Suaha Bakhtiar

BUKU SEKOLAH bse ELEKTRONIK

BIOLOGI

untuk SMA dan MA Kelas XI



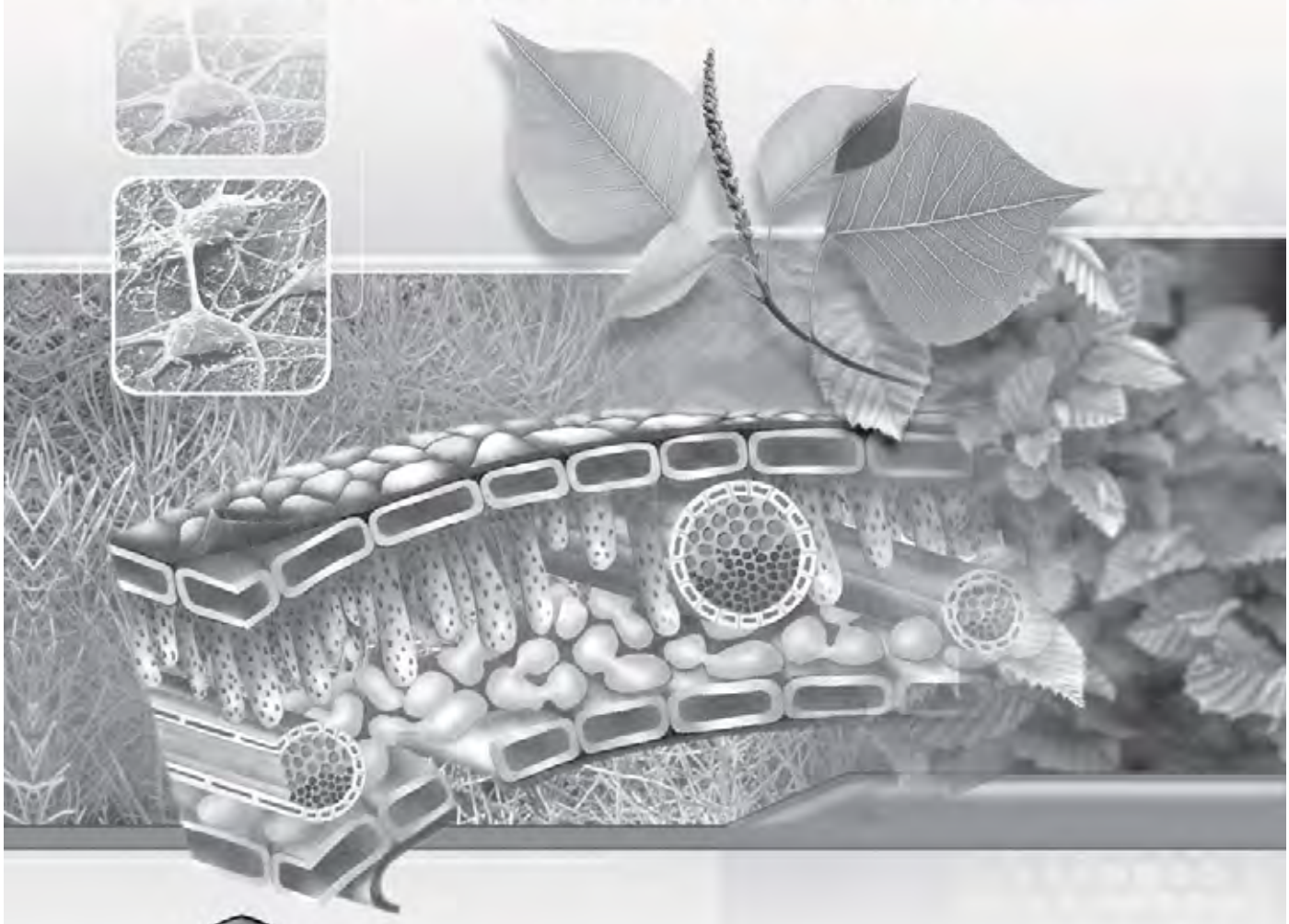
PUSAT KURIKULUM DAN PERBUKUAN
Kementerian Pendidikan Nasional

BIOLOGI untuk SMA dan MA Kelas XI
Suaha Bakhtiar

Suaha Bakhtiar

BIOLOGI

untuk SMA dan MA Kelas XI



PUSAT KURIKULUM DAN PERBUKUAN
Kementerian Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

BIOLOGI
untuk SMA dan MA Kelas XI

Disusun oleh : Suaha Bakhtiar

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

Suaha Bakhtiar
Biologi / disusun oleh Suaha Bakhtiar. — Jakarta :
Pusat Kurikulum dan Perbukuan, Kementerian Pendidikan Nasional, 2011.
vi, 266 hlm. : ilus.; foto ; 25 cm.

untuk SMA dan MA Kelas XI
Bibliografi : hlm. 255
Indeks
ISBN 978-979-095-683-4

1. Biologi—Studi dan Pengajaran I. Judul

574.07

Hak Cipta Buku ini dialihkan kepada Kementerian Pendidikan Nasional dari Penerbit **PT. Sarana Panca Karya Nusa**

Diterbitkan oleh Pusat Kurikulum dan Perbukuan
Kementerian Pendidikan Nasional tahun 2011

Bebas digandakan sejak November 2010 s.d. November 2025

Diperbanyak oleh .....

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Kementerian Pendidikan Nasional, sejak tahun 2007, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Kementerian Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Kementerian Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sebagai sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2011

Kepala Pusat Kurikulum dan Perbukuan

untuk bio xi

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa dengan berkat dan rahmat-Nya buku biologi untuk kelas XI ini dapat terselesaikan.

Buku ini disusun berdasarkan Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar. Pokok penyajian buku ini bertumpu kepada tiga hal, yaitu kesesuaian dengan wawasan, kompetensi ilmu pengetahuan, dan pengembangan kemampuan anda. Untuk kesesuaian wawasan, buku ini ditulis dengan bahasa dan pola penyajian yang sederhana, menarik dan mengedepankan ilustrasi yang memacu berpikir kritis. Untuk kompetensi ilmu pengetahuan, buku ini berisikan materi yang penting bagi anda sebagai bekal untuk mendalami pelajaran tersebut di tingkat yang lebih tinggi, sedangkan untuk pengembangan kemampuan, buku ini membahas banyak permasalahan kehidupan sehari-hari yang erat kaitannya dengan tubuh manusia dan kaitannya dengan kesehatan. Masalah kesehatan adalah masalah yang sangat penting sepanjang masa. Penyusun menyadari bahwa anda sebagai siswa berasal dan akan kembali kepada masyarakat. Oleh karena itu, anda diharapkan memiliki bekal pengetahuan, sikap, dan kemampuan berpikir kritis yang Anda miliki untuk menyelesaikan masalah sangat diharapkan.

Dengan demikian, buku ini membawa konsep yang baru sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan tuntutan zaman. Akan tetapi, penyusun menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran demi kemajuan dunia pendidikan di masa mendatang.

Penyusun

Daftar Isi

Kata Sambutan iii
Kata Pengantar iv
Daftar Isi v

Bab 1 Struktur dan Fungsi Sel 1
A. Pendahuluan 2
B. Pengamatan Sel dari Masa ke Masa 3
C. Struktur dan Fungsi Sel 5
D. Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan 15
E. Transpor Melalui Membran 18

Bab 2 Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan 25
A. Pendahuluan 26
B. Organ Tumbuhan 27
C. Jaringan Penyusun Organ Tumbuhan 39
D. Kultur Jaringan 43

Bab 3 Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan 49
A. Pendahuluan 50
B. Jaringan Pembentuk Organ pada Hewan 51
C. Peranan Histologi pada Kesehatan 71

Uji Kemampuan Blok Bab 1 sampai Bab 3 75

Bab 4 Sistem Gerak 77
A. Pendahuluan 78
B. Tulang sebagai Alat Gerak Pasif 78
C. Otot sebagai Alat Gerak Aktif 91
D. Gangguan pada Sistem Gerak 97

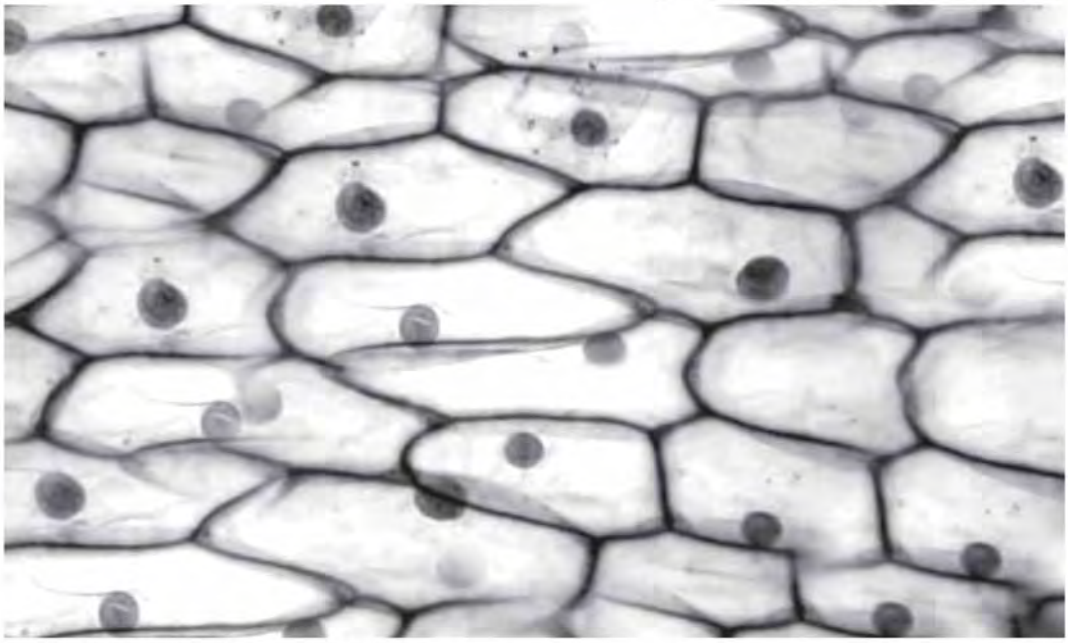
Bab 5 Sistem Peredaran Darah 105
A. Pendahuluan 106
B. Fungsi dan Komposisi Darah 107
C. Alat-Alat Peredaran Darah 111
D. Hubungan Sistem Peredaran Darah dengan Kesehatan 116
E. Sistem Peredaran Darah pada Hewan 120

Bab 6 Sistem Pencernaan 127
A. Pendahuluan 128
B. Sistem Pencernaan pada Manusia 128
C. Gangguan pada Sistem Pencernaan Makanan 140
D. Sistem Pencernaan pada Hewan 141

Bab 7 Sistem Pernapasan 147
A. Pendahuluan 148
B. Pengertian Pernapasan 149
C. Organ Pernapasan 150
D. Mekanisme Pernapasan Manusia 152
E. Gangguan pada Sistem Pernapasan 157
F. Sistem Pernapasan pada Hewan Vertebrata 159
Uji Kemampuan Blok Bab 4 sampai Bab 7 165
Bab 8 Sistem Ekskresi 167
A. Pendahuluan 168
B. Sistem Ekskresi pada Manusia 168
C. Gangguan pada Sistem Ekskresi 176
D. Sistem Ekskresi pada Hewan 178
Bab 9 Sistem Koordinasi 185
A. Pendahuluan 186
B. Sistem Saraf 187
C. Alat Indra 193
D. Sistem Endokrin 202
Bab 10 Sistem Reproduksi Organisme 213
A. Pendahuluan 214
B. Sistem Reproduksi Manusia 215
C. Proses Pembentukan Gamet 222
D. Siklus Menstruasi 224
E. Kehamilan 226
F. ASI 231
G. Mengatur Kelahiran 232
H. Penularan dan Pencegahan Penyakit yang Berhubungan dengan Sistem Reproduksi 234
Bab 11 Sistem Imun 239
A. Pendahuluan 240
B. Mekanisme Pertahanan Nonspesifik 241
C. Mekanisme Pertahanan Spesifik 244
D. Sistem Imun dan Memori terhadap Infeksi 247
Uji Kemampuan Blok Bab 8 sampai Bab 11 253
Daftar Pustaka 255
Glosarium 257
Kunci Jawaban 262
Indeks 264

Bab 1

Struktur dan Fungsi Sel



Sumber: *www.bargainmicroscopes.com, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- menjelaskan peranan sel sebagai unit struktural, fungsional, dan hereditas dari makhluk hidup;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi membran plasma, retikulum endoplasma, badan golgi, mitokondria, ribosom, lisosom, kloroplas, sitoskeleton, nukleus, dan nukleolus;
- mendeskripsikan dan menginterpretasi gambar atau foto sel hewan dan tumbuhan yang terlihat pada mikroskop elektron;
- menjelaskan mekanisme transpor pada membran (difusi, osmosis, transpor aktif, endositosis, dan eksositosis.

A. Pendahuluan

Kata Kunci

- *Difusi*
- *Eukariot*
- *Membran Plasma*
- *Nukleus*
- *Organel*
- *Osmosis*
- *Prokariot*
- *Sitoplasma*
- *Sitosol*

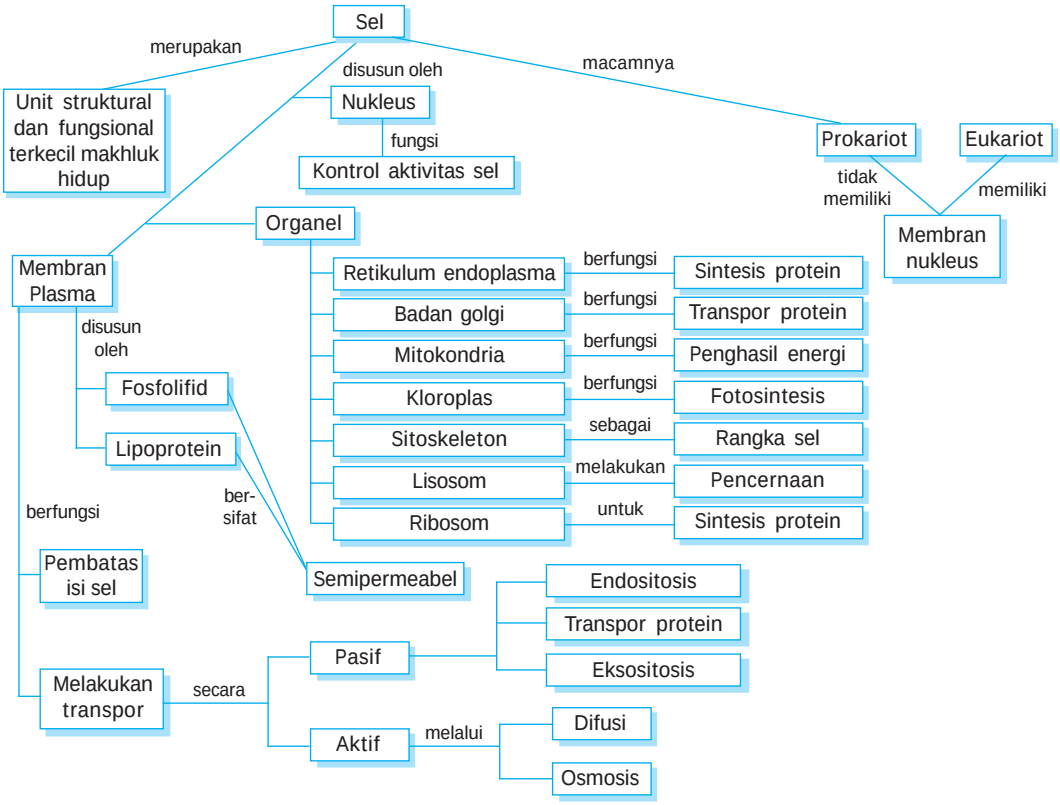
Gambar yang anda lihat di depan adalah gambar sayatan melintang epidermis bawang merah. Pada gambar itu tampak bahwa jaringan epidermis bawang merah tersusun atas banyak sel yang tersusun rapi.

Setiap sel yang menyusun jaringan epidermis ternyata mampu berdiri sendiri, terpisah dari sel lainnya. Semua fungsi unit-unit organisme dilakukan oleh sel. Bukan hanya itu, semua ciri-ciri makhluk hidup ternyata dimiliki oleh sel. Satu sel tunggal mampu melakukan regenerasi karena memiliki materi genetik, melakukan respirasi dengan adanya mitokondria, dan melakukan pencernaan dengan adanya lisosom. Dapatkah Anda kemukakan alasan lain mengapa sel sering disebut sebagai unit terkecil kehidupan?

Jelajah Biologi

Untuk mengetahui lebih jauh tentang sel, kunjungi: http//www.cellsalive.com

Agar Anda lebih mudah memahami pembahasan bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut!



B. Pengamatan Sel dari Masa ke Masa

Para ahli biologi sekarang ini banyak menaruh perhatian pada sel. Hal ini dikarenakan hampir seluruh pemahaman terhadap proses dan kegiatan-kegiatan yang terjadi pada makhluk hidup diawali dengan mempelajari struktur dan fungsi sel.

Pada masa lalu sebelum ditemukannya mikroskop, para ahli biologi belum menyadari akan pentingnya sel sebagai unit struktural dan fungsional dari kehidupan. Mengapa demikian? Karena skala penglihatan mata manusia sangat terbatas dan tidak mungkin dapat mengamati suatu objek yang berukuran kurang dari 100 mikron tanpa memakai alat bantu seperti mikroskop. Ukuran sel begitu kecil, berkisar antara 5 – 15 mikron. Ukuran sel yang sedemikian kecil itu di luar jangkauan pengamatan mata telanjang manusia. Hanya setelah ditemukannya suatu alat yang dinamakan mikroskop maka mulailah para ilmuwan mencurahkan perhatiannya pada apa yang dinamakan sel.

Struktur sel untuk pertama kali dilaporkan oleh seorang ilmuwan Inggris bernama Robert Hooke, tepatnya pada tahun 1665 atau kurang lebih 342 tahun yang lalu. Ia telah melakukan penelitian pada sayatan tumbuhan gabus (*Quercus suber*) yang sangat tipis dengan menggunakan mikroskop. Pada sayatan gabus tersebut ditemukan adanya ruang-ruang kosong yang dibatasi dinding-dinding dan tampak seperti sarang lebah madu. Ia memberi nama penemuannya itu "cella" yang artinya ruang kosong.

Tokoh



Sumber: *Jendela IPTEK Kehidupan, 2000*

Antoni van Leeuwenhoek adalah orang pertama yang mendeskripsikan tentang sel setelah beliau melihatnya melalui mikroskop, meskipun beliau bukanlah orang yang menemukan mikroskop. Penemuannya menjadi perhatian baru dalam bidang ilmu pengetahuan alam.

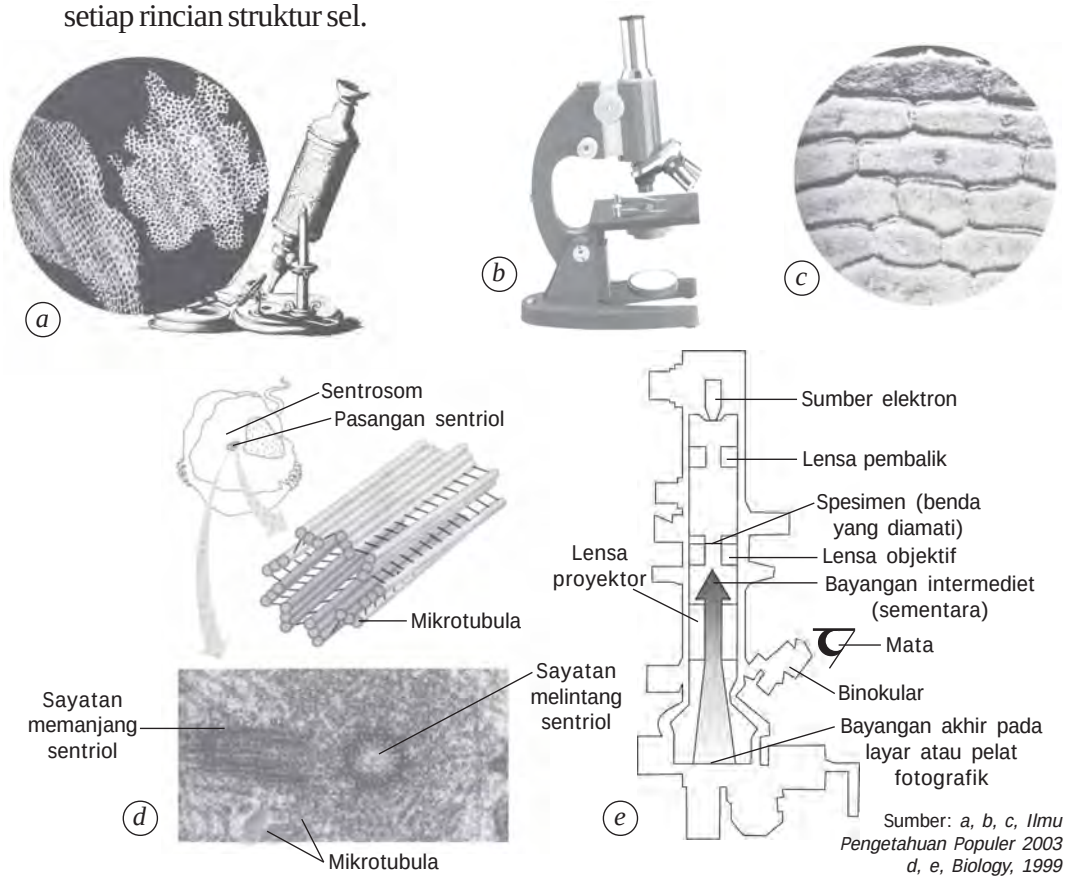
Antoni adalah anak seorang pembuat keranjang. Dengan demikian, Beliau tidak mampu untuk mengecap pendidikan pada jenjang yang lebih tinggi, namun beliau haus akan ilmu pengetahuan dan belajar secara otodidak.

Antoni sangat tertarik dalam pembuatan lensa serta menggunakannya untuk membuat mikroskop. Beliau membuat lebih dari 500 mikroskop. Dengan mikroskop tersebut, beliau mengamati banyak objek berukuran kecil yang tidak dapat dilihat oleh mata telanjang.

Oleh karena Antoni tidak pandai menggambar, beliau kemudian menyewa seorang seniman untuk menggambarkan sel dan objek lainnya yang telah diamatinya. Antoni juga adalah orang pertama yang mengamati organisme sel tunggal dalam air. Beliau pun orang pertama yang mengamati dan menggambarkan sel darah merah dan sel sperma. Beliau mempelajari banyak hal termasuk struktur planet dan mata serangga.

Penemuan Robert Hooke mengenai struktur berongga yang terdapat pada sel gabus tersebut sebenarnya hanya mengenai sel mati. Di dalam sel semacam itu hanya terlihat rongga sel tanpa isi. Akan tetapi, penemuan tersebut telah memberikan dorongan kepada para ilmuwan lainnya untuk mempelajari dan menyelidiki sayatan-sayatan yang dibuat dari bagian tubuh makhluk hidup.

Gambar 1.1a memperlihatkan bentuk sel yang ditemukan oleh Robert Hooke dengan menggunakan mikroskop cahaya sederhana (Gambar 1.1b). Sejak saat itu, pengamatan terhadap sel berkembang pesat dengan menggunakan mikroskop cahaya sampai perbesaran ratusan kali (Gambar 1.1c) memperlihatkan bentuk sel yang lebih jelas (Gambar 1.1d). Lebih dari itu, perkembangan paling mutakhir saat ini adalah mengamati struktur sel menggunakan mikroskop elektron (Gambar 1.1e) yang mampu memperlihatkan ultra struktur sel dengan perbesaran sampai ribuan kali. Dengan demikian, pengamatan kita saat ini terhadap sel memungkinkan kita untuk mempelajari setiap rincian struktur sel.



Sumber: *a, b, c, Ilmu Pengetahuan Populer 2003*
d, e, Biology, 1999

Gambar 1.1 Perkembangan pengamatan sel dari masa ke masa, a. bentuk sel yang pertama kali diamati oleh Robert Hooke, b. mikroskop yang digunakan oleh Robert Hooke, c. bentuk sel tumbuhan yang diamati oleh mikroskop cahaya, d. ultrastruktur sentriol yang difoto menggunakan mikroskop elektron, foto kemudian dimodelkan agar lebih mudah dipahami, e. bagian-bagian mikroskop elektron.

Mikroskop bukanlah satu-satunya perlengkapan yang digunakan untuk menyelidiki sel, melainkan ada metode baru yang telah dikembangkan, yaitu dengan memisahkan bagian-bagian sel dan kemudian mengisolasinya untuk penelitian yang lebih teliti. Bagaimanakah seorang ilmuwan dapat menemukan gagasan semacam itu?

Bagian-bagian yang terdapat di dalam sel memiliki massa yang berbeda-beda. Apabila sekumpulan isi sel ditempatkan pada pemusing *(sentrifuge)* maka bagian yang paling berat akan mengendap ke lapisan paling bawah. Sebaliknya, bagian yang paling ringan akan terapung di permukaan. Dengan cara demikian, orang dapat memisahkan bagian demi bagian sel untuk dianalisa susunan kimianya atau untuk diadakan percobaan-percobaan yang lebih lanjut. Pengetahuan tentang sel pada masa sekarang telah jauh berbeda daripada pengertian yang diperoleh Robert Hooke pada tahun 1665 saat sel baru ditemukan.

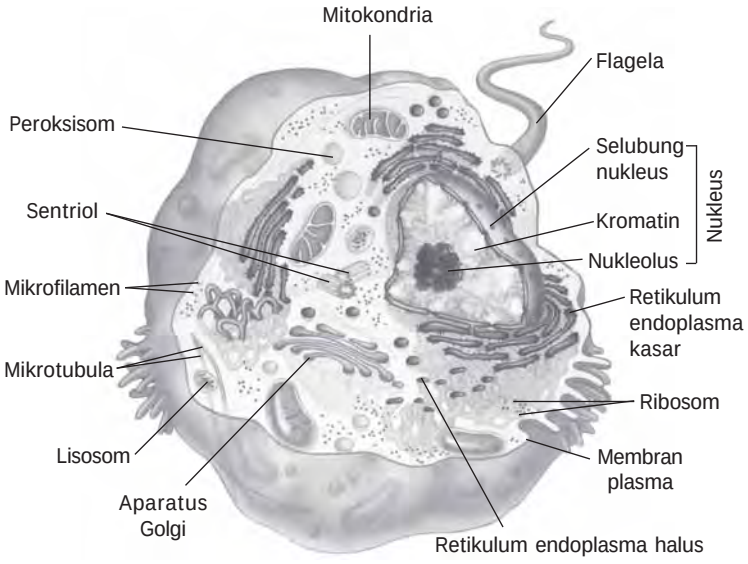
C. Struktur dan Fungsi Sel

Sebelum kita mempelajari tentang sel dan bagian-bagiannya, kita harus mengetahui terlebih dahulu seperti apakah sel itu?

Sel dapat dianalogikan seperti pabrik kimia.

- Sel membawa bahan baku molekul organik, seperti gula atau garam anorganik, yakni nitrat dan fosfat.
- Sel menggunakan bahan baku ini untuk membentuk molekul baru, seperti protein, di mana sel dapat menggunakannya untuk kepentingannya atau mengirimkannya ke bagian tubuh lainnya.

Berikut ini akan disajikan mengenai berbagai bagian dalam sel secara terpisah, namun sebelumnya perhatikanlah dengan baik oleh Anda gambar sebuah sel secara keseluruhan yang dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron seperti Gambar 1.2 berikut ini!



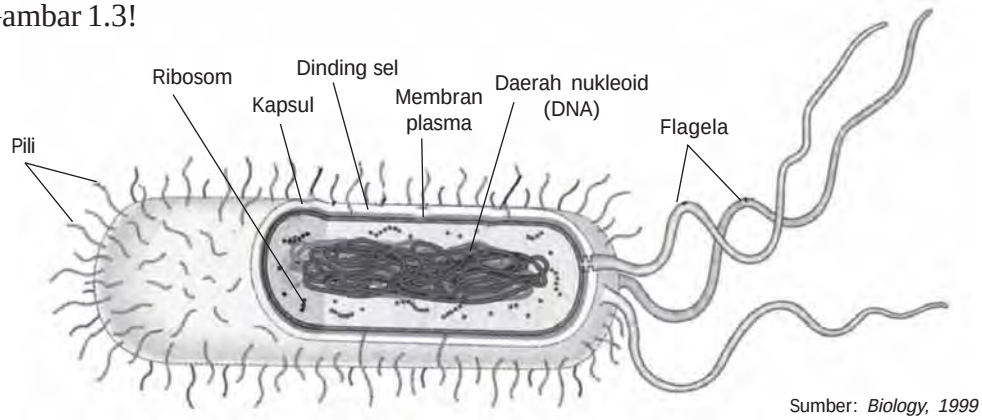
Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 1.2 Sebuah sel dan bagian-bagiannya.

Sel merupakan unit struktural dan fungsional dalam kehidupan. Di dalam sel terjadi reaksi kimia dan berbagai macam proses hidup yang merupakan ciri bahwa sel merupakan unit fungsional. Sebagai unit struktural sel merupakan komponen penyusun jaringan makhluk hidup. Setiap sel terdiri dari protoplasma dan membran sel. Protoplasma kemudian terbagi lagi menjadi

plasma sel atau sitoplasma dan inti sel atau nukleus. Sitoplasma terdiri dari medium semi cair yang disebut sitosol, yang di dalamnya terdapat organel-organel dengan bentuk dan fungsi yang terspesialisasi.

Secara struktural, sel dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Penamaan eukariot dan prokariot ini didasari oleh ada tidaknya membran pada nukleus. Organisme yang tidak memiliki membran nukleus disebut organisme prokariot, sedangkan organisme yang memiliki membran nukleus disebut organisme eukariot. Kata prokariot berasal dari bahasa Yunani, yaitu *pro* dan *karyon*. *Pro* artinya sebelum dan *karyon* artinya inti sel. Demikian pula istilah eukariot berasal dari kata *eu* dan *karyon*. *Eu* artinya sebenarnya dan *karyon* artinya inti sel. Pada sel eukariotik yang memiliki membran nukleus, cairan dalam intinya (nukleoplasma) terpisah dengan cairan yang berada di luar nukleus (sitoplasma). Untuk membandingkan sel eukariot dan prokariot, perhatikanlah Gambar 1.2 dan Gambar 1.3!

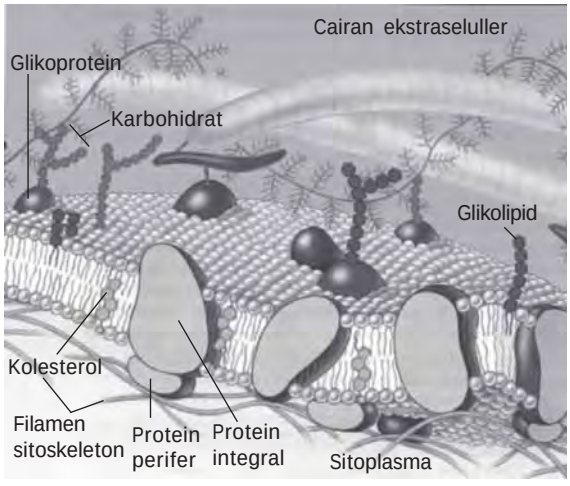


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.3 Sel prokariot dan bagian-bagiannya.

1. Membran Plasma

Membran plasma atau membran sel pada sel hewan merupakan lapisan yang paling luar yang membatasi isi sel dengan lingkungan di sekitarnya, sedangkan membran plasma pada sel tumbuhan terdapat di antara dinding sel dengan isi sel tersebut. Fungsi utama membran plasma, yaitu sebagai pengatur lalu lintas berbagai zat yang keluar dan zat yang masuk dari dan ke dalam sel secara selektif permeabel.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.4 Struktur membran sel.

Dengan perbesaran yang sangat kuat dapat diketahui bahwa membran plasma terdiri dari dua lapisan. Ketebalan masing-masing lapisan antara 2,5 sampai 3,5 nm (1 nm = 10^{-5} mm), kedua lapisan itu dipisahkan oleh suatu lapisan terang setebal ± 3,5 nm sehingga tebal membran plasma secara keseluruhan dapat mencapai ± 10 nm. Untuk lebih jelasnya perhatikanlah struktur membran sel pada Gambar 1.4!

Membran sel atau membran plasma tersusun dari dua lapisan lipoprotein, yaitu senyawa lipida yang mengandung protein. Lipida pada membran plasma terutama berupa fosfolipida, glikolipida, dan sterol. Setiap molekul lipid terdiri dari bagian "kepala" berupa gliserol bersifat hidrofilik atau mampu mengikat molekul air, dan bagian "ekor" berupa asam lemak yang bersifat hidrofobik atau menolak molekul air. Perbandingan protein dengan lipida pada membran plasma bergantung pada spesies dan lingkungan hidupnya, tetapi rata-rata kandungan protein berkisar antara setengah sampai dua pertiga bagian dari berat kering membran plasma tersebut.

Molekul protein yang terdapat pada permukaan dalam maupun permukaan luar membran plasma disebut *protein ekstrinsik* atau *protein perifer* yang sifatnya hidrofilik. Sementara itu, molekul protein yang menembus dari permukaan dalam ke permukaan luar dinamakan protein intrinsik atau protein integral. Bagian-bagian protein intrinsik yang terbenam di dalam lapisan lipida bersifat hidrofobik dan bagian yang mencuat ke permukaan cenderung bersifat hidrofilik. Adanya polisakarida yang terikat pada molekul-molekul protein membran plasma tersebut menambah sifat hidrofilik pada kedua permukaan membran plasma itu.

Sifat hidrofilik pada kedua sisi membran plasma menyebabkan membran plasma bersifat *selektif permeabel* sehingga ada molekul-molekul yang hanya dapat melewati membran dari luar ke dalam sel, atau hanya dapat melewati membran dari dalam ke luar sel saja. Namun, ada pula molekul yang dapat melewati membran dari dalam ke luar sel maupun sebaliknya.

Contohnya, membran akan membiarkan substansi yang berguna, seperti O_2 dan glukosa ke dalam sel. Membran juga akan membiarkan substansi yang tidak berguna, seperti CO_2 untuk meninggalkan sel. Selain itu, membran akan menjaga zat racun untuk masuk ke dalam sel melalui struktur molekul yang dimilikinya.

2. Sitoplasma

Istilah sitoplasma dipergunakan untuk menyatakan protoplasma yang terdapat di luar nukleus. Jadi, sitoplasma meliputi substansi yang berada di dalam sel, tetapi di luar nukleus. Sitoplasma ini terdiri dari matriks atau sitosol yang transparan, dan sejumlah organel, yaitu struktur yang memiliki membran pemisah terhadap matriks di sekelilingnya.

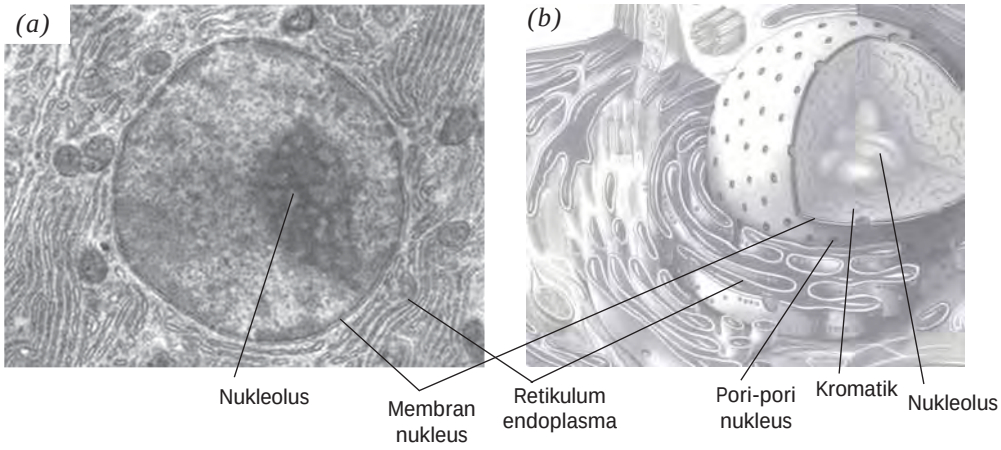
Bagian terbesar dari matriks ialah air dan selebihnya berupa zat-zat organik, misalnya karbohidrat, lemak, dan protein serta berbagai macam zat anorganik.

Sistem koloid terdiri dari medium berupa air dan misel, yaitu partikel-partikel yang tersebar di dalamnya. Sistem ini di dalam sitoplasma memiliki kekentalan yang dapat berubah dari keadaan encer atau mudah mengalir (fase sol) menjadi keadaan kental yang sulit mengalir (fase gel). Begitu pula sebaliknya, yaitu dari fase gel menjadi fase sol. Perubahan fase ini disebabkan berubahnya kadar air dan susunan partikel-partikel di dalam sitoplasma.

3. Nukleus

Nukleus atau inti sel biasanya berbentuk bundar atau oval, terletak di sekitar bagian tengah sel. Struktur yang merupakan pusat pengendali seluruh kegiatan sel ini, memiliki dua rangkap membran nukleus sebagai pembatas terhadap sitoplasma yang ada di sekelilingnya.

Membran ini tersusun dari lipoprotein yang sama seperti membran plasma, serta memiliki pori-pori yang memungkinkan beberapa macam substansi dapat melintasinya, baik dari dalam nukleus ke sitoplasma maupun sebaliknya. Matriks di dalam nukleus disebut nukleoplasma, di dalamnya terkandung bermacam-macam enzim yang terlarut serta kromosom dan nukleoid (tunggal: nukleolus). Untuk mendapatkan gambaran mengenai bentuk nukleus, perhatikan Gambar 1.5!



Gambar 1.5 Nukleus (a) Foto mikroskop elektron, (b) model nukleus.

Komponen utama penyusun kromosom ialah protein dasar yang disebut histon dan asam nukleat dalam bentuk asam deoksiribonukleat (DNA). DNA merupakan substansi genetika pembawa sifat-sifat keturunan. Di dalam sel yang tidak sedang mengalami proses pembelahan, terdapat kromosom yang sangat halus dan panjang yang biasa disebut sebagai kromatin. Jumlah kromosom pada sel berbagai spesies sangat bervariasi, jumlah tersebut umumnya tetap pada setiap spesies. Nukleolus

merupakan badan yang berbentuk bundar dan hanya tampak setelah berakhirnya proses pembelahan sel. Badan ini berfungsi pada pembentukan jenis asam nukleat yang lain, yaitu asam ribonukleat (RNA).

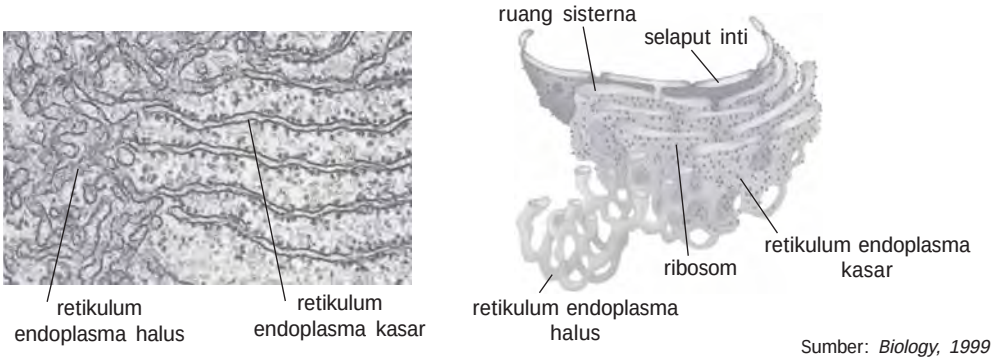
4. Ribosom

Ribosom merupakan suatu partikel nukleoprotein, yaitu senyawa protein dengan molekul asam ribonukleat (RNA). Pada sel-sel eukariotik, setiap ribosom memiliki diameter berukuran sekitar 20 nm, sedangkan pada sel-sel prokariotik ukurannya lebih kecil.

Sebagian organel ini melekat pada membran retikulum endoplasma membentuk kelompok-kelompok yang disebut polisom, sedangkan yang selebihnya tersebar bebas di dalam sitosol bahkan kerap kali terdapat pula dalam organel lain seperti mitokondria dan kloroplas. Organel ini berperan pada sintesis protein dan tahap-tahap sintesis protein.

5. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma (RE) tersusun dari pasangan membran atau selaput yang sejajar dan membentuk suatu sistem yang tersebar di seluruh bagian sitoplasma. Perhatikanlah Gambar 1.6!



Sumber: *Biology, 1999*

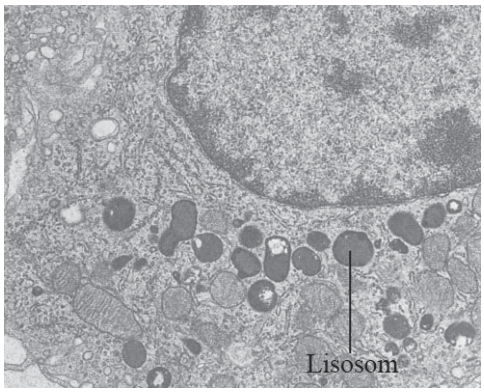
Gambar 1.6 Retikulum Endoplasma (RE).

Adanya ruang-ruang yang terbentuk di antara pasangan membran yang sejajar menyebabkan sistem RE tampak seperti saluran-saluran yang rumit, dan di beberapa tempat sistem ini berhubungan dengan membran plasma dan membran nukleus.

Pada permukaan luar selaput RE terdapat deretan-deretan ribosom. Namun, tidak seluruh RE memiliki deretan ribosom. RE yang tidak memiliki ribosom berperan pada sintesis lemak dan steroid.

Hasil sintesis tersebut selanjutnya akan disekresikan ke dalam saluran RE untuk diangkat ke bagian-bagian sel lain, yaitu ke badan golgi, vakuola, atau dikeluarkan dari sel secara eksositosis.

6. Lisosom



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.7 Lisosom.

Lisosom termasuk organel yang sangat kecil dibandingkan dengan organel lain, umumnya berdiameter antara 0,2 sampai 0,5 μm. Organel ini dihasilkan oleh badan golgi dan banyak tersebar di dalam sitoplasma sel-sel hewan, terutama pada sel-sel kelenjar, dan sel-sel darah putih yang bersifat fagosit, juga terdapat pada jamur dan protista.

Di dalam lisosom terdapat bermacam-macam enzim hidrolitik yang berperan dalam pencernaan intraseluler sebagai pengurai berbagai substansi di dalam sel. Substansi tersebut sebagian berasal dari luar, misalnya polisakarida, lemak, dan protein termasuk juga bakteri yang ditangkap secara fagosit. Sebagian lagi substansi tersebut berupa organel-organel yang sudah tidak terpakai, bahkan sel-sel yang rusak atau mati. Dengan demikian, bahan-bahannya dapat dimanfaatkan kembali untuk pertumbuhan sel-sel yang baru.

7. Mitokondria

Mitokondria berbentuk bulat, lonjong, atau batang dengan diameter berkisar antara 0,5 – 1,0 μm dan panjang antara 1 – 2 μm. Organel ini terdapat pada semua sel eukariotik dengan jumlah beragam. Pada sel yang aktivitasnya tinggi seperti sel saraf dan sel otot, didapatkan mitokondria dalam jumlah ratusan sampai ribuan. Pada ganggang, Chlorella misalnya hanya terdapat sebuah mitokondria berukuran besar yang bercabang-cabang, sedangkan pada sel darah merah tidak terdapat mitokondria.

Mitokondria memiliki dua lapis membran, yaitu membran dalam dan membran luar. Membran dalam memiliki lipatan-lipatan ke arah dalam

Horizon Biologi

Irisan Kehidupan



Sumber: *Jendela Iptek Kehidupan*

Gambar sel pada cover awal bab ini difoto dengan mikroskop cahaya. Sel dipersiapkan dengan khusus agar terlihat. Tiap-tiap spesimen jaringan diwarnai, dan seiris jaringan dipotong dari spesimen tadi dengan mempergunakan instrumen yang cermat yang disebut mikrotom ayun. Irisan ini kemudian dipasang di film negatif. Mikrotom membuang irisan-irisan yang tebalnya kurang dari ketebalan satu sel. Setiap irisan mempunyai ketebalan yang sangat tipis. Oleh karena itu, hampir semua detail dapat diamati pada saat yang sama.

yang disebut krista dan berfungsi pada proses respirasi sel. Pada proses respirasi sel ini, permukaan membran dalam akan bertambah luas. Membran dalam diselaputi oleh membran luar yang strukturnya sama dengan membran plasma dan berperan sebagai pengatur keluar masuknya zat-zat kimia dari dan ke dalam sel.



Sumber: *Modern Biology, 1993*

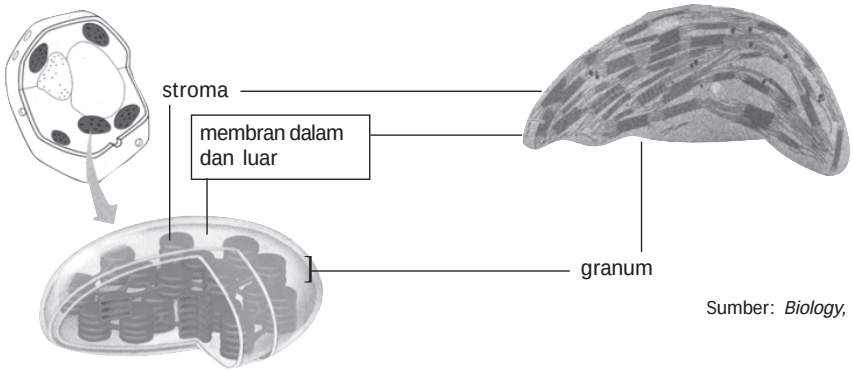
Gambar 1.8 Struktur mitokondria.

Matriks dibungkus oleh membran dan mengandung DNA dan ribosom sehingga di dalam mitokondria dapat berlangsung proses sintesis protein. Namun, fungsi utama organel ini adalah sebagai tempat berlangsungnya proses respirasi sel. Di dalam matriksnya terdapat bermacam-macam enzim yang mengendalikan tahap-tahap reaksi respirasi sel.

8. Kloroplas

Kloroplas merupakan salah satu bentuk plastida, yaitu organel yang terbungkus oleh dua lapis membran dan mengandung pigmen yang sebagian besar merupakan klorofil atau zat hijau daun. Selain itu, di dalam kloroplas terdapat pula pigmen-pigmen lainnya yang tergolong karotenoid, yaitu karioten yang memberikan warna jingga dan xantofil untuk warna kuning.

Bentuk kloroplas menyerupai cakram dengan diameter 5 – 10 μm dan ketebalan antara 2 – 4 μm. Organel ini dijumpai pada sel-sel fotosintesis tumbuhan dan beberapa jenis ganggang. Di dalam membran pembungkus kloroplas terdapat *grana* (tunggal: granum), yaitu tumpukan kantung-kantung yang masing-masing berisi pigmen klorofil, karotenoid, juga protein dan lemak.



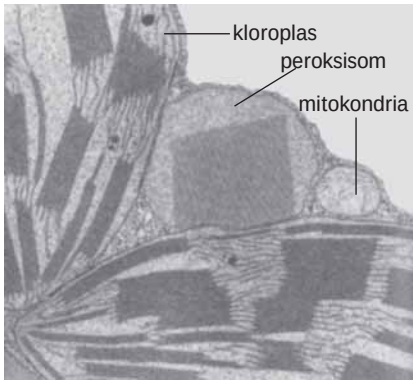
Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.9 Struktur kloroplas.

Setiap kantung disebut *tilakoid* dan yang lebih panjang ada di antaranya, yaitu tilakoid stroma, menghubungkan grana yang satu dengan grana yang lain. Seluruh grana tersebut terbenam di dalam stroma, yaitu bahan dasar yang bening dan banyak mengandung enzim-enzim pembentuk karbohidrat, terdapat pula sedikit DNA, RNA, dan ribosom.

9. Badan Mikro

Organel yang dibatasi oleh selapis membran ini berbentuk bulat dengan diameter berkisar antara 0,5 mm sampai 1,5 mm. Badan mikro merupakan organel yang dihasilkan dari retikulum endoplasma dan tidak memiliki struktur dalam. Terdapat dua macam badan mikro yang penting, yaitu *peroksisom* dan *glioksisom*.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.10 Peroksisom pada tumbuhan.

Peroksisom merupakan organel yang pada tumbuhan terdapat di dalam jaringan fotosintesis dan berhubungan langsung dengan kloroplas, sedangkan pada hewan terdapat di dalam sel-sel hati dan ginjal. Organel ini mengandung beberapa enzim metabolisme seperti enzim asam glikosilat dan H_2O_2 (hidrogen peroksida) yang berfungsi pada rangkaian fotorespirasi sel tumbuhan.

Hidrogen peroksida yang dihasilkan dari beberapa reaksi biokimia di dalam sel tumbuhan maupun hewan ini bersifat racun. Selanjutnya, akan diuraikan oleh enzim katalase yang juga terdapat di dalam peroksisom menjadi senyawa yang tidak beracun.

$$H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O + O_2$$

Glioksisom berisi enzim yang berfungsi untuk menguraikan molekul-molekul lemak menjadi karbohidrat selama perkecambahan, dalam reaksi ini pun dihasilkan H_2O_2 yang akan diuraikan oleh enzim katalase.

10. Sitoskeleton

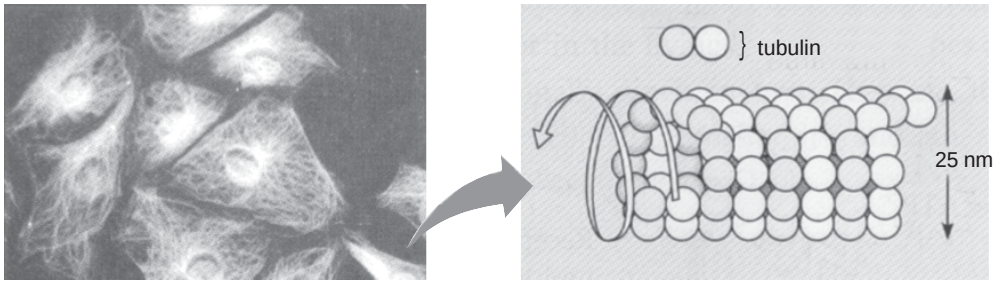
Sitoskeleton berfungsi sebagai rangka pada sel seperti halnya rangka pada tubuh manusia. Sitoskeleton memberikan bentuk pada sel dan membantu pengangkutan bahan-bahan di dalam sel.

Sitoskeleton terbagi menjadi tiga jenis, yaitu mikrotubul, mikrofilamen, dan filamen intermediat.

a. Mikrotubul

Mikrotubul (jamak = mikrotubula) terdapat pada sel-sel hewan maupun sel tumbuhan berupa silinder atau tabung yang tidak bercabang-cabang, panjangnya mencapai beberapa mikrometer (mm) dengan diameter luar ± 25 nm dan diameter dalam 12 nm.

Organel ini tersusun dari molekul-molekul protein tubulin yang terangkai dalam susunan heliks (terpilin) membentuk dinding silinder berongga. Pada irisan melintang mikrotubul tampak penampang lintangnya terdiri dari 13 subunit yang merupakan bagian dari 13 benang-benang tubulin.



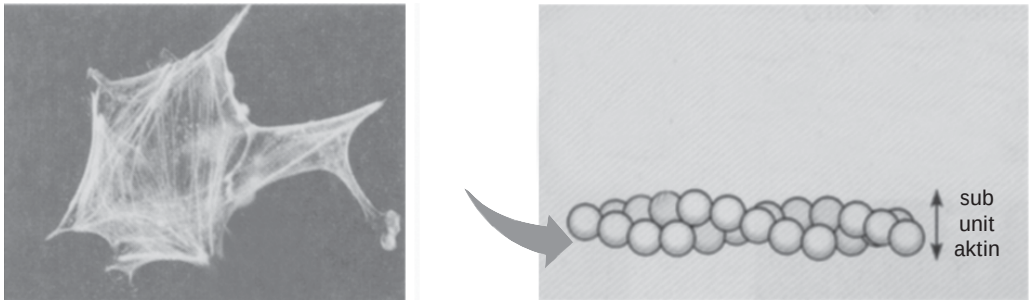
Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.11 Struktur mikrotubul.

Mikrotubul bersifat kaku dan berperan sebagai rangka dalam sel (sitoskeleton) yang memberi bentuk sel. Peranan lainnya adalah membantu pengangkutan bahan-bahan di dalam sel, serta merupakan komponen utama yang membangun silia, flagel, dan benang-benang gelendong inti selama berlangsungnya pembelahan sel.

b. Mikrofilamen

Mikrofilamen merupakan benang-benang halus dengan diameter berkisar antara 5 sampai 7 nm. Benang-benang ini tersusun dari protein aktin. Selain itu, terdapat juga protein pada kontraksi otot seperti yang terlihat pada Gambar 1.12. Mikrofilamen juga berperan dalam pembentukan kaki semu pada protista dan jamur lendir.

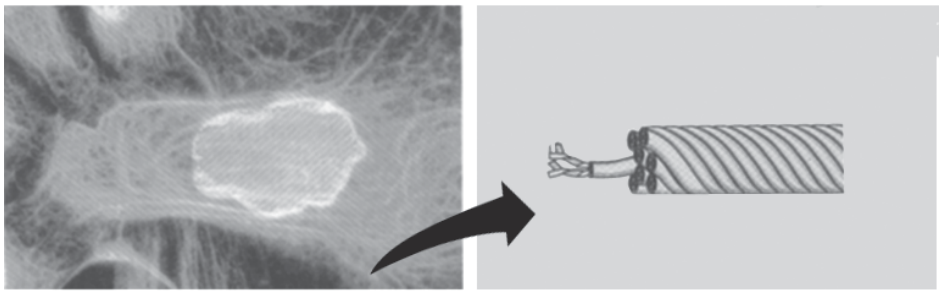


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar1.12 Susunan mikrofilamen pada kontraksi dan relaksasi otot.

c. Filamen Intermediat

Bahan-bahan yang menyusun filamen intermediat adalah keratin. Keratin merupakan protein berbentuk serabut yang menggulung-gulung. Filamen intermediat berfungsi sebagai penahan tegangan dan memberikan bentuk sel. Selain itu, filamen intermediat juga berfungsi sebagai jangkar bagi organel dan nukleus.

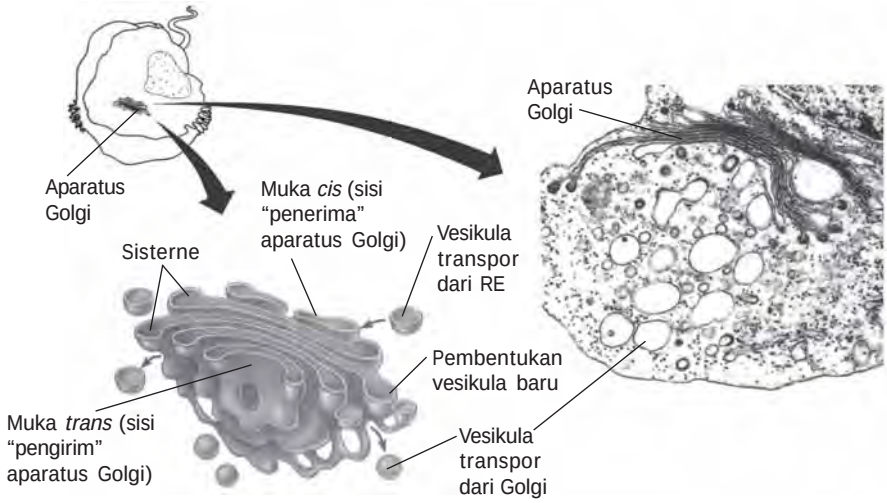


Gambar1.13 Filamen intermediat. Sumber: *Biology, 1999*

11. Badan Golgi

Kita dapat mengatakan golgi sebagai pusat produksi, pergudangan, penyortiran, dan pengiriman. Di sini, produk RE dimodifikasi dan disimpan, kemudian dikirim ke tujuan lain. Oleh karena itu, aparatus golgi sangat banyak ditemukan pada sel yang terspesialisasi untuk sekretori, misalnya sel-sel kelenjar pencernaan, sel-sel kelenjar pankreas, kelenjar air ludah, dan kelenjar air mata.

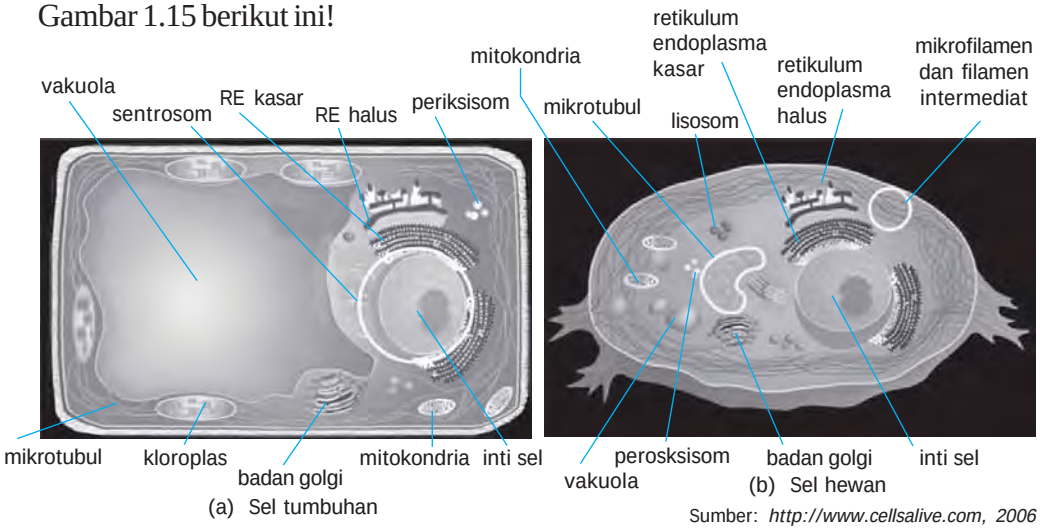
Badan golgi bertugas melakukan modifikasi produk kiriman RE sebelum digunakan di dalam atau di luar sel. Salah satu modifikasi yang dilakukan oleh golgi, yaitu glikosilasi yang merupakan modifikasi protein. Glikosilasi menghasilkan oligosakarida yang khas sebagai penanda protein yang akan masuk ke dalam sel.



Gambar 1.14 Struktur badan golgi. Sumber: *Biology, 1999*

D. Perbedaan Sel Hewan dan Sel Tumbuhan

Sebelumnya telah dijelaskan mengenai struktur bagian sel secara keseluruhan, baik bagian sel yang terdapat pada tumbuhan maupun hewan. Sekarang yang menjadi pertanyaan kita, apakah bagian-bagian sel tumbuhan dan hewan itu sama atau berbeda? Ternyata sel tumbuhan ada sedikit perbedaan dari sel hewan dalam hal organel-organel tertentu yang tidak terdapat pada sel hewan, seperti dinding sel dan plastida. Sebaliknya, ada juga organel yang hanya dimiliki oleh sel-sel hewan, seperti sentrosom. Untuk lebih jelasnya mengenai perbedaan sel hewan dan sel tumbuhan dapat Anda simak Gambar 1.15 berikut ini!



Sumber: *http://www.cellsalive.com, 2006*

Gambar 1.15 Struktur sel tumbuhan dan sel hewan.

Eksperimen **Biologi**

Membandingkan Sel Hewan dengan Sel Tumbuhan

Sel hewan berbeda dengan sel tumbuhan pada beberapa organel. Lakukanlah pengamatan untuk mengetahui perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan. Sediakan umbi bawang merah untuk mengamati sel tumbuhan dan sel epitel pipi untuk mengamati sel hewan. Apakah terdapat perbedaan antara sel hewan dan sel tumbuhan?

Cobalah tuliskan hipotesis Anda terhadap permasalahan ini!

A. Alat dan Bahan:

- kaca objek
- kaca penutup
- tusuk gigi
- silet
- larutan yodium
- mikroskop
- umbi bawang merah

B. Cara Kerja

a) Sel Hewan

1. Gunakan tusuk gigi yang bersih untuk mengorek bagian dalam pipi.

2. Tempatkan hasil korekan tersebut pada kaca objek yang telah ditetesi larutan yodium!
3. Tutuplah dengan kaca penutup perlahan-lahan agar tidak terdapat gelembung udara!
4. Amatilah di bawah mikroskop, mulailah pengamatan dari pembesaran rendah ke yang lebih tinggi!
5. Gambarkan sel yang teramati oleh Anda! Berilah nama pada setiap bagiannya!



b) Sel Tumbuhan

1. Pilihlah selapis umbi bawang merah yang masih segar!
2. Bagi dua umbi bawang tersebut sampai terlihat pecah!
3. Sayatlah permukaan bagian umbi bawang tersebut perlahan-lahan dengan menggunakan silet!
4. Potonglah sayatan tersebut menjadi bagian-bagian kecil, simpan pada kaca objek!
5. Teteskan larutan yodium, kemudian tutup dengan kaca penutup!
6. Amati di bawah mikroskop sediaan yang Anda buat!
7. Gambarkan sel epidermis yang teramati oleh Anda dan berikan nama pada setiap bagiannya!

C. Hasil dan Pembahasan

1. Bagian-bagian apa saja yang terdapat pada sel hewan dan sel tumbuhan? Adakah bagian-bagian yang tidak tampak melalui mikroskop cahaya?
2. Organel apa saja yang dimiliki oleh sel hewan, tetapi tidak dimiliki oleh sel tumbuhan?
3. Apa akibat perbedaan organel-organel sel hewan dan sel tumbuhan?

D. Kesimpulan

Apa yang dapat Anda simpulkan dari kedua percobaan tersebut?

1. Sel Tumbuhan

a. *Dinding Sel*

Telah anda ketahui bahwa semua sel diselaputi oleh membran plasma, tetapi pada sel tumbuhan dilengkapi lagi dengan dinding sel. Dinding sel dapat dibedakan menjadi dinding sel primer dan dinding sel sekunder.

Dinding sel primer tebalnya ± 1 – 3 mm dan tersusun dari selulosa (± 9 – 25%), hemiselulosa, senyawa pektin, serta beberapa senyawa lainnya. Molekul-molekul selulosa tersebut membentuk mikrofibril, yaitu serat-serat panjang yang memiliki daya renggang yang sangat kuat.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 1.16 Mikrofibril pada permukaan dinding sel tumbuhan.

Sel-sel muda yang sedang tumbuh hanya memiliki dinding sel primer. Demikian juga pada beberapa jenis sel tumbuhan, misalnya sel-sel fotosintesis dan sel-sel parenkim.

Pada sel-sel dewasa terdapat dinding sel sekunder yang terletak di antara dinding sel primer dan membran plasma. Dinding ini dihasilkan oleh protoplasma setelah sel tidak bertambah besar lagi. Kandungan selulosanya lebih banyak (±41 – 45%), dan juga mengandung hemiselulosa serta lignin. Bahan-bahan tersebut menjadikan dinding sel sekunder lebih tebal dan tegar daripada dinding sel primer seperti yang terdapat pada jaringan xilem dewasa.

b. Vakuola

Vakuola pada sel tumbuhan dibungkus oleh selapis membran yang disebut tonoplas. Membran vakuloa ini berasal dari retikulum endoplasma dan berfungsi mengatur zat-zat yang keluar masuk vakuola. Sel dewasa biasanya hanya memiliki satu vakuola besar di bagian tengah, sedangkan pada sel muda terdapat beberapa vakuola kecil.

Di dalam vakuola tumbuhan terdapat bermacam-macam senyawa kimia, misalnya garam-garam mineral, karbohidrat, asam-asam amino, zat-zat yang tidak diperlukan lagi, hasil sampingan metabolisme yang dapat meracuni sitoplasma, dan terdapat juga pigmen, misalnya antosianin yang menentukan warna pada bunga.

Vakuola pada sel hewan biasanya lebih kecil dan tidak dilengkapi dengan tonoplas. Pada beberapa jenis protozoa terdapat vakuola makanan yang di dalamnya tersimpan sejumlah enzim-enzim pencernaan intraseluler. Selain itu, terdapat pula vakuola berdenyut yang berperan dalam osmoregulasi, yaitu mengatur potensial osmotik cairan di dalam sel.

c. Plastida

Plastida merupakan organel yang diselaputi oleh dua lapis membran. Di dalamnya terkandung DNA, ribosom, sejumlah enzim, dan beberapa jenis protein. Organel yang hanya terdapat pada sel tumbuhan ini sebagian di antaranya mengandung zat warna (pigmen).

Plastida yang tidak mengandung zat warna disebut *leukoplas* dan dapat dibedakan berdasarkan kandungannya, contohnya *amiloplas* yaitu plastida yang mengandung amilum, proteinoplas mengandung protein, dan *elaioplas* mengandung lemak.

Sementara itu, plastida yang mengandung pigmen dibedakan menjadi kloroplas dan kromoplas. Kloroplas yaitu plastida yang sebagian besar isinya adalah klorofil, sedangkan kromoplas mengandung pigmen-pigmen dominan selain klorofil, misalnya pigmen merah, jingga, kuning yang banyak terdapat pada bunga, buah, dan biji.

2. Sel Hewan

Sentrosom

Sentrosom hanya terdapat pada sel-sel hewan dan berperan pada proses pembelahan sel. Badan ini terdiri dari dua sentriol dan diliputi oleh sitoplasma yang disebut sentrosfer. Setiap sentriol berbentuk silinder berongga dengan diameter lebih kurang 0,2 mm tersusun dari sejumlah mikrotubul.

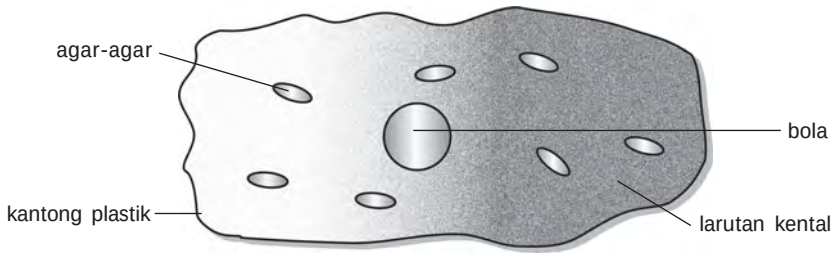
Pada sel yang tidak melakukan proses pembelahan, organel ini terletak di dekat inti nukleus. Namun, pada awal proses pembelahan sel masing-masing sentriol berduplikasi sehingga terbentuk dua pasang sentriol. Selanjutnya, setiap pasang akan menuju kutub sel yang berlawanan dan memancarkan serat-serat gelendong pembelahan sel yang terdiri dari mikrotubul.

Tugas

Buatlah suatu model sel hewan menggunakan bahan-bahan sebagai berikut.

1. Kantong plastik berukuran kecil
2. Bola tenis meja
3. Larutan kental, misalnya gliserin atau minyak
4. Agar-agar berukuran kecil

Tempatkan semua bahan-bahan tersebut dalam satu kantung plastik. Kemudian ikatlah kantung plastik tersebut hingga isinya tidak keluar.

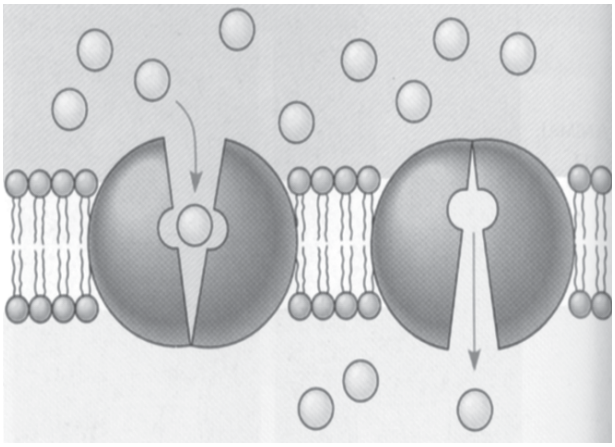


Pertanyaan:

1. Sebutkan setiap bagian pada model tersebut yang termasuk sel-sel hewan!
2. Apakah model yang Anda buat cukup baik sebagai model sel? Dapatkah Anda memberikan saran untuk membuat model yang lebih baik?

E. Transpor Melalui Membran

Bermacam-macam organel atau benda-benda hidup sel yang terdapat di dalam sitoplasma memiliki membran yang strukturnya sama dengan struktur membran plasma. Membran-membran tersebut selalu dilalui oleh bermacam-macam bahan molekul hasil



Sumber: *Biology, 1999*

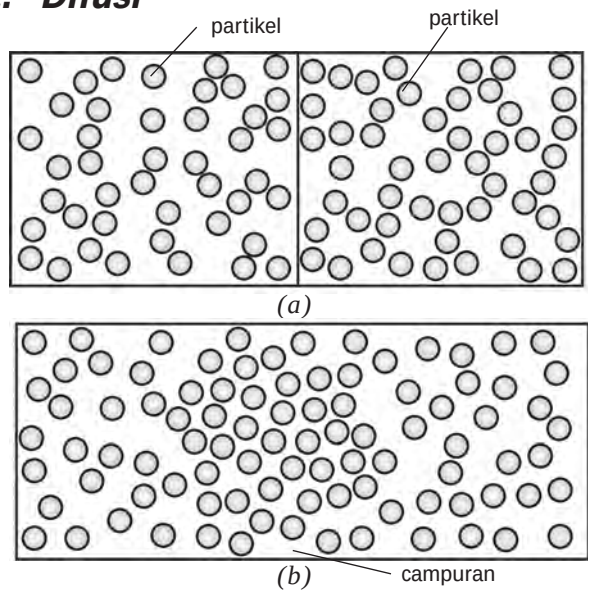
Gambar 1.17 Model difusi terbantu atau berfasilitas. Faktor pembantu menyebabkan terbukanya saluran pada protein integral.

suatu proses metabolisme sel maupun sisanya. Ada berbagai cara perpindahan molekul antara lain dengan cara difusi, osmosis, atau transpor aktif. Cara difusi dan cara osmosis tidak membutuhkan energi, sedangkan cara transpor aktif membutuhkan energi.

Adakalanya suatu partikel tidak dapat berdifusi karena terhalang oleh membran yang impermeabel (tidak dapat ditembus). Namun, jika pada membran itu terdapat faktor pembantu, misalnya enzim yang menyebabkan terbukanya saluran pada protein integral, partikel tersebut dapat berdifusi tanpa melibatkan energi, peristiwa ini disebut difusi terbantu atau berfasilitas seperti yang tampak pada Gambar 1.17 di atas.

Sebagian partikel diangkut melintasi membran dengan cara transpor aktif, yaitu dengan melibatkan sejumlah energi untuk pemindahan partikel dari larutan yang konsentrasinya lebih rendah (hipotonis). Transpor aktif juga dilakukan jika membran memiliki tingkat permeabilitas yang sangat rendah terhadap partikel tertentu.

1. Difusi



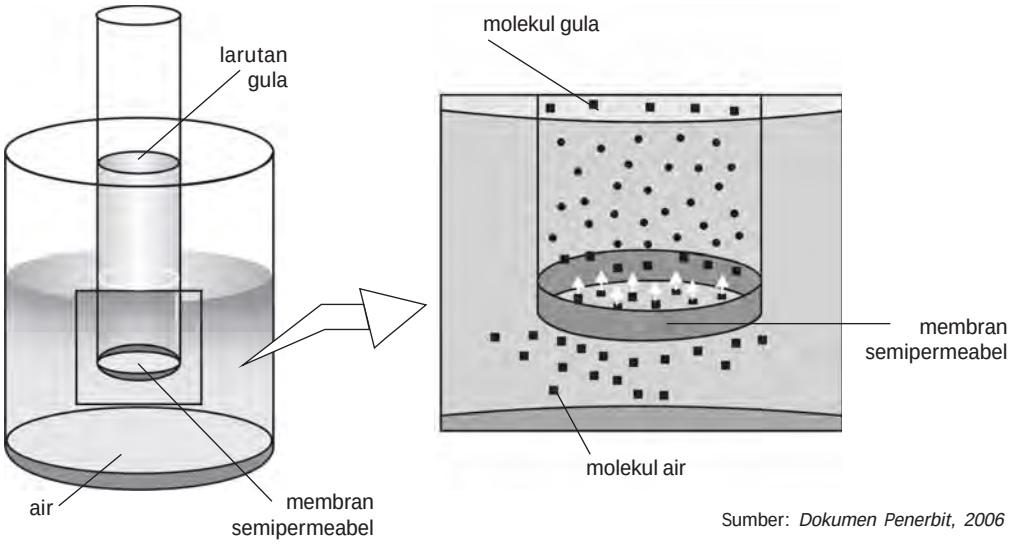
Perhatikan Gambar 1.18!

Di dalam sel, zat-zat yang memiliki berat molekul rendah dapat berdifusi melalui membran. Selama proses difusi ini zat yang terlarut dapat berpindah dari larutan berkonsentrasi tinggi ke larutan berkonsentrasi rendah. Perpindahan zat ini terus terjadi sehingga tercapai keadaan setimbang, pada saat keadaan setimbang konsentrasi kedua larutan sama besar.

Gambar 1.18 Proses difusi (a) sebelum terjadi difusi, (b) setelah terjadi difusi.

2. Osmosis

Membran sel membatasi isi sel dengan lingkungan sekitarnya, namun demikian berbagai zat terlarut harus dapat keluar masuk sel untuk melangsungkan metabolisme sel. Proses osmosis adalah perpindahan pelarut suatu zat melalui membran selektif permeabel. Selektif permeabel artinya tidak semua molekul dapat melalui membran tersebut. Hanya molekul-molekul tertentu yang leluasa keluar masuk membran tersebut.



Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

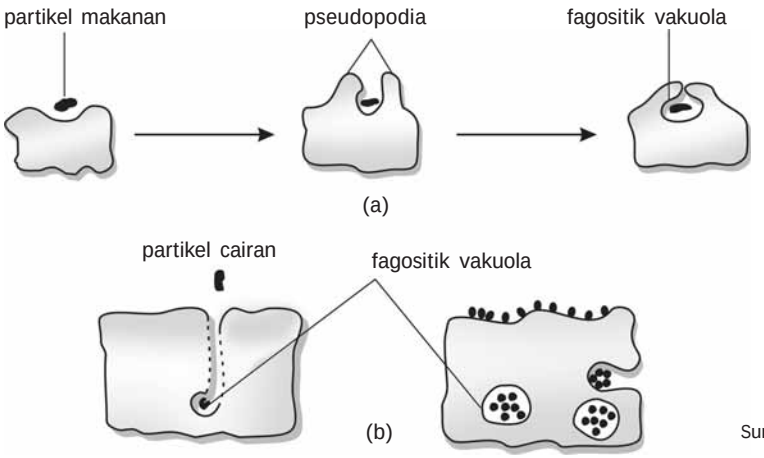
Gambar 1.19 Osmosis.

3. Transpor Aktif

Adakalanya suatu partikel tidak dapat berdifusi karena terhalang oleh membran yang impermeabel (tidak dapat ditembus). Namun, jika pada membran itu terdapat faktor pembantu, misalnya enzim yang menyebabkan terbukanya saluran pada protein integral, partikel tersebut dapat berdifusi tanpa melibatkan energi. Peristiwa ini disebut difusi terbantu/berfasilitas.

Sebagian partikel diangkut melintasi membran dengan cara transpor aktif, yaitu dengan melibatkan sejumlah energi untuk pemindahan partikel dari larutan yang konsentrasinya lebih rendah (hipotonis). Transpor aktif juga dilakukan jika membran memiliki tingkat permeabilitas yang sangat rendah terhadap partikel tertentu.

Terdapat dua bentuk endositosis, yaitu fagositosis dan pinositosis. Fagositosis berasal dari kata fago, artinya makan karena menunjukkan seolah-olah sel sedang makan. Pinositosis berasal dari kata pinos, artinya minum karena seolah-olah menunjukkan sel sedang minum. Fagositosis dan pinositosis merupakan cara lain agar suatu zat dapat keluar masuk sel tanpa menembus membran plasma.



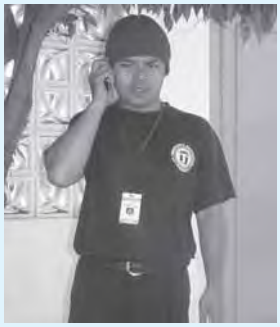
Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Gambar 1.20 Proses (a) fagositosis (b) pinositosis.

Pada proses fagositosis terjadi tonjolan sitoplasma yang disebut pseudopodia menyelubungi suatu zat padat di luar sel. Pada suatu zat tersebut akan terbentuk membran yang terlepas dari membran plasma membentuk suatu kantong, disebut fagositik vakuola. Berbeda dengan fagositosis, pada proses pinositosis tidak terbentuk tonjolan protoplasma, tetapi cairan seolah-olah tertarik oleh membran, kemudian membran melakukan *invaginasi* (melekuk ke bawah). Selanjutnya terlepas dari membran sel sehingga terbentuk satu vakuola. Zat yang terlibat dalam proses pinositosis biasanya berupa zat cair.

Peristiwa fagositosis, misalnya terjadi pada sel darah putih terhadap bakteri atau penghancuran eritrosit tua dalam hati, limpa, dan sumsum merah oleh sel-sel retikuloendotelial. Pinositosis umumnya terjadi pada sel leukosit, sel ginjal, epitelium usus, makrofag hati, dan sel akar tumbuhan.

Salingtemas



Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Kanker atau tumor ganas adalah penyakit yang disebabkan oleh pertumbuhan sel abnormal di dalam tubuh yang berlangsung secara cepat dan tidak terkontrol. Penyakit ini dapat menyerang dan merusak hampir semua organ atau jaringan tubuh yang sehat, bahkan menyebabkan kematian organisme. Ada beberapa hal yang dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya kanker dalam tubuh, misalnya makanan, dan minuman tertentu, radiasi sinar ultraviolet, unsur radioaktif, dan lain-lain.

Kuatnya pancaran gelombang radio dan letak penggunaan ponsel yang menempel pada kepala menimbulkan sedikit kekhawatiran. Orang khawatir, sinyal elektromagnet yang melewati otak dapat mengubah sel-sel otak hingga berkembang abnormal dan potensial menjadi sel kanker. Sampai saat ini belum ada jawaban yang meyakinkan. Setelah mempelajari bab ini, dapatkah Anda menyarankan beberapa tindakan pencegahan terhadap permasalahan tersebut?

Pada *eksositosis* mirip dengan endositosis tetapi berlawanan arahnya. Eksositosis terjadi apabila vakuola di dalam sitoplasma berfusi dengan membran plasma, kemudian isinya dikeluarkan ke cairan ekstraseluler. Beberapa hasil metabolisme seperti asam amino atau glukosa akan melintasi membran, masuk ke dalam sitosol. Apabila terdapat sisa-sisa lain yang tidak dapat dicerna maka akan dikeluarkan dari sel melalui proses eksositosis.

Rangkuman

Pengertian manusia mengenai sel pada masa sekarang telah jauh berbeda daripada pengertian yang diperoleh Robert Hooke pada tahun 1665 pada saat sel baru ditemukan.

Dengan menggunakan mikroskop elektron akan tampak jenis membran plasma dan struktur organel-organel seperti retikulum endoplasma, ribosom, badan mikro, badan golgi, dan lisosom serta yang lainnya yang masing-masing memiliki fungsi khusus dan secara bersama-sama menyusun suatu sistem yang kompak.

Membran plasma pada sel hewan merupakan selaput yang paling luar yang membatasi isi sel dengan lingkungan di sekitarnya. Struktur membran sel terdiri dari bagian protein intrinsik yang terbenam di dalam lapisan lipida bersifat hidrofobik. Bagian protein yang mencuat ke permukaan cenderung bersifat hidrofilik.

Di dalam sel yang tidak sedang mengalami proses pembelahan, kromosomnya sangat halus dan panjang disebut kromatin. Dengan demikian, seluruh substansi nukleus terkumpul di dalamnya, sel-sel yang memiliki struktur nukleus seperti itu disebut sel eukariot. Membran nukleus tersebut tidak terdapat pada monera dimana substansi nukleusnya tersebar di dalam sitoplasma, dan sel yang demikian ini disebut sel prokariot.

Sitoplasma meliputi semua substansi yang berada di dalam sel, tetapi di luar nukleus. Sitoplasma ini terdiri dari matriks atau sitosol yang transparan, dan sejumlah organel, yaitu struktur yang memiliki membran pemisah terhadap matriks di sekelilingnya.

Retikulum endoplasma (RE) tersusun dari pasangan membran atau selaput yang sejajar dan membentuk suatu sistem yang tersebar di seluruh bagian sitoplasma. RE yang tidak memiliki ribosom berperan dalam sintesis lemak dan steroid.

Terdapat dua macam badan mikro yang penting, yaitu peroksisom dan glikosisom. Peroksisom merupakan organel yang pada tumbuhan terdapat di dalam jaringan fotosintesis dan berhubungan langsung dengan kloroplas, sedangkan pada hewan terdapat di dalam sel-sel hati dan ginjal.

Hidrogen peroksida yang dihasilkan dari beberapa reaksi biokimia di dalam sel tumbuhan maupun hewan bersifat racun. Selanjutnya, akan diuraikan oleh enzim katalase yang juga terdapat di dalam peroksisom menjadi senyawa yang tidak beracun.

Pada sel yang aktivitasnya tinggi seperti sel saraf dan sel otot didapatkan mitokondria dalam jumlah ratusan sampai ribuan, sedangkan pada ganggang seperti Chlorella hanya terdapat sebuah mitokondria berukuran besar yang bercabang-cabang, tetapi pada sel darah merah tidak terdapat mitokondria.

Membran dalam memiliki lipatan-lipatan ke arah dalam yang disebut krista sehingga permukaannya yang berfungsi pada proses respirasi sel ini bertambah luas. Organel ini dijumpai pada sel-sel fotosintesis tumbuhan dan beberapa jenis ganggang. Setiap kantong disebut tilakoid dan ada di antaranya yang lebih panjang, yaitu tilakoid stroma yang menghubungkan grana yang satu dengan grana yang lain. Selain itu, terdapat juga protein pada kontraksi otot.

Antara sel tumbuhan ada sedikit perbedaan dengan sel hewan dalam hal organel-organel tertentu seperti dinding sel dan plastida.

Sel-sel tumbuhan muda yang sedang tumbuh hanya memiliki dinding sel primer. Demikian juga pada beberapa jenis sel tumbuhan, misalnya sel-sel fotosintesis dan sel-sel parenkim.

Pada sel-sel dewasa terdapat dinding sel sekunder yang terletak di antara dinding sel primer dan membran plasma. Vakuola pada sel tumbuhan dibungkus oleh selapis membran yang disebut tonoplas. Organel yang hanya terdapat pada sel tumbuhan ini sebagian di antaranya mengandung zat warna (pigmen). Sementara plastida yang mengandung pigmen dibedakan menjadi kloroplas dan kromoplas.

Sentrosom hanya terdapat pada sel-sel hewan dan berperan pada proses pembelahan sel. Badan ini terdiri dari dua sentriol dan diliputi oleh sitoplasma yang disebut *sentrosfer*. Selanjutnya, setiap pasangan akan menuju kutub sel yang berlawanan dan memancarkan serat-serat gelendong pembelahan sel yang terdiri dari mikrotubula.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Sel gabus untuk pertama kalinya ditemukan oleh . . . .
   A. Robert Brown
   B. Robert Hooke
   C. Galileo
   D. Max Schultze
   E. Leeuwenhoek
2. Aktivitas kehidupan organisme dapat tercermin melalui aktivitas sel. Hal ini sesuai dengan teori sel yang menyatakan sel merupakan kesatuan . . . .
   A. struktural
   B. hereditas
   C. A dan D benar
   D. fungsional
   E. pertumbuhan
3. Organel yang hanya ditemukan pada sel hewan adalah . . . .
   A. plastida
   B. ribosom
   C. sentriol
   D. mitokondria
   E. membran sel
4. Bagian dari sel yang berfungsi untuk transportasi dari luar ke dalam sel atau sebaliknya adalah . . . .
   A. dinding sel
   B. membran sel
   C. ribosom
   D. badan golgi
   E. lisosom

5. Mitokondria berfungsi untuk . . . .
   A. transportasi di dalam sel
   B. respirasi sel
   C. pembelahan sel
   D. sintesis polisakarida
   E. sintesis protein
6. Organel sel yang memiliki bagian yang bernama krista sehingga menjadi sangat efektif sebagai organel pendukung oksidasi sel adalah . . . .
   A. nukleus
   B. ribosom
   C. badan golgi
   D. mitokondria
   E. lisosom
7. Mikrotubul merupakan organel yang . . . .
   A. menyusun flagel, silia, dan sentriol
   B. tersusun dari protein aktin dan miosin
   C. terbentuk dari molekul-molekul selulosa
   D. berperan pada pembentukan diktiosom
   E. bersifat fagosit di dalam sitoplasma
8. Sel hewan memiliki bentuk yang relatif tidak tetap karena membrannya tersusun dari . . . .
   A. fosfolipid
   B. lipoprotein
   C. protein
   D. selulosa
   E. pektin
9. Enzim katalase menguraikan senyawa peroksida menjadi air dan oksigen. Enzim ini terdapat di dalam . . . .
   A. diktiosom
   B. lisosom
   C. badan mikro
   D. ribosom
   E. mitokondria
10. Mikrofilamen sangat berperan pada . . . .
   A. fotosintesis
   B. pembelahan sel
   C. sintesa protein
   D. pencernaan
   E. pernapasan

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Bagaimana peranan ribosom dan retikulum endoplasma dalam sintesis protein? Jelaskan!
2. Mengapa sel begitu penting untuk diteliti? Jelaskan!
3. Terdiri dari apa sajakah sel makhluk hidup itu? Jelaskan!
4. Apa fungsi khusus krista? Jelaskan!
5. Bagaimana caranya mengamati sel dengan menggunakan mikroskop cahaya biasa? Jelaskan!

* * *

Bab 2

Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan



Sumber: *www.botanypictures.com, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- mendeskripsikan berbagai jaringan (epidermis, kolenkim, sklerenkim, parenkim, xilem, floem, dan kambium) penyusun organ tumbuhan;
- menunjukkan letak epidermis, korteks, dan stele (silinder pusat) pada penampang batang;
- mendeskripsikan fungsi masing-masing jaringan tumbuhan;
- menggunakan pengetahuan yang diperoleh tentang jaringan pada situasi baru atau pemecahan masalah, seperti pembudidayaan tanaman langka melalui perbanyakan dengan biji, stek, dan cangkok.

A. Pendahuluan

Kata Kunci

- *Eksplan*
- *Endodermis*
- *Epidermis*
- *Jaringan*
- *Korteks*
- *Kultur jaringan*
- *Meristem*
- *Organ*
- *Pembuluh*
- *Planlet*
- *Totipotensi*

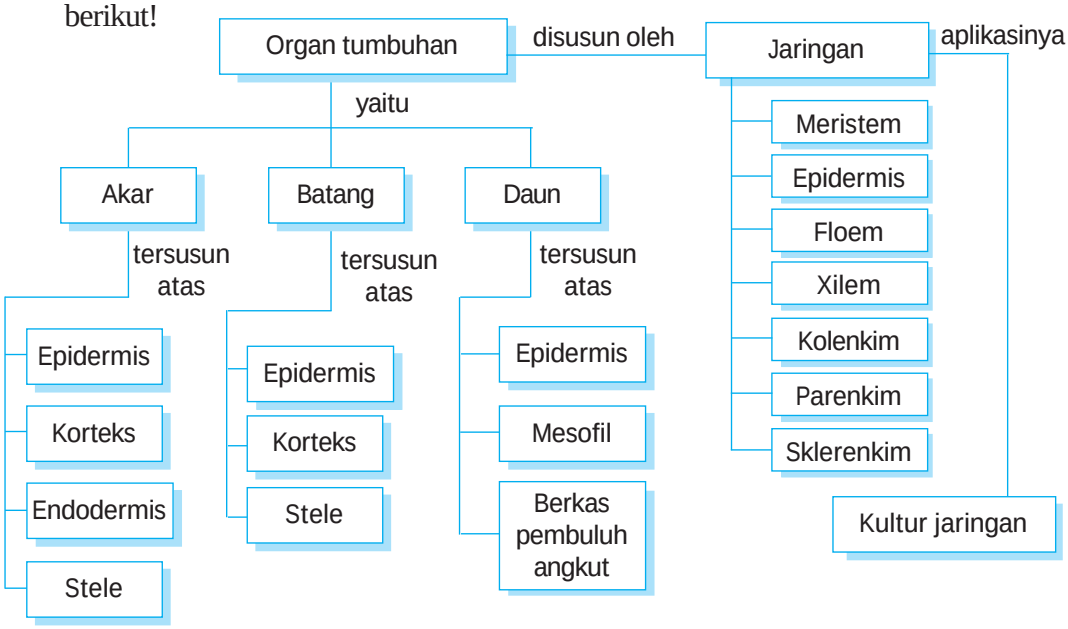
Pohon jati merupakan spesies tumbuhan dikotil dari suku *verbenoceae* yang batangnya berkayu kerak sehingga bagus dimanfaatkan sebagai bahan bangunan dan mebel. Di Indonesia, pohon ini sudah ada sejak pertengahan abad ke-19. Karena memiliki nilai ekonomis yang tinggi, pohon jati dijadikan sebagai sumber devisa nonmigas yang penting bagi Indonesia.

Pada mulanya, pohon jati hanya ditanam di Jawa Tengah dan Jawa Timur. Akan tetapi, tanaman ini kemudian tersebar ke berbagai wilayah Indonesia lainnya, seperti Lampung, Bali, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Tenggara, dan Maluku.

Tahukah Anda saat ini populasi tumbuhan jati terancam punah? Hal ini disebabkan permintaan pasar terhadap kayu jati sangat tinggi sehingga terjadi eksploitasi yang berlebihan. Padahal waktu tumbuh tanaman ini relatif lama.

Dapatkah Anda mengusulkan cara apa yang harus ditempuh untuk mempersingkat masa tumbuh pohon jati tersebut sehingga populasinya tetap terjaga dan dapat dimanfaatkan nilai ekonomisnya secara maksimal?

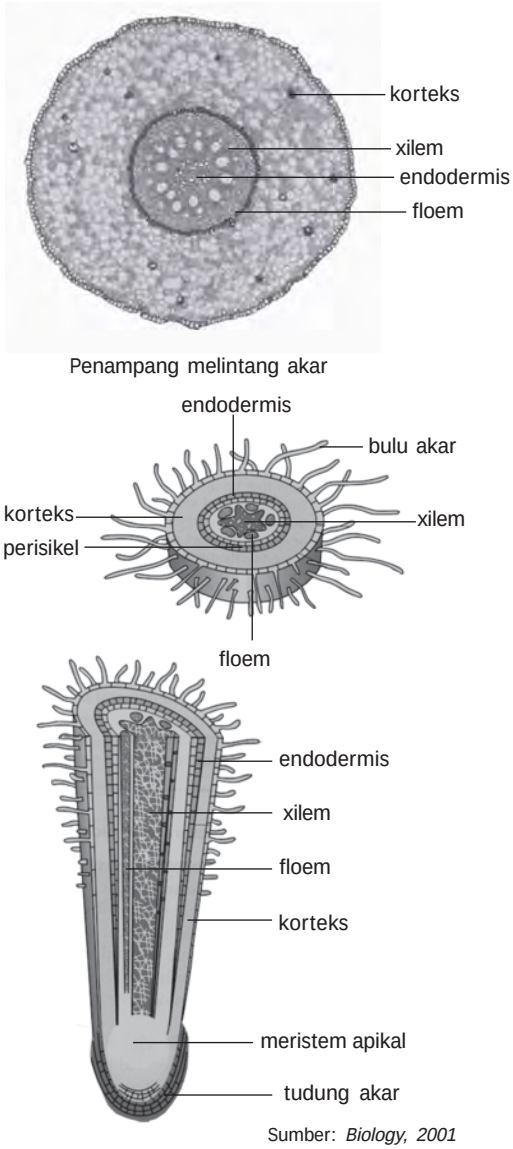
Sebenarnya, hal yang membuat pohon jati sangat kuat dan baik untuk bahan perabotan terletak pada sifat-sifat dari jaringan penyusunnya. Tidak itu saja, ketika anda mempelajari mengenai jaringan tumbuhan, anda akan melihat bahwa ternyata banyak sifat dan kegunaan berbagai jenis tumbuhan dapat dimanfaatkan sebaik mungkin. Agar Anda lebih mudah memahami isi bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut!



B. Organ Tumbuhan

Organ pada tumbuhan tingkat tinggi terdiri atas akar, batang, daun, bunga, biji, dan buah. Setiap organ pada tumbuhan memiliki fungsi tertentu yang khusus, tetapi mereka saling berhubungan dan saling mendukung satu-sama lain. Berikut akan diuraikan, baik fungsi maupun jaringan-jaringan yang membentuk setiap organ pada tumbuhan.

1. Akar



Gambar 2.1 Irisan membujur dan melintang akar.

Akar sebagai organ pada tumbuhan dibentuk dari beberapa jaringan yang berbeda. Fungsi utama organ akar pada tumbuhan, yaitu sebagai alat absorbsi air, nutrisi berbagai garam mineral yang terlarut di dalam tanah, dan pengokoh tumbuhan pada tempat tumbuhnya.

Pada tumbuhan tingkat tinggi, yaitu dikotil dan monokotil akarnya sudah merupakan akar sejati. Penamaan ini berdasarkan adanya perbedaan dengan struktur akar yang terdapat pada tumbuhan tingkat rendah, misalnya lumut. Diskusikanlah bersama guru dan teman Anda, apa yang dimaksud dengan akar sejati?

Akar memiliki struktur yang amat kuat, hal ini terbukti dengan kemampuannya untuk menerobos beberapa lapisan tanah yang keras. Akar pada tumbuhan dikotil dapat menjalar sangat jauh dari tempat tumbuhnya. Pada tumbuhan karet, akarnya dapat menembus tembok hingga beberapa meter dari tempat tumbuhnya. Kemampuan penjalaran akar ini memungkinkan tumbuhan mengambil berbagai jenis unsur hara dari sekitar tempat tumbuhnya. Kemampuan akar untuk menerobos lapisan tanah ini disebabkan karena akar memiliki lapisan pelindung yang disebut *kaliptra* (tudung akar). Kaliptra dapat kita temukan pada akar-akar tumbuhan monokotil maupun dikotil.

Bagian akar terbagi menjadi struktur luar dan struktur dalam. Struktur luar akar terdiri atas *tudung akar, batang akar, percabangan akar* (hanya pada dikotil), dan *bulu-bulu akar*. Sementara itu, struktur bagian dalam akar (anatomi akar) terbentuk oleh jaringan *epidermis, korteks, endodermis,* dan *stele* (silinder pusat). Bagian-bagian akar tersebut tersusun berurutan dari luar ke dalam. Perhatikanlah Gambar 2.1!

Untuk mengetahui struktur bagian dalam akar, anda dapat mengamatinya dengan cara membuat irisan melintang pada suatu bagian akar. Berikut akan diuraikan setiap bagian dari anatomi akar.

a. Epidermis

Jaringan epidermis akar merupakan lapisan yang hanya terdiri dari satu lapisan sel. Keadaan sel-sel yang menyusun epidermis akar sangat rapat, tetapi karena dinding sel epidermisnya tipis, akar mudah ditembus oleh air. Air dan garam-garam mineral yang terlarut di dalamnya masuk pertama kali melalui rambut-rambut akar, bagian di antara epidermis akar, atau melalui dinding sel epidermis akar itu sendiri. Rambut akar merupakan hasil dari penonjolan epidermis yang arahnya ke luar. Dengan adanya rambut-rambut akar ini maka permukaan dinding sel akan semakin bertambah luas, sehingga proses penyerapan air akan lebih efisien. Jaringan epidermis pada akar tumbuhan tidak mengandung kutikula. Pada tanaman anggrek terdapat akar yang disebut akar gantung (akar udara). Akar udara ini dapat berkembang menjadi velamen, yaitu jaringan yang hanya terdiri atas beberapa lapis sel.

b. Korteks

Korteks adalah bagian dalam akar yang tersusun oleh berbagai sel yang membentuk beberapa lapisan. Pada korteks ini terdapat jaringan parenkim, kolenkim, dan sklerenkim.

Korteks tersusun oleh sel-sel yang susunannya longgar, yang menghasilkan ruang di antara sel-selnya disebut rongga antarsel. Rongga antarsel bermanfaat untuk proses pertukaran gas. Dinding-dinding sel pembentuk korteks keadaannya tipis, hal ini memberikan kelancaran pada proses pertukaran gas. Di samping itu, di dalam sel korteks kadang-kadang terdapat butir-butir zat tepung.

c. Endodermis

Endodermis merupakan bagian dari jaringan akar yang terdiri atas satu lapisan sel. Pada arah radial dan transversal lapisan dinding sel endodermis terdapat penebalan yang dihasilkan dari endapan zat yang disebut suberin. Zat suberin (gabus) memiliki sifat kedap air (tidak dapat ditembus). Penebalan pada dinding sel jaringan endodermis tampak berupa titik-titik yang disebut *titik caspary*. Deretan titik caspary selanjutnya

membentuk *pita caspary*. Penebalan oleh lapisan gabus menyebabkan dinding selnya sukar untuk dilalui air, sedangkan air harus melalui lapisan endodermis agar mencapai silinder pusat. Oleh karena itu, air mengambil jalan lain, yaitu melalui lapisan endodermis yang dindingnya tidak mengalami penebalan. Sel-sel endodermis yang dinding selnya tidak mengalami penebalan ini disebut *sel penerus*. Dengan adanya sel penerus, air dapat mencapai silinder pusat tanpa harus mengalami hambatan lain.

Dilihat dari letaknya, endodermis memiliki peranan untuk lewatnya air yang mengandung unsur hara dari korteks menuju silinder pusat. Oleh karena itu, endodermis memiliki bentuk dan susunan sel yang khas.

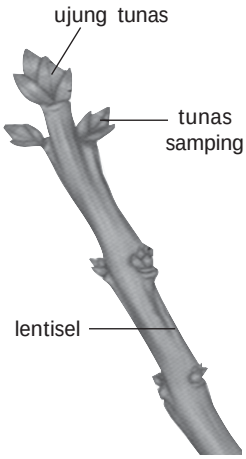
d. Stele (Silinder Pusat)

Silinder pusat terbentuk oleh berkas-berkas pengangkut dan beberapa jaringan lain. Berkas pengangkut yang membentuk silinder pusat, yaitu xilem, floem, dan perisikel. Letak xilem dan floem pada silinder pusat tumbuhan monokotil berselingan tersusun secara teratur sehingga membentuk jari-jari atau radial (berbentuk lingkaran). Pada tumbuhan dikotil, xilemnya terletak di pusat akar dan floemnya mengelilingi xilem. Oleh karena itulah, lapisan ini disebut silinder pusat. Pada tumbuhan dikotil, di antara xilem dan floemnya terdapat lapisan kambium. Fungsi lapisan kambium ke arah luar yaitu untuk membentuk bagian kulit, sedangkan ke arah dalam untuk membentuk bagian kayu.

Selain ke empat lapisan akar di atas, pada lapisan terluar dari akar, yaitu di lapisan terluar silinder pusat, juga terdapat perisikel atau perikambium. Perisikel ini merupakan jaringan khusus yang berfungsi untuk membentuk percabangan pada akar.

2. Batang

Fungsi utama batang pada tumbuhan adalah tempat lewatnya air yang telah diserap akar menuju daun, menopang cabang dan daun, menentukan tata letak daun, dan sebagai tempat cadangan makanan. Bagian-bagian batang tumbuhan dikotil memiliki persamaan dengan bagian-bagian yang terdapat pada akarnya. Namun demikian, terdapat juga perbedaan di antara keduanya. Perbedaan ini terlihat dari bentuk morfologi antara batang dan akar. Pada batang terdapat ruas dan daun, sedangkan pada akar tidak terdapat ruas dan daun. Sebaliknya, pada akar terdapat bulu dan tudung akar, sedangkan pada daun tidak terdapat bulu dan tudung akar. Namun, keduanya secara morfologi memiliki persamaan, yaitu keduanya memiliki percabangan.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.2 Bentuk morfologi batang dikotil dan kuncup-kuncup samping.

Pada percabangan batang sering kali terdapat kuncup-kuncup yang terletak di bagian samping batang. Kuncup-kuncup ini nantinya merupakan unsur pembentuk cabang.

Batang pada tumbuhan angiospermae terbagi menjadi tiga jenis. Ketiga jenis batang ini menjadi dasar untuk mengklasifikasikan tumbuhan tersebut. Ketiga jenis batang itu, yaitu kalmus (tipe batang pada tumbuhan rumput), *herbaseus* (*tipe batang yang berair*), dan tipe batang yang berkayu.

Tipe batang herbaseus berbeda dari batang yang berkayu dalam hal tidak adanya gelang-gelang xilem. Batang herbaseus hanya diperkuat oleh kelompok sel sklerenkim di antara floem dan korteksnya, sedangkan batang berkayu karena memiliki gelang-gelang xilem, batangnya bersifat lebih kuat dan tegar. Lain halnya dengan batang kalmus yang memiliki rongga sehingga keadaannya lebih lemah jika dibandingkan dengan batang tipe herbaseus.

Batang merupakan organ tumbuhan yang selalu mengalami pertumbuhan memanjang. Hal ini disebabkan pada bagian ujung batang terdapat titik tumbuh atau jaringan meristem batang. Untuk menjelaskan proses pertumbuhan pada batang terdapat dua teori, yaitu teori *histogen* dari *Hanstein*, dan teori *tunika korpus* dari *Schmidt*.

Teori Histogen

Menurut teori ini, pada batang terdapat tiga lapisan titik tumbuh, yaitu titik tumbuh pada lapisan luar yang membentuk *epidermis* disebut *dermatogen*, titik tumbuh pada lapisan tengah untuk membentuk *korteks*, yang disebut *periblem*, dan titik tumbuh bagian dalam untuk membentuk *stele* disebut *plerom*.

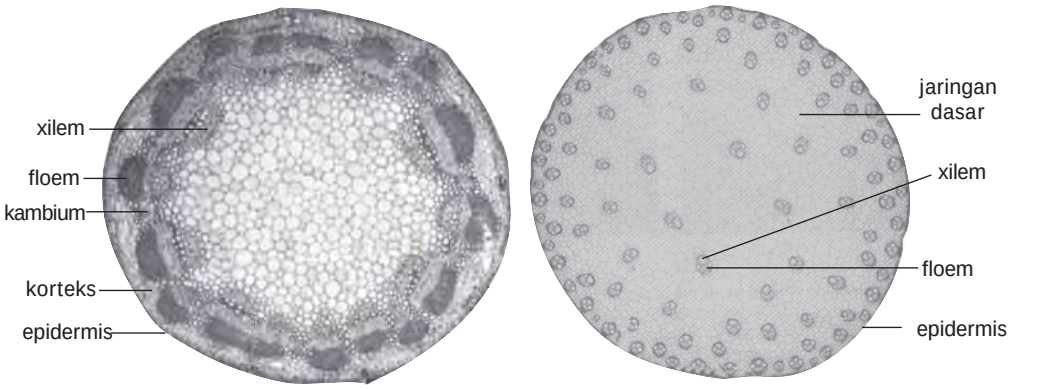
Teori Tunika Korpus

Berbeda dengan teori histogen, teori tunika korpus menyatakan bahwa titik pertumbuhan pada tumbuhan terbagi menjadi dua lapisan, yaitu titik tumbuh lapisan pinggir dan titik tumbuh lapisan dalam.

Pada bagian pinggir menurut teori ini terdiri dari sel-sel yang aktif melakukan pembelahan yang menyebabkan adanya perluasan pada bagian titik tumbuh. Sel-sel ini disebut *tunika*. Di bagian dalam terdapat sel-sel yang aktif membelah ke segala arah dan melakukan proses diferensiasi. Sel-sel ini disebut *korpus* yang letaknya selalu berada di sebelah dalam tunika.

Berdasarkan sifat pertumbuhannya, percabangan pada batang dan akar dibedakan menjadi pertumbuhan *eksogen* dan *endogen*. Pertumbuhan *eksogen*, yaitu pertumbuhan calon cabang batang yang muncul di antara bakal daun di bagian bawah titik tumbuh, sedangkan pertumbuhan endogen terjadi pertumbuhan calon cabang akar yang tumbuh akibat adanya aktivitas perisikel atau perikambium.

Secara anatomi, struktur akar dan batang tidak terlalu jauh berbeda. Perbedaan keduanya hanya dalam hal ada tidaknya endodermis. Pada akar terdapat lapisan endodermis, sedangkan pada batang tidak terdapat lapisan endodermis. Susunan lapisan batang dari luar ke dalam, yaitu epidermis, korteks, dan stele (silinder pusat). Perhatikanlah Gambar 2.3!



Gambar 2.3 Penampang melintang batang dikotil dan monokotil.

a. Epidermis

Sama halnya dengan yang terdapat pada akar, lapisan epidermis batang terbentuk oleh satu lapisan sel yang susunannya rapat dan tidak memiliki ruang antarsel. Pada dinding sel sebelah luar terdapat lapisan kutikula yang berguna untuk melindungi batang dari kekeringan.

Pada jaringan tumbuhan yang telah tua, terdapat kambium gabus yang menggantikan fungsi jaringan primer. Pada kambium gabus terdapat celah yang disebut *lentisel*, sebagai tempat terjadinya aktivitas pertukaran gas. Epidermis batang dapat membentuk turunan (derivat), antara lain dapat menjadi sel *silika* dan *sel gabus*. Peristiwa ini banyak terjadi pada epidermis batang tebu.

b. Korteks

Lapisan korteks pada batang tersusun oleh sel-sel parenkim yang keadaan dindingnya tipis. Sel-sel parenkim pada korteks batang tidak beraturan sehingga mengakibatkan banyak ruang di antara sel-selnya. Selain sel parenkim, korteks juga mengandung kolenkim dan sklerenkim. Kedua sel ini berfungsi untuk menyokong dan memperkuat batang. Sel-sel yang terdapat di bagian dalam korteks mengandung amilum. Sel-sel ini disebut sarung tepung (*floeoterma*).

c. Stele (Silinder Pusat)

Silinder pusat batang terdapat di bagian dalam korteks. Di bagian terluarnya terdapat lapisan yang disebut *perisikel*. Silinder pusat ini mengandung sel-sel parenkim dan berkas-berkas pembuluh angkut, yaitu xilem dan floem.

Berdasarkan letak xilem dan floem pada batang, berkas pembuluh angkut dibedakan menjadi lima tipe, yaitu *kolateral terbuka, kolateral tertutup, bikolateral, ampivasal,* dan *ampikribal*.

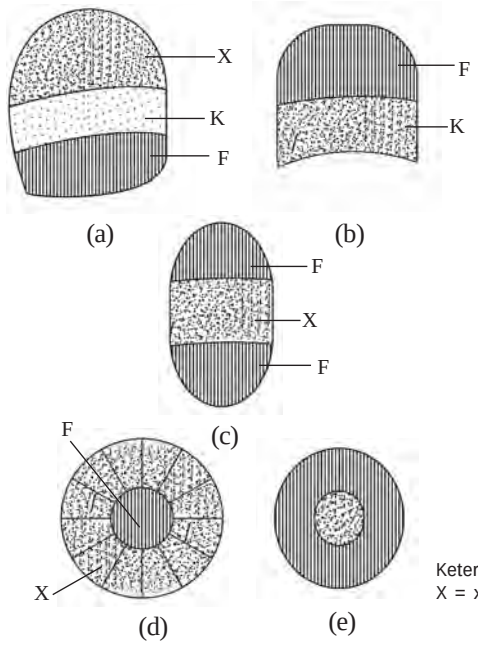
Berkas pembuluh angkut disebut kolateral terbuka, apabila letak floem berada di sebelah luar xilem dan di antara xilem dan floemnya terdapat lapisan kambium. Berkas pembuluh angkut seperti ini banyak terdapat pada kebanyakan tumbuhan dikotil (Gambar 2.4a).

Berkas pembuluh kolateral tertutup, yaitu floem terletak di sebelah luar xilem, tetapi di antara xilem dan floem tidak terdapat lapisan kambium. Xilem dan floem diselubungi oleh lapisan sklerenkim. Tipe berkas pembuluh seperti ini terdapat pada kebanyakan tumbuhan monokotil (Gambar 2.4b).

Pada tipe berkas pembuluh angkut yang disebut bikolateral lain lagi. Tipe berkas pembuluh angkutnya memiliki floem luar dan floem dalam serta memiliki xilem yang berada di antaranya. Berkas pembuluh ini banyak dijumpai pada tumbuhan familia *Solanaceae, Cucurbitaceae*, dan *Apocynaceae* (Gambar 2.4c).

Tipe berkas pembuluh ampivasal, yaitu tipe berkas pembuluh yang keadaan letak xilemnya mengelilingi floem. Tipe ini banyak ditemukan pada tumbuhan *Cordyline* dan *Acorus* (Gambar 2.4d).

Tipe kelima yaitu tipe berkas pembuluh ampikribal, memiliki floem yang mengelilingi xilem. Berkas pembuluh seperti ini banyak terdapat pada tumbuhan Pteridofita (paku-pakuan) (Gambar 2.4e).

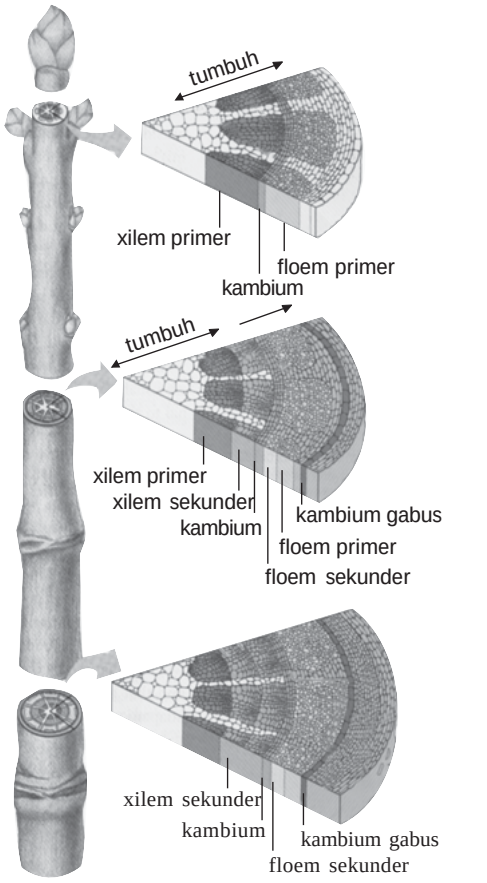


Keterangan:
X = xilem; F = floem; K = kambium

Susunan batang tumbuhan dikotil berbeda dengan tumbuhan monokotil dalam hal ada tidaknya jaringan meristem yang disebut kambium. Pada tumbuhan dikotil di bagian tepi silinder pusat dibatasi oleh kambium, sedangkan di tumbuhan monokotil tidak terdapat kambium.

Aktivitas kambium, baik pada akar maupun batang memiliki persamaan, yaitu ke arah dalam membentuk kulit, sedangkan ke arah luar membentuk kayu. Aktivitas kambium ke arah dalam jauh lebih banyak, akibatnya kayu yang dihasilkan lebih tebal.

Gambar 2.4 Berbagai tipe pembuluh angkut.
(a) kolateral terbuka (b) kolateral tertutup (c) bikolateral (d) ampivasal (e) ampikribal.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.5 Perkembangan batang dikotil.

Aktivitas kambium sangat dipengaruhi oleh musim. Pada musim hujan aktivitas kambium memperlihatkan pertumbuhan yang lebih tinggi, sedangkan pada musim kemarau lebih rendah. Akibat perbedaan pertumbuhan kambium ini, terbentuk cincin-cincin konsentris yang dikenal sebagai garis lingkaran tahun. Garis lingkaran tahun ini dapat dipakai untuk menentukan umur tumbuhan.

Akibat adanya perkembangan kambium, jaringan yang terdapat pada floem, korteks, dan epidermis mengalami kerusakan. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya kambium lain di bawah dermis yang disebut kambium gabus (felogen). Sel-sel felogen dapat melakukan pembelahan ke arah luar maupun ke dalam. Ke arah luar felogen akan membentuk felem dan ke arah dalam membentuk feloderma. Pada bagian luar sel-sel gabus terdapat lubang sempit yang disebut *lentisel*. Lentisel berfungsi untuk proses pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida.

Horizon **Biologi**



Sumber: *Indonesian Heritage, Jilid 1, 2002*

Lebih dari 25 tahun, Indonesia menjadi salah satu penghasil kayu tropika utama dunia dan sumber utama kayu lapis. Perkebunan kayu di Indonesia dimulai tahun 1880 dengan penanaman jati *(Tectona grandis)* di Jawa. Jati merupakan pohon kayu berharga, yang diperkenalkan dari India beberapa abad lalu. Sejak tahun 1880, sekitar 0,9 juta hektar ditanam jati. Jati tumbuh dengan siklus panjang: 25 – 80 tahun. Pada saat ini sekitar 7.000 – 24.000 hektar jati ditanam setiap tahun.

3. Daun

Salah satu organ yang sangat memegang peranan penting dalam kehidupan tumbuhan adalah daun. Mengapa demikian? Karena pada daun terjadi proses fotosintesis yang menghasilkan berbagai bahan makanan untuk pertumbuhan. Fotosintesis dapat berlangsung di daun karena daun memiliki jaringan parenkim yang mengandung klorofil. Selain klorofil, pada daun terdapat kloroplas (sel pembentuk klorofil), epidermis, dan berkas pembuluh angkut (xilem dan floem). Sepintas tampak adanya persamaan antara struktur daun dan batang, apakah memang demikian? Mari kita bahas mengenai hal ini pada uraian berikut.

Jika anda membuat irisan melintang daun dan mengamatinya mulai dari bagian atas ke bawah, terlihat susunannya terdiri atas epidermis atas, mesofil, berkas pembuluh angkut, dan epidermis bawah. Mari kita ketahui apa saja yang terdapat pada setiap bagian tersebut!

a. Epidermis

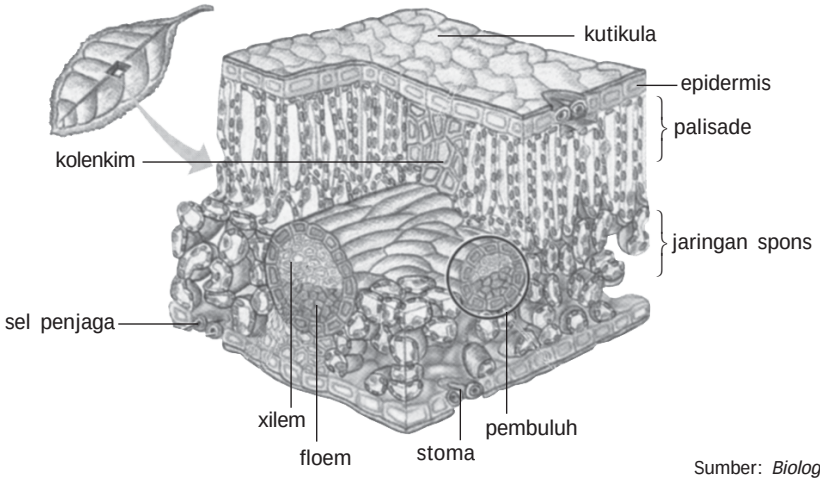
Epidermis pada daun merupakan sel-sel yang tersusun dari satu lapisan sel, yang dinding selnya mengalami penebalan. Penebalan dinding sel pada daun dapat disebabkan oleh zat kitin (kutikula) atau lignin. Pada kebanyakan tumbuhan, lapisan epidermis daunnya hanya terdiri dari satu lapis sel, kecuali pada daun tumbuhan *Ficus* (bangsa beringin). Pada daun Ficus, epidermis tersusun atas dua lapisan sel epidermis.

Epidermis daun memiliki suatu celah yang berfungsi untuk pertukaran gas. Celah ini dikenal sebagai *stomata* (mulut daun). Stomata terletak pada daun dengan diapit oleh dua sel penutup dan dikelilingi oleh sel tetangga. Stomata terdapat di kedua permukaan daun, tetapi kebanyakan terdapat di permukaan bagian bawah dan ada pula yang hanya pada permukaan bawah. Lain halnya stomata yang hanya terdapat pada tumbuhan yang terapung di air, seperti teratai yang hanya terdapat di permukaan bagian atas daun. Di samping stomata, daun juga memiliki alat-alat tambahan yang berasal dari modifikasi epidermis, misalnya trikoma (rambut daun), sel kipas, duri, dan lain-lain. Coba Anda cari, apa lagi yang merupakan hasil dari modifikasi epidermis pada daun?

b. Mesofil

Mesofil merupakan lapisan jaringan pada daun yang tersusun atas sel-sel parenkim. Susunan sel-sel parenkim pada mesofil keadaannya renggang sehingga menghasilkan banyak ruang antarsel. Pada tumbuhan dikotil mesofil sering kali berdiferensiasi menjadi jaringan lain, yaitu palisade (jaringan tiang) dan spons (jaringan bunga karang). Pada rumput-rumputan dan golongan tumbuhan monokotil, mesofil tidak mengalami diferensiasi, tetapi seragam, kecuali mesofil pada sarung berkas

pembuluh angkut monokotil. Di samping itu, pada tumbuhan monokotil sel-sel mesofil pada berkas pembuluh angkutnya berukuran lebih besar dan kandungan kloroplasnya sedikit dengan keadaan dinding sel yang lebih tebal.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.6 Struktur anatomi daun.

Pada tumbuhan dikotil sel-sel jaringan tiang mesofilnya berbentuk silinder, susunannya rapat, dan mengandung klorofil. Umumnya jaringan tiang pada dikotil terletak di bagian permukaan atas daun, tetapi ada pula yang terdapat di kedua bagian permukaan daun, disebut daun *isobilateral*. Selain itu, jaring tiang ada pula yang terdapat di seluruh permukaan perifer daun, yaitu pada daun-daun yang memiliki bentuk silinder.

Struktur lainnya yang terdapat pada daun adalah jaringan bunga karang. Jaringan ini tersusun atas sel-sel yang bentuknya tidak teratur, bercabang-cabang, dan mengandung kloroplas. Keadaan susunan sel-selnya sangat renggang. Untuk lebih jelasnya, dapat anda perhatikan pada Gambar 2.6.

c. Berkas Pembuluh Angkut

Berkas pembuluh angkut di daun terdapat pada pertulangan daun. Tipe berkas pembuluh angkut daun, sama dengan yang terdapat pada batang. Tulang-tulang yang terdapat pada daun selain berfungsi sebagai alat transportasi juga memberi bentuk pada daun dan memperkuat daun.

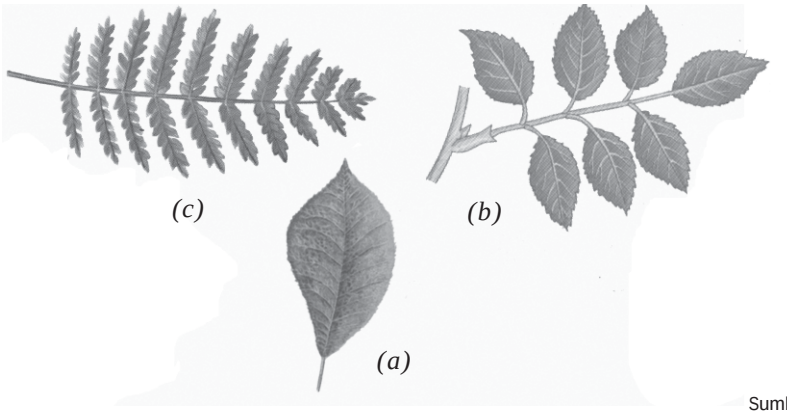
d. Jaringan Tambahan

Pada beberapa tumbuhan mesofilnya mengandung sel-sel yang khas, seperti saluran getah, sel-sel kristal, dan kelenjar. Setiap sel-sel yang khas itu memiliki manfaat yang berbeda-beda.

e. Morfologi Daun

Di samping anatominya, yang perlu anda ketahui dalam mempelajari daun tumbuhan adalah bentuk luar (morfologi). Secara morfologi, kelengkapan daun terdiri dari bagian-bagian yang berupa upih daun, tangkai daun, pelepah daun (vagina), dan helaian daun (lamina).

Sifat atau ciri-ciri daun yang perlu anda perhatikan, yaitu bentuk keseluruhan daun, bentuk ujung, pangkal, dan tepi daun, serta bentuk pertulangannya. Untuk lebih memahami mengenai hal ini, coba Anda kumpulkan beberapa daun dari jenis tumbuhan yang berbeda. Kemudian, amati morfologi setiap daun tersebut bersama teman-teman Anda. Lalu beri nama dengan memperhatikan kunci identifikasi morfologi daun berikut!



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.7 Macam-macam bentuk daun (a) daun tunggal, (b) daun majemuk, (c) daun majemuk ganda.

4. Bunga

Pada tumbuhan, bunga hanya muncul pada fase-fase tertentu, yaitu pada fase di mana tumbuhan akan memulai perkembangbiakan (fase reproduksi). Buah merupakan organ tumbuhan yang terbentuk setelah bunga mengalami proses penyerbukan. Dengan demikian, organ bunga dan buah disebut pula sebagai organ tambahan. Bunga sebenarnya merupakan hasil dari modifikasi batang, sedangkan buah berasal dari bakal buah yang terdapat pada bunga dan telah mengalami pembuahan.

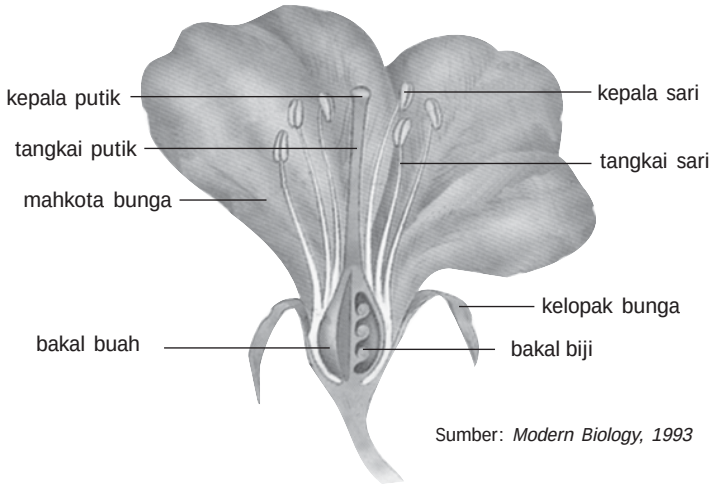
Morfologi bunga pada tumbuhan tinggi terdiri dari mahkota bunga, kelopak bunga, putik, dan benang sari. Berdasarkan ada tidaknya salah satu bagian pembentuk bunga tersebut, bunga dibagi menjadi lima, yaitu bunga lengkap, bunga sempurna, bunga jantan, bunga betina, dan bunga telanjang.

Bunga lengkap adalah bunga yang memiliki semua kelengkapan bunga, yaitu kelopak (calix), mahkota (corolla), benang sari (stamen), dan putik.

Bunga sempurna adalah bunga yang selalu memiliki benang sari dan putik, tetapi kadang-kadang terdapat calix dan mahkota.

Bunga jantan, memiliki ketiga bagian bunga, yaitu kelopak, mahkota, dan benang sari. Namun, bunga tipe ini tidak memiliki putik. Sementara itu, bunga betina merupakan kebalikan dari tipe bunga jantan. Pada tipe bunga betina tidak terdapat benang sari, tetapi memiliki ketiga bagian lainnya.

Bunga telanjang adalah bunga yang hanya memiliki benang sari dan putik, tetapi tidak memiliki calix dan corolla. Untuk memahami uraian tentang bunga, coba Anda perhatikan dengan saksama struktur bunga sempurna berikut, yang memperlihatkan seluruh morfologinya, yaitu kelopak, mahkota, benang sari, dan putik!



Gambar 2.8 Struktur bunga sempurna.

a. Kelopak Bunga (Calix)

Bagian terluar dari bunga adalah kelopak. Fungsi kelopak, yaitu untuk melindungi bunga pada waktu bunga masih muda yang berbentuk kuncup bunga. Kelopak umumnya berwarna hijau seperti daun, tetapi ada pula kelopak yang berwarna selain hijau, sehingga tampak seperti mahkota bunga. Kelopak yang berwarna ini sering kita temukan pada bunga bougenvil. Setiap helaian kelopak bunga disebut sepal. Di samping kelopak pada beberapa bunga tumbuh kelopak tambahan (*epicalyx*).

b. Tajuk Bunga atau Mahkota Bunga (Corolla)

Tajuk bunga atau mahkota bunga merupakan hiasan pada bunga yang terdapat di sebelah dalam kelopak. Umumnya mahkota ini ukurannya lebih besar daripada kelopak dan berwarna indah serta menarik, tidak jarang pula mempunyai bau yang harum atau sedap. Warna yang indah dan baunya yang harum inilah yang merupakan

daya tarik bagi serangga atau binatang lain seperti burung dan kelelawar untuk mendatangi bunga.

Fungsi lain tajuk bunga adalah melindungi alat-alat kelamin pada bunga sebelum terjadi proses penyerbukan. Setiap helaian tajuk bunga disebut *petala*. Bunga sebagai salah satu organ pada tumbuhan jelas membutuhkan zat makanan untuk kelangsungan hidupnya. Oleh karena itu, pada bunga juga ditemukan pembuluh-pembuluh angkut yang berfungsi untuk memasok makanan bagi bunga.

c. Benang Sari atau Stamen (Alat Kelamin Jantan)

Benang sari bagi tumbuhan merupakan alat kelamin jantan. Seperti halnya dengan bagian-bagian bunga yang diuraikan terdahulu, benang sari pun merupakan hasil dari metamorfosis daun, yang bentuk dan fungsinya telah disesuaikan sebagai alat kelamin jantan.

Bukti bahwa benang sari merupakan hasil metamorfosis daun, terlihat sangat nyata pada bunga jenis tumbuhan tertentu, contohnya pada bunga tasbih (*Canna indica*). Pada bunga tasbih, tajuk bunganya tidak menarik, tetapi yang berwarna indah dan menarik adalah benang sarinya yang bersifat seperti tajuk bunga. *Benang sari dibedakan menjadi tiga bagian,* yaitu *tangkai sari (filamentum), kepala sari (antera), dan penghubung ruang sari (conektivum).*

Tangkai sari, yaitu bagian yang berbentuk benang dengan penampang melintang yang umumnya berbentuk bulat, sedangkan kepala sari, yaitu bagian benang sari yang terdapat pada ujung tangkai sari. Bagian ini di dalamnya memiliki dua ruang sari (theca) dan masing-masing ruang sari terdiri atas dua ruang kecil (loculumentum). Di dalam ruang sari terdapat serbuk sari (polen), yaitu sel-sel kelamin jantan (gamet jantan) yang berguna untuk penyerbukan. Adakalanya pada beberapa bunga, serbuk sarinya tidak terbentuk atau tidak mampu mengadakan penyerbukan. Benang sari yang demikian itu dinamakan benang sari yang mandul. Penghubung ruang sari (conektivum) adalah bagian dari lanjutan tangkai sari yang menjadi penghubung kedua bagian kepala sari (ruang sari). Penghubung ruang sari terdapat di kanan kiri penghubung ini.

d. Putik atau Pistilum (Alat Kelamin Betina)

Putik merupakan bagian bunga yang paling dalam letaknya. Putik merupakan alat kelamin betina pada bunga. Putik pun tersusun atas daun-daun yang telah mengalami metamorfosis. Daun-daun penyusun putik disebut *daun buah* (karpelum). Secara keseluruhan daun-daun buah penyusun putik dinamakan *gynaecium*. Putik juga merupakan hasil dari metamorfosis daun, namun sangat sukar untuk dibuktikan tetapi pada tumbuhan yang berbiji telanjang, misalnya pakis haji (*Cycas rumphii*) hal itu masih tampak jelas.

Putik merupakan alat kelamin betina, yang salah satu bagiannya mengandung sel telur. Setelah dibuahi oleh inti sperma yang berasal dari serbuk sari, akhirnya akan berkembang menjadi kandung lembaga yang nantinya akan menjadi tumbuhan baru. Bagian putik yang mengandung sel telur dinamakan bakal biji (ovulum) yang akhirnya akan menjadi biji (semen). Sementara bagian putik yang di dalamnya terdapat bakal biji tadi, yaitu bakal buahnya (ovarium), akan berbuah menjadi buah (fructus).

Putik terdiri dari tiga bagian, yaitu bakal buah (ovarium), tangkai kepala putik (stilus), dan kepala putik (stigma). Bakal buah (ovarium) merupakan bagian putik yang pada umumnya kelihatan membesar dan terletak pada dasar bunga. Sedangkan tangkai kepala putik (stilus) merupakan bagian putik yang sempit dan terdapat di atas bakal buah, biasanya berbentuk benang, fungsinya untuk tempat melekatnya kepala putik. Kepala putik (stigma) ialah bagian dari putik yang paling atas, terletak pada ujung tangkai kepala putik tadi.

C. Jaringan Penyusun Organ Tumbuhan

Seperti telah anda ketahui, jaringan merupakan kumpulan sel-sel yang memiliki bentuk dan fungsi yang sama. Pada tumbuhan tingkat tinggi kita mengenal adanya beberapa jaringan utama, yaitu jaringan meristem (embrional) dan jaringan permanen (jaringan dewasa).

Jaringan meristem terdapat pada bagian apikal (ujung) dari suatu organ tumbuhan, yaitu pada ujung akar dan ujung batang. Oleh sebab itu, pada bagian ini akan selalu terjadi proses pertumbuhan, misalnya terjadi perpanjangan dan percabangan, baik pada akar maupun batang. Daerah di mana terjadi proses pertumbuhan tersebut dinamakan titik tumbuh primer. Daerah titik tumbuh primer akan selalu mengalami pertumbuhan memanjang. Khusus pada tumbuhan dikotil, selain titik tumbuh primer juga terdapat titik tumbuh sekunder, yang terdapat pada bagian kambium batang. Proses yang terjadi pada daerah titik tumbuh sekunder menyebabkan pertumbuhan membesar suatu batang.

Jaringan permanen, yaitu jaringan yang tersusun oleh sel-sel yang sudah tidak melakukan proses pembelahan, tetapi sel-sel jaringan ini selalu mengadakan diferensiasi yang menyebabkan terbentuknya jaringan-jaringan yang lebih kompleks. Istilah diferensiasi pada tumbuhan adalah suatu proses perubahan jaringan meristem menjadi jaringan-jaringan lain. Jaringan-jaringan tersebut, yaitu jaringan epidermis, parenkim, kolenkim, sklerenkim, xilem, dan floem. Untuk lebih jelasnya, masing-masing jaringan akan dijelaskan berikut ini.

1. Jaringan Epidermis (Jaringan Pelindung)

Susunan sel-sel jaringan ini sangat rapat dan tersusun oleh sederetan sel yang berbentuk pipih, serta hampir tidak ada ruang antarsel. Jaringan ini banyak terdapat pada permukaan tubuh tumbuhan, misalnya pada permukaan batang, daun, akar,

bunga, atau buah. Jaringan epidermis berfungsi untuk melindungi jaringan yang berada di bawahnya. Pada daun, jaringan epidermis mengalami perubahan bentuk menjadi mulut daun atau stomata, dan rambut-rambut daun.

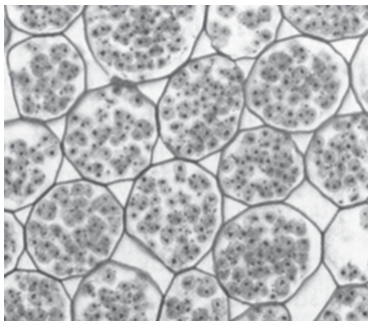
Stomata berfungsi sebagai tempat keluar masuknya udara, sedangkan rambut-rambut daun berfungsi untuk mencegah hilangnya air yang berlebihan dari tubuh tumbuhan. Jaringan epidermis pada akar mengalami modifikasi menjadi rambut-rambut akar yang bermanfaat untuk memperluas bidang permukaan akar sehingga proses penyerapan air dan unsur hara oleh akar lebih efisien.

Selain itu, epidermis juga dapat mengekskresikan lapisan lilin yang disebut kutikula. Kutikula ini berfungsi untuk mencegah terjadinya penguapan air yang berlebihan. Modifikasi lain dari epidermis adalah bulu-bulu dan duri. Kedua hasil modifikasi ini berfungsi sebagai alat pelindung tumbuhan.



Gambar 2.9 Jaringan epidermis (a) epidermis tunggal dan (b) epidermis rangkap.

2. Jaringan Parenkim (Jaringan Dasar)



Sumber: *Biology,1999*

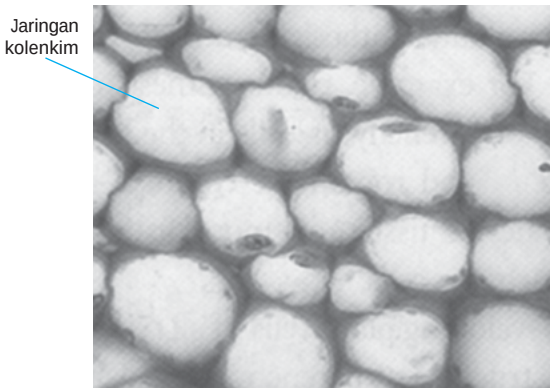
Gambar 2.10 Jaringan parenkim.

Jaringan dasar pada tumbuhan disebut jaringan parenkim. Ciri jaringan ini, yaitu sel-sel penyusunnya berukuran besar dan memiliki dinding sel yang tipis. Parenkim umumnya memiliki susunan sel yang renggang sehingga banyak terdapat ruang antarsel. Protoplasmanya memiliki vakuola yang besar. Jaringan ini berfungsi sebagai jaringan pengisi. Oleh karena itu, jaringan ini terdapat di seluruh bagian tubuh tumbuhan. Jaringan parenkim juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan dan tempat berlangsungnya proses fotosintesis. Dengan kata lain, jaringan parenkim merupakan tempat terjadinya proses metabolisme pada tumbuhan.

Sel-sel parenkim yang terdapat di daun mengandung klorofil. Sel-sel parenkim ini disebut *mesofil*. Mesofil terdiri atas jaringan dasar dan jaringan bunga karang (spons) yang merupakan tempat berlangsungnya fotosintesis pada daun. Sel-sel parenkim yang mengandung klorofil dan berada di luar daun disebut *klorenkim*. Perhatikanlah Gambar 2.10!

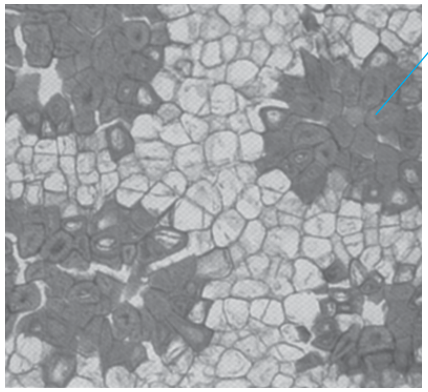
3. Jaringan Penyokong (Sklerenkim dan Kolenkim)

Jaringan penyokong pada tumbuhan dibedakan atas dua jaringan, yaitu kolenkim dan sklerenkim. Kolenkim terdapat di dasar epidermis batang dan berfungsi untuk menguatkan batang muda, tangkai daun, dan akar. Sklerenkim berfungsi menyokong dan menguatkan jaringan dewasa.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.11 Jaringan kolenkim pada batang bunga matahari.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 2.12 Jaringan sklerenkim pada buah pear.

Jaringan kolenkim tersusun atas sel-sel yang bagian sudut dindingnya mengalami penebalan seluosa. Sel-sel jaringan kolenkim mempunyai protoplasma dan tidak mempunyai dinding sekunder, tetapi memiliki dinding primer yang lebih tebal dibandingkan yang terdapat pada parenkim. Biasanya kolenkim berkelompok membentuk untaian atau silinder. Kolenkim tidak memiliki dinding sekunder dan bahan penguat (lignin), oleh karenanya kolenkim dapat menyokong batang tanpa menghambat pertumbuhan batang tersebut. Kolenkim akan mengalami pertumbuhan mengikuti daun dan akar yang disokongnya.

Berbeda dari kolenkim, sklerenkim tersusun atas sel-sel mati yang seluruh bagian dinding selnya mengalami penebalan sehingga lebih kuat strukturnya. Keadaan sklerenkim yang lebih kuat daripada kolenkim ini disebabkan karena dindingnya mengandung lignin. Terdapat dua jenis sel sklerenkim, yaitu *fiber* dan *sklereida*. Bentuk fiber umumnya berupa serat, sedangkan sklereida lebih pendek daripada fiber. Fiber banyak ditemukan pada tumbuhan berserat, dan sklereida menyebabkan kulit kacang dan kulit biji menjadi keras.

4. Jaringan Endodermis

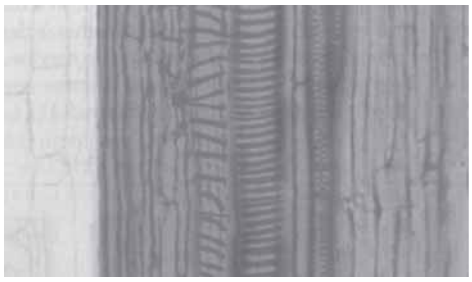
Endodermis adalah jaringan tumbuhan yang tersusun atas sel-sel yang sebagian dindingnya mengalami proses penebalan sehingga menjadi sel gabus, sedangkan bagian yang tidak menebal disebut sel penerus yang berfungsi sebagai tempat lewatnya air dari bagian korteks ke silinder pusat. Jaringan ini hanya tersusun oleh satu lapisan sel.

5. Jaringan Pengangkut (Xilem dan Floem)

Jaringan pengangkut pada tumbuhan terdiri atas dua macam, yaitu xilem dan floem. Kedua jaringan ini saling mendukung satu sama lain dalam sistem transportasi tumbuhan.

a. *Xilem (Pembuluh Kayu)*

Xilem atau pembuluh kayu berfungsi untuk mengangkut air dan garam mineral dari akar menuju daun. Xilem ini terdiri atas sel-sel *trakea, trakeid, serabut xilem,* dan *sel-sel jaringan parenkim xilem*.



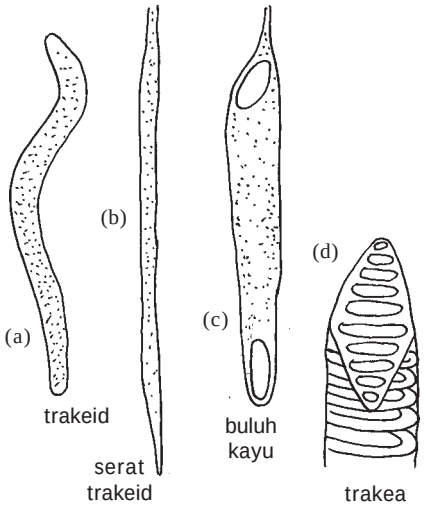
Sumber: *Biology, 2001*

Gambar 2.13 Jaringan xilem.

Trakea yang mempunyai nama lain elemen pembuluh, merupakan bagian dari xilem yang tersusun atas sel-sel dan berbentuk tabung yang paling berhubungan pada ujung-ujungnya. Di bagian dinding ujung sel trakea mengalami reduksi dan berubah menjadi lubang-lubang *preforasi*.

Berbeda dengan trakea, bentuk sel trakeid adalah lancip dan panjang dengan keadaan dinding sel yang berlubang-lubang. Lubang-lubang inilah yang kita kenal sebagai *noktah*. Keadaan dinding sel xilem tebal, penebalan ini disebabkan oleh kandungan zat lignin (zat kayu) yang membentuknya.

Pembentuk jaringan xilem yang lain adalah serabut xilem. Serabut xilem tersusun oleh sel-sel yang panjang dengan ujung yang meruncing. Keadaan dinding sel serabut xilem tebal dan memiliki noktah yang lebih sempit jika dibandingkan dengan noktah pada trakeid. Sel-sel jaringan parenkim pada xilem berfungsi untuk menyimpan cadangan makanan.



Sumber: *Biology, 2001*

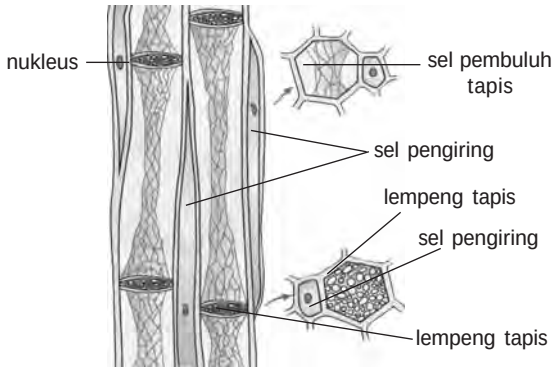
Gambar 2.14 Jaringan xilem dan bagian-bagiannya. (a) trakeid, (b) serat trakeid, (c) buluh kayu, (d) trakea.

b. *Floem (Pembuluh Tapis)*

Nama lain jaringan floem adalah jaringan pembuluh tapis. Jaringan ini berperan penting dalam proses pengangkutan zat-zat hasil fotosintesis dari daun ke seluruh

bagian tubuh tumbuhan. Floem terdiri atas buluh tapis, sel pengiring, parenkim, dan serabut floem (sklereid).

Sel-sel buluh tapis pada floem merupakan sel-sel yang berbentuk tabung, bagian ujungnya berlubang-lubang. Tabung buluh tapis ini akan membentuk saluran yang saling berhubungan satu sama lain dari pangkal hingga ke ujung tumbuhan. Saluran-saluran pembuluh ini berdekatan dengan sel-sel pengiring.



Sumber: *Biology, 2001*

Gambar 2.15 Floem dan sel-sel penyusunnya.

Bentuk sel pengiring adalah silinder. Ukuran sel-selnya lebih besar dibandingkan dengan sel-sel penyusun buluh tapis. Sel-sel pengiring juga mengandung plasma yang pekat. Sel-sel yang menyusun serabut floem bentuknya panjang dengan keadaan ujung-ujung saling berimpitan. Keadaan dinding selnya tebal dan berperan sebagai penguat jaringan floem.

Jaringan parenkim floem tersusun atas sel-sel yang hidup dan memiliki dinding primer yang memiliki lubang-lubang kecil bagian tersebut disebut *noktah halaman*. Sel-sel jaringan parenkim floem ini tempat menyimpan zat tepung, damar, dan kristal-kristal pada tumbuhan.

Salingtemas

Ilmu pengetahuan biologi tentang tumbuhan sudah sejak lama berkembang, bahkan mungkin merupakan cabang sains tertua. Keingintahuan mengenai tumbuhan ini didorong pula oleh kebutuhan manusia akan makanan, pakaian, dan perumahan.

Buatlah daftar tumbuhan dan produk tumbuhan yang biasa Anda gunakan sehari-hari! Untuk apa saja Anda gunakan berbagai jenis produk tumbuhan tersebut? Apakah menurut Anda jumlah tumbuhan dan produk tumbuhan yang digunakan dalam kehidupan saat ini bertambah atau berkurang? Apakah jumlah tersebut akan terus menurun di masa mendatang? Mengapa?

D. Kultur Jaringan

1. Pengertian Kultur Jaringan

Kultur jaringan dalam bahasa Inggris disebut sebagai *tissue culture*. Kultur adalah budidaya dan jaringan adalah sekelompok sel yang mempunyai bentuk dan fungsi yang sama. Dengan demikian, kultur jaringan dapat berarti membudidayakan suatu jaringan tanaman menjadi tanaman baru yang mempunyai sifat seperti induknya.

Untuk melakukan kultur jaringan banyak digunakan jaringan meristem dari tumbuhan. Mengapa demikian? Dapatkah Anda mengemukakan alasannya? Jaringan meristem adalah jaringan yang muda, yaitu jaringan yang terdiri dari sel-sel yang selalu membelah, dindingnya tipis, belum memiliki penebalan dari zat pektin, plasmanya penuh, dan vakuolanya kecil-kecil. Tentunya anda masih ingat bagaimana sifat jaringan meristem. Jaringan meristem memiliki sifat selalu membelah dan mempunyai zat hormon yang mengatur pembelahan.



Sumber: *www.chicagobotanic.org, 2006*

Gambar 2.16 Kultur jaringan tanaman.

Perbanyakan tanaman dengan metode kultur jaringan merupakan cara perbanyakan melalui perkembangbiakan secara vegetatif. Perbanyakan tanaman dengan cara vegetatif memungkinkan dihasilkannya tanaman yang memiliki sifat sama dengan induknya atau kita dapat menggabungkan dua sifat yang berbeda sehingga diperoleh tanaman yang unggul, seperti tahan terhadap penyakit, kuat perakarannya, memiliki bentuk morfologi yang baik, dan dapat berbuah dengan lebat.

Perbanyakan tanaman secara vegetatif juga menghasilkan tanaman yang dapat diperoleh dengan waktu yang relatif singkat dibandingkan dengan perbanyakan tanaman secara generatif. Dengan demikian, biaya yang diperlukan lebih sedikit. Teknik kultur jaringan memungkinkan perolehan tanaman baru dengan waktu yang cepat dan murah.

Dalam kultur jaringan dikenal istilah *klon*. Klon adalah sekumpulan tanaman atau individu atau jaringan-jaringan ataupun sel-sel yang mempunyai sifat keturunan (sifat genetik) yang sama. Apabila tanaman-tanaman yang dihasilkan berasal dari pengembangan suatu jaringan meristem, disebut *meriklon*. Sifat-sifat dari meriklon sama persis dengan tanaman induknya.

Pada prinsipnya pengerjaan kultur jaringan sederhana saja, yaitu suatu sel atau irisan jaringan tanaman yang disebut eksplan secara *aseptik* diletakkan dan dipelihara dalam medium padat atau cair yang cocok dan dalam keadaan steril. Dengan cara tersebut sebagian sel pada permukaan irisan tersebut akan mengalami *proliferasi* dan membentuk kalus. Kalus adalah jaringan permukaan pada luka tumbuhan. Apabila kalus yang terbentuk dipindahkan ke dalam medium *deferensiasi* (pertumbuhan lanjut)

yang cocok maka akan terbentuklah *planlet*. Planlet adalah tanaman kecil yang lengkap. Dengan teknik kultur jaringan ini hanya dari satu irisan kecil suatu jaringan tanaman dapat dihasilkan kalus yang dapat menjadi planlet dalam jumlah yang besar.



Sumber: *www.uic.edu, 2006*

Gambar 2.17 Laboratorium tempat pelaksanaan kultur jaringan.

Pelaksanaan teknik kultur jaringan berdasarkan teori sel yang dikemukakan oleh *Schleiden dan Schwann,* yaitu bahwa sel mempunyai kemampuan autonom, bahkan mempunyai kemampuan totipotensi. Totipotensi adalah kemampuan setiap sel apabila diletakkan di lingkungan yang sesuai akan dapat tumbuh menjadi tanaman yang sempurna. Pada prinsipnya setiap sel dapat ditumbuhkan melalui teknik kultur jaringan. Akan tetapi, sebaiknya dipilih bagian tanaman yang masih muda dan mudah tumbuh. Bagian manakah itu? Bagian meristem seperti daun muda, ujung akar, ujung batang, keping biji, dan lain sebagainya.

Budidaya meristem bertujuan untuk menumbuhkan kalus dari eksplan yang ditanam. Kalus ini biasanya muncul dari bagian periderm, periblem, atau plerom, sepanjang tulang daun atau di antara tulang daun. Pembentukan kalus dipengaruhi oleh zat-zat tertentu dalam medium dan cara sterilisasi medium. Setiap eksplan dari suatu jenis tanaman mempunyai kecocokan terhadap suatu medium untuk mampu tumbuh menjadi kalus.

2. Manfaat Kultur Jaringan

Jelajah Biologi

Untuk mengetahui lebih jauh tentang kultur jaringan, kunjungi: www. indobiogen.or.id

Apakah kegunaan utama kultur jaringan? Kultur jaringan terutama untuk mendapatkan tanaman baru dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang relatif singkat, yang mempunyai sifat fisiologi dan morfologi sama persis dengan tanaman induknya. Melalui teknik kultur jaringan ini diharapkan juga diperoleh tanaman baru yang bersifat unggul.

Kultur jaringan bermanfaat dalam bidang farmasi khususnya pada pembuatan obat-obatan. Contohnya, pohon kina melalui kultur jaringan dapat menghasilkan

senyawa kimia (anti malaria dan senyawa additif minuman ringan) dan senyawa kinidia (obat penyakit jantung aritmia).

Selain itu, kultur jaringan juga bermanfaat di bidang fisiologi tanaman. Pada tanaman anggrek, misalnya diketahui bahwa apabila ujung akarnya diiris melintang akan memperlihatkan warna tertentu. Warna tersebut nantinya merupakan warna bunga yang dihasilkan. Hal ini tentu sangat bermanfaat dalam dunia industri tanaman hias, sebab walaupun tanaman anggrek tersebut belum berbunga tetapi orang sudah bisa mengetahui warna bunga yang akan muncul nantinya.



Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Gambar 2.18 Anggrek hasil kultur jaringan.

Kultur jaringan juga sangat bermanfaat dalam upaya pelestarian tanaman. Beberapa jenis tanaman yang terancam punah, seperti jenis tanaman pisang, melati, kenanga, kayu jati, dan kayu putih akan diselamatkan melalui kultur jaringan, yaitu melalui jalan kloning. Bahkan populasinya dapat bertambah dan sifat-sifat khas yang dimiliki oleh tanaman tersebut tetap terjamin.

Rangkuman

Organ pada tumbuhan tingkat tinggi terdiri atas akar, batang, daun, bunga, biji, dan buah. Akar berfungsi sebagai alat absorbsi air dan berbagai garam mineral yang terlarut di dalam tanah. Bagian akar terdiri dari struktur luar dan struktur dalam. Struktur luar akar terdiri atas tudung akar, batang akar, pencabangan akar (pada tumbuhan dikotil), dan bulu-bulu akar, sedangkan struktur bagian dalam akar terbentuk oleh jaringan epidermis, korteks, endodermis, dan stele.

Pada tumbuhan, batang berfungsi sebagai tempat lewatnya air yang diserap oleh akar. Batang merupakan organ tumbuhan yang selalu mengalami pertumbuhan. Terdapat dua teori yang menjelaskan mengenai pertumbuhan batang, yaitu teori histogen dan teori tunika korpus. Struktur batang tidak jauh berbeda dengan akar. Perbedaannya, pada batang tidak terdapat endodermis. Sebagai tempat terjadinya proses fotosintesis yang menghasilkan berbagai makanan untuk pertumbuhan, daun memegang peranan yang sangat penting pada tumbuhan. Pada daun terdapat jaringan parenkim yang mengandung klorofil. Selain itu, pada daun juga terdapat kloroplas, epidermis, dan berkas pembuluh angkut (xilem dan floem).

Jaringan yang menyusun tumbuhan dibagi menjadi dua, yaitu jaringan meristem dan jaringan permanen. Jaringan meristem terdapat pada ujung akar dan ujung daun. Sel-sel pada jaringan permanen selalu mengalami diferensiasi, yaitu proses perubahan jaringan

meristem menjadi jaringan-jaringan lain. Jaringan-jaringan tersebut, yaitu jaringan epidermis, parenkim, kolenkim, sklerenkim, xilem, dan floem.

Xilem atau pembuluh kayu berfungsi untuk mengangkut air dan garam mineral dari akar menuju daun. Xilem terdiri atas sel-sel trakeid dan trakea. Floem atau pembuluh tapis berperan penting pada proses pengangkutan zat-zat hasil fotosintensis dari daun ke seluruh tubuh tumbuhan.

Jaringan pada suatu tanaman dapat dibudidayakan melalui kultur jaringan sehingga diperoleh tanaman baru yang sifatnya mirip seperti sifat induknya. Perbanyakan tanaman dengan metode kultur jaringan merupakan cara perbanyakan melalui perkembangbiakan secara vegetatif. Dalam kultur jaringan dikenal istilah klon. Kultur jaringan banyak bermanfaat pada bidang farmasi, bidang industri, dan juga bermanfaat pada upaya pelestarian tanaman.

Peluang Usaha *dan* Karier

Dengan semakin banyaknya kebutuhan hidup manusia serta keinginan untuk hidup lebih sejahtera, manusia mulai mencari metode mendapatkan suatu produk dengan cara yang cepat dan efesien. Berbagai peluang untuk berwirausaha pun terbuka bagi mereka yang menekuni ilmu kultur jaringan.

Kultur jaringan dapat diterapkan dalam pembudidayaan tanaman-tanaman yang bernilai ekonomis seperti anggrek, jati, kina, dan lain-lain, tanaman varietas baru, metabolit sekunder suatu tanaman untuk pembuatan obat, dan masih banyak lagi. Pendidikan lain yang menunjang pengembangan kultur jaringan agar dapat dimanfaatkan untuk berwirausaha antara lain: farmasi, kedokteran, teknologi pangan, dan teknologi pertanian.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Jaringan pada tumbuhan yang mengandung sel-sel gabus yang menebal dan juga memiliki sel pengiring ialah . . . .
   A. silinder pusat
   B. korteks
   C. endodermis
   D. epidermis
   E. felogen
2. Jaringan yang hampir terdapat di seluruh bagian tumbuhan, yaitu . . . .
   A. fleoderma
   B. parenkim
   C. felem
   D. felogen
   E. endodermis
3. Jaringan pada tumbuhan yang sel-selnya tidak membelah tetapi berdiferensiasi disebut jaringan . . . .
   A. embrional
   B. meristem
   C. sekunder
   D. primer
   E. permanen

4. Berikut ini yang tidak termasuk jaringan tumbuhan adalah . . . .
   A. epidermis
   B. parenkim
   C. endodermis
   D. endotelium
   E. korteks
5. Bagian tumbuhan yang berfungsi untuk jalan masuknya air ke dalam tubuh tumbuhan adalah . . . .
   A. korteks
   B. silinder pusat
   C. bulu-bulu akar
   D. endodermis
   E. epidermis
6. Sel-sel yang selalu membelah tetapi tidak mengalami diferensiasi merupakan ciri jaringan . . . .
   A. parenkim
   B. permanen
   C. meristem
   D. kolenkim
   E. epidermis
7. Jaringan yang terbentuk dari sekumpulan sel yang tugasnya mengangkut air dan garam mineral dari dalam tanah ke daun adalah . . . .
   A. xilem
   B. floem
   C. lentisel
   D. sklerenkim
   E. kolenkim
8. Tipe berkas pembuluh angkut monokotil pada akar termasuk . . . .
   A. sentral
   B. kolateral
   C. ampikribal
   D. radial
   E. konsentris
9. Teori Histogen dari Hanstein menjelaskan bahwa lapisan luar pembentuk epidermis adalah . . . .
   A. periblem
   B. tunika
   C. korpus
   D. plerom
   E. dermatogen
10. Jaringan tumbuhan yang berfungsi sebagai penguat, yaitu . . . .
   A. floem
   B. kolenkim
   C. endodermis
   D. parenkim
   E. xilem

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Apa saja bagian-bagian organ pada tumbuhan? Sebutkan dan jelaskan!
2. Bagaimana sistem pengangkutan di antara tumbuhan monokotil dan dikotil? Uraikan!
3. Apa yang dimaksud dengan pertumbuhan sekunder pada tumbuhan dikotil?
4. Sebutkanlah jaringan pada tumbuhan yang termasuk ke dalam jaringan permanen!
5. Apa yang dimaksud dengan kultur jaringan? Apa manfatnya bagi kehidupan?

* * *

Bab 3

Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan



Sumber: *Indonesian Heritage, Jilid 5, 2002*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- mendeskripsikan struktur dan fungsi jaringan epitel;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi jaringan ikat;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi jaringan otot;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi jaringan saraf.

A. Pendahuluan

Kata Kunci

- *Akson*
- *Dendrit*
- *Diferensiasi*
- *Epitel*
- *Jaringan*
- *Matriks*
- *Neuron*
- *Sel*
- *Spesialisasi*

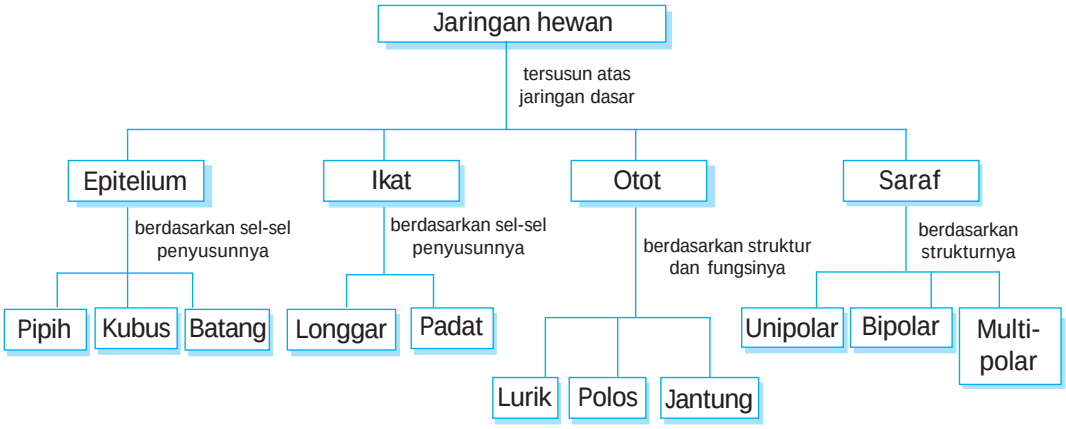
Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan keanekaragaman hayatinya. Hal ini ditandai dengan banyaknya hewan yang memiliki ciri khas tertentu yang berasal dari daerah tertentu pula. Sayangnya beberapa hewan yang memiliki kekhasan tersebut terancam populasinya karena faktor manusia yang senang memburu untuk kemudian menjualnya atau hanya dijadikan sebagai binatang peliharaan.

Jalak bali salah satu contohnya. Burung ini hanya dijumpai di bagian barat Bali dan bagian timur Jawa Timur. Ciri fisik jalak bali ditandai oleh bulu yang sebagian besar berwarna putih dengan kulit sulah biru cerah di sekitar mata dan jambul halus seperti duri tegak. Jalak bali memang salah satu spesies burung yang menjadi primadona untuk dikoleksi.

Dari segi kicauannya burung ini masih kalah dibandingkan dengan jenis burung lainnya seperti anis kembang, poksai, atau wambi. Jalak bali dikoleksi bukan karena kicauannya yang merdu, melainkan karena keindahan fisiknya. Harga seekor jalak bali di pasaran bisa mencapai 15 juta rupiah bahkan lebih. Dengan harga setinggi ini siapa pun pasti tergiur untuk memburu dan menjualnya. Hal inilah yang menyebabkan berkurangnya populasi jalak bali di habitat aslinya dari waktu ke waktu.

Di balik keindahan yang dimiliki oleh jalak bali, tubuh hewan ini sama seperti tubuh hewan yang lainnya tersusun atas jaringan-jaringan penyusun tubuh yang cukup kompleks dan memiliki fungsi tertentu pula. Tahukah anda jaringan-jaringan yang menyusun tubuh hewan yang memiliki nama latin *Leucopsar rothchildi* ini dan kini merupakan salah satu hewan langka di Indonesia ini?

Agar Anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikan peta konsep berikut!



B. Jaringan Pembentuk Organ pada Hewan

Seperti telah disebutkan sebelumnya, jaringan terbentuk dari beberapa sel hasil proses diferensiasi, kemudian mengalami proses spesialisasi. Proses diferensiasi, yaitu proses perbanyakan sel melalui fungsi reproduksi sel, sedangkan proses spesialisasi merupakan proses lanjut dari diferensiasi sebagai proses perubahan bentuk dan fungsi.

Sel ⟶ Diferensiasi ⟶ Spesialisasi

Sel-sel yang bentuk dan fungsinya sama selanjutnya akan berkelompok menjadi satu kesatuan membentuk *jaringan*. Secara umum tubuh hewan maupun organisme lainnya tersusun atas empat macam jaringan dasar, antara lain:

1) Jaringan epitelium terletak pada permukaan tubuh, berfungsi sebagai penutup permukaan luar tubuh dan pembatas organ tubuh yang berbentuk saluran atau rongga.
2) Jaringan ikat, merupakan jaringan yang memiliki fungsi untuk mengikat atau menyokong bagian-bagian tubuh.
3) Jaringan otot, berfungsi untuk menggerakkan seluruh bagian anggota tubuh.
4) Jaringan saraf, berfungsi untuk menerima dan merespons adanya rangsang serta menyampaikan rangsang (impuls) ke pusat saraf serta ke bagian tubuh yang lain.

1. Jaringan Epitelium

Jaringan *epitelium* (epi permukaan), yaitu jaringan yang menutupi dan membatasi permukaan bagian tubuh yang berupa organ, rongga, dan saluran, baik yang terletak di dalam maupun di luar tubuh.

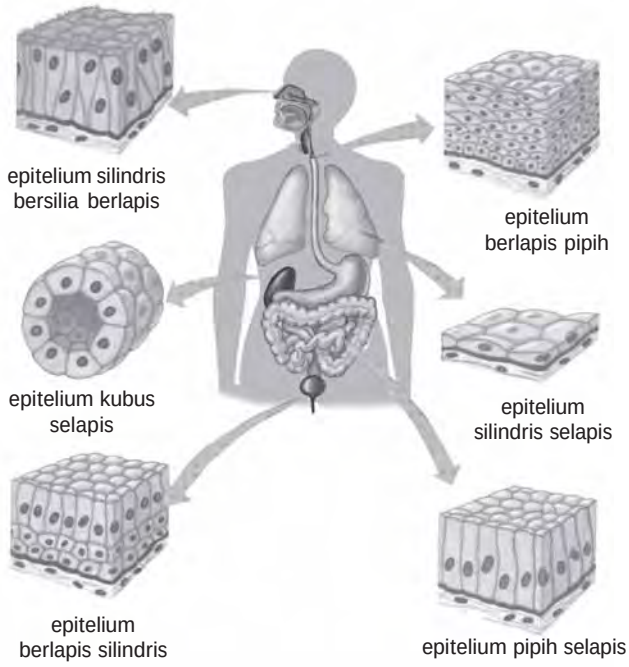
Jaringan epitel atau epitelium memiliki fungsi yang berbeda-beda sesuai letaknya di dalam tubuh. Epitelium pipih berfungsi untuk melindungi dan membalut jaringan yang terletak di bawahnya, misalnya epitelium pipih yang terdapat di permukaan kulit. Sementara itu, epitelium silindris dan kubus berfungsi sebagai membran permeabel yang menjadi lalu lintas zat. Contoh epitelium silindris pada saluran usus halus untuk menyerap sari makanan, atau epitelium pada nefron yang banyak dilalui oleh urin primer. Epitelium kelenjar berfungsi sebagai penghasil getah yang dapat dimanfaatkan oleh tubuh. Di samping itu, ada pula epitelium yang berfungsi untuk menerima rangsang, disebut epitelium penerima. Epitelium ini banyak terdapat di sekitar indra, seperti epitelium sensori di sekitar neuron dan retina mata.

Jaringan epitel dapat berupa membran dan dapat pula berupa kelenjar. Jaringan epitel dipisahkan dari jaringan ikat di bawahnya oleh selaput tipis yang disebut membran dasar *(lamina basal)*. Membran dasar ini tersusun atas serat-serat kolagen yang melekat pada suatu matriks. Membran dasar berfungsi untuk menyokong jaringan epitel.

Berdasarkan letaknya pada bagian tubuh, jaringan epitel terbagi menjadi *epidermis, endotelium,* dan *mesotelium*. Epidermis adalah jaringan epitel yang terletak pada bagian-bagian tubuh terluar, berfungsi sebagai pelindung paling luar. Endotelium adalah jaringan epitel yang membalut organ-organ dalam tubuh. Jaringan mesotelium merupakan jaringan epitel yang melapisi bagian-bagian tubuh yang berbentuk rongga.

Dari susunan sel-sel yang menyusunnya jaringan epitel dengan mudah dapat dikenali. Ciri jaringan epitel, yaitu sel-selnya tersusun sangat rapat sehingga hampir tidak terdapat ruang di antara sel-selnya. Macam jaringan epitel biasanya dibagi berdasarkan bentuk sel dan jumlah susunannya dalam lapisan.

Secara umum, berdasarkan sel-sel yang menyusunnya, jaringan epitel dibedakan menjadi tiga, yaitu epitelium pipih atau gepeng (squamous), epitelium kubus (kuboid), dan epitelium batang (silindris). Untuk lebih jelasnya, ikutilah uraian mengenai ketiga macam jaringan epitel berikut!



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.1 Macam-macam jaringan epitel dan letaknya.

Sel-sel epitelium dapat dibedakan pula berdasarkan jumlah lapisan sel yang menyusunnya yaitu *epitelium sederhana* (selapis) dan *epitelium berlapis* (kompleks).

a. Epitelium Selapis (Sederhana)

Ciri dasar dari epitelium ini, yaitu hanya tersusun atas satu lapisan sel saja. Epitelium selapis dibagi menjadi tiga, yaitu epitelium gepeng (pipih) selapis, epitelium kubus selapis, dan epitelium silindris selapis.

1) Epitelium pipih selapis

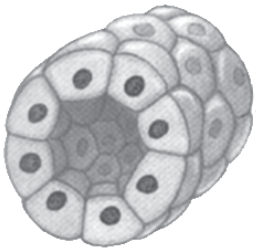


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.2 Epitelium pipih.

Epitel pipih selapis terdiri atas sel-sel yang sangat gepeng, tipis, memiliki tepinya tidak teratur, dan saling berimpitan membentuk suatu lembaran yang sempurna. Apabila dilihat dari permukaan, epitelium ini tampak seperti ubin lantai, tetapi dengan batas-batas yang tidak teratur. Berdasarkan susunannya, yang termasuk epitelium golongan ini adalah endotel yang melapisi pembuluh darah, pembuluh limfe, dan mesotelium yang melapisi rongga serosa (pleura, perikardium, dan peritoneum). Contoh epitelium selapis gepeng yang lain terdapat pada alveolus paru-paru, telinga bagian tengah dan dalam.

2) Epitelium kubus selapis

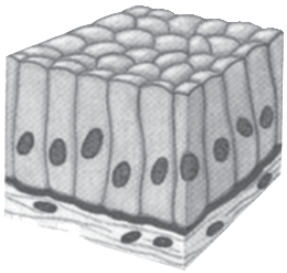


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.3 Epitelium kubus selapis.

Epitelium ini disebut demikian karena pada sayatan tegak lurus terhadap permukaan, setiap sel-sel tampak seperti kotak atau kubus. Dari permukaan sel-selnya terlihat berbentuk poligonal. Epitelium kubus sederhana terdapat pada *banyak kelenjar*, pada kelenjar sekresi, maupun pada saluran keluaran. Selain itu, epitelium kubus selapis juga terdapat pada permukaan ovarium atau pada saluran ginjal.

3) Epitelium silindris selapis



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.4 Epitelium silinder selapis.

Epitelium silindris selapis ada yang sel-selnya memiliki silia, ada pula yang tanpa silia. Epitelium silindris selapis yang tanpa silia, jika dilihat dari permukaan, tampak hampir mirip dengan epitelium kubus selapis. Pada potongan tegak lurus akan tampak terdiri atas sel-sel yang tinggi dengan inti berderet pada ketinggian yang sama dan letaknya lebih dekat ke permukaan basal (dasar) daripada ke permukaan apikal (ujung). Epitelium jenis ini biasanya berhubungan dengan sekresi atau absorpsi. Banyak terdapat melapisi sebagian besar saluran pencernaan seperti lambung dan usus halus atau pada saluran pengeluaran yang menghasilkan banyak kelenjar. Epitelium silindris selapis yang bersilia terlihat permukaan bebasnya tertutup silia. Epitelium jenis ini melapisi rahim (uterus), buluh rahim (tuba uterina), pada saluran testis, dan bronkus kecil.

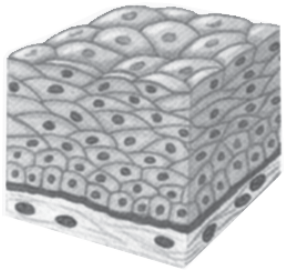
b. Epitelium Berlapis

Epitelium ini tersusun oleh beberapa lapis sel sehingga disebut epitelium berlapis. Fungsi epitelium berlapis umumnya sebagai pelindung. Fungsi sebagai pelindung lebih memungkinkan untuk epitelium berlapis karena tersusun oleh beberapa lapis sel, sehingga lebih tahan untuk menahan gangguan dari luar dibandingkan dengan epitelium selapis yang hanya tersusun dari satu lapisan sel. Oleh karena itu, epitelium berlapis terdapat pada tempat-tempat yang banyak terkena gesekan dan goresan. Namun karena lapisannya yang tebal, membran epitelium berlapis tidak diperuntukkan bagi absorpsi zat.

Berdasarkan bentuk lapisan permukaan bebasnya, epitelium berlapis dibagi menjadi empat jenis, yaitu epitelium berlapis gepeng (pipih), epitelium berlapis kubus, epitelium berlapis silindris, dan epitelium transisional. Keempat jenis epitelium berlapis lebih jelasnya akan dibahas sebagai berikut.

1) Epitelium berlapis pipih

Epitelium berlapis pipih membentuk membran yang tebal. Sel-sel pada lapisan yang lebih dalam tersusun atas sel-sel kubus sampai silindris. Lapisan basalnya (dasarnya), yaitu yang berbatasan dengan membran basal, umumnya terlihat tidak rata. Epitelium jenis ini terdapat pada kornea mata, esofagus, vagina, dan kulit.

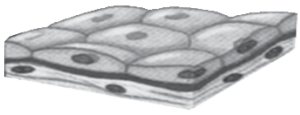


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.5 Epitelium berlapis pipih.

2) Epitelium berlapis kubus

Epitelium berlapis kubus terdapat pada saluran kelenjar keringat, folikel ovarium yang sedang berkembang, dan kelenjar ludah. Pada manusia dewasa epitelium berlapis kubus dapat ditemukan di kelenjar keringatnya, terdiri atas dua lapisan sel epitel kubus. Karena epitelium jenis ini melapisi sebuah tabung, jelas sekali bahwa sel-sel lapisan permukaannya lebih kecil dibandingkan dengan yang terdapat pada lapisan basalnya.

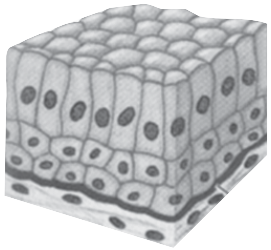


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.6 Epitelium berlapis kubus.

3) Epitelium berlapis silindris

Epitelium berlapis silindris juga relatif jarang ditemukan. Biasanya lapisan basalnya terdiri atas sel-sel yang berbentuk polihedral yang tidak teratur, relatif pendek, dan hanya sel-sel lapisan permukaan yang



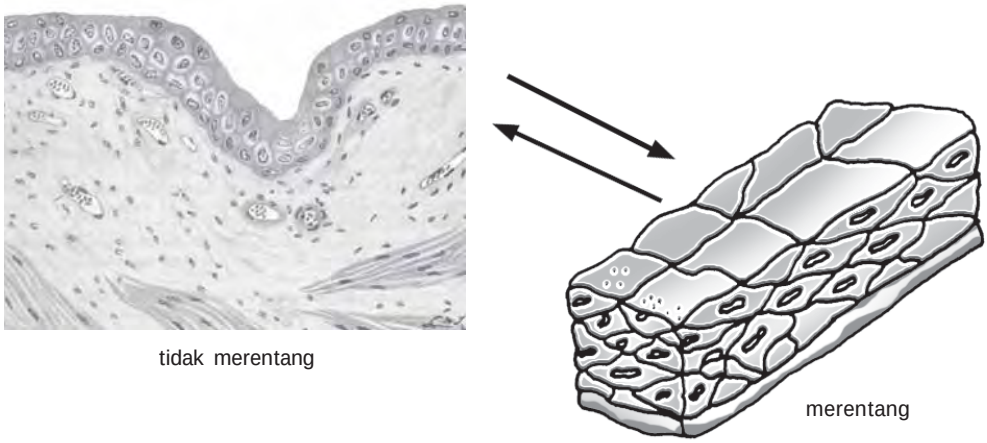
Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.7 Epitelium berlapis silindris.

berbentuk silindris tinggi. Epitelium jenis ini dapat ditemukan melapisi sebagian uretra pria dan saluran trakea manusia.

4) Epitelium transisional

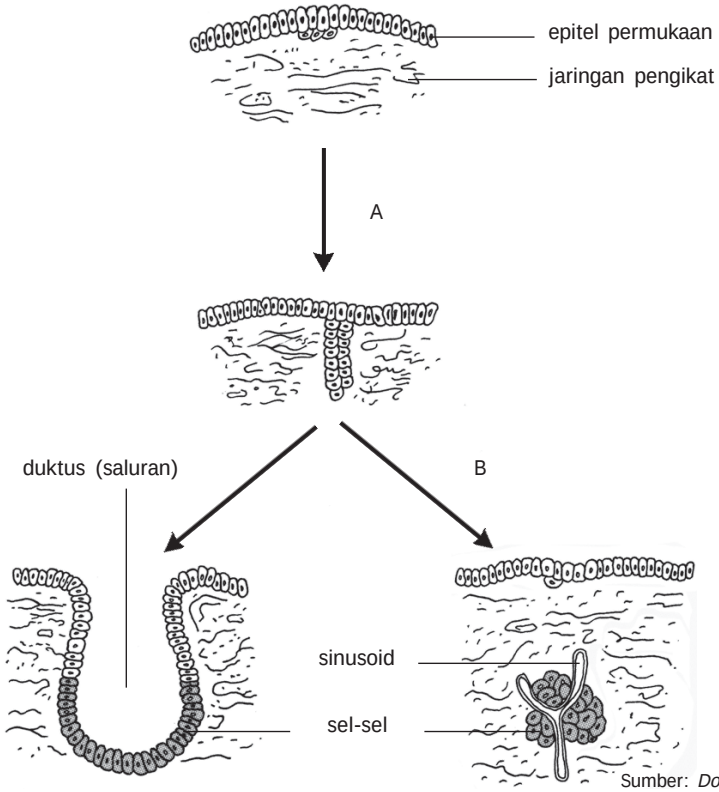
Epitelium transisional disebut demikian karena dianggap merupakan peralihan bentuk antara epitelium berlapis pipih tanpa lapisan tanduk dan epitelium berlapis silindris. Epitelium jenis ini banyak melapisi tempat-tempat yang mengalami tekanan dari dalam dan berkapasitas yang sangat bervariasi, misalnya pada *saluran urin*. Lapisan permukaan epitelium transisional dapat berubah jika dinding selnya meregang karena adanya tekanan urin. Oleh sebab itu, bentuknya bergantung pada derajat peregangannya. Ciri khas dari epitelium transisional adalah mempunyai sel-sel asal yang mirip epitelium silindris, sedangkan di antaranya terdapat sel-sel poligonal.



Gambar 3.8 Epitelium transisional.

Di samping dikelompokkan berdasarkan banyaknya lapisan yang menyusunnya, epitelium atau jaringan epitel sering kali membentuk sel-sel yang berhubungan dengan fungsi sekresi sehingga disebut epitelium kelenjar, contohnya kelenjar-kelenjar sekresi pada dinding rektum (pelepasan). Jenis-jenis epitelium kelenjar dapat mensekresikan lendir (mukus). Sel-sel yang mensekresikan lendir ini memiliki permukaan yang lebar, tetapi pada bagian dasarnya mengerut sehingga berbentuk seperti gelas anggur. Bentuk sel-sel seperti ini disebut *sel goblet*. Setiap permukaan lapisan epitelium yang lembap mengandung sel goblet. Keadaan seperti ini dapat kita temukan pada lapisan rongga alat pernapasan dan usus. Pada beberapa epitelium kelenjar ada juga yang memiliki silia.

Epitelium kelenjar terbentuk dari hasil pelekukan ke dalam yang kita kenal sebagai proses invaginasi, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.9.



Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Gambar 3.9 Proses pembentukan kelenjar oleh epitelium, yaitu kelenjar eksokrin dan endokrin.

Berdasarkan cara mengeluarkan hasil sekresinya, kelenjar yang terbentuk dari epitelum dibagi menjadi dua, yaitu kelenjar endokrin dan kelenjar eksokrin. Kedua kelenjar ini memiliki perbedaan dari cara menyalurkan sekret yang dihasilkannya.

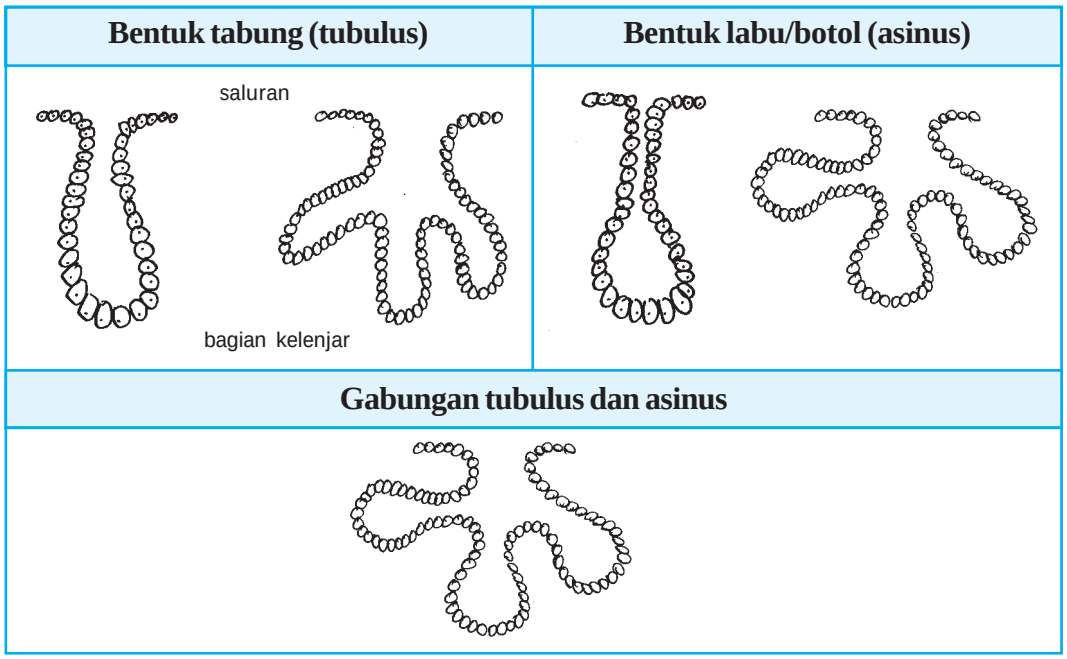
a) Kelenjar eksokrin

Kelenjar eksokrin hasil sekretnya disalurkan melalui suatu sistem saluran ke suatu permukaan tubuh. Jadi, kelenjar ini melakukan sekresi secara eksternal. Hal ini yang menjadi dasar penamaan kelenjar ini. Contoh kelenjar eksokrin, yaitu kelenjar yang menghasilkan air liur di dalam rongga mulut dan kelenjar keringat pada kulit.

b) Kelenjar endokrin

Kelenjar endokrin hasil sekresinya disalurkan langsung ke dalam darah atau limfa melalui saluran yang berhubungan dengan pembuluh darah dan pembuluh limfa. Jadi, kelenjar ini melakukan sekresi internal. Hasil sekret dari kelenjar ini disebut hormon, yang disalurkan ke seluruh tubuh menuju organ-organ sasaran, tempat hormon itu bekerja.

Dilihat dari strukturnya, sel-sel kelenjar yang berbentuk tabung disebut *tubulus*, sedangkan sel-sel kelenjar yang berbentuk labu (botol) disebut *asinus*. Di bawah ini ditunjukkan beberapa sel kelenjar.



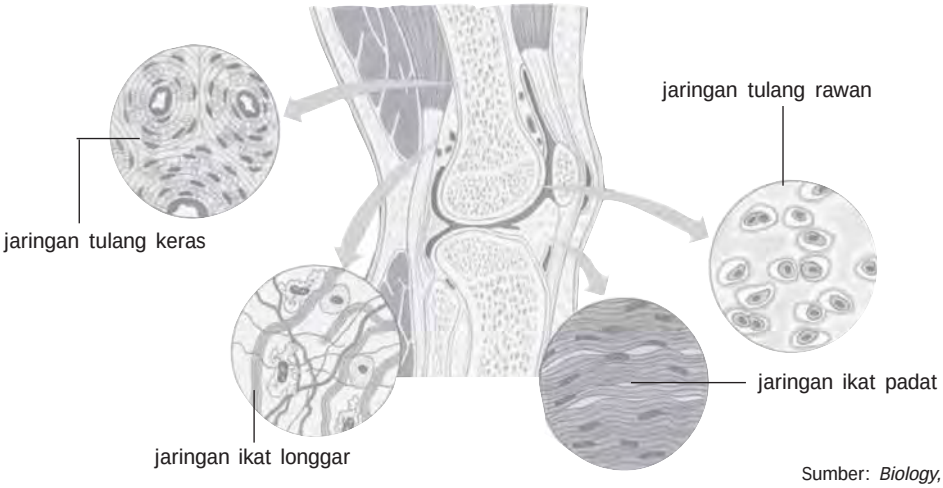
Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Gambar 3.10 Macam-macam sel kelenjar.

2. Jaringan Ikat

Jaringan ikat memiliki variasi yang sangat luas berdasarkan bentuk, letak, dan strukturnya. Fungsi utamanya sebagai penghubung antarjaringan, penunjang tubuh (tulang, tulang rawan) berperan dalam proses pengaturan suhu tubuh, mekanisme pertahanan, dan regenerasi.

Pada awal perkembangan embrio, ektoderma, dan entoderma dipisahkan oleh lapis benih ketiga, yaitu mesoderma. Jaringan yang dibentuk oleh sel-sel lapisan ini dikenal sebagai mesenkim (mesos = tengah; encyma = pemasukan atau penyusupan). Jaringan ikat embrionik disebut pula mesenkim. Jadi, semua jaringan ikat pada hewan dewasa berkembang dari mesenkim. Jaringan-jaringan penyokong tubuh, termasuk jaringan ikat sejati, tulang rawan, tulang, dan darah juga berkembang dari mesenkim. Mesenkim berupa jaringan spongiosa longgar yang khas pada awal kehidupan embrio dan banyak ditemukan sebagai pembungkus di antara bagunan-bangunan yang berkembang dari lapisan embrionik yang lain. Jaringan ini terdiri atas sel-sel berbentuk bintang dan kumparan yang membentuk jala-jala serta bahan-bahan interseluler yang tidak berbentuk (amorf) dan mengandung sedikit serat-serat yang bertebaran di sana-sini.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.11 Macam-macam jaringan ikat dan letaknya pada tubuh.

Nama lain untuk jaringan ikat, yaitu jaringan penyokong atau penyambung. Dalam hal susunan sel-sel yang menyusunnya, kandungan bahan interseluler, dan fungsinya, jaringan ikat berbeda dari jaringan epitel.

Ciri yang khas dari jaringan ikat, yaitu terdiri atas bahan interseluler (bahan di antara sel) yang disebut *matriks*. Matriks ini terdiri atas serat-serat dan substansi (bahan) dasar yang bentuknya tidak teratur. Pada jaringan ikat, matriks ini merupakan hasil sekresi sel-sel jaringan ikat. Sel-sel pada jaringan ikat kebanyakan bentuknya tidak teratur. Pada sitoplasmanya terdapat granula dan inti selnya menggelembung. Sel-sel jaringan ikat yang terdapat pada tulang rawan disebut *kondrosit*, jika terdapat pada tulang disebut *osteosit*, tetapi apabila terdapat pada jaringan konektif yang longgar maka sel-selnya disebut *fibroblas*.

a. Matriks (Bahan Interseluler)

Seperti telah diuraikan di atas, jaringan ikat terdiri atas sel-sel jaringan ikat dan matriks. Sel-sel pada berbagai bentuk jaringan ikat berbeda, baik nama, bentuk, serta fungsinya, sedangkan matriks terbagi menjadi dua, yaitu fibrosa yang berbentuk serat dan amorf yang tidak berbentuk.

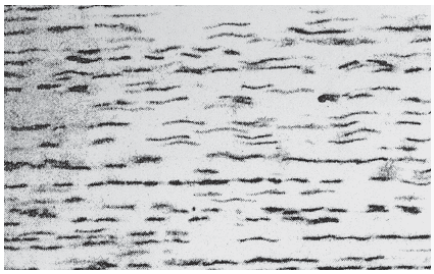
1) Matriks yang berbentuk serat (fibrosa)

Pada jaringan tubuh hewan dikenal tiga macam serat jaringan ikat, yaitu serat kolagen, serat retikuler, dan serat elastik. Pembagian ini dibedakan berdasarkan bentuk dan reaksi kimianya.

a) Serat kolagen

Serat kolagen bentuknya berupa berkas-berkas yang bervariasi dan berwarna putih. Ciri khas serat kolagen memiliki daya regang yang sangat tinggi, tetapi elastisitasnya rendah. Oleh karena itu, serabut kolagen akan

hadir di tempat di mana dibutuhkan daya tahan keregangan yang tinggi, misalnya pada tendon dan ligamen.

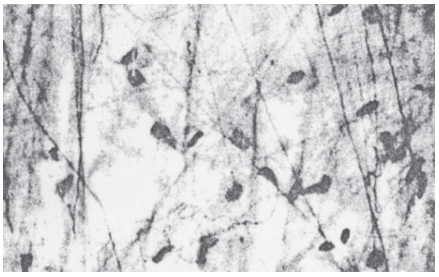


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.12 Serat kolagen pada tendon.

b) Serat elastin

Serat elastin dicirikan dengan warnanya yang kuning. Keadaan seratnya lebih tipis dibandingkan dengan serat kolagen. Di samping itu, serat elastin memiliki elastisitas yang tinggi. Namun, sejalan dengan bertambahnya umur se-seorang, elastisitas serat elastin juga akan semakin menurun. Bentuk serat ini tampak seperti pita pipih atau benang silindris panjang bercabang-cabang dan tipis. Serat elastin tersusun dari mukopolisakarida dan protein. Serat elastin banyak ditemukan pada ligamen dan dalam pembuluh darah.

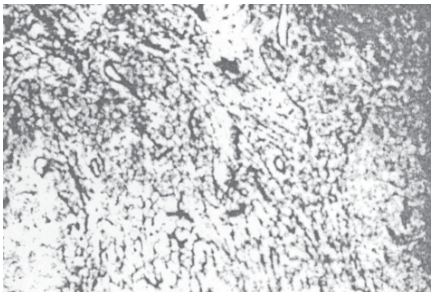


Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.13 Serat elastin pada jaringan ikat longgar.

c) Serat retikuler

Serat retikuler sebenarnya adalah serat kolagen yang sangat halus dan tersusun membentuk suatu kerangka penyokong berupa jala-jala atau retikulum. Serat retikuler terdapat seperti jala-jala halus yang mengitari pembuluh darah kecil, serat otot, serat saraf, dan sel lemak. Di dalam sekat-sekat halus pada paru-paru, terutama pada batas di antara jaringan ikat dan jenis jaringan yang lain, misalnya di bawah membran epitelium, serat ini membentuk jaring-jaring yang padat sebagai unsur membran basal.



Sumber: *Biology, 1999*

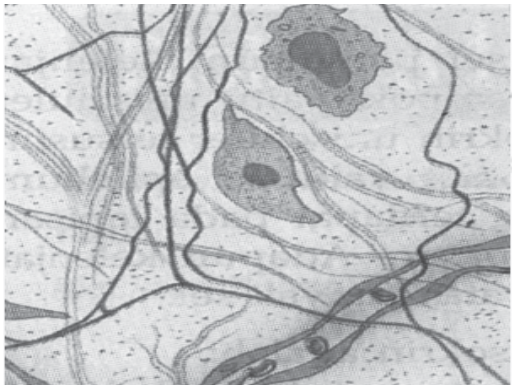
Gambar 3.14 Serat retikuler.

2) Matriks yang tidak berbentuk (amorf)

Bahan dasar penyusun matriks ini adalah mukopolisakarida sulfat dan asam hialuronat. Bentuk bahan dasarnya homogen setengah cair. Apabila kandungan asam hialuronatnya tinggi maka sifat matriksnya menjadi lentur. Tetapi sebaliknya, jika kandungan mukopolisakarida sulfatnya yang tinggi,

sifat matriksnya menjadi kaku. Matriks ini jika berada di dalam sendi bersifat kental, sedangkan jika terdapat di dalam tulang punggung akan bersifat padat.

b. Sel-Sel Jaringan Ikat



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.15 Macam-macam sel jaringan ikat yang tertanam pada matriks.

Sel-sel jaringan ikat banyak ditemukan pada jaringan ikat longgar. Pada jaringan ikat longgar sel-sel jaringan ikat banyak jenisnya. Oleh karena itu, jaringan ikat dibagi dalam dua kelompok, yaitu sel-sel tetap dan sel kelana. Jaringan ikat sel-sel tetap, contohnya fibroblas, makrofag, sel plasma, dan sel lemak. Jaringan ikat yang termasuk sel kelana, yaitu sel-sel yang termasuk sel darah putih seperti limfosit dan leukosit. Berbagai jenis sel yang terdapat pada jaringan ikat longgar melekat pada matriks dan setiap selnya memiliki fungsi yang berbeda-beda. Berikut akan diuraikan setiap jenis sel yang terdapat pada jaringan ikat.

1) Sel tetap jaringan ikat

Seperti telah dikatakan di atas bahwa yang termasuk sel-sel tetap, misalnya fibroblas, makrofag, sel plasma, dan sel lemak. Berikut akan dijelaskan satu per satu.

a) Fibroblas

Fibroblas termasuk golongan sel tetap, dan paling banyak jumlahnya pada jaringan ikat longgar. Fibroblas yang terdapat di antara serabut, bentuknya memanjang, intinya berbentuk runcing dengan sitoplasmanya berwarna pucat. Fibroblas yang aktif banyak terdapat pada hewan muda dan di dalam jaringan ikat yang beregenerasi akibat luka. Pada hewan dewasa, sel pembentuk serabut ini kurang aktif. Fibroblas yang kurang aktif dikenal dengan nama *fibrosit*. Fungsi fibroblas, yaitu mensekresikan protein yang berbentuk serat.

b) Makrofag

Nama lain dari makrofag adalah histiosit. Pada jaringan ikat longgar makrofag hampir sama banyaknya dengan fibroblas. Pada umumnya makrofag merupakan sel yang berbentuk tidak beraturan dengan cabang-cabang yang biasanya pendek. Kadang-kadang ada pula yang mempunyai cabang yang langsing dan panjang. Jika

dirangsang akibat adanya peradangan di suatu bagian tubuh tertentu, makrofag dapat bergerak aktif dan berpindah tempat. Hal ini dimungkinkan karena makrofag dapat bergerak secara amueboid. Pada saat bergerak secara amueboid, bentuk makrofag tidak teratur, dengan kaki-kaki palsu yang terjulur ke segala arah. Membran plasmanya melipat-lipat dan memiliki tonjolan kecil-kecil. Keadaan permukaan yang demikian itu membantu perluasan, *fagositosis*, dan gerakan sel. Intinya lonjong, terkadang berlekuk, dan lebih kecil dari inti fibroblas.

Makrofag banyak ditemukan di dekat pembuluh-pembuluh darah, karena dapat melakukan fagositosis (bergerak dan memakan). Dengan adanya kemampuan berfagositosis, makrofag dapat bertindak sebagai pembersih dengan cara menelan sel darah, sel mati, bakteri, dan benda asing lainnya yang keluar dari pembuluh darah. Fungsi seperti itu erat sekali hubungannya dengan fungsi sistem pertahanan tubuh. Pada saat fagositosis, makrofag dapat mengambil bahan-bahan atau senyawa kimia, bakteri dengan cara *invaginas*.

c) Sel mastosit (sel tiang)

Sel mastosit atau dikenal pula sebagai sel tiang, banyak ditemukan tersebar dalam jaringan ikat longgar. Sering kali sel-sel ini berkelompok di sekitar pembuluh darah. Hal ini erat kaitannya dengan fungsi sel mastosit untuk menghasilkan heparin dan histamin. Heparin bermanfaat untuk mencegah terjadinya pembekuan darah, sedangkan histamin untuk meningkatkan kemampuan permeabilitas kapiler darah. Sel tiang banyak ditemukan pada jaringan ikat hewan rodentia. Sitoplasma sel tiang berisi granula, bentuk oval tetapi tidak beraturan, kadang mempunyai pseudopodia (kaki semu) yang pendek. Sel tiang juga dapat melakukan pergerakan, tetapi gerakannya lambat.

d) Sel lemak

Sel lemak banyak ditemukan dalam keadaan sendiri-sendiri atau berkelompok sepanjang pembuluh darah kecil. Jika berkumpul dalam jumlah yang banyak akan berubah menjadi jaringan lemak (jaringan adiposa). Pada jaringan hewan yang segar, mereka tampak sebagai tetes-tetes minyak yang berkilauan dikelilingi sitoplasma. Jika lemak akan dipakai, lemak itu akan meninggalkan sel sebagai unsur-unsur terlarut dan sel itu akan tampak mengerut.

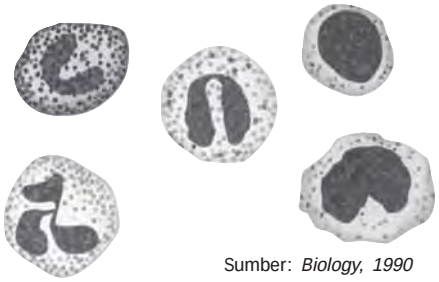
e) Sel plasma

Sel plasma jarang terdapat pada jaringan ikat, tetapi sering terdapat pada membran serosa dan jaringan limfoid. Fungsi utama sel

plasma adalah untuk menghasilkan antibodi yang dibuat di dalam retikulum endoplasma granular. Antibodi ini mungkin dilepaskan secara lokal atau ke dalam aliran darah atau mungkin ditampung untuk sementara waktu di dalam kantong-kantong sitoplasma.

2) Sel kelana jaringan ikat

Bagian yang termasuk sel-sel kelana jaringan ikat, yaitu berbagai jenis sel darah putih. Sel-sel darah putih disebut sebagai sel kelana jaringan ikat, karena sel-sel ini dapat bergerak bebas secara *diapedesis* di antara darah, limfa, atau jaringan ikat untuk membersihkan patogen yang berupa bakteri, virus, atau protozoa yang menimbulkan penyakit. Sel-sel darah putih terbagi menjadi dua, yaitu sel darah putih bergranula (granulosit) dan yang tidak bergranula (agranulosit). Sel darah putih bergranula, misalnya eosinofil, basofil, dan neutrofil, sedangkan yang tidak bergranula, misalnya limfosit dan monosit.



Sumber: *Biology, 1990*

Gambar 3.16 Beberapa macam sel darah putih sebagai sel kelana jaringan ikat.

c. *Macam-Macam Jaringan Ikat*

Berdasarkan matriks-matriks yang menyusunnya, jaringan ikat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu jaringan ikat longgar dan jaringan ikat padat.

1) Jaringan ikat longgar

Disebut demikian, karena jaringan ikat ini memiliki ciri susunan serat-seratnya longgar. Seperti telah anda ketahui pada uraian di atas, jaringan ikat ini yang paling banyak memiliki substansi dasar dan sel-sel jaringan ikat dari berbagai tipe. Jaringan ikat longgar fungsi utamanya adalah sebagai berikut.

a) Sebagai materi pembungkus dan penambat serta media pembenam beberapa struktur, termasuk pembuluh darah dan saraf.

b) Mengikat jaringan-jaringan lain, unsur-unsur organ, dan organ-organ menjadi satu serta memungkinkan bagian-bagian itu bergeser dengan cukup leluasa antara satu dengan yang lainnya, karena ini bersifat fleksibel. Fungsi ini dapat terlihat, misalnya pada:
   - Jaringan ikat yang melekat jaringan di bawah kulit.
   - Membentuk membran-membran pembatas antara jantung dan rongga perut.
   - Membalut serat-serat otot.

- Pembentuk membran yang disebut mesenterium yang berfungsi untuk menempatkan organ pada posisinya yang sesuai.
- Menjadi pembentuk organ-organ dalam, misalnya sumsum tulang, hati, dan kelenjar limfa.

2) Jaringan ikat padat

Jaringan ikat padat keadaan serat-serat yang menyusunnya berimpitan. Oleh karena itu, jaringan ikat ini diberi nama jaringan ikat padat. Substansi dasar dan sel-sel jaringan ikat yang terkandung pada jaringan ikat padat jika dibandingkan dengan jaringan ikat longgar, hanya sedikit jumlahnya. Jaringan ikat padat berdasarkan susunan serat-serat yang menyusunnya, dibagi menjadi dua macam, yaitu jaringan ikat padat beraturan dan tidak beraturan.

a) Jaringan ikat padat beraturan

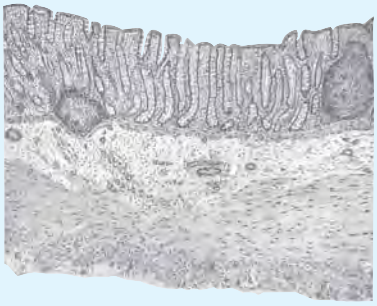
Jaringan ikat padat ini terdapat pada tempat-tempat yang mengalami tegangan dari satu jurusan, serat-serat tersusun teratur secara paralel. Jaringan ini terdapat pada ligamen yang menghubungkan tulang dengan tulang dan tendon yang menghubungkan otot dengan tulang.

b) Jaringan ikat padat tak beraturan

Jaringan ikat padat ini terdapat pada tempat-tempat yang mengalami tegangan atau kontraksi dari segala arah sehingga serat-seratnya akan berupa berkas teranyam yang arahnya tidak tentu. Jaringan ikat padat seperti ini ditemukan pada bagian dermis kulit dan pembalut tulang.

Salingtemas

Penampang mikroskropis usus besar yang di dalamnya terdapat jaringan ikat sesuai dengan namanya, jaringan ikat menghubungkan jaringan yang satu dengan jaringan yang lain. Apakah pernyataan tersebut sesuai dengan gambar mikroskropis di samping?



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

d. Tulang Rawan (Kartilago)

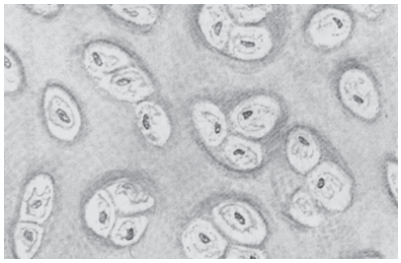
Tulang rawan adalah bentuk jaringan ikat khusus yang berfungsi sebagai penunjang (penyokong). Jaringannya terdiri dari sel-sel yang disebut kondrosit, serabut, dan matriks yang memiliki daya regang. Di dalam bahan interselulernya terdapat jalinan serabut kolagen dan elastik. Bahan dasarnya yang kuat dan kenyal mampu menahan beban.

Matriks-matriks tulang rawan terdiri dari campuran protein dengan polisakarida yang disebut *kondrin*. Oleh karenanya, sel tulang rawan disebut kondrosit. Kondrosit terbentuk dari kondroblas. Kondrosit ini terdapat di dalam lakuna yang letaknya pada perikondrium.

Contoh-contoh tulang rawan yang terdapat pada bagian tubuh manusia, yaitu di daun telinga, hidung, laring, trakea, lempeng intervertebral yang menghubungkan antara tulang dengan tulang, dan pada ujung tulang rusuk. Berdasarkan jenis dan jumlah serat dominan yang terdapat dalam matriks tulang rawan digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu tulang rawan hialin, tulang rawan elastin, dan tulang rawan fibrosa (fibrokartilago).

1) Tulang rawan hialin

Jenis tulang rawan ini paling banyak ditemukan dibandingkan dengan jenis tulang rawan lainnya pada bagian tubuh hewan maupun manusia. Matriksnya mengandung serat kolagen yang menyebar berbentuk anyaman halus dan tersusun rapat. Tulang rawan hialin berwarna bening seperti kaca. Bagian tubuh rawan hialin ditemukan pada bagian ujung tulang rusuk dan saluran pernapasan.

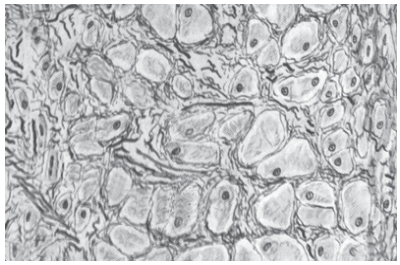


Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

Gambar 3.17 Tulang rawan hialin.

2) Tulang rawan elastin

Tulang rawan ini terdapat pada tempat-tempat yang membutuhkan penyokong yang fleksibilitasnya tinggi, seperti bagian telinga luar, epiglotis, dan laring. Dalam keadan segar, rawan elastik berwarna kuning karena banyak mengandung serat elastin dan nampak lebih keruh dibandingkan rawan hialin. Rawan ini merupakan perubahan bentuk dari rawan hialin. Sel-selnya kurang begitu banyak mengandung lemak dan glikogen jika dibandingkan dengan tulang rawan hialin. Matriks rawan elastik mengandung serat-serat kolagen dan juga jaring-jaring serat elastin yang banyak.



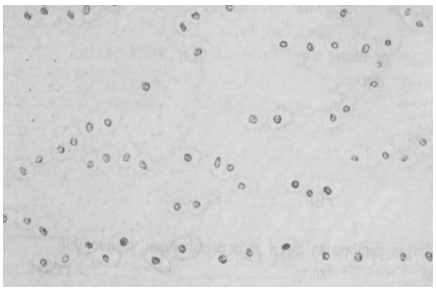
Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

Gambar 3.18 Tulang rawan elastin.

3) Tulang rawan fibrosa (fibrokartilago)

Jenis tulang rawan ini terdapat pada tempat-tempat yang mem-butuhkan sokongan yang kuat atau daya rentang. Terdapat pada tulang rawan yang membatasi bahu, persendian tulang paha, dan pada tempat melekatnya tendon

dan ligamen tertentu pada tulang. Juga terdapat pada sambungan tulang belakang dan simfisis pubis.



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

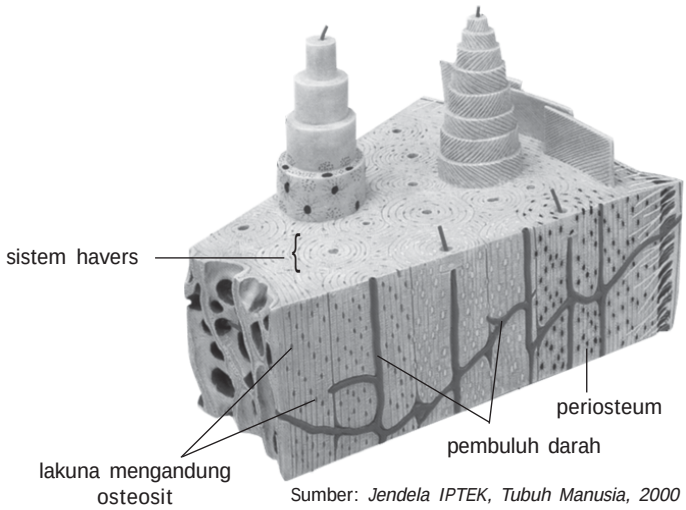
Gambar 3.19 Tulang rawan fibrosa.

e. Tulang (Osteon)

Tulang sebagai jaringan penyokong memiliki fungsi utama sebagai penyokong tubuh. Fungsi lainnya antara lain sebagai alat gerak dan pelindung organ-organ yang berada di bawah tulang. Tulang merupakan golongan jaringan ikat yang memiliki sel dan serabut yang terkurung dalam bahan yang keras sehingga cocok dengan fungsinya sebagai penunjang serta pelindung. Bahan keras yang mengelilingi jaringan ikat tulang terbentuk dari hasil mineralitasi endapan garam-garam organik terutama kalsium fosfat.

Sel-sel pembentuk tulang disebut *osteosit*. Osteosit pada pertumbuhan awal tulang berasal dari *osteoblas*, osteosit terdapat di dalam lakuna. Osteosit yang satu dengan yang lain pada tulang dihubungkan oleh suatu saluran yang disebut *kanalikuli*.

Matriks atau bahan pembentuk tulang adalah serat kolagen dan garam-garam mineral yang terdiri dari kalsium fosfat (85%), kalsium karbonat (10%), dan sejumlah kecil kalsium florida dan magnesium florida. Serat-serat kolagen berfungsi untuk menambah kekuatan terhadap tulang. Garam-garam mineral pembentuk tulang tersebut inilah yang menyebabkan tulang bersifat keras sehingga lebih keras jika dibandingkan dengan keadaan pada tulang rawan.



Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*

Gambar 3.20 Irisan melintang tulang memperlihatkan sistem saluran havers.

Dilihat dari strukturnya di bawah mikroskop, unit-unit penyusun tulang merupakan suatu saluran-saluran halus kanalikuli yang saling berhubungan membentuk suatu sistem saluran yang disebut *sistem havers*. Di dalam sistem havers terdapat pembuluh-pembuluh darah yang berfungsi sebagai penyuplai zat-zat makanan bagi pertumbuhan tulang dan saraf yang terdapat di dalamnya. Di samping itu, tulang pun dibalut oleh suatu selaput pembungkus tulang yang disebut *periosteum*. Tampak pada gambar 3.20, irisan melintang tulang beserta bagian-bagiannya.

3. Jaringan Otot

a. *Struktur Otot*

Jaringan otot memiliki struktur khusus yang fungsi utamanya sebagai alat gerak aktif, baik bagi badan secara keseluruhan maupun bagi setiap bagian tubuh yang satu terhadap yang lainnya. Sel otot sering disebut juga serat-serat otot. Serat otot mengandung filamen (benang) aktin dan miosin. Aktin dan miosin ini merupakan protein kontraktil yang memberi kemampuan untuk memanjang dan memendeknya otot.

Susunan sel-sel otot pada jaringan otot keadaannya membujur dengan inti dan miofibril yang tampak jelas. Miofibril terbentuk dari protein kontraktil yang terdapat di sepanjang sel. Hal ini tampak jelas terlihat pada otot rangka dan otot jantung. Antarsel otot batasnya tampak jelas karena adanya sarkolema. Sarkolema ini merupakan lapisan membran yang berada di sekeliling sel otot.

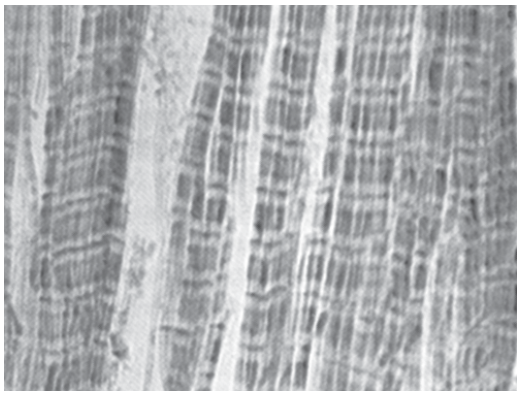
b. *Macam-Macam Otot*

Penggolongan otot didasarkan atas struktur dan fungsinya terbagi menjadi tiga macam. Gurat-gurat melintang teratur sepanjang serat terdapat pada *otot lurik*, tetapi tidak terdapat pada *otot polos*, sedangkan otot jantung termasuk otot yang khusus karena memiliki struktur seperti otot lurik, namun bekerja berdasarkan kerja otot polos. Jadi, secara umum otot di dalam tubuh hewan maupun manusia dibagi menjadi tiga, yaitu otot lurik (otot rangka), otot polos (otot viseral), dan otot jantung.

1) Otot lurik (otot rangka)

Otot lurik atau otot rangka membentuk daging pada hewan. Dalam keadaan segar berwarna merah muda. Warna merah ini sebagian disebabkan pigmen di dalam serat-serat otot dan sebagian lagi disebabkan kayanya jaringan oleh pembuluh-pembuluh darah dalam otot.

Otot lurik tersusun atas sel-sel yang berbentuk silindris yang sangat panjang, tetapi tidak mengalami percabangan. Panjang setiap selnya



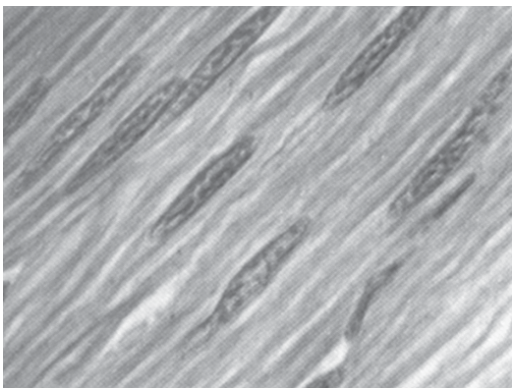
Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

Gambar 3.21 Penampang melintang otot lurik.

bervariasi antara 3–4 cm. Otot lurik mengandung inti sel yang banyak dan letaknya tersebar di bagian tepi sel. Miofibril-miofibril otot lurik susunannya sejajar dengan serabut ototnya, sehingga membentuk daerah terang yang disebut *isotrop* dan daerah gelap yang disebut *anisotrop*. Adanya daerah terang dan gelap pada otot lurik, menyebabkan otot ini tampak bergaris-garis melintang.

Cara bergerak (kontraksi) otot lurik ini di bawah kesadaran, sehingga disebut otot *volunter*. Sel-selnya mengandung saraf-saraf yang berasal dari sistem saraf pusat. Otot lurik dapat berkontraksi secara cepat dan kuat. Otot-otot lurik dapat anda temukan pada sebagian besar otot rangka.

2) Otot polos



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

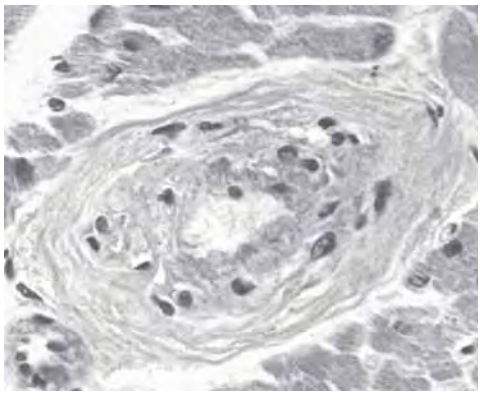
Gambar 3.22 Penampang melintang otot polos.

Jenis otot ini disebut juga sebagai otot tidak lurik. Sel-sel otot polos berbentuk seperti gelendong dengan panjang yang bervariasi antara 20-500 milimikron, bergantung pada organ mana otot polos ini berada. Inti selnya hanya satu dan terletak di bagian tengah sel. Kontraksinya (pergerakannya) tidak di bawah pengaruh kesadaran atau kemauan. Kontraksi otot polos dipengaruhi oleh saraf-saraf yang berasal dari sistem saraf otonom.

Otot ini dapat bergerak tanpa henti tanpa menimbulkan kelelahan, meskipun harus bergerak dalam jangka waktu lama. Untuk melakukan kontraksi otot polos membutuhkan waktu antara tiga detik sampai tiga menit. Otot polos terutama terdapat di bagian viseral, membentuk pada bagian-bagian yang berkontraksi seperti pada dinding saluran pencernaan dari mulai pertengahan esofagus hingga ke anus, serta saluran-saluran keluar kelenjar yang berhubungan dengan sistem ini. Di samping itu, otot polos terdapat pada sistem pernapasan, sistem eksresi, sistem reproduksi, dan pada bagian tertentu di mata.

3) Otot jantung

Otot jantung merupakan jenis otot dari penggabungan otot lurik dan otot polos. Disebut demikian karena otot jantung, keadaan susunannya



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

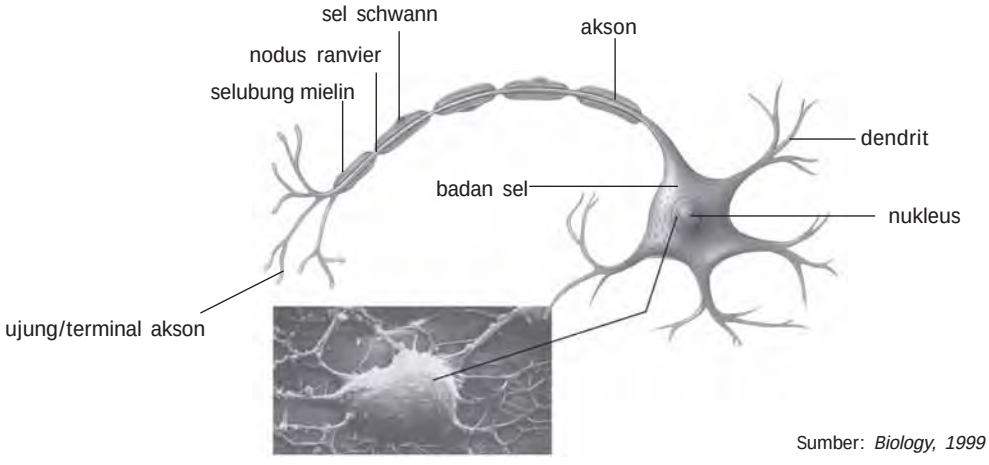
Gambar 3.23 Penampang melintang otot jantung.

memperlihatkan susunan otot lurik, tetapi cara kerjanya seperti otot polos, yaitu berkontraksi secara ritmis dan otomatis. Walaupun otot jantung mirip otot lurik, tetapi ada perbedaan dalam hal percabangan dan intinya. Sel-sel otot jantung seringkali terlihat membentuk rantai dan bercabang dua atau lebih. Percabangan pada otot jantung seperti ini disebut *Syncytium*. Jumlah intinya terkadang satu atau dua buah dan terletak pada bagian tengah (pusat). Sel-sel otot jantung dipengaruhi oleh saraf-saraf dari sistem saraf otonom. Oleh karena itu, kontraksinya tidak di bawah pengaruh kesadaran (otot involunter). Otot jantung hanya terdapat di jantung, yaitu pada miokardium (lapisan otot jantung) dan pada dinding pembuluh darah besar yang langsung berhubungan dengan jantung.

4. Jaringan Saraf

Jaringan saraf membentuk sistem saraf. Sistem saraf berfungsi menjamin kepekaan hewan terhadap pengaruh lingkungannya. Dengan demikian, sistem saraf mampu menanggapi pengaruh yang terjadi dari lingkungannya. Di samping itu, sistem saraf mampu mengendalikan gerakan otot, sekresi kelenjar, dan berperan besar pada tingkah laku naluri. Jaringan saraf ini terdiri atas sel-sel saraf yang disebut *neuron*.

a. Struktur Sel Saraf (Neuron)



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 3.24 Struktur sel saraf.

Sel saraf atau neuron merupakan unit fungsional pada sistem saraf. Neuron yang terdapat dalam tubuh bentuknya bermacam-macam bergantung pada tempat beradanya dan fungsinya. Sitoplasma sel neuron mengandung organel-organel antara lain badan golgi, mitokondria, dan retikulum endoplasma. Untuk kelangsungan hidupnya, neuron mendapatkan suplai makanan melalui neuroglia yang terdapat di sekitarnya.

Neuron memiliki *badan sel*, *dendrit*, dan *neurit* (akson). Berikut akan diuraikan masing-masing bagian neuron tersebut.

1) Badan sel

Badan sel merupakan bagian utama sel saraf yang mengandung inti, sitoplasma, membran sel, dan mengandung satu atau lebih percabangan sel yang berbentuk ramping, amat panjang, dan bercabang-cabang. Percabangan badan sel saraf ini terdiri atas dendrit dan akson. Di dalam sitoplasma badan sel saraf terdapat organel sel yang terdiri atas mitokondria, badan golgi, lisosom, dan badan *niessl*. Badan niessl ini sebenarnya adalah retikulum endoplasma yang berperan penting untuk sintesis protein.

2) Dendrit

Dendrit adalah perpanjangan sitoplasma badan sel saraf. Biasanya mengalami percabangan dalam jumlah yang cukup banyak. Dendrit bersama dengan perikarion membentuk daerah utama untuk menerima rangsangan, kemudian membawanya ke badan sel saraf. Jadi, fungsi utama dendrit adalah membawa rangsangan menuju badan sel saraf. Pada ujung-ujung setiap percabangan dendrit terdapat bentolan sangat halus yang berguna untuk menempelkan dirinya ke saraf lain.

3) Neurit (akson)

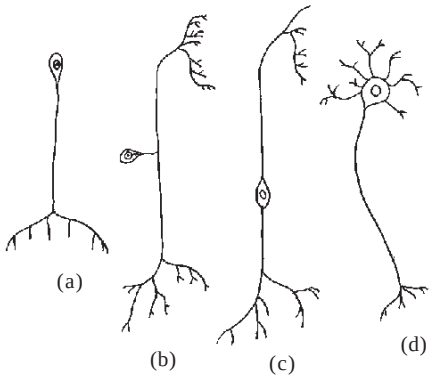
Neurit atau akson merupakan perpanjangan sitoplasma badan sel saraf. Neurit juga mengalami percabangan tunggal yang sangat panjang seperti halnya ujung-ujung dendrit. Pada ujung-ujung neurit terdapat bentolan-bentolan yang sangat halus untuk menempelkan dirinya pada sel saraf lain. Neurit berfungsi untuk membawa rangsangan meninggalkan badan sel saraf menuju sel saraf lain atau jaringan, seperti kelenjar dan otot. Akson terbentuk oleh tiga bagian, yaitu *neurilemma* (sel schwan), *selubung mielin*, dan *nodus ranvier*. Neurilemma atau sel schwan ini merupakan penyokong akson pada beberapa hewan vertebrata. Selubung mielin adalah selubung lemak yang terdapat di sekeliling akson. Selubung mielin ini terdiri atas membran sel yang meluas dari sel schwan, tetapi tidak semua akson diselubungi mielin, misalnya pada tempat pertemuan antara satu selubung dari satu sel schwan dan selubung berikutnya. Nodus ranvier

berfungsi untuk mempercepat jalannya impuls saraf. Selain mielin, akson juga memiliki pelindung yang tersusun atas sel-sel schwan. Sel-sel inilah yang memuat selubung mielin membran sel schwan terluar, disebut neurilemma. Neurilemma hanya terdapat pada sistem saraf tepi.

b. Penggolongan Neuron (Sel Saraf)

Berdasarkan struktur atau bentuknya, neuron dibagi menjadi tiga, yaitu neuron unipolar, bipolar, dan multipolar.

Neuron unipolar dicirikan dengan memiliki satu cabang akson yang berasal dari badan sel. Pada Neuron bipolar terdapat satu dendrit yang bercabang-cabang dan satu akson, sedangkan neuron multipolar memiliki sejumlah dendrit dan satu akson. Ketiga struktur masing-masing neuron dapat anda lihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Berbagai bentuk struktur neuron.
(a) unipolar, (b) pseudopolar, (c) bipolar, (d) multipolar.

Berdasarkan cara neuron memindahkan rangsang dan tempat beradanya neuron dibagi menjadi tiga macam, yaitu *neuron perasa, neuron motor,* dan *neuron asosiasi.*

1) Neuron Perasa (Neuron Aferen/Neuron Sensori)

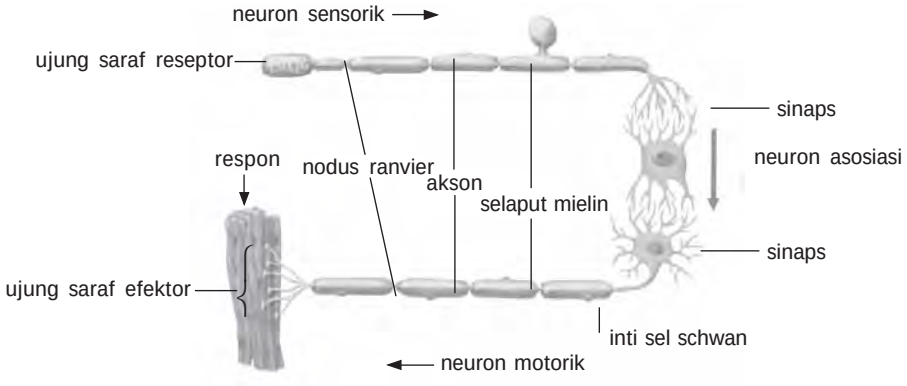
Neuron ini berfungsi untuk menerima impuls dari reseptor, seperti bagian mata yang bereaksi terhadap cahaya dan meneruskan impuls itu ke neuron lain. Umumnya neuron perasa menyampaikan rangsangan dari organ-organ penerima rangsang (reseptor) untuk kemudian menyampaikannya ke sistem saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang). Badan-badan sel neuron sensori ini umumnya berkelompok, disebut *ganglia* dan neuron ini berlanjut hingga ke tali spinal. Akson neuron sensori membawa impuls rangsang menuju jaringan saraf pusat.

2) Neuron asosiasi (neuron intermedier/interneuron)

Neuron asosiasi meneruskan impuls saraf dari neuron yang satu ke neuron lainnya. Neuron asosiasi ini membentuk suatu mata rantai, terdapat pada sistem saraf pusat. Neuron ini akan mengalami perangsangan oleh impuls yang berasal dari neuron sensori atau dari neuron asosiasi lain. Neuron asosiasi hampir terdapat di seluruh lintasan koordinasi saraf. Dapat Anda bayangkan berapa jumlah neuron asosiasi ini pada sistem saraf pusat? (mungkin berjumlah miliaran).

3) Neuron motorik (neuron penggerak)

Neuron motor berfungsi sebagai pembawa impuls ke efektor, yaitu otot dan kelenjar. Umumnya neuron motor menerima impuls dari neuron asosiasi. Namun, adakalanya impuls dipindahkan secara langsung dari neuron perasa ke neuron penggerak.



Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 3.26 Arah rangsang saraf.

C. Peranan Histologi pada Kesehatan

Ilmu pengetahuan tentang jaringan yang lazim disebut *histologi*, sangat banyak sumbangannya terhadap beberapa ilmu pengetahuan terapan. Di bidang kedokteran, histologi merupakan dasar untuk memahami ilmu pengetahuan lain yang disebut anatomi. Anatomi ini adalah ilmu pengetahuan yang membahas struktur organ dalam pada manusia. Dengan memahami histologi yang disebut histologi veteriner, para dokter dapat mendiagnosa kelainan-kelainan jaringan yang disebabkan oleh suatu penyakit tertentu yang menyerang pasiennya, sedangkan anatomi lebih banyak dipelajari oleh dokter spesialis bedah, untuk mengetahui kelainan organ pada tubuh pasien. Dengan mengetahui kelainan organ, dokter spesialis bedah dapat menentukan dengan tepat pada bagian tubuh yang mana harus dilakukan pembedahan. Di samping oleh para dokter, ilmu pengetahuan tentang anatomi tubuh ini banyak dipelajari oleh orang-orang yang

Tokoh



Sumber: *Encarta, 2004*

Mempelajari Sel

Ahli patologi Prancis, Marie Francois Bichat (1771–1802) adalah orang yang pertama mengetahui bahwa organ terbuat dari kelompok sel yang berbeda-beda. Ia menamakannya jaringan karena sering kali berbentuk lembaran tipis. Meskipun Bichat meninggal dalam usia muda, karyanya telah membantu terbentuknya suatu cabang ilmu baru yang dinamakan histologi, ilmu tentang struktur jaringan dan organ.

belajar tentang akupuntur dan pijat refleksi. Karena dengan mempelajari anatomi ahli akupunktur dan pijat refleksi dapat mengetahui organ yang sakit dengan cara mendeteksi persarafan yang berhubungan dengan organ yang sakit. Di samping itu, masih banyak ilmu pengetahuan terapan yang menggunakan ilmu jaringan dan anatomi sebagai dasar ilmunya.

Rangkuman

Berdasarkan jumlah sel yang menyusunnya hewan dikelompokkan menjadi hewan bersel satu (uniseluler) dan hewan bersel banyak (multiseluler). Untuk kelangsungan hidupnya, hewan bersel satu menjalankan seluruh aktivitasnya hanya di dalam sel, sedangkan hewan bersel banyak selain menjalankan aktivitas di dalam sel, juga terjadi pada sekelompok sel yang membentuk jaringan, organ, dan sistem organ. Adanya jaringan, organ, dan sistem organ di dalam tubuh hewan bersel banyak bertujuan untuk menjalankan fungsi yang lebih khusus.

Unsur-unsur pembentuk jaringan adalah sekelompok sel yang terspesialisasi sehingga memiliki bentuk dan fungsi serta kepentingan yang sama. Proses spesialisasi, yaitu proses perubahan bentuk dan fungsi sel. Jaringan yang terdapat pada hewan terdiri atas empat, yaitu jaringan epitel, jaringan otot, jaringan ikat, dan jaringan saraf.

Ciri utama jaringan epitel, yaitu tersusun oleh sel-sel epitelium yang rapat sehingga hampir tidak memiliki ruang di antara sel-sel penyusunnya. Pengelompokan jaringan epitel berdasarkan bentuknya ada tiga, yaitu epitelium pipih, epitelium kubus, dan epitelium silindris, sedangkan menurut susunan lapisan yang menyusunnya, jaringan epitelium terbagi menjadi epitelium selapis dan epitelium berlapis. Di samping itu, jaringan epitelium dapat membentuk kelenjar-kelenjar. Fungsi kelenjar yang terbentuk dari jaringan epitel, yaitu sebagai penghasil zat-zat yang dibutuhkan tubuh, misalnya kelenjar endokrin yang menghasilkan hormon.

Jaringan otot terbentuk oleh sel-sel otot yang tersusun membujur dan berbagai serat halus yang disebut miofibril. Tubuh hewan dibentuk oleh tiga jenis jaringan otot, yaitu otot lurik, otot polos, dan otot jantung. Jaringan otot pada tubuh hewan vertebrata berfungsi sebagai alat gerak aktif. Otot lurik adalah otot yang bergerak di bawah kesadaran (volunter), sedangkan otot polos tidak dipengaruhi kesadaran. Otot jantung merupakan jenis otot yang istimewa, karena kontraksinya seperti otot polos tetapi dari bentuknya menyerupai otot lurik.

Pada perkembangan awal terbentuknya organisme, jaringan ikat berkembang dari mesenkim. Jaringan ikat di dalam tubuh organisme memiliki fungsi utama sebagai penyokong dan penghubung organ yang satu dengan yang lain. Jaringan ikat memiliki berbagai sel, yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu sel tetap dan sel kelana. Sel-sel jaringan ikat yang termasuk sel tetap, antara lain fibroblas, makrofag, sel mastosit (sel tiang), sel lemak, dan sel plasma, sedangkan yang termasuk sel kelana jaringan ikat, yaitu sel-sel yang termasuk sel darah putih seperti leukosit, limfosit, dan lain-lain.

Jaringan saraf tersusun dari sel-sel saraf, dan neuroglia yang berfungsi sebagai penyokong sel saraf. Sel-sel saraf berfungsi untuk menerima dan menghantarkan rangsangan yang berupa impuls.

Ilmu pengetahuan tentang jaringan yang lazim disebut *histologi*, sangat banyak sumbangannya terhadap beberapa ilmu pengetahuan terapan. Di bidang kedokteran, *histologi* merupakan dasar untuk memahami ilmu pengetahuan lain yang disebut anatomi. Anatomi ini adalah ilmu pengetahuan yang membahas struktur organ dalam pada manusia.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Jaringan terbentuk dari proses perubahan sel yang disebut . . . .
   A. organisasi
   B. imunisasi
   C. diferensiasi
   D. koordinasi
   E. spesialisasi
2. Berdasarkan bentuknya, sel epitel terbagi menjadi . . . .
   A. 2 macam
   B. 3 macam
   C. 4 macam
   D. 5 macam
   E. 6 macam
3. Beberapa jaringan yang memiliki fungