hewan (mamalia) dibentuk di dalam testis dan gamet betinanya dibentuk di dalam ovarium. Gamet jantan pada tumbuhan dibentuk di dalam organ reproduktif berupa benang sari, sedangkan gamet betinanya dibentuk di dalam putik. Sel kelamin betina pada hewan berupa sel telur, sedangkan pada tumbuhan berupa putik. Pada dasarnya, tahap pembelahan meiosis serupa dengan pembelahan mitosis. Hanya saja, pada meiosis terjadi dua kali pembelahan, yaitu meiosis I dan meiosis II. Masing-masing pembelahan meiosis terdiri dari tahap-tahap yang sama, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Perhatikan Gambar 3.10 berikut ini.



Gambar 53. Tahapan pembelahan Meiosis

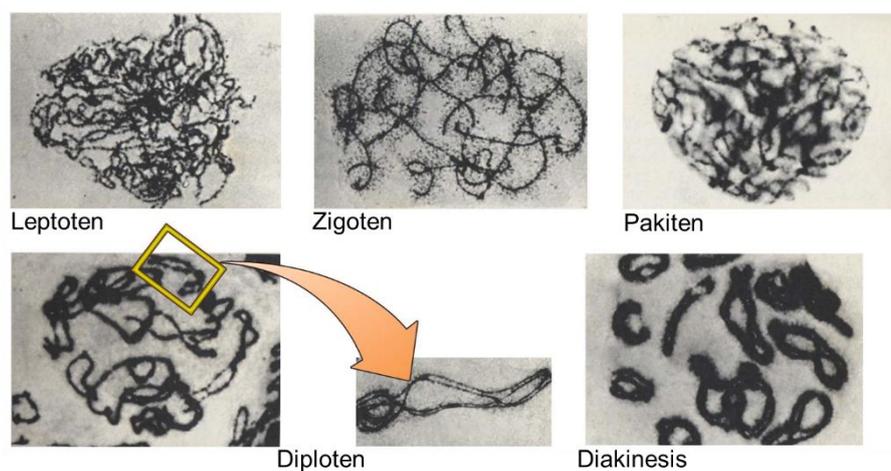
Tahap Meiosis I

Seperti halnya pembelahan mitosis, sebelum mengalami pembelahan meiosis, sel kelamin perlu mempersiapkan diri. Fase persiapan ini disebut tahap interfase. Pada tahap ini, sel melakukan persiapan berupa penggandaan DNA dari satu salinan menjadi dua salinan (seperti interfase pada mitosis). Tingkah laku kromosom masih belum jelas terlihat karena masih berbentuk benang-benang halus (kromatin) sebagaimana interfase pada mitosis. Selain itu, sentrosom juga bereplikasi menjadi dua (masing-masing dengan 2 sentriol), seperti tampak pada gambar di samping. Sentriol berperan dalam menentukan arah pembelahan sel.

Setelah terbentuk salinan DNA, barulah sel mengalami tahap pembelahan meiosis I yang diikuti tahap meiosis II. Tahap meiosis I terdiri atas profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I, serta sitokinesis I. Bagaimanakah ciri-ciri setiap fase pembelahan tersebut? Berikut akan dibahas fase-fase meiosis I pada sel hewan dengan 4 kromosom diploid ($2n = 2$). Untuk lebih jelasnya, simaklah penjelasan di bawah ini.

Profase I

Pada tahap meiosis I, profase I merupakan fase terpanjang atau terlama dibandingkan fase lainnya bahkan lebih lama daripada tahap profase pada pembelahan mitosis. Profase I dapat berlangsung dalam beberapa hari. Biasanya, profase I membutuhkan waktu sekitar 90% dari keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam pembelahan meiosis. Perhatikan gambar 3.11. Tahapan ini terdiri dari lima subfase, yaitu leptoten, zigoten, pakiten, diploten, dan diakinesis.



Gambar 54. Tahapan Profase 1

Leptoten

Subfase leptoten ditandai adanya benang-benang kromatin yang memendek dan menebal. Pada subfase ini mulai terbentuk sebagai kromosom homolog. Anda perlu membedakan kromosom homolog dengan kromatid saudara.

Zigoten

Kromosom homolog saling berdekatan atau berpasangan menurut panjangnya. Peristiwa ini disebut sinapsis. Kromosom homolog yang berpasangan ini disebut bivalen (terdiri dari 2 kromosom homolog).

Pakiten

Kromatid antara kromosom homolog satu dengan kromosom homolog yang lain disebut sebagai kromatid bukan saudara (non-sister chromatids). Dengan

demikian, pada setiap kelompok sinapsis terdapat 4 kromatid (1 pasang kromatid saudara dan 1 pasang kromatid bukan saudara). Empat kromatid yang membentuk pasangan sinapsis ini disebut tetrad.

Diploten

Setiap bivalen mengandung empat kromatid yang tetap berkaitan atau berpasangan di suatu titik yang disebut kiasma (tunggal). Apabila titik-titik perlekatan tersebut lebih dari satu disebut kiasmata. Proses perlekatan atau persilangan kromatid-kromatid disebut pindah silang (crossing over). Pada proses pindah silang, dimungkinkan terjadinya pertukaran materi genetik (DNA) dari homolog satu ke homolog lainnya. Pindah silang ini-lah yang memengaruhi variasi genetik sel anakan.

Diakinesis

Pada subfase ini terbentuk benang-benang spindel pembelahan (gelendong mikrotubulus). Sementara itu, membran inti sel atau karioteka dan nukleolus mulai lenyap. Profase I diakhiri dengan terbentuknya tetrad yang membentuk dua pasang kromosom homolog. Perhatikan lagi Setelah profase I berakhir, kromosom mulai bergerak ke bidang metafase. Perhatikan bagaimana perubahan bentuk kromosom selama in

Metafase I

Pada metafase I, kromatid hasil duplikasi kromosom homolog berjajar berhadapan di sepanjang daerah ekuatorial inti (bidang metafase I). Membran inti mulai menghilang. Mikrotubulus kinetokor dari salah satu kutub melekat pada satu kromosom di setiap pasangan. Sementara mikrotubulus dari kutub berlawanan melekat pada pasangan-an homolognya. Dalam hal ini, kromosom masih bersifat diploid.

Anafase I

Setelah tahap metafase I selesai, gelendong mikrotubulus mulai menarik kromosom homolog sehingga pasangan kromosom homolog terpisah dan masing-masing menuju ke kutub yang berlawanan. Peristiwa ini mengawali tahap anafase I. Namun, kromatid saudara masih terikat pada sentromernya dan

bergerak sebagai satu unit tunggal. Inilah perbedaan antara anafase pada mitosis dan meiosis. Pada mitosis, mikrotubulus memisahkan kromatid yang bergerak ke arah berlawanan. Coba pelajari lagi tahap anafase pada mitosis.

Telofase I

Pada telofase, setiap kromosom homolog telah mencapai kutub-kutub yang berlawanan. Ini berarti setiap kutub mempunyai satu set kromosom haploid. Akan tetapi, setiap kromosom tetap mempunyai dua kromatid kembar. Pada fase ini, membran inti muncul kembali. Peristiwa ini kemudian diikuti tahap selanjutnya, yaitu sitokinesis.

Sitokinesis

Anda masih ingat pengertian sitokinesis pada sel hewan maupun tumbuhan bukan? Ya, sitokinesis merupakan proses pembelahan sitoplasma. Tahap sitokinesis terjadi secara simultan dengan telofase. Artinya, terjadi secara bersama-sama. Tahap ini merupakan tahap di antara dua pembelahan meiosis. Alur pembelahan atau pelat sel mulai terbentuk. Pada tahap ini tidak terjadi perbanyakan (replikasi) DNA. Hasil pembelahan meiosis I menghasilkan dua sel haploid yang mengandung setengah jumlah kromosom homolog. Meskipun demikian, kromosom tersebut masih berupa kromatid saudara (kandungannya masih rangkap). Untuk menghasilkan sel anakan yang mempunyai kromosom haploid diperlukan proses pembelahan selanjutnya, yaitu meiosis II. Jarak waktu antara meiosis I dengan meiosis II disebut dengan interkinesis. Jadi, tujuan meiosis II adalah membagi kedua salinan DNA pada sel anakan yang baru hasil dari meiosis I. Meiosis II terjadi pada tahap-tahap yang serupa seperti meiosis I. Nah, untuk mengetahui lebih lanjut tentang tahap meiosis II, perhatikan uraian selanjutnya.

Tahap Meiosis II

Tahap meiosis II juga terdiri dari profase, metafase, anafase, dan telofase. Tahap ini merupakan kelanjutan dari tahap meiosis I. Masing-masing sel anakan hasil pembelahan meiosis I akan membelah lagi menjadi dua. Sehingga, ketika pembelahan meiosis telah sempurna, dihasilkan empat sel anakan. Hal yang perlu diingat adalah bahwa jumlah kromosom keempat sel anakan ini tidak lagi

diploid ($2n$) tetapi sudah haploid (n). Proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi pada tahap meiosis II. Bagaimanakah proses pengurangan jumlah kromosom ini terjadi? Anda akan mengetahuinya setelah mempelajari uraian di bawah ini.

Profase II

Fase pertama pada tahap pembelahan meiosis II adalah profase II. Pada fase ini, kromatid saudara pada setiap sel anakan masih melekat pada sentromer kromosom. Sementara itu, benang mikrotubulus mulai terbentuk dan kromosom mulai bergerak ke arah bidang metafase. Tahap ini terjadi dalam waktu yang singkat karena diikuti tahap berikutnya.

Metafase II

Pada metafase II, setiap kromosom yang berisi dua kromatid, merentang atau berjajar pada bidang metafase II. Pada tahap ini, benang-benang spindel (benang mikrotubulus) melekat pada kinetokor masing-masing kromatid.

Anafase II

Fase ini mudah dikenali karena benang spindel mulai menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan yang berlawanan. Akibatnya, kromosom memisahkan kedua kromatidnya untuk bergerak menuju kutub yang berbeda. Kromatid yang terpisah ini selanjutnya berfungsi sebagai kromosom individual.

Telofase II

Pada telofase II, kromatid yang telah menjadi kromosom mencapai kutub pembelahan. Hasil akhir telofase II adalah terbentuknya 4 sel haploid, lengkap dengan satu salinan DNA pada inti selnya (nuklei).

Sitokinesis II

Selama telofase II, terjadi pula sitokinesis II, ditandai adanya sekat sel yang memisahkan tiap inti sel. Akhirnya terbentuk 4 sel kembar yang haploid. Berdasarkan uraian di depan, sel-sel anakan sebagai hasil pembelahan meiosis mempunyai sifat genetik yang bervariasi satu sama lain. Variasi genetik yang

dibawa sel kelamin orang tua menyebabkan munculnya keturunan yang bervariasi juga.

- **Pewarisan Sifat**

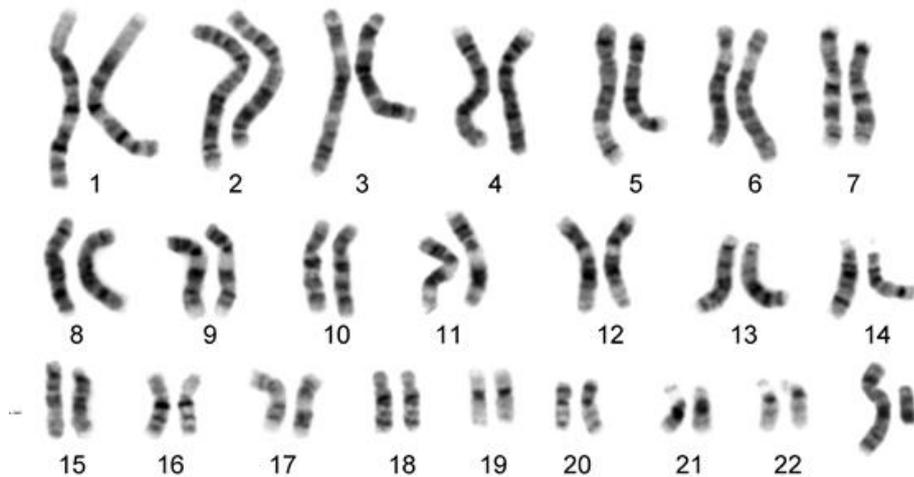
Apabila kita mengamati alam sekitar, ada banyak persamaan maupun perbedaan pada makhluk hidup. Persamaan dan perbedaan ini biasa terjadi antara induk dengan keturunannya atau antara orang tua dan anak-anaknya. Misalnya saja dalam satu keluarga, dapat ditemui adanya persamaan atau perbedaan sifat yang tampak dan sifat yang tak tampak antara anak dengan kedua orang tuanya. Sifat yang tampak antara lain raut muka, bentuk tubuh, bentuk wajah, warna kulit, warna mata, dan jenis rambut. Sedangkan sifat yang tak tampak yaitu kecerdasan, bakat, suara, dan golongan darah.

Pewarisan sifat atau hereditas merupakan penurunan sifat dari induk (orang tua) kepada keturunannya (anak). Ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat ini disebut genetika. Sifat-sifat suatu makhluk hidup diwariskan melalui sel kelamin jantan dan sel kelamin betina. Bagian sel yang bertanggung jawab terhadap penurunan sifat ini terdapat di bagian inti sel (nukleus). Di dalam inti sel terdapat kromosom. Kromosom merupakan benang-benang halus yang berfungsi sebagai faktor pembawa sifat keturunan. Di dalam kromosom terdapat substansi pembawa sifat keturunan yang terdiri atas senyawa kimia yang disebut gen. Gen berfungsi sebagai penentu sifat-sifat suatu makhluk hidup. Kromosom dan gen inilah yang mengendalikan pewarisan sifat pada makhluk hidup.

Kromosom

Kromosom adalah materi genetik yang berupa benang-benang halus (kromatin) yang berfungsi sebagai pembawa informasi genetik kepada keturunannya. Setiap inti sel suatu makhluk hidup memiliki dua jenis kromosom yaitu kromosom tubuh (autosom) dan kromosom kelamin (gonosom).

Kromosom tubuh berfungsi untuk menentukan sifat-sifat tubuh suatu organisme. Kromosom tubuh dilambangkan dengan A yang berasal dari kata autosom yang terdiri dari 22 pasang atau berjumlah 44 buah. Autosom terletak pada sel tubuh dan berpasangan sehingga disebut kromosom diploid (ditulis dengan $2n$). Struktur kromosom manusia dapat dilihat pada gambar 3.12.

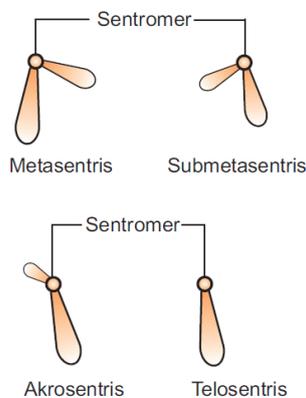


Gambar 3.12. Struktur kromosom manusia
Sumber: <http://www.generasibiologi.com>

Kromosom kelamin (gonosom) berfungsi untuk menentukan jenis kelamin suatu organisme. Gonosom berjumlah 1 pasang atau 2 buah, gonosom pada laki-laki dilambangkan dengan XY dan pada perempuan dilambangkan dengan XX. Gonosom terletak pada sel kelamin dan tidak berpasangan sehingga disebut kromosom haploid (ditulis dengan n). Kromosom adalah suatu unit struktural seperti benang yang membawa gen dan terdapat dalam inti sel. Sepasang kromosom adalah "homolog" sesamanya, artinya mengandung lokus gen-gen yang bersesuaian yang disebut alel. Gen adalah satuan informasi genetik pembawa sifat yang berupa urutan nukleotida pada DNA.

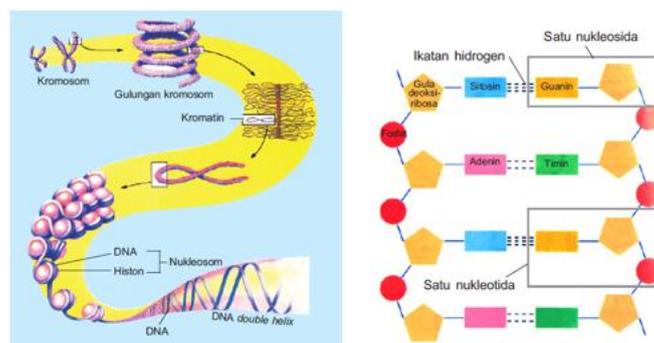
Lokus adalah lokasi yang diperuntukkan bagi gen dalam kromosom. Alel ganda (multiple alleles) adalah adanya lebih dari satu alel pada lokus yang sama. Secara morfologi, kromosom terdiri atas lengan kromosom, sentromer (tempat melekatnya dua lengan kromosom) serta kinetokor (bagian sentromer yang menghubungkan kromatid dengan gelendong mitotik). Perhatikan Gambar 3.13. Berdasarkan posisi sentromernya, kromosom dibedakan atas beberapa tipe, yaitu :

- Metasentrik yaitu kromosom dengan sentromer terletak tepat ditengah-tengah sehingga lengan kromosom sama panjang
- Submetasentrik yaitu kromosom dengan sentromer hampir ke tengah sehingga lengan kromosom terbagi tidak sama panjang
- Telosentrik yaitu kromosom dengan sentromer terletak di ujung lengan kromosom
- Akrosentrik yaitu kromosom dengan sentromer hampir di ujung lengan kromosom sehingga lengan kromosom berbeda panjangnya secara ekstrim



Gambar 55. Posisi Sentromer Kromosom

Di dalam kromosom terdapat jalinan DNA yang kompleks yang dikemas oleh suatu protein histon sehingga termampatkan sedemikian rupa. Tiap unit DNA (deoxyribonucleat acid) tersusun atas pasangan basa (purin dan pirimidin) yang dihubungkan oleh ikatan hidrogen dan rangka utama berupa gula-fosfat. Struktur DNA ini berupa double helix. Perhatikan gambar 3.14. berikut.



Gambar 56. Struktur DNA
Sumber: Campbell Biology, 2012

Gen

Komposisi dan susunan gen-gen di dalam tubuh makhluk hidup disebut genotipe. Genotipe setiap makhluk hidup berbeda-beda yang dapat menentukan sifat-sifat suatu makhluk hidup tersebut. Pada dasarnya, genotipe adalah sifat pada makhluk hidup yang tidak terlihat. Genotipe inilah yang nantinya akan memunculkan sifat fenotipe. Fenotipe adalah sifat pada makhluk hidup yang dapat terlihat. Sifat fenotipe merupakan perpaduan antara sifat genotipe dan lingkungannya.

Pada umumnya, suatu gen dinyatakan dengan simbol huruf. Huruf kapital menyatakan gen yang bersifat dominan, misalnya M (merah), sedangkan huruf kecil menyatakan gen bersifat resesif, misalnya m (putih). Gen selalu berpasangan misalnya MM, Mm atau mm. Gen yang sama jenisnya seperti MM atau mm disebut homozigot, sedangkan gen yang berbeda jenisnya seperti Mm disebut heterozigot. Jika gen dominan bersama-sama dengan gen resesif, sifat yang akan tampak adalah sifat yang dibawa oleh gen dominan dan sifat yang dibawa oleh gen resesif tidak akan muncul. Sebagai contoh, sifat pendek dominan terhadap sifat tinggi. Jika gen untuk pendek muncul bersama-sama dengan gen untuk tinggi, sifat pendeklah yang akan muncul pada keturunannya.

a. Hereditas dan Persilangan

Mekanisme pewarisan sifat dari tetua kepada anak atau keturunannya tidak terlepas dari proses reproduksi seksual. Dalam reproduksi seksual, unit penting yang saling bersatu adalah sperma (sel dengan segala perangkat genetiknya dari individu jantan) dan ovum (dari individu betina). Kedua unit sel reproduktif tersebut akan melebur (fertilisasi) dan membentuk cikal bakal individu baru berupa zigot. Dengan demikian, sifat turunannya merupakan kombinasi dari dua sifat dari tetua (jantan dan betina atau ayah dan ibu). Dari proses reproduksi seksual dapat diketahui bahwa material genetik dalam sel-sel kelamin akan bergabung secara bebas saat fertilisasi dan pada awalnya terpisah secara bebas pula saat gametogenesis (pembentukan selsel gamet: spermatogenesis dan oogenesis).

b. Konsep-Konsep Penting Hukum Mendel

Mendel mempelajari beberapa sifat pada tanaman kapri seperti tinggi tanaman, warna bunga dan lain-lainnya yang bersifat dominan dan resesif. Hasil percobaan monohibrid menunjukkan bahwa pada seluruh tanaman F1 hanya sifat (ciri) dari salah satu tetua yang muncul. Pada generasi F2, semua ciri yang dipunyai oleh tetua (P) yang disilangkan muncul kembali. Mendel menarik kesimpulan penting sebagai berikut :

Setiap sifat organisme ditentukan oleh pasangan dari unit-unit faktor yang berbeda (gen). Setiap individu memiliki dua unit faktor yang bersama-sama mengendalikan ekspresi dari suatu sifat tertentu. Faktor tersebut kemudian diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya.

Dalam setiap tanaman terdapat dua faktor (sepasang) untuk masing-masing sifat, yang kemudian dikenal dengan istilah 2 alel; satu faktor berasal dari tetua jantan dan satu lagi berasal dari tetua betina. Dalam penggabungan tersebut setiap faktor tetap utuh dan selalu mempertahankan identitasnya. Pada saat pembentukan gamet, setiap faktor dapat dipisah kembali secara bebas.

Perbandingan pada F2 untuk ciri dominan : resesif = 3 : 1, terjadi karena adanya proses penggabungan secara acak antara gamet-gamet betina dan jantan dari tanaman F1.

Hukum Mendel I : Pada pembentukan gamet (gametogenesis), unit faktor yang merupakan pasangan akan disegregasikan secara bebas ke dalam dua sel anak. Jika satu individu mengandung sepasang unit faktor (misal : keduanya untuk tinggi), maka semua gamet menerima satu unit faktor tinggi. Jika satu individu mengandung sepasang unit faktor yang tidak sama (misal : 1 untuk tinggi; 1 untuk pendek), maka masing-masing gamet mempunyai probabilitas 50% untuk mendapat unit faktor untuk tinggi dan 50% untuk pendek.

Hukum Mendel II : Jika dua individu berbeda dengan yang lain dalam dua pasang sifat atau lebih, maka diturunkannya sifat yang sepasang itu tidak tergantung dari pasangan sifat yang lain (Prinsip segregasi bebas).

Pewarisan Sifat dan Variasi Genetis

Secara garis besar, ada tiga mekanisme yang menyebabkan terjadinya variasi genetik pada suatu populasi. Ketiga mekanisme ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pindah silang

Telah dijelaskan di depan bahwa sel kelamin membelah secara meiosis. Pada profase I, kromosom homolog muncul pertama kali sebagai pasangan. Kromosom-kromosom homolog ini saling bersilangan pada kiasmata. Pada kiasmata inilah terjadi pindah silang (crossing over) materi genetik dari kromosom satu ke kromosom lainnya. Pindah silang ini terjadi ketika dua kromatid dari kromosom yang berbeda bertukar tempat. Kromatid yang sudah tidak identik lagi dengan kromatid saudaranya karena terjadi pindah silang disebut dyad. Pada manusia, dua atau tiga kasus kejadian pindah silang dapat terjadi untuk setiap pasangan kromosom.

Pemilahan kromosom secara bebas

Anda telah mengetahui bahwa pembelahan sel selalu diikuti pembagian kromosom pada sel anakan yang dihasilkan. Begitu pula dengan pembelahan meiosis. Pada metafase I, pasangan kromosom homolog terletak pada bidang metafase. Orientasi pasangan homolog yang menghadap kutub-kutub sel bersifat acak. Setiap pasangan mempunyai dua kemungkinan dalam penyusunan ini. Kita ambil contoh organisme yang mempunyai empat kromosom diploid ($2n = 4$). Organisme ini mempunyai 2 kromosom dalam sel gametnya. Dua kromosom ini dapat menghasilkan empat kemungkinan sel anakan dengan kombinasi kromosom berbeda satu sama lain. Bagaimanakah dengan manusia? Manusia mempunyai 46 kromosom diploid. Ini berarti pada sperma atau sel telur terdapat 23 kromosom haploid. Dari 23 kromosom ini mempunyai sekitar 8 juta kemungkinan penyusunan homolog pada metafase. Kandungan kromosom pada sel sperma atau sel telur ini akan diwariskan pada anak keturunannya. Jadi, setiap manusia sebenarnya merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan pemilahan kromosom yang diwariskan oleh bapak atau ibu kandungnya.

Fertilisasi random

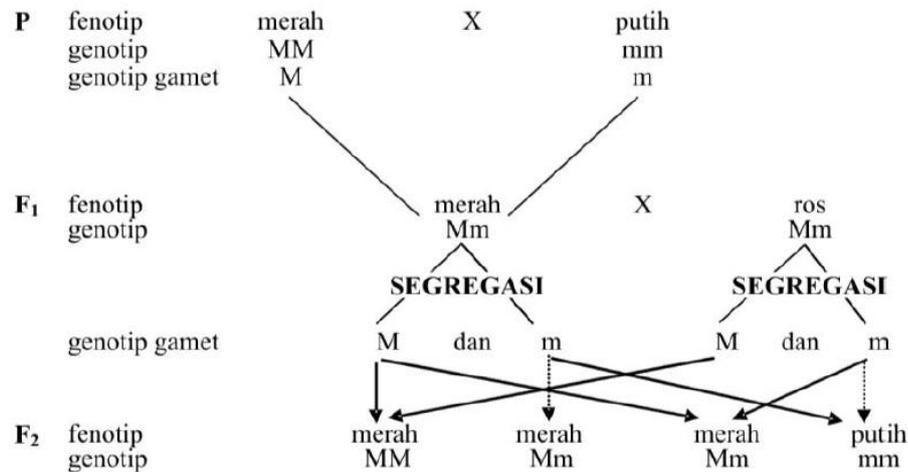
Di dalam sebuah keluarga, seorang anak mempunyai sifat yang berbeda dengan saudara-saudaranya. Seorang anak tidak ada yang memiliki sifat yang sama persis dengan ibu atau bapaknya. Akan tetapi, sifatnya kemungkinan besar merupakan perpaduan sifat kedua orang tuanya. Ini jelas sangat masuk akal, sebab seorang anak dihasilkan dari pembuahan 1 sel telur ibu oleh 1 sel sperma bapak. Sel telur yang dibuahi sperma akan menjadi zigot sebagai cikal bakal manusia. Jadi, genetik seorang anak sangat dipengaruhi kromosom yang terkandung dalam sel telur atau sperma tersebut. Anda mengetahui bahwa setiap sel kelamin (sperma dan sel telur) yang menentukan kromosom anak merupakan 1 dari 8 juta kemungkinan. Hal ini berarti, seorang manusia merupakan salah satu dari 64 trilyun ($8 \text{ juta} \times 8 \text{ juta}$) kombinasi kromosom diploid.

Tipe-tipe Persilangan

Berdasarkan sifat atau karakter individu yang mengalami persilangan, maka terdapat berbagai tipe persilangan, diantaranya adalah sebagai berikut :

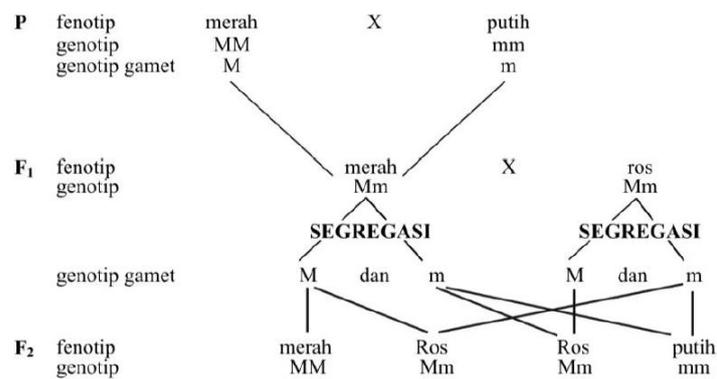
Persilangan monohibrid (persilangan dengan satu sifat beda)

Dapat dianalisa dengan mengawinkan dua strain parental yang masing-masing memperlihatkan satu sifat yang berbeda. Dalam kondisi dominan-resesif penuh, hasil persilangan pada generasi pertama (F1) akan memperlihatkan karakter dominan seluruhnya, dan pada generasi kedua (F2) baru akan muncul karakter dominan dan resesif secara bersamaan. Rasio fenotip pada F1 100% dominan, sedangkan pada F2 adalah 3 : 1 (dominan : resesif). Lihat hasil pada persilangan bunga merah dominan terhadap bunga putih resesif. (Gambar 3. 15).



Gambar 57. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri yang berbunga putih, akan menghasilkan turunan F₂ dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 3 bagian, dan yang berbunga putih 1 bagian (3:1), dilihat dari fenotip dan genotipnya.

Dalam kondisi kodominan (intermediet), fenotip F₁ memperlihatkan karakter yang berbeda dengan tetua, sedangkan pada F₂ akan muncul 3 macam fenotip. Rasio fenotip F₁ 100% fenotip intermediet, sedangkan pada F₂, rasio fenotip adalah 1 : 2 : 1 (dominan : intermediet : resesif). (gambar 3.16)



Gambar. 3.16. Pembastaran tanaman kacang kapri berbunga merah dengan kacang kapri berbunga putih, akan menghasilkan turunan F₂ dengan tanaman kacang kapri berbunga merah 1 bagian, yang berbunga ros 2 bagian dan yang berbunga putih 1 bagian atau dengan perbandingan = 1:2:1. Di sini ada sifat intermediet.

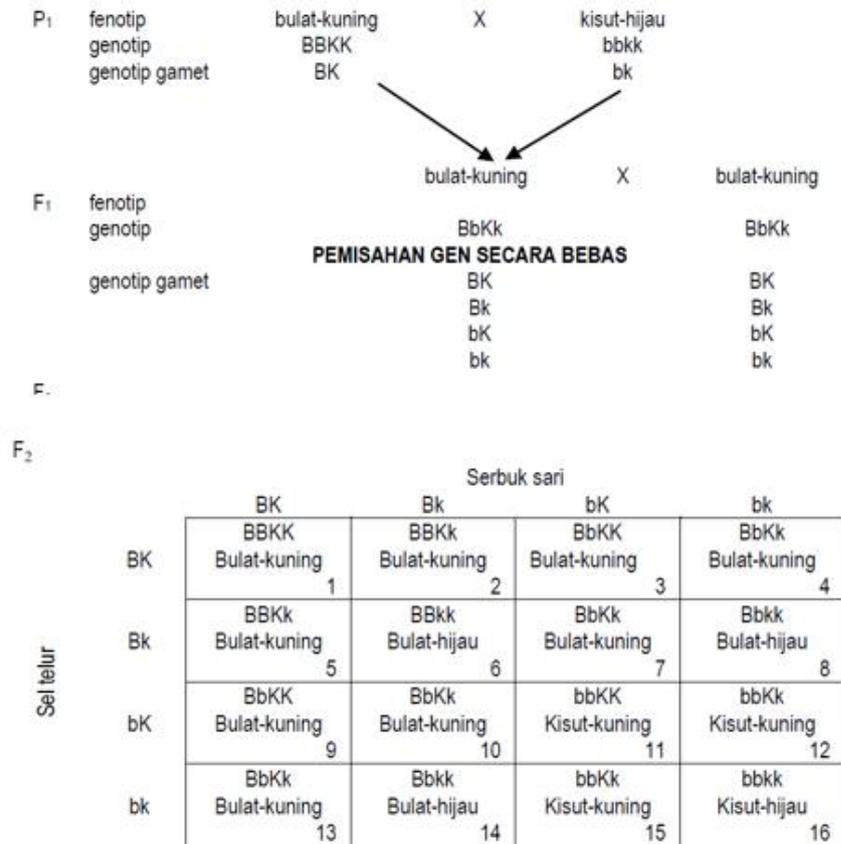
Persilangan dihibrid (persilangan dengan dua sifat beda)

Secara umum, perkawinan atau persilangan alamiah melibatkan seluruh karakter yang dimiliki oleh kedua tetua. Oleh sebab itu, persilangan dua individu dengan lebih dari satu sifat beda lebih mungkin terjadi daripada persilangan dengan satu sifat beda. Dalam kondisi dominan-resesif penuh, rasio fenotip pada F1 adalah 100% mencirikan karakter dominan, sedangkan pada F2, rasionya menjadi 9 : 3 : 3 : 1. membastarkan tanaman kacang kapri biji bulat warna kuning (selanjutnya disingkat bulat-kuning) galur murni, dengan kacang kapri biji kisut warna hijau (disingkat kisut-hijau), juga galur murni. Diperoleh turunan F1 dibastarkan dengan turunan F1 lainnya dan menghasilkan turunan F2 sebagai berikut: 315 bulat-kuning, 108 bulat-hijau, 101 kisut-kuning, 32 kisut hijau.

Hal yang menarik dari hasil pembastaran ini ialah timbul dua jenis biji baru yang sebelumnya tidak dimiliki oleh P (induk) atau oleh turunan F1. Kedua jenis biji ini adalah bulat-hijau dan kisut-kuning. Jenis baru ini, lain dari P maupun dari F1, disebut sebagai kombinasi baru atau rekombinasi. Mengapa disebut sebagai rekombinasi? Pertanyaan ini dapat dijawab dengan melihat susunan gen dari kedua jenis biji tersebut. Susunan gennya lain dengan yang telah diketahui, yaitu pada P maupun pada F1. Jadi, di sini terjadi susunan baru dari gen. Selain itu, diperoleh macam biji seperti macam biji induknya (P), yaitu bulat-kuning dan kisut-hijau, yang selanjutnya disebut sebagai kombinasi parental. Disebut demikian karena fenotipnya sama dengan induk yang dibastarkan.

Pembastaran dihibrid dapat ditulis seperti pada Gambar 3.17 berikut ini. Pada pembentukan gamet turunan F1, Mendel menyatakan bahwa sebuah gamet hanya akan mempunyai salah satu gen dari sepasang gen sehingga sebuah gamet hanya akan mempunyai B (gen bulat) atau b (gen kisut) dan K (gen kuning) atau k (gen hijau). Empat macam gamet akan dihasilkan dalam jumlah yang sama, yaitu BK, Bk, bK dan bk.

Dari turunan F2 terdapat 16 kemungkinan kombinasi turunan yang terdiri dari: 9 bagian bulat-kuning, 3 bagian bulat-hijau, 3 bagian kisut-kuning dan 1 bagian kisut-hijau sehingga dapat dikatakan bahwa perbandingan turunan yang diperoleh pada F2 adalah = 9:3:3:1. Perbandingan ini dapat ditulis dengan cara lain, yaitu $9/16 : 3/16 : 3/16 : 1/16$.



Gambar 58. Pembastaran antara tanaman kacang kapri biji bulat-kuning dengan tanaman kacang kapri biji kisut-hijau akan menghasilkan turunan F₂ dengan perbandingan 9:3:3:1.

Pola-Pola Hereditas

Orang yang mula-mula mendalami hal pola-pola hereditas adalah W.S. Sutton dari Amerika Serikat. Menurut Sutton bila ada gen-gen yang mengendalikan dua sifat beda bertempat pada kromosom yang sama, gen-gen itu tak dapat memisahkan diri secara bebas lebih-lebih bila gen-gen itu berdekatan lokusnya, maka akan berkecenderungan untuk selalu memisah bersama-sama. Peristiwa ini disebut linkage (pautan). Ada kalanya kromosom yang memisah tidak membawa seluruh gen yang dimiliki tetapi hanya sebagian saja yang terbawa sedangkan sisanya dipenuhi oleh kromosom pasangannya. Peristiwa ini disebut crossing-over (pindah silang). Kejadian ini diteliti oleh Morgan.

Determinasi Seks dan Pautan Seks (Sex Linkage)

Determinasi seks adalah penentuan jenis kelamin suatu organisme yang ditentukan oleh kromosom seks (gonosom). Untuk lalat buah dikenal 1 pasang kromosom seks yaitu kromosom X dan kromosom Y. Individu jantan terjadi jika terdapat komposisi kromosom seks XY sedang betina jika komposisinya XX. Hal ini sebaliknya terjadi pada aves yaitu jantan adalah XX sedangkan betinanya XY. Pautan sex adalah suatu sifat yang diturunkan yang tergabung dalam gonosom. Sebagai contoh: lalat buah betina mata merah (dominan) dikawinkan dengan lalat buah jantan mata putih (resesif) menghasilkan F1 semua bermata merah. Tetapi pada F2 semua yang bermata putih adalah jantan. Hal ini menunjukkan bahwa sifat "bermata putih" merupakan sifat yang terpaut pada kromosom Y.

Hereditas pada Manusia

Determinasi seks pada manusia juga ditentukan oleh kromosom X dan Y. Karena jumlah kromosom manusia adalah khas yaitu 46 buah (23 pasang) yang terdiri dari 22 pasang autosom dan sepasang gonosom, maka formula kromosom manusia adalah : Untuk laki-laki adalah 46, XY (44 + XY). Untuk wanita adalah 46, XX (44+XX).

- **Kelainan Genetik pada Manusia**

Genetika merupakan ilmu yang penting untuk diketahui dan dipelajari terutama dalam dunia kedokteran. Hal ini berguna untuk mengetahui sifat – sifat keturunan, mengetahui akan adanya potensi kelainan yang dapat diwariskan dan upaya menanggulangnya, diperlukan sebagai dasar dalam perkara perkara identitas dan referensi dalam penganggulan kriminal. Dalam hal penyusun sifat dasar manusia yang diturunkan dari kedua orang tuanya, ini tersusun dari pasangan kromosom. Kromosom ini menyimpan informasi yang berupa kecenderungan tinggi, warna kulit, dan lain sebagainya, kromosom ini dikodekan dalam bentuk DNA, dimana satu molekul DNA membentuk kromosom tunggal. (baca artikel terkait perbedaan DNA dan RNA).

Kromosom ini berpasangan seperti contoh pada manusia kromosom normal adalah 23 pasang kromosom atau 46 kromosom. Satu pasang kromosom menyimpan sebuah informasi penting seperti identitas jenis kelamin dimana kromosom seks ini terdiri dari dua jenis X dan Y, pada laki – laki kromosom seksnya adalah XY sedangkan pada wanita kromosom seksnya adalah XX. Terlihat satu pasang kromosom saja telah menentukan perbedaan yang cukup mencolok. Begitu pentingnya kromosom ini dapat dijadikan sebagai penanda informasi, identitas, dan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan manusia.

Dewasa ini, dengan semakin majunya teknologi di bidang kedokteran dan banyaknya riset yang mengkhususkan pada bidang ilmu genetika, mulai banyak terungkap mengenai kelainan – kelainan genetik pada manusia. Penyakit genetik atau kelainan genetik adalah sebuah kondisi yang disebabkan oleh kelainan oleh satu atau lebih gen yang menyebabkan sebuah kondisi fenotip klinis atau dalam bahasa yang lebih sederhana adalah penyimpangan dari sifat umum atau sifat rata – rata manusia, dan merupakan penyakit yang muncul akibat tidak berfungsinya faktor – faktor genetik yang mengatur struktur dan fungsi fisiologis tubuh manusia. Berawal dari kelainan genetik dapat memengaruhi dan mengakibatkan kelainan organ lain, diantaranya adalah kelainan pada hati, kelainan jantung, kelainan pada sistem reproduksi, kelainan pada sistem ekskresi, kelainan kulit dan kelainan pada sistem peredaran darah manusia. Berdasarkan sifat alelnya, kelainan genetik dapat digolongkan menjadi

Pewarisan Alel Resesif Autosomal

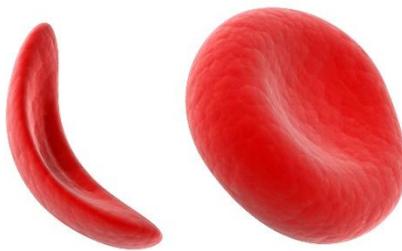
Pada kelainan yang bersifat resesif, kelainan ini terjadi sebagai akibat pewarisan secara resesif yang hanya muncul pada individu yang homozigot atau yang memiliki alel homozigot resesif. Hal ini dapat dilambangkan sebagai genotip penderita sebagai aa, dan individu yang tidak menderita kelainan sebagai AA dan Aa.

Genotip Aa ini merupakan genotip pembawa, karena orang yang memiliki genotip ini dapat menurunkan salah satu gen resesifnya kepada keturunan mereka. Orang yang memiliki kelainan resesif berpeluang lahir dari orang tua yang

bergenotip pembawa ($Aa \times Aa$) dan atau dihasilkan dari perkawinan ($Aa \times aa$) serta ($aa \times aa$). Beberapa penyakit yang diakibatkan kelainan resesif, yaitu

a. **Anemia sel sabit**

Penyakit ini terkait dengan fungsi sel darah merah yang tidak bekerja atau mengalami keabnormalan. Hal ini disebabkan adanya substitusi suatu asam amino tunggal dalam protein hemoglobin berisi sel darah merah. Saat kandungan oksigen dalam tubuh rendah, maka hemoglobin sel sabit akan mengubah bentuk sel darah merah menjadi bentuk sabit seperti huruf C. Perhatikan Gambar 3.18.



Gambar 59. Perbandingan sel darah normal dan sel darah sabit

Sel darah merah sabit ini dalam mengedarkan oksigen dapat tersangkut pada pembuluh darah akibat bentuknya yang tidak proporsional seperti sel darah merah normal. Hal ini mengakibatkan penderita mengalami infeksi, pendarahan dan kerusakan organ tubuh seperti pada penyempitan aorta dan terganggunya fungsi katup jantung. (baca juga artikel terkait kelainan pada sistem peredaran darah manusia dan fungsi hemoglobin).

b. **Fibrosis Kistik**

Penyakit keturunan ini disebabkan oleh tidak adanya protein yang membantu transport ion klorida melalui membran plasma. Sehingga dihasilkan banyak lendir yang memengaruhi pankreas, saluran pernapasan, kelenjar keringat dan lain lain.

c. Galaktosemia

Penyakit ini disebabkan tidak dapat menggunakan galaktosa (berupa laktosa dari ASI) karena tidak dihasilkannya enzim pemecah laktosa. Tingkat galaktosa yang tinggi pada darah mengakibatkan kerusakan mata, hati, dan otak. Adapun gejala Galaktosemia adalah malnutrisi, diare dan muntah-muntah. Gejala ini dapat terdeteksi dengan melakukan tes urin. Gejala penyakit inipun dapat dihindari dengan diet bebas laktosa.

d. Albino

Kelainan ini berupa kulit yang tidak berpigmen (Gambar 3.19), disebabkan karena tubuh tidak mampu membentuk enzim yang diperlukan untuk merubah asam amino tirosin menjadi beta-3,4-dihidroksipheylalanin untuk selanjutnya diubah menjadi pigmen melanin.



Gambar 60. Anak Penderita Albino
Sumber: African_union.org

e. Fenilketonuria

Penyakit keturunan yang disebabkan oleh kerja metabolisme yang tidak optimal, di mana penderita tidak mampu memetabolisme fenilalanin (salah satu jenis asam amino) dengan normal. Pada kondisi normal sebagian fenilalanin diubah menjadi fenil piruvat dan sebagian besar menjadi tirosin dan dibuang keluar tubuh. Gejalanya ditandai dengan bertumpuknya fenilalanin dalam darah yang banyak

terbuang melalui urin, sehingga mengakibatkan keterbelakangan mental, rambut putih, mata kebiruan (kekurangan melanin), bentuk tubuh khas (seperti psychotic), dan gerakan tersentak. Pada penderita bayi mengakibatkan kerusakan otak dan mengalami permasalahan kejiwaan setelah berumur 6 tahun sebagai akibat banyaknya kadar fenilalanin dalam darah.

f. **Thalassemia**

Penyakit ini ditandai dengan berkurangnya atau tidak memiliki sintesa rantai hemoglobin, sehingga kemampuan hemoglobin dalam mengikat oksigen yang kurang. Hal ini akibat adanya mutasi gen B-globin. Penyakit ini umumnya terjadi pada bayi, pada kondisi yang tidak parah mempunyai gejala pembengkakan limpa dan pada kondisi yang parah dapat menyebabkan kematian.

Pewarisan Alel Dominan Autosomal

Pada kelainan yang bersifat dominan, kelainan ini terjadi sebagai akibat pewarisan secara dominan yang muncul pada individu yang heterozigot (Aa) dan atau homozigot dominan (AA) sedangkan individu normal bergenotip sebagai aa. Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. **Akondroplasia**

Penyakit ini disebabkan fungsi rangka manusia yang tidak berkembang dengan baik berupa tidak terbentuknya komponen tulang rawan pada kerangka tubuh secara benar. Pengidap penyakit ini akan tumbuh dewasa dengan kaki dan lengan yang tidak normal (pendek) dan tinggi tubuh kurang dari 1 meter atau biasa disebut kelainan berupa kekerdilan tubuh. Namun, pada perkembangan lain seperti intelegensi, ukuran kepala dan ukuran tubuh semuanya normal. Kelainan ini diakibatkan adanya mutasi genetik dan ditemukan lebih banyak pada anak perempuan dibandingkan anak laki laki (Gambar 3.20)



Gambar 61. Perbandingan Anak Normal dengan Anak Akondroplasia
Sumber: <https://upload.orthobullets.com>

b. Brakidaktil

Penyakit kelainan yang dicirikan dengan jari tangan atau kaki memendek, hal ini terjadi karena memendeknya ruas ruas tulang jari. Penderita brakidaktili memiliki gen dalam keadaan heterozigot (Bb). Sedangkan pada homozigot dominan (BB) menyebabkan kematian pada saat masa embrio.

c. Huntington

Penyakit keturunan ini terjadi karena adanya degenerasi sistem saraf yang cepat dan tidak dapat kembali. Hal ini dicirikan dengan adanya gerakan abnormal yang lama kelamaan akan memengaruhi kinerja otak, fungsi kelenjar tiroid yang tidak baik berupa kecemasan yang berlebihan dan dalam kondisi yang parah penderita tidak dapat melakukan aktifitas, kemudian mulai terjadi keterbelakangan mental, kehilangan ingatan dan kemampuan untuk berpikir rasional.

d. Polidaktil

Penyakit kelainan yang juga dikenal sebagai Hyperdaktil. Ciri cirinya berupa terdapatnya jari tambahan pada satu atau kedua tangan atau kaki (Gambar

3.21). Tempat jari tambahan itu berbeda beda, ada yang terdapat dekat ibu jari dan adapula yang berada pada jari kelingking.



Gambar 62. Kaki penderita polidaktili
Sumber: <https://style.tribunnews.com>

Alel Resesif tertaut Kromosom Sex “X”

Umumnya merupakan alel resesif dan berpeluang banyak terjadi pada wanita dan sebagian kecil pria. Hal ini terlihat dari kromosom penyusun wanita adalah XX sedangkan pria XY. Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. Hemofilia

Penyakit berupa gangguan koagulasi herediter yang disebabkan oleh mutasi gen faktor VIII atau faktor IX sehingga dapat dikelompokkan menjadi hemofilia A dan hemofilia B. Kedua gen tersebut terletak pada kromosom X, sehingga termasuk penyakit resesif X, yang terjadi karena tidak adanya protein tertentu yang terbentuk yaitu tromboplastin yang diperlukan untuk penggumpalan darah saat terjadi luka dan walaupun ada, kadarnya rendah sekali. Sehingga penderita penyakit ini jika mengalami luka, darah baru akan membeku 50 menit sampai 2 jam, sehingga kecenderungan akan mengakibatkan pendarahan fatal. (Baca juga fungsi sel darah putih)

b. Buta Warna

Penderita memiliki gejala tidak dapat membedakan warna terutama warna hijau dan merah atau semua warna. Pada penderita yang tidak dapat melihat warna

hijau disebut tipe deuten sedangkan warna merah disebut tipe protan. Hal ini terjadi karena tidak memiliki reseptor yang dapat mendeteksi cahaya pada panjang gelombang hijau atau merah. Hal ini disebabkan oleh gen resesif c (color blind) yang terdapat pada kromosom X. Pada wanita penderita memiliki genotip homozigot resesif yaitu cc, dan normal pada genotip CC dan Cc. Sedangkan pada pria hanya mempunyai sebuah kromosom X sehingga hanya dapat normal XY atau buta warna XcY.

c. Distrofi Otot

Kelainan ini memiliki tanda dengan makin melemahnya otot-otot dan hilangnya koordinasi. Hal ini terjadi karena tidak adanya satu protein otot yang disebut distrofin, yang terletak pada lokus yang spesifik pada kromosom X.

d. Sindrom Fragile X

Kelainan berupa keterbelakangan mental yang umum terjadi. Hal ini karena bagian kromosom X yang mengalami pelekukan di bagian ujung lengan kromosom.

e. Sindrom Lesch-Nyhan

Kelainan ini muncul akibat adanya pembentukan purin yang berlebih. Sehingga memperlihatkan perilaku yang abnormal, seperti kejang otak saat menggerakkan kaki dan atau jari-jari tangan, keterbelakangan mental, sering menggigit jari-jari tangan dan jaringan bibir. Penderita yang telah dilaporkan adalah pria di bawah umur 10 tahun. Hal ini terjadi sebagai akibat adanya gen resesif pada kromosom X.

Alel Resesif tertaut Kromosom Sex “Y”

Umumnya merupakan alel resesif dan hanya terjadi pada pria. Hal ini terlihat dari kromosom penyusun pria adalah XY sedangkan wanita XX. Berikut adalah penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. Hipertrikosis

Kelainan berupa tumbuhnya rambut pada bagian bagian seperti di tepi daun telinga, Hal ini umumnya terjadi pada pria yang memiliki genotip resesif (h). (Gambar 3.22)



Gambar 63.Wajah penderita Hipertrikosis
Sumber: <https://asset-a.grid.id>

b. **Weebed Toes**

Kelainan yang disebabkan gen resesif wt, ditandai dengan tumbuh kulit di antara tangan dan kaki, mirip dengan kaki katak dan bebek (Gambar 3.23).



Gambar 64.Kaki penderita webbed toes
Sumber: <https://luken.us>

c. **Histrizgravier**

Kelainan yang disebabkan gen resesif hg, menyebabkan folikel rambut menjadi abnormal di mana ciri cirinya berupa pertumbuhan rambut yang panjang dan kaku di seluruh permukaan tubuh dan tampak seperti hewan landak.

Aberasi Kromosom

Kelainan yang terjadi akibat adanya perubahan dalam hal jumlah dan ukuran dari kromosom tersebut. Perubahan ini dapat menyebabkan perubahan ciri secara turun – temurun (diwariskan) pada keturunan selanjutnya yang mengalami aberasi kromosom. Berikut penyakit dan kelainan yang ditimbulkan,

a. Sindrom Jacobs

Penderita mempunyai 44 Autosom dan 3 kromosom seks (XYY). Kelainan ini mengakibatkan penderita memiliki ciri ciri bertubuh normal, berperawakan tinggi, antisosial, perilaku kasar dan agresif, wajah menakutkan, berwatak criminal, IQ dibawah normal.

b. Sindrom Down

Penderita mengalami kelebihan satu autosom pada kromosom nomor 21 dan dapat terjadi pada pria maupun wanita. Kelainan ini memiliki ciri ciri wajah yang khas, di mana wajah lebar, mata sipit miring ke samping, gigi kecil dan jarang, bibir tebal, lidah besar dan cenderung menjulur, liur selalu menetes, kemudian jari pendek dan gemuk terutama kelingking, telapak tangan tebal, IQ rendah dan umumnya steril (gambar 3. 24).



Gambar 65.Penderita Sindrom Down
Sumber: alodokter.com

c. Sindrom Klinefelter

Penderita memiliki 44 autosom dan 3 kromosom seks (XXY). Penderita pada pria dengan ciri ciri bersifat kewanitaan, dada sempit, pinggul lebar, rambut badan tidak tumbuh, tubuhnya cenderung tinggi, alat reproduksi pria yang tidak berkembang, mental terbelakang. Kelainan ini dapat terdeteksi sejak masih bayi atau balita, umumnya gejala awalnya adalah adanya gangguan dalam berbahasa.

d. Sindrom Turner

Penderita memiliki 44 autosom dan hanya satu kromosom kelamin yaitu X. Penderita ini dialami oleh wanita dengan ciri ciri alat reproduksi wanita yang tidak berkembang, kedua puting payudara berjarak jauh, payudara tidak berkembang, badan cenderung pendek, leher pendek, dada lebar, memiliki gelambir pada leher dan mengalami ketebelakangan mental.

e. Sindrom Edward

Penderita mengalami trisomi atau kelebihan satu autosom nomor 18. Penderita memiliki ciri ciri kelainan pada telinga dan rahang bawah yang kedudukannya lebih rendah, mulut kecil, tulang dada pendek, mental terbelakang dan biasanya hanya mencapai umur 6 bulan saja.

f. Sindrom Patau

Penderita memiliki 45 autosom, sehingga bisa disebut trisomi. Trisomi ini terjadi pada kromosom nomor 13, 14 atau 15. Ciri ciri penderita yaitu kepala kecil, mata kecil, sumbing celah langit, tuli, polidaktil, mengalami kelainan otak, ginjal dan jantung, dan memiliki keterbelakangan mental.

g. Sindrom Cri du chat

Penderita mengalami kehilangan kromosom pada nomor 5, hal ini mengakibatkan penderita memiliki kepala kecil, dengan penampakan wajah yang tidak biasa, dan memiliki tangisan yang khas seperti suara kucing. Perhatikan gambar 3.25. Penderita umumnya meninggal saat masih bayi atau balita.



Gambar 66. Penderita sindrom cri du chat
Sumber: sciencedirect.com

- **Aplikasi Hereditas dan Persilangan**

Adanya pengetahuan yang luas dalam bidang genetika khususnya hereditas dan persilangan, membuka peluang yang besar untuk berbagai tujuan yang berguna baik dalam bidang pertanian, kesehatan, forensik (hukum) dan hubungan sosiologis. Beberapa contoh aplikasinya adalah sebagai berikut :

Dalam bidang pertanian : persilangan berbagai varietas tanaman untuk memperoleh varietas baru yang memiliki karakter unggul dan produktif sesuai yang diharapkan

Dalam bidang kesehatan : pelacakan berbagai penyakit menurun dari orang tua kepada anak, misalnya hemofilia

Dalam bidang forensik (hukum) : penentuan identitas korban dari karakter golongan darah, pola DNA yang dibandingkan dengan orang tua atau keluarga terdekat

Dalam bidang hubungan sosiologis : penentuan tingkat kekerabatan antar individu berdasarkan kesamaan dan perbedaan karakter.

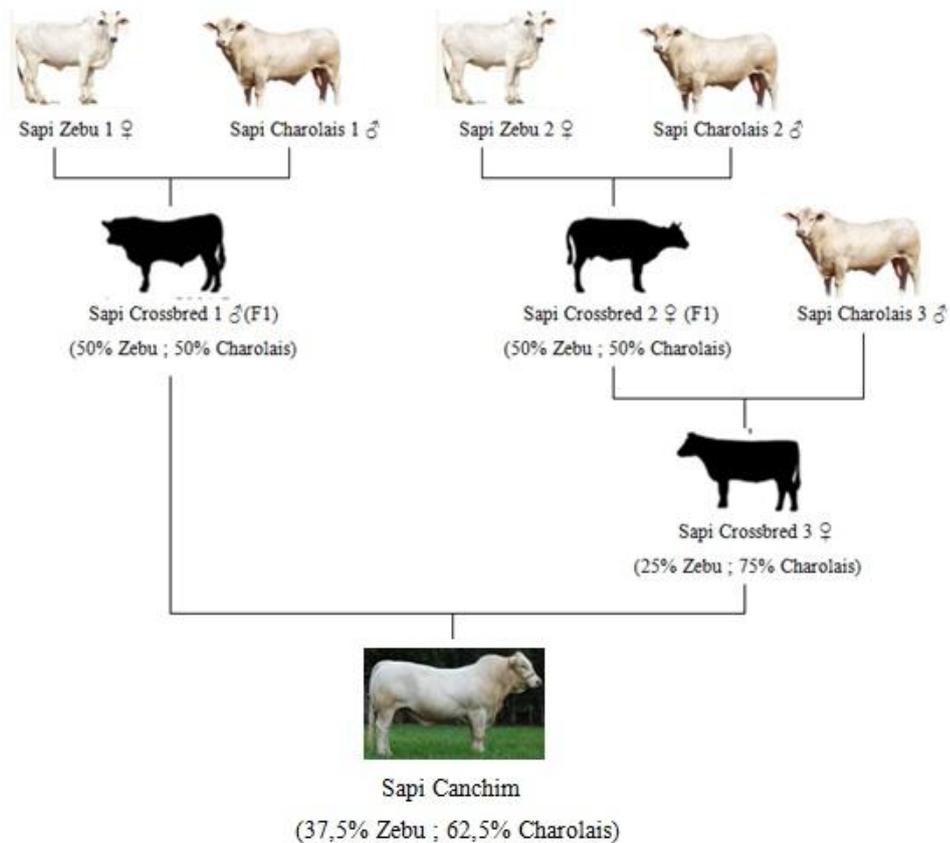
- **Pemuliaan Mahluk Hidup Dengan Seleksi Pedigree**

Seleksi adalah salah satu kegiatan dalam rangkaian pemuliaan mahluk hidup yang berupa pemilihan terhadap suatu genotip dari suatu populasi. Tujuan dari

seleksi adalah mempersempit variabilitas atau keanekaragaman suatu populasi sehingga mendapatkan genotip yang diinginkan. Salah satu metode pemuliaan mahluk hidup menyerbuk sendiri terbagi menjadi seleksi untuk populasi campuran dan juga seleksi untuk hasil hibridisasi.

Seleksi pedigree atau yang sering disebut dengan seleksi silsilah termasuk dalam seleksi untuk hasil hibridisasi. Seleksi ini merupakan seleksi dari mahluk hidup dengan kombinasi karakter yang dikehendaki pada generasi F₂, turunannya selanjutnya diseleksi lagi pada generasi-generasi berikutnya sampai mencapai kemurnian genetik. Single seed descend (SSD) adalah seleksi pedigree pada tanaman yang dilakukan dengan memanen satu biji setiap tanaman mulai dari F₂–F₅, kemudian setiap biji tersebut dicampur untuk ditanam pada generasi selanjutnya. Diallel selective mating system adalah seleksi dengan menggunakan berbagai variasi metode seleksi dalam usaha mengkombinasikan berbagai karakter yang diinginkan.

Metode ini disebut pedigree karena pencatatan dilakukan setiap anggota populasi bersegregasi dari hasil persilangan. Silsilah (pedigree) diperlukan untuk menyatakan bahwa dua galur tersebut serupa dengan cara mengkaitkan terhadap individu tanaman generasi sebelumnya. Metode seleksi pedigree pada ternak, dilakukan dengan melihat dan mencatat penampilan produktivitas keturunan ternak yang telah lalu. Setiap individu yang berpenampilan ekonomi bagus dan berasal dari induk/tetua yang berpenampilan ekonomi bagus juga, lebih unggul di bandingkan individu yang berpenampilan bagus pula, tapi berasal dari induk/tetua berpenampilan ekonomi yang jelek. Tapi harus di perhatikan juga, induk/tetua berkarakter ekonomi bagus, tidak akan selalu, keturunannya pasti karakter ekonominya bagus seperti induknya : keturunannya itu dapat berkarakter lebih bagus atau bisa pula lebih jelek. Perhatikan Gambar 3.26 pada seleksi pedigree pada sapi.



Gambar 67. Seleksi pedigree pada sapi
Sumber: majalahinfonet.com

Hal tersebut di atas harus benar-benar di perhatikan oleh peternak pembibit/breeder. Dalam melakukan seleksi berdasar penampilan dari induk/tetua yang dimilikinya. Agar hal itu dapat terlaksana seefisien mungkin, maka Breeder harus punya catatan yang lengkap, teratus dan kontinyu dari induk/tetua yang di hasilkannya. Seleksi pedigree memerlukan waktu yang lama, peralatan yang komplit dan urutan prosedur pemuliabiakan yang terprogram teratur dan terarah. Ini memerlukan investasi modal yang mahal, makanya jangan terlalu banyak protes bila anakan yang di hasilkan Breeder yang bertanggungjawab dijual dengan harga yang agak mahal.

5. Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi

- Asal Usul Kehidupan

Perhatikan **gambar 4.1** berikut ini. Pernahkah Anda berpikir, bagaimana belalang ini dapat memiliki bermacam-macam bentuk dan warna?



Gambar 68. Keanekaragaman Belalang

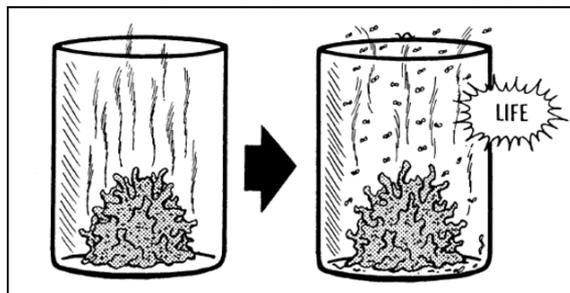
Pernakah anda bertanya bagaimana makhluk hidup pertama kali ada di permukaan bumi? Apakah belalang yang beranekaragam ini ada secara tiba-tiba seperti apa yang kita lihat pada gambar di atas? Kita mengenal adanya teori evolusi yang mempelajari bagaimana kehidupan terjadi dan teori evolusilah yang memberikan pandangan pada kita tentang bagaimana terjadinya keanekaragaman makhluk hidup di muka bumi yang bisa kita lihat pada saat ini. Teori evolusi pula yang dapat menjelaskan bagaimana interaksi dan derajat interaksi yang terjadi antara makhluk hidup dan bagaimana interaksi tersebut dapat mengubah lingkungan sehingga terciptalah keanekaragaman makhluk hidup di muka bumi. Meskipun evolusi merupakan sebuah teori, tetapi para ilmuwan menerima teori ini sebagai sebuah fakta. Beberapa kontroversi terjadi diantara kalangan ilmuwan biologi terhadap mekanisme terjadinya perubahan dalam proses evolusi dan waktu terjadinya evolusi, tetapi terjadi kesepakatan terhadap keberadaan dari proses evolusi.

Teori evolusi dimulai dengan dikemukakannya teori teori tentang asal usul makhluk hidup. Teori ini dimulai dari pendapat bahwa makhluk hidup diciptakan berasal dari makhluk tak hidup atau dikenal sebagai **teori abiogenesis**. Teori ini

dikenal pula sebagai teori *generatio spontanea* yang menyatakan bahwa makhluk hidup ada secara tiba tiba. Seiring dengan perkembangan ilmu, teori Abiogenesis ditumbangkan oleh percobaan para ahli.

a. Teori Abiogenesis

Menurut pandangan teori abiogenesis makhluk hidup berasal dari benda tak hidup dan pandangan lain dari teori ini menyatakan bahwa makhluk hidup ada secara tiba tiba. Oleh karena itu, teori abiogenesis dikenal pula sebagai teori "*generation spontanea*". Generation spontanea memiliki arti bahwa makhluk hidup diciptakan secara spontan dari benda tak hidup. Pelopor teori generation spontanea adalah Aristoteles (384 – 322 SM). Aristoteles melakukan percobaan dengan menyimpan keratin daging pada botol (**Gambar 4.2**). Beberapa hari kemudian Aristoteles menemukan lalat buah hidup pada daging yang disimpan pada botol. Kesimpulan yang diambil adalah larva lalat yang hidup pada daging yang busuk berasal dari daging yang ia simpan dalam botol.



Gambar 69.Percobaan Aristoteles

Sumber: <https://www.timetoast.com/timelines/the-cell-theory-timeline-2ccb78dd-a0b5-4c44-9590-6977a9d40843>

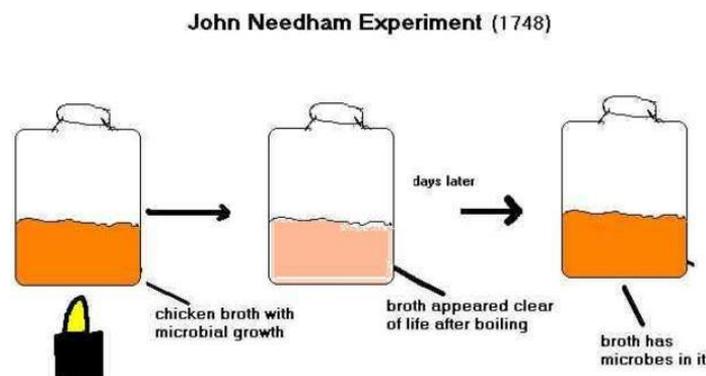
Akhir tahun 1600 banyak yang mempercayai teori generatio spontanea dan banyak percobaan yang dilakukan para ahli untuk membuktikan teori ini. Salah satunya dilakukan oleh seorang doktor bernama Jan Baptist Van Helmont. Helmont mengemukakan teori abiogenesis berdasarkan hasil percobaannya dengan menyimpan biji-bijian dan kain lusuh di sudut ruangan. Beberapa hari kemudian Helmont menemukan ada tikus hidup di dalamnya. Perhatikan **gambar 4.3**. Helmont menyimpulkan bahwa tikus tikus tersebut berasal dari kain lusuh.



Gambar 70. Percobaan Jan Baptist Van Helmont

Sumber: <https://insertwisdom.wordpress.com/2016/04/30/two-bricks-ground-basil-sunlight-time-scorpions/>

Seorang Ilmuwan dari Inggris bernama Needham (1713 -1781) melakukan percobaan dengan menggunakan berbagai macam rebusan padi padian dan daging (air kaldu) yang dipanaskan tetapi tidak sampai mendidih. Beberapa labu dibiarkan terbuka dan beberapa lainnya ditutup. Labu labu kemudian disimpan pada suhu kamar. Dalam beberapa hari Needham mendapatkan air kaldu yang berada di dalam labu menjadi keruh. Menurut Needham meskipun labu ditutup rapat namun timbul mikroorganisma di dalam labunya. Berdasarkan hasil percobaannya, Perhatikan **Gambar 4.4**. Needham menyimpulkan bahwa kehidupan baru terjadi dari benda mati.



Gambar 71. Percobaan Needham

Sumber: <https://www.timetoast.com/timelines/the-cell-theory-timeline-2ccb78dd-a0b5-4c44-9590-6977a9d40843>

Menurut para penganut pahan Abiogenesis atau generatio spontanea, semua kehidupan berasal dari benda tak hidup secara spontan, misalnya: ikan dan katak berasal dari lumpur, cacing berasal dari tanah, belatung terbentuk dari

daging yang membusuk dan tikus berasal dari sekam dan kain kotor. Pada tahun 1663-1723 seorang ilmuwan bernama Anthonie Van Leeuwenhoek berhasil menemukan mikroskop. Dengan mikroskopnya Leeuwenhoek melaporkan hasil gambarnya terhadap pengamatan jasad renik yang berhasil dia amati di bawah mikroskop. Temuan Leeuwenhoek seolah-olah menguatkan teori Abiogenesis yang menyatakan mikroorganisme yang dilihat di bawah mikroskop berasal dari jerami yang membusuk. Akan tetapi, Leeuwenhoek menolak teori tersebut dengan mengemukakan bahwa mikroorganisme yang dia amati di bawah mikroskop berasal dari udara.

Kelemahan dari teori yang dikemukakan oleh para penganut abiogenesis adalah mereka belum mampu melihat benda yang sangat kecil (bakteri, kista, ataupun telur cacing) yang terbawa dalam materi yang digunakan dalam percobaannya. Pada zaman Aristoteles mikroskop belum ditemukan sehingga para ilmuwan ini tidak dapat melihat bahwa sebelum materi yang digunakan untuk percobaan sudah mengandung jasad renik yang tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Namun walaupun ada kelemahan pada percobaan yang dilakukan oleh para ilmuwan penganut teori abiogenesis, tetapi cara berpikir dalam mencari jawaban mengenai asal usul kehidupan di bumi ini sudah mengacu pada pola metode ilmiah.

b. Teori Biogenesis

Dengan ketidakpuasan terhadap teori abiogenesis, beberapa ilmuwan mulai menyelidiki asal usul makhluk hidup melalui berbagai macam percobaan. Percobaan untuk menumbangkan anggapan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati di antaranya dilakukan oleh ilmuwan berikut: Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani (Italia, 1729 - 1799), dan Louis Pasteur (Perancis, 1822 - 1895). Pandangan teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

Francesco Redi yang lahir di Italia (1626-1697) melakukan penelitian menggunakan tabung-3 tabung yang berisi keratan daging. Tabung pertama dibiarkan terbuka, tabung kedua ditutup rapat dan tabung ke 3 ditutup dengan menggunakan kain kasa. Perhatikan Gambar 4.5. Menurut Anda, apa pemikiran Redi menggunakan kain kasa untuk menutup tabung 3?

Redi ingin membuktikan bahwa pada tabung 3, keratin daging dalam botol masih memiliki kontak dengan udara, namun lalat buah tidak bisa masuk ke dalamnya dan menyimpan telurnya pada keratin daging yang dia simpan dalam botol ketiga. Dari hasil percobaannya, Redi menyimpulkan bahwa ulat bukan berasal dari daging, tetapi berasal dari telur lalat yang terdapat dalam daging dan menetas menjadi larva.



Gambar 72. Percobaan Francisco Redi

Sumber: <https://courses.lumenlearning.com/microbiology/chapter/spontaneous-generation/>

Pada tahun 1765, seorang Ilmuwan bernama Lazzaro Spallanzani melakukan percobaan serupa dengan Francisco Redi, tetapi bahan yang digunakan untuk percobaannya berbeda. Spallanzani menggunakan air kaldu yang disimpan pada labu dengan langkah-langkah sebagai berikut:

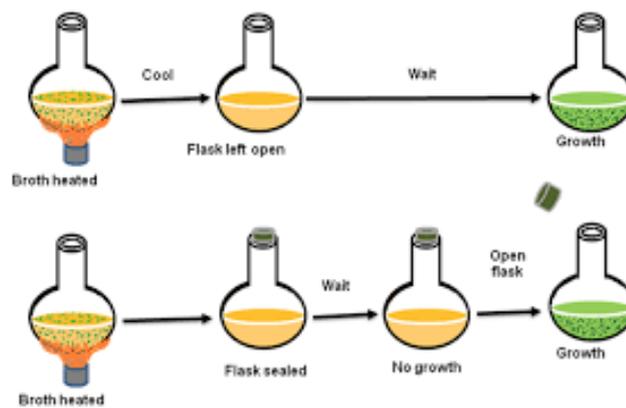
Labu 1 : diisi 70 cc air kaldu, kemudian dipanaskan 15° C dan dibiarkan terbuka.

Labu 2 : diisi 70 cc air kaldu, kemudian dipanaskan 15oC dan ditutup rapat dengan sumbat gabus.

Kedua labu itu ditempatkan di tempat terbuka dan didinginkan. Setelah beberapa hari, hasil percobaan menunjukkan pada labu 1 terjadi perubahan dan pada labu 2 tidak terjadi perubahan. Air kaldu pada labu 1 menjadi keruh dan berbau tidak enak, sedangkan pada labu 2 tidak ada perubahan sama sekali, air tetap jernih. Dengan menggunakan mikroskop, Spallanzani mengamati air pada Labu 1 dan menemukan mikroba hidup pada air kaldu, sedangkan pada Labu 2 tidak ditemukan adanya mikroba. Spallanzani menyimpulkan bahwa timbulnya

kehidupan hanya mungkin jika telah ada kehidupan sebelumnya. Jadi, mikroorganisme tersebut telah ada dan tersebar di udara.

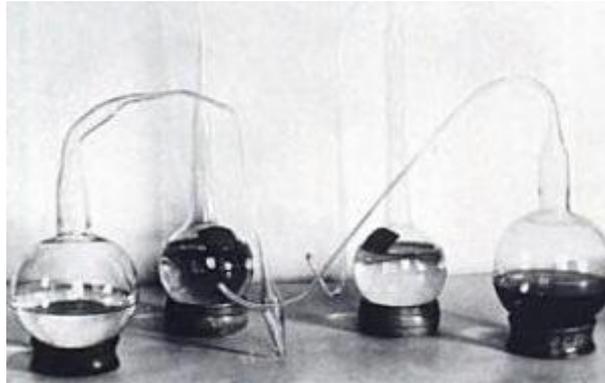
Percobaan Spallanzani (Gambar 4.6) mendapat tanggapan dari penagnut abiogenesis yang mengatakan bahwa labu yang ditutup erat tidak memungkinkan hidupnya mikroba karena tidak ada udara di dalamnya untuk mendukung terjadinya generatio spontanea. Untuk membuktikan tetap mempertahankan teorinya, Spanlanzzani kemudian melakukan percobaan lebih lanjut dengan membuka tutup Labu 2 dan dibiarkan terbuka untuk beberapa hari. Dari hasil percobaannya dia menemukan pada labu yang asalnya ditutup dan kemudian dibiarkan terbuka airnya menjadi keruh dan bau karena mikroba kemudian tumbuh di dalamnya.



Gambar 73. Percobaan Spallanzani

Sumber: <https://cienciasynumeros.files.wordpress.com/2014/12/spontaneous-generation1.pdf>

Tokoh utama yang dapat menumbangkan teori abiogenesis adalah Louis Pasteur (1822 - 1895) yang seorang ahli biokimia berkebangsaan Perancis. Amati labu labu yang digunakan untuk percobaan yang dilakukan oleh Louis Pasteur pada gambar 4.7.



Gambar 74. Percobaan Louis Pasteur

Sumber: <http://www.pasteurbrewing.com/spontaneous-generation-and-the-origin-of-life/>

Pasteur melakukan percobaan penyempurnaan dari percobaan yang dilakukan Spallanzani. Percobaan Spallanzani mendapat kritikan, karena pada labu yang ditutup gabus, air kaldu yang berada di dalam labu tidak memperoleh udara sebagai sumber kehidupan sehingga tidak terjadi kehidupan. Dari kelemahan yang ditemukan pada percobaan Spallanzani, Louis Pasteur melakukan percobaan menggunakan labu leher angsa. Pertama-tama kaldu direbus hingga mendidih, kemudian dидiamkan. Setelah beberapa hari, air kaldu tetap jernih dan tidak mengandung mikroorganisme. Adanya leher angsa memungkinkan udara dapat masuk ke dalam tabung, tetapi mikroorganisme udara akan terhambat masuk karena adanya uap air pada pipa leher. Namun, apabila tabung dimiringkan hingga air kaldu sampai ke permukaan pipa, air kaldu tersebut akan terkontaminasi oleh mikroorganisme udara. Akibatnya setelah beberapa waktu, air kaldu akan keruh karena terdapat mikroorganisme. Kesimpulan percobaan Pasteur adalah mikroorganisme yang ada pada air kaldu bukan berasal dari cairan (benda tak hidup), melainkan dari mikroorganisme yang terdapat di udara. Mikroorganisme yang ada di udara masuk ke dalam labu bersama-sama dengan debu.

Berdasarkan hasil percobaan para ilmuwan tersebut maka muncullah teori baru yaitu teori Biogenesis yang menyatakan bahwa:

setiap makhluk hidup berasal dari telur = *omne vivum ex ovo*

setiap telur berasal darimakhluk hidup = *omne ovum ex vivo*

setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya = *omne vivum ex vivo*

- **Teori Evolusi**

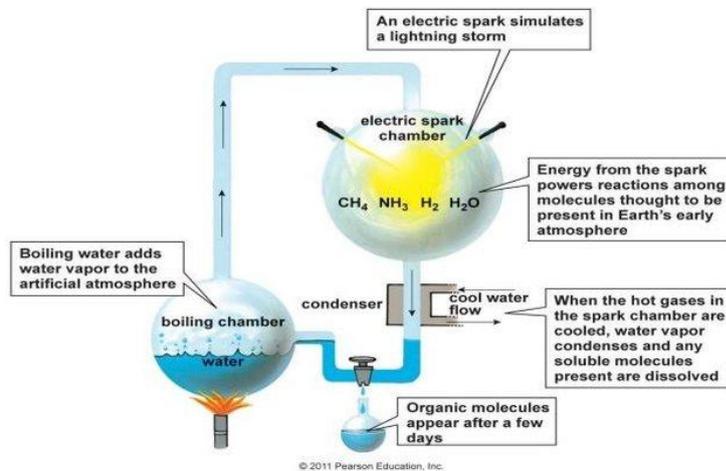
- a. **Teori Evolusi Biokimia**

Teori evolusi biokimia dikemukakan oleh Alexander Oparin seorang ahli evolusi berkebangsaan Rusia. Teori ini mencoba menggali informasi asal usul makhluk hidup dari sisi biokimia. Dalam bukunya berjudul *The Origin of Life* (1936) Oparin menyatakan bahwa asal mula kehidupan terjadi bersamaan dengan evolusi terbentuknya bumi beserta atmosfernya. Lebih lanjut, Oparin menjelaskan bahwa pada mulanya atmosfer bumi purba terdiri atas CH_4 , NH_3 , H_2O , dan H_2 . Oleh karena adanya pemanasan oleh sinar kosmis dan halilintar, gas-gas tersebut mengalami perubahan menjadi molekul sederhana yaitu sejenis substansi asam amino.

Selama berjuta-juta tahun, senyawa itu terakumulasi di cekungan perairan membentuk primordial soup, seperti semacam campuran materi-materi di lautan panas. Tahap selanjutnya, primordial soup ini membentuk monomer. Monomer bergabung membentuk polimer. Polimer membentuk agregasi berupa protobion. Protobion adalah bentuk awal sel hidup yang belum mampu bereproduksi, tetapi mampu memelihara lingkungan kimia dalam tubuhnya. Di samping itu, protobion juga telah memperlihatkan sifat yang berhubungan dengan makhluk hidup, seperti dapat menerima rangsang, dan bereplikasi sendiri. Terbentuknya polimer dari monomer-monomer telah dibuktikan oleh Sydney W. Fox. Dalam percobaannya, Fox memanaskan 18–20 macam asam amino pada titik leburnya dan didapatkan protein. Pendapat Alexander Oparin mendapat dukungan dari ahli kimia Amerika Serikat, bernama Harold Urey.

Pada tahun 1953, seorang mahasiswa Harold Urey, yaitu Stanley Miller (USA) mencoba melakukan eksperimen untuk membuktikan kebenaran teori yang dikemukakan Urey. Perhatikan Gambar 4.8.

Percobaannya itu juga dikenal dengan eksperimen Miller-Urey.



Gambar 75. Percobaan Miller – Urey

Sumber: https://www.researchgate.net/publication/331565095_Urey-Miller_Experiment_Route_to_the_Origin_of_Life_an_Astrobiologist_Proerspective/figures?o=1

Alat percobaan Miller-Urey Terdiri atas bagian yang berupa sebuah tabung tertutup yang dihubungkan dengan 2 ruangan. Ruangan atas berisi beberapa gas yang menggambarkan keadaan atmosfer bumi purba. Selanjutnya pada tempat ini diberi percikan listrik yang menggambarkan halilintar. Kondensor berfungsi untuk mendinginkan gas, menyebabkan terbentuknya tetesan-tetesan air dan berakhir pada ruangan pemanas kedua yang menggambarkan lautan. Beberapa molekul kompleks yang terbentuk di ruangan atmosfer, dilarutkan dalam tetesan-tetesan air ini dan dibawa ke ruangan lautan tempat sampel yang terbentuk diambil untuk dianalisis.

b. Teori Evolusi Kimia menurut Harold Urey (1893)

Urey menyatakan zat-zat organik terbentuk dari zat-zat anorganik. Menurut Urey, zat-zat anorganik yang ada di atmosfer berupa gas karbondioksida, metana, amonia, hidrogen, dan uap air. Semua zat ini bereaksi membentuk zat organik karena energi petir. Menurut Urey, proses terbentuknya makhluk hidup dapat dijelaskan dengan 4 tahap, yaitu:

Tahap 1 : Molekul metana, amonia, hidrogen, dan uap air tersedia sangat banyak di atmosfer bumi.

Tahap 2 : Energi yang diperoleh dari aliran listrik halilintar dan radiasi sinar kosmis menyebabkan zat-zat bereaksi membentuk molekul-molekul zat yang lebih besar.

Tahap 3 : Terbentuk zat hidup yang paling sederhana yang memiliki susunan kimia, seperti susunan kimia pada virus.

Tahap 4 : Zat hidup yang terbentuk berkembang dalam waktu jutaan tahun menjadi organisme (makhluk hidup) yang lebih kompleks.

c. Teori kimia menurut Stanley Miller

Miller adalah murid Harold Urey yang berhasil membuat model alat yang digunakan untuk membuktikan hipotesis Urey. Miller memasukkan uap air, metana, amonia, gas hidrogen, dan karbondioksida ke dalam tabung percobaan. Tabung tersebut kemudian dipanasi. Untuk mengganti energi listrik halilintar ke dalam perangkat alat tersebut dilewatkan lecutan listrik bertegangan tinggi sekitar 75.000 volt. Hal ini dimaksudkan untuk meniru kondisi permukaan bumi pada waktu terjadi pembentukan zat organik secara spontan. Dengan adanya energi listrik, terjadilah reaksi-reaksi yang membentuk zat baru. Zat-zat yang terbentuk didinginkan dan ditampung. Hasil reaksi kemudian dianalisis. Ternyata, di dalamnya terbentuk zat organik sederhana, seperti asam amino, gula sederhana seperti ribosa dan adenin. Dengan demikian, Miller dapat membuktikan bahwa zat organik dapat terbentuk dari zat anorganik secara spontan.

Miller menggunakan campuran gas yang diasumsikan terdapat di atmosfer bumi purba, yaitu amonia, metana, hidrogen, dan uap air dalam percobaannya. Oleh karena dalam kondisi alamiah gas-gas itu tidak mungkin bereaksi, Miller memberi stimulus energi listrik tegangan tinggi, sebagai pengganti energi alam (halilintar dan sinar kosmis). Miller mendidihkan campuran gas tersebut pada suhu 100 derajat C selama seminggu. Pada akhir percobaan, Miller menganalisis senyawa-senyawa kimia yang terbentuk di dasar gelas percobaan dan menemukan 3 jenis dari 20 jenis asam amino. Keberhasilan percobaan Miller ini memunculkan hipotesis lanjutan tentang asal usul kehidupan. Para evolusionis menyatakan bahwa asam-asam amino kemudian bergabung dalam urutan yang tepat secara kebetulan untuk membentuk protein. Sebagian protein-protein yang terbentuk secara kebetulan ini menempatkan diri mereka pada struktur seperti

membran sel yang diikuti pembentukan sel primitif. Sel-sel ini kemudian bergabung membentuk organisme hidup. Mereka menyebutnya sebagai evolusi biologi.

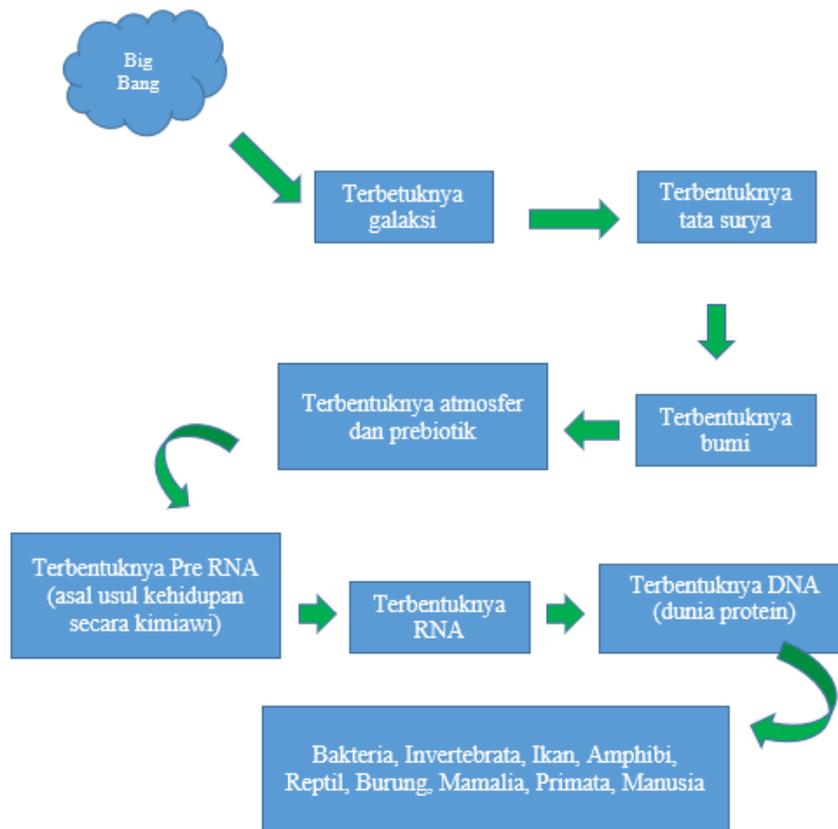
d. Teori Evolusi Biologi

Teori evolusi biologi merupakan teori evolusi kimia, yang berpendapat bahwa bumi ini pada awalnya sangat panas sekali, kemudian suatu ketika bumi mengalami proses pendinginan. Dari proses-proses tersebut maka dapat dihasilkan bahan-bahan kimia. Bahan-bahan yang berat akan menyusun bumi sedangkan bahan yang ringan akan menyusun atmosfer.

1) Teori evolusi biologi Oparin

Alexander Oparin (1894-1980) merupakan seorang ahli biokimia berkebangsaan Rusia. Oparin merupakan salah satu ahli yang mengungkapkan asal usul kehidupan dari sudut pandang fisika dan kimia. Oparin memiliki gagasan yang sama seperti Urey, tetapi Oparin tidak dapat membuktikan bahwa reaksi gas CH_4 , NH_3 , H_2 dan H_2O membentuk asam amino. Ia berpendapat bahwa asam amino terbentuk secara alami. Menurut Oparin, lautan bumi pada awalnya memiliki persediaan cukup bahan-bahan organik. Dalam waktu yang lama maka bahan-bahan organik tersebut berikatan satu dengan lainnya membentuk selaput-selaput, kemudian molekul organik berselaput ini mengikat molekul lainnya dan menyatukan diri sehingga terbentuk gabungan molekul baru yang karakteristik. Ikatan kompleks inilah yang diperkirakan merupakan awal dari kehidupan.

Oparin dan Haldane serta teori Urey menyebutkan bahwa zat organik (asam amino) yang merupakan bahan dasar penyusun makhluk hidup, pada mulanya terakumulasi di lautan. Kenyataan saat ini menunjukkan bahwa dalam sel-sel tubuh makhluk hidup mengandung garam (NaCl). Hal ini mendasari kesimpulan bahwa makhluk hidup berasal dari laut. Secara sederhana perkembangan makhluk hidup digambarkan oleh Oparin seperti pada Gambar 4.9.



Gambar 76. Teori Oparin

Teori evolusi berikutnya berkembang untuk menjelaskan bagaimana makhluk hidup di muka bumi ini dapat bervariasi. Tokoh yang sangat terkenal dengan teori evolusi adalah Lamarck dan Darwin.

2) Lamarck

Lamarck merupakan ilmuwan biologi Perancis yang dikenal karena pendapatnya dalam teori tentang evolusi kehidupan. Dia menyatakan bahwa perbedaan antar individu terjadi karena kebiasaan atau latihan-latihan yang dilakukan individu tersebut. Hal yang diperoleh melalui latihan dapat diturunkan kepada anaknya. Contoh yang dikemukakan adalah leher jerapah. Hewan ini memiliki leher yang panjang karena mulut di kepala selalu digunakan untuk meraih daun-daun pakannya yang semakin tinggi.

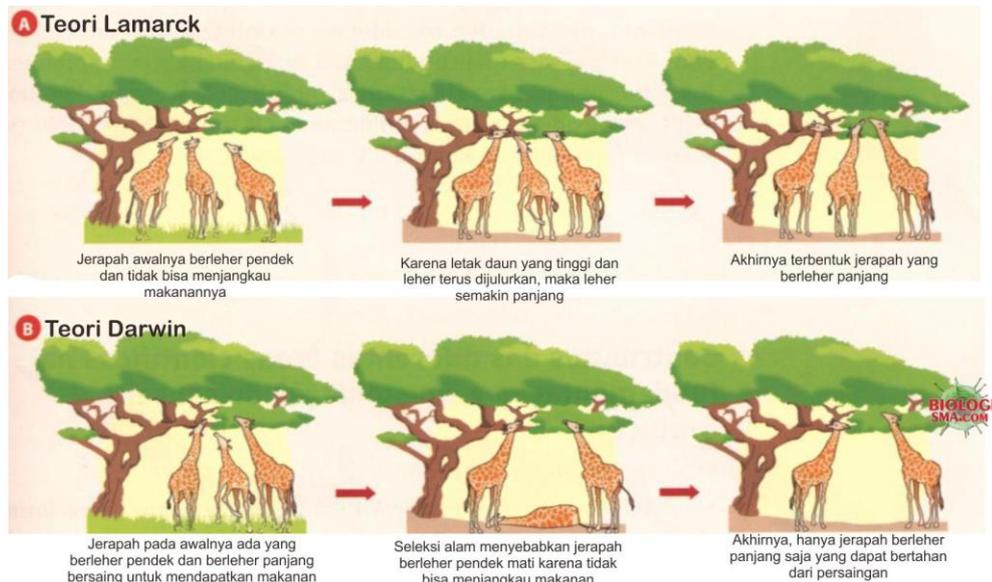
Apabila Aristoteles dikatakan melihat satu anak tangga kehidupan, maka Lamarck melihat banyak, ia yakin spesies dapat menaiki anak tangga itu dan menjadi spesies yang lebih kompleks. Pada anak tangga yang paling bawah

terdapat organisme mikroskopis, yang menurutnya dihasilkan terus-menerus secara spontan dari bahan-bahan yang tidak hidup. Pada puncak tangga evolusi terdapat tumbuhan dan hewan paling kompleks. Evolusi sepertinya telah digerakkan oleh kecenderungan naluriah untuk menjadi semakin kompleks, yang oleh Lamarck dinamakan dengan kesempurnaan. Ketika organisme mencapai kesempurnaan, organisme itu akan dapat beradaptasi semakin baik dengan lingkungannya. Dengan demikian Lamarck yakin bahwa evolusi memberikan respons terhadap sentimen interieurs atau "kebutuhan yang dirasakan" oleh organisme.

Lamarck terutama dikenang karena mekanisme yang dikemukakannya menjelaskan bagaimana adaptasi spesifik berkembang. Mekanisme tersebut mengembangkan dua ide yang populer pada masanya. Yang pertama, use (menggunakan) dan disuse (tidak menggunakan), yaitu ide bahwa bagian-bagian tubuh yang digunakan secara luas untuk menghadapi lingkungan akan menjadi lebih besar dan lebih kuat; sedangkan di pihak lain, bagian-bagian tubuh yang tidak digunakan akan mengalami penurunan. Di antara contoh-contoh yang dirujuk oleh Lamarck adalah berkembangnya otot lengan atas (bisep) yang lebih besar pada otot pandai besi yang pekerjaannya menempa dan memegang palu dan seekor jerapah yang menjenjangkan lehernya untuk menggapai dedaunan yang terletak pada cabang-cabang pohon yang tinggi. Ide kedua disebut dengan pewarisan sifat-sifat yang diperoleh. Dalam konsep hereditas ini, modifikasi yang didapatkan oleh suatu organisme selama masa hidupnya dapat diteruskan ke keturunannya. Leher jerapah yang panjang berkembang secara perlahan-lahan sebagai produk kumulatif dari generasi-generasi leluhurnya yang meregangkan lehernya, semakin tinggi dan semakin tinggi lagi, demikian Lamarck berargumen. Namun, tidak ada bukti bahwa sifat-sifat yang didapatkan bisa diwariskan secara spontan. Para pandai besi bisa meningkatkan kekuatan dan staminanya sepanjang hidupnya karena mengayun-ayunkan palu yang berat, tetapi sifat yang didapatkan ini tidak mengubah gen yang diwariskan oleh gamet kepada keturunannya.

Lamarck dikenal sebagai penggagas suatu bentuk teori evolusi kehidupan, yang kemudian dikenal sebagai Lamarckisme. Ia percaya akan adanya perubahan linear pada makhluk hidup dari bentuk tersederhana menuju bentuk yang lebih

canggih. Walaupun demikian, ia mendasarkan pada pendapat yang telah berlaku sejak masa kuno yang menyatakan bahwa setiap spesies sudah ada sejak penciptaan kehidupan. Pemikiran ini bertentangan dengan banyak pendapat sarjana Perancis sezamannya, yang lebih condong pada perkembangan spesies. Ketika itu dinyatakan bahwa spesies-spesies terbentuk dalam perkembangan proses kehidupan, tidak "langsung jadi" begitu saja. Perubahan yang terjadi pada spesies adalah sebagai akibat respons makhluk hidup terhadap lingkungan (adaptasi). Anggota tubuh yang terlatih akan menguat, sementara yang tidak terpakai akan melemah dan tereduksi. Hasil adaptasi (sedikit demi sedikit) ini lalu diwariskan secara turun-temurun kepada anaknya dan berlanjut sepanjang masa. Perhatikan Gambar 4.10. berikut ini.



Gambar 77. Teori Lamarck dan Teori Darwin

3) Darwin

Charles Robert Darwin merupakan ilmuwan yang mempelajari variasi yang terdapat pada berbagai burung jenis merpati yang dipelihara (domestikasi) oleh para penggemar burung di Inggris. Darwin menemukan berbagai variasi, seperti: merpati gundul, merpati jambul, merpati pos, merpati ekor merak, pouter, dsb. Saat itu Darwin menganggap bahwa variasi itu adalah spesies (ini tidak benar setelah ditemukan definisi spesies). Semua variasi itu dinyatakan sebagai

peristiwa spesiasi (pembentukan spesies baru) yang berasal dari moyang merpati, yaitu merpati liar (rock pigeon) yang masih banyak hidup di Inggris.

Charles Robert Darwin melakukan observasi tentang asal-usul burung di kepulauan Galapagos dengan sasaran pengamatannya burung finch (emprit branjangan). Darwin menemukan fakta bahwa berbagai spesies finch, berdasarkan pada tempat hidup (habitat khusus) dan jenis makanannya, memiliki variasi pada struktur paruh mereka. Melihat adanya keanekaragaman makhluk hidup, tetapi tidak tahu mengapa hal itu bisa terjadi. Konsep Darwin tentang spesiasi ini ditulisnya sebagai buku yang berjudul : *The Origin of Species by Means Natural Selection and Preservation of The Fits in Struggle for Life*, pada tahun 1844.

Menurut Darwin evolusi terjadi karena adanya seleksi alam (faktor alam yg mampu menyeleksi makhluk hidup. Adaptasi merupakan penyebab terjadinya seleksi alam (mekanisme seleksi alam). Ia juga mengoreksi pendapat Lamarck tentang jerapah. Jerapah yang berleher panjang berasal dari yang berleher panjang pula, sedangkan yang berleher pendek musnah. Dalam hal ini mekanisme yang menyebabkan evolusi adalah seleksi alam.

Dari teori yang ada, Darwin menyusun bukti-bukti dan mengemukakan suatu teori untuk menjelaskan bagaimana evolusi tersebut berlangsung. Ia menjelaskan data, yang dikatakannya sebagai bukti, sebagai berikut :

- Kecepatan reproduksi semua spesies (jenis) melebihi kecepatan penambahan persediaan makanan.
- Semua organisme menunjukkan variasi, tidak ada dua individu dalam satu jenis yg persis sama.
- Semakin banyak individu memiliki peluang untuk hidup, tetapi karena keterbatasan makanan, tiap individu harus berjuang mempertahankan hidup, yang didukung oleh: ukuran tubuh, kekuatan, kemampuan lari, atau ciri apapun untuk bertahan yang menyebabkan individu punya kelebihan terhadap yang lain.
- Ciri yang mendukung kemampuan bertahan hidup akan diwariskan kepada generasi berikutnya.

- Sepanjang masa geologik, variasi-variasi yang mampu bertahan akan menghasilkan perbedaan yang kian nyata, dan terbentuklah jenis baru.

Selanjutnya Darwin menyatakan inti (konsep pokok) teori evolusi dapat dibagi menjadi beberapa pokok berikut ini :

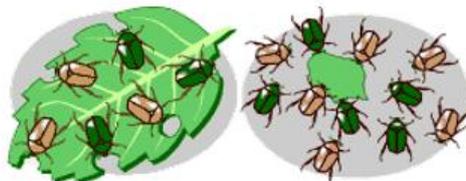
- Variasi pada tumbuhan dan hewan merupakan suatu variasi karakteristik yang muncul dalam penampakan fenotip organisasi tersebut.
- Rasio penambahan terjadi secara geometrik, yaitu jumlah setiap spesies relatif tetap. Hal ini terjadi karena banyak individu yang tersingkir oleh predator, perubahan iklim dan proses persaingan.
- Struggle for existence (usaha yang keras untuk bertahan) merupakan suatu usaha individu organisme untuk bertahan hidup. Individu dengan variasi yang tidak sesuai untuk kondisi-kondisi yang umum di alam, akan tersingkir. Adapun individu-individu dengan variasi yang menguntungkan dapat melanjutkan kehidupannya dan memperbanyak diri dengan memproduksi.
- The survival of fittest, ketahanan didapat dari organisme yang memiliki kualitas paling sesuai dengan lingkungan. Individu-individu yang dapat hidup akan mewariskan variasi-variasi tersebut kepada generasi berikutnya.

Seiring dengan berkembangnya pengetahuan biologi pada abad ke-18, pemikiran evolusi Darwin mulai menelusuri kembali pemikiran beberapa filsuf seperti Pierre Maupertuis (1745) dan Erasmus Darwin (1796). Pemikiran biologiawan Jean-Baptiste Lamarck tentang transmisi spesies juga memiliki pengaruh yang kuat. Charles Darwin merumuskan pemikiran seleksi alamnya pada tahun 1838 dan masih mengembangkan teorinya pada tahun 1858 ketika Alfred Russel Wallace mengirimkannya teori yang mirip, melalui suratnya "Surat dari Ternate". Keduanya diajukan ke *Linnean Society of London* sebagai dua karya yang terpisah. Pada akhir tahun 1859, publikasi Darwin, *On the Origin of Species*, menjelaskan seleksi alam secara detail dan memberikan bukti yang mendorong penerimaan luas evolusi dalam komunitas ilmiah.

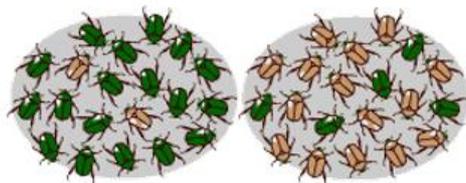
Untuk lebih memahami apa yang dikemukakan oleh Darwin, mari kita amati bagaimana mekanisme variasi pada makhluk hidup itu terjadi.

Perbedaan genetik yang diwariskan

Perhatikan Gambar A dan Gambar B. Menurut Anda Gambar manakah diantara A dan B yang merupakan contoh dari peristiwa Evolusi?



A. Kumbang dengan keterbatasan makanan



B. Kumbang dengan variasi warna

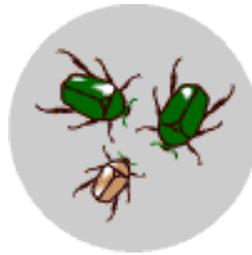
Gambar 78. Evolusi dan bukan evolusi

Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Perbedaan ukuran kumbang pada gambar A disebabkan karena faktor lingkungan yaitu kurangnya suplai makanan. Gambar A bukan menunjukkan perubahan frekuensi genetik. Jadi Gambar A bukan merupakan contoh dari evolusi karena ukuran yang kumbang yang mengecil bukan ditentukan oleh faktor genetik. Kumbang-kumbang yang ukurannya kecil itu akan menghasilkan keturunan yang ukurannya besar bila makanannya tercukupi oleh lingkungan.

Perubahan warna pada contoh B merupakan contoh evolusi. Perbedaan warna pada gambar B disebabkan oleh perubahan pada gen induk yang diturunkan pada keturunannya sehingga dua generasi dari populasi yang sama memiliki perbedaan genetik. Bagaimana mekanisme evolusi ini terjadi? Mari kita simak gambar-gambar di bawah ini

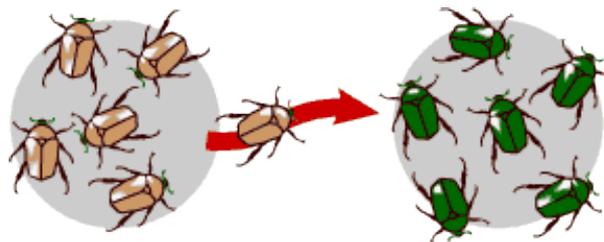
a. Mutasi



Gambar 79. Mekanisme perubahan genetik karena mutasi
Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Mutasi dapat menyebabkan induk kumbang yang warnanya hijau terang memiliki keturunan dengan warna coklat dan diturunkan kembali pada keturunan berikutnya. Hal ini akan menyebabkan populasi kumbang warna coklat ditemukan lebih banyak dibanding kumbang warna hijau terang.

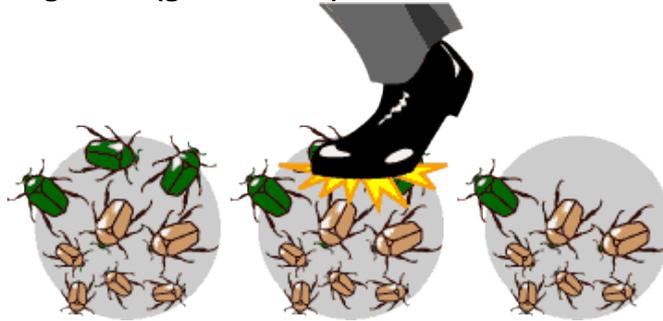
b. Migrasi



Gambar 80. Mekanisme perubahan genetik karena migrasi
Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Pada gambar 4.13. di atas, beberapa individu dari populasi kumbang coklat bermigrasi ke populasi kumbang hijau dan berhasil mendominasi populasi kumbang hijau karena bisa menghasilkan keturunan lebih banyak dibandingkan kumbang hijau. Hal ini menyebabkan populasi kumbang warna coklat lebih banyak ditemukan.

c. Pergeseran genetik (genetic drift)



Gambar 81. Mekanisme perubahan genetik karena pergeseran genetik
Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Gambar 4.14. di atas menjelaskan dalam satu lingkungan ditemukan kumbang coklat dan kumbang hijau. Kumbang coklat memiliki keturunan lebih banyak dibanding kumbang hijau. Kemudian terjadi kejadian beberapa kumbang hijau terinjak yang menyebabkan kumbang hijau tidak bisa lagi menghasilkan keturunan dan akhirnya musnah. Keturunan berikutnya akan dihasilkan kumbang coklat yang lebih banyak, dan kejadian ini terus menerus terjadi pada generasi berikutnya. Hal ini dinamakan dengan pergeseran genetik.

d. Seleksi Alam



Gambar 82. Mekanisme perubahan genetik karena seleksi alam.
Sumber: https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/evo_21

Dalam sebuah lingkungan terdapat dua macam kumbang yaitu kumbang coklat dan hijau. Kumbang hijau menjadi makanan kesukaan burung pemakan serangga karena warnanya mencolok dan mudah dilihat oleh burung-burung tersebut. Keturunan berikutnya akan disominasi oleh kumbang coklat karena kumbang hijau jumlahnya semakin sedikit.

Mekanisme-mekanisme di atas, dapat mengakibatkan perubahan frekuensi gen dalam sebuah populasi, dan dinamakan sebagai mekanisme perubahan dalam evolusi. Namun demikian seleksi alam tidak berlaku kecuali terdapat variasi genetic, artinya ada variasi genetic dari antara individu. Jika populasi kumbang di atas 100% berwarna hijau, maka seleksi dan pgeseran tidak akan memberikan pengaruh pada warna keturunan kumbang tersebut dan perubahan genetik tidak akan terjadi.

e. Bukti-Bukti Evolusi

Evolusi dapat dilihat dari dua segi yaitu sebagai proses sejarah dan bagaimana proses itu terjadi. Sebagai proses historis evolusi itu telah dipastikan secara menyeluruh dan lengkap sebagaimana yang telah dipastikan oleh ilmu tentang suatu kenyataan mengenai masa lalu yang tidak dapat disaksikan oleh mata. Hal ini berarti bahwa evolusi itu ada dan merupakan suatu kenyataan yang telah terjadi. Berikut ini merupakan bukti-bukti evolusi yang ada.

Adanya variasi antar individu dalam satu keturunan

Di dunia ini tidak pernah dijumpai dua individu yang identik sama, bahkan anak kembar sekalipun pasti punya suatu perbedaan. Demikian pula individu yang termasuk dalam satu spesies. Misalnya perbedaan warna, ukuran, berat, kebiasaan, dan lain-lain. Jadi antar individu dalam satu spesies pun terdapat variasi. Variasi adalah segala macam perbedaan yang terdapat antar individu dalam satu spesies. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh berbagai faktor seperti suhu, tanah, makanan, dan habitat.

Perhatikan bahwa dalam satu keturunan pun akan selalu memunculkan variasi. Ini disebabkan karena pada perkawinan selalu terjadi rekombinasi gen.

Seleksi yang dilakukan bertahun-tahun terhadap suatu spesies akan menyebabkan munculnya spesies baru yang berbeda dengan moyangnya. Oleh karena itu adanya variasi merupakan bahan dasar terjadinya evolusi yang menuju ke arah terbentuknya spesies baru.

a. Pengaruh penyebaran geografis

Makhluk hidup yang berasal dari satu spesies yang hidup pada satu tempat setelah mengalami penyebaran ke tempat lain sifatnya dapat berubah. Perubahan itu terjadi karena di tempat yang baru makhluk hidup tersebut harus beradaptasi demi kelestariannya.

Selanjutnya, adaptasi bertahun-tahun yang dilakukan akan menyebabkan semakin banyaknya penyimpangan sifat bila dibandingkan dengan makhluk hidup semula. Dua tempat yang dipisahkan oleh pegunungan yang tinggi atau samudera yang luas mempunyai flora dan fauna yang berbeda sama sekali. Perbedaan susunan flora dan fauna di kedua tempat itu antara lain disebabkan adanya isolasi geografis.

Perkembangan variasi paruh burung Finch. Terjadi karena terseleksi secara alami oleh jenis makanan yang berbeda. Contohnya adalah mengenai bentuk paruh burung Finch yang ditemukan Darwin di kepulauan Galapagos. Dari pengamatannya tampak burung-burung Finch tersebut memiliki bentuk paruh dan ukuran yang berbeda, dan menunjukkan mempunyai hubungan dengan burung Finch yang ada di Amerika Selatan. Mungkin karena sesuatu hal burung itu bermigrasi ke Galapagos.

Mereka menemukan lingkungan yang baru yang berbeda dengan lingkungan hidup moyangnya. Burung itu kemudian berkembangbiak dan keturunannya yang mempunyai sifat sesuai dengan lingkungan akan bertahan hidup, sedang yang tidak akan mati. Karena lingkungan yang berbeda, burung-burung itu menyesuaikan diri dengan jenis makanan yang ada di Galapagos. Akhirnya terbentuklah 14 spesies burung Finch yang berbeda dalam bentuk dan ukuran paruhnya.

b. Ditemukannya fosil di berbagai lapisan batuan bumi

Fosil adalah sisa tumbuhan atau hewan yang telah membatu atau jejak-jejak yang tercetak pada batuan. Darwin menyatakan bahwa fosil yang ditemukan pada lapisan batuan muda berbeda dengan fosil yang terdapat pada lapisan batuan yang lebih tua, dan menunjukkan suatu bentuk perkembangan.

Dari sekian banyak fosil yang ditemukan, yang paling lengkap dan dapat digunakan sebagai petunjuk adanya evolusi adalah fosil kuda yang

ditemukan oleh Marsh dan Osborn. Dari studi yang dilakukan dapat dicatat beberapa perubahan dari nenek moyang kuda (Eohippus) yang hidup 58 juta tahun yang lalu menuju ke bentuk kuda modern sekarang (Equus), yaitu: tubuh bertambah besar, dari sebesar kucing hingga sebesar kuda sekarang leher makin panjang, kepala makin besar, jarak antara ujung mulut hingga bagian mata menjadi makin jauh perubahan dari geraham depan dan belakang dari bentuk yang sesuai untuk makan daun menjadi bentuk yang sesuai untuk makan rumput bertambah panjangnya anggota tubuh hingga dapat dipakai untuk berlari cepat, tetapi bersamaan dengan itu kemampuan rotasi tubuh menurun.

Adanya reduksi jari kaki dari lima menjadi satu, yaitu jari ketiga yang selanjutnya memanjang, kemudian disokong teracak. Untuk menetapkan umur fosil dapat dilakukan dengan dua cara: secara langsung dan tak langsung. Secara langsung dengan menetapkan umur batuan tempat fosil ditemukan. Cara yang ini kurang valid. Secara tak langsung dengan carbon dating menggunakan isotop C14. Cara yang kedua ini lebih valid.

c. Adanya homologi organ pada berbagai jenis makhluk hidup

Organ-organ berbagai makhluk hidup yang mempunyai bentuk asal sama dan kemudian berubah struktur sehingga fungsinya berbeda disebut organ yang homolog. Homologi organ menunjukkan tingkat kekerabatan makhluk yang bersangkutan. Makin banyak organ yang homolog kemungkinan kekerabatannya makin dekat, yang artinya nenek moyangnya mungkin sama. Homologi organ: perhatikan bahwa anggota gerak pada setiap makhluk memiliki bentuk berbeda, tetapi pada dasarnya memiliki bagian yang sama. Perbedaan ini disebabkan karena perbedaan fungsi. Contohnya: tangan manusia berfungsi untuk memegang adalah homolog dengan sirip depan paus yang digunakan untuk berenang, atau sayap kelelawar yang berguna untuk terbang homolog dengan tungkai depan kucing yang berguna untuk berjalan.

Lawan dari homolog adalah organ yang analog, yaitu organ-organ dari berbagai makhluk hidup yang fungsinya sama tanpa memperhatikan bentuk

asalnya. Bisa juga diartikan organ-organ tubuh dari berbagai makhluk hidup yang fungsinya sama tetapi bentuk asalnya berbeda.

d. Studi perbandingan embriologi

Perkembangan embrio berbagai spesies yang termasuk kelas vertebrata menunjukkan adanya persamaan pada fase tertentu yakni pada fase morulla, blastula, dan gastrula/awal embrio. Hal ini menunjukkan adanya hubungan kekerabatan di antara hewan-hewan sesama vertebrata, yang mungkin pula mereka memiliki satu nenek moyang.

Ernst Haeckel menyatakan dalam hukum Rekapitulasi yang dikemukakannya bahwa ontogeni suatu organisme merupakan rekapitulasi (ulangan singkat) dari filogeni. Ontogeni adalah sejarah perkembangan individu mulai zigot sampai dewasa. Filogeni adalah sejarah perkembangan makhluk hidup dari bentuk sederhana sampai dengan bentuk yang paling sempurna (evolusi).

e. Studi perbandingan biokimia

Bila membandingkan makhluk hidup pada tingkat biokimia, ternyata hasilnya mendukung teori evolusi. Sebagai contoh, Hb manusia lebih mirip dengan simpanse atau gorilla daripada dengan anjing atau cacing tanah. Tingkat kemiripan ini menunjukkan manusia lebih dekat kekerabatannya dengan simpanse atau gorilla daripada dengan anjing atau cacing tanah. Tingkat kemiripan pada jaman sekarang tidak lagi dilakukan secara morfologi, tetapi dilakukan melalui kesamaan genetik. Analisis terhadap DNA dapat membuktikan kekerabatan antar makhluk hidup yang ada muka bumi.

D. Rangkuman

Rangkuman Struktur dan Fungsi Sel

- Setiap sel memiliki membran plasma, nukleus, dan sitoplasma. Membran plasma, yang mengelilingi sel menjaga sel tetap utuh, mengatur apa yang masuk dan keluar dari sel.
- Nukleus adalah struktur besar, berlokasi sentral di tengah sel. Inti nucleus mengandung kromosom dan merupakan pusat kendali sel. Inti mengontrol

fungsi metabolisme dan karakteristik struktural sel. Nukleolus adalah wilayah di dalam nukleus.

- Sitoplasma adalah bagian dari sel antara nukleus dan membran plasma. Matriks sitoplasma adalah media semifluid yang mengandung air dan berbagai jenis molekul yang tersuspensi atau terlarut dalam medium.
- Sel juga memiliki sitoskeleton, jaringan filamen yang saling berhubungan dan mikrotubulus di sitoplasma. Nama sitoskeleton adalah cocok dengan sel karena memungkinkan kita untuk membandingkan sitoskeleton ke tulang dan otot kita.
- Hipotesis endosimbiosis berseri (serial endosymbiosis) yang menyatakan bahwa mitokondria dan kloroplas pada awalnya adalah prokariota kecil yang hidup di dalam sel prokariota yang lebih besar.
- Membran sel memegang peranan yang sangat penting dalam proses keluar masuknya zat. Transportasi zat-zat dibagi menjadi dua, yaitu transportasi pasif dan transportasi aktif.

Rangkuman Sistem Organ

Tubuh manusia terdiri dari 11 sistem organ yang bekerja satu sama lain (saling tergantung). Sistem ini meliputi :

- Sistem integument (kulit, rambut, kuku) : membentuk tubuh eksternal yang menutupi dan melindungi jaringan yang lebih dalam dari cedera. Rumah reseptor kulit, kelenjar keringat, kelenjar minyak, dan mensintesis vitamin D.
- Sistem kerangka(tulang, sendi) : mendukung dan melindungi organ tubuh, memberikan kerangka penggunaan otot (gerakan), tulang juga menyimpan mineral dan membuat sel darah.
- Sistem otot(otot rangka), : mempertahankan postur dan menghasilkan gerakan (penggerak), menghasilkan panas.
- Sistem limfatik(sumsum tulang merah, timus, pembuluh limfatik, saluran toraks, limpa, kelenjar getah bening) : rumah sel darah putih (limfosit) yang terlibat dalam imunitas, mengembalikan cairan yang bocor dari pembuluh darah ke darah dan membuang puing-puing dalam aliran limfatik.

- Sistem pernapasan(rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, paru-paru) : menghilangkan karbon dioksida dan terus memasok darah dengan oksigen. Pertukaran gas terjadi di sistem pernapasan (paru-paru).
- Sistem pencernaan– (rongga mulut, kerongkongan, hati, lambung, usus kecil, usus besar, dubur, anus) : memecah makanan yang akan diserap dan menghilangkan limbah yang tidak bisa dicerna.
- Sistem saraf (otak, sumsum tulang belakang, saraf) : sistem kontrol tubuh, merespons perubahan internal dan eksternal, mengaktifkan otot dan kelenjar.
- Sistem endokrin(kelenjar pineal, kelenjar pituitari, kelenjar tiroid, timus, kelenjar adrenal, pankreas, ovarium, testis) : kelenjar dari sistem endokrin mengeluarkan hormon yang mengatur banyak proses seperti pertumbuhan, metabolisme, dan reproduksi.
- Sistem kardiovaskular(jantung, pembuluh darah) : jantung memompa darah dan pembuluh darah mengangkutnya sedangkandarah membawa oksigen, karbon dioksida, nutrisi, limbah, dan banyak lagi ke seluruh tubuh.
- Sistem kemih (ginjal, ureter, kandung kemih, uretra) : menghilangkan limbah nitrogen dari tubuh, mengatur keseimbangan asam-basa, elektrolit dan air.
- Sistem reproduksi :fungsi utama dari sistem reproduksi adalah menghasilkan keturunan. Hormon seks dan sperma diproduksi oleh testis pria. Saluran dan kelenjar pria membantu melepaskan sperma. Ovarium menghasilkan hormon seks wanita dan telur. Struktur reproduksi wanita lainnya berfungsi sebagai tempat pemupukan dan pengembangan. Misalnya, kelenjar susu menghasilkan susu untuk bayi baru lahir.

Rangkuman Reproduksi Sel dan Hereditas

- Pembelahan sel dibedakan menjadi dua, yaitu pembelahan secara langsung (amitosis) dan pembelahan secara tidak langsung (mitosis dan meiosis).
- Pembelahan mitosis adalah pembelahan sel yang menghasilkan sel anakan dengan jumlah kromosom sama dengan jumlah kromosom induknya. Proses pembelahan mitosis terjadi pada semua sel tubuh makhluk hidup, kecuali pada jaringan yang menghasilkan gamet (sel kelamin).
- Pada pembelahan mitosis, satu sel induk membelah diri menjadi dua sel anakan. Sel anakan ini mewarisi sifat sel induknya dan memiliki jumlah

kromosom yang sama dengan induknya. Jika sel induk memiliki $2n$ kromosom, maka setiap sel anakan juga memiliki $2n$ kromosom. Jumlah $2n$ ini disebut juga kromosom diploid.

- Teknologi reproduksi adalah upaya manusia untuk mengembangbiakan hewan ataupun tumbuhan dengan beberapa cara yang diharapkan bisa mengatasi masalah dalam perkembangbiakan.
- Beberapa teknologi reproduksi pada tumbuhan dan hewan diantaranya kultur jaringan, inseminasi buatan, kloning, bayi tabung dan hibridisasi.
- Pewarisan sifat atau hereditas merupakan penurunan sifat dari induk (orang tua) kepada keturunannya (anak). Ilmu yang mempelajari tentang pewarisan sifat ini disebut genetika.
- Mekanisme pewarisan sifat dari tetua kepada anak atau keturunannya tidak terlepas dari proses reproduksi seksual. Dalam reproduksi seksual, unit penting yang saling bersatu adalah sperma (sel dengan segala perangkat genetiknya dari individu jantan) dan ovum (dari individu betina). Kedua unit sel reproduktif tersebut akan melebur (fertilisasi) dan membentuk cikal bakal individu baru berupa zigot.
- Seleksi pedigree atau yang sering disebut dengan seleksi silsilah termasuk dalam seleksi untuk hasil hibridisasi. Seleksi ini merupakan seleksi dari tanaman dengan kombinasi karakter yang dikehendaki pada generasi F₂, turunannya selanjutnya diseleksi lagi pada generasi-generasi berikutnya sampai mencapai kemurnian genetik.

Rangkuman Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi

- Teori tentang asal usul kehidupan berkembang dari pemikiran bahwa makhluk hidup ada secara tiba tiba (*generatio spontanea*) dan makhluk hidup berasal dari makhluk tak hidup. Teori ini dikenal dengan nama teori abiogenesis. Teori abiogenesis ditumbangkan oleh teori biogenesis melalui percobaan Redi, Spalanzani dan terutama Louis Pasteur yang terkenal dengan percobaannya menggunakan labu leher angsa.
- Teori evolusi biologi menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari senyawa sederhana berupa protein yang berkembang menjadi senyawa protenoid dan makhluk hidup bersel satu yang hidup di laut dan kemudian berkembang menjadi makhluk hidup yang tinggal di darat

Modul Belajar Mandiri

- Keanekaragaman makhluk hidup, adanya fosil dan homologi pada organ makhluk hidup merupakan bukti adanya evolusi.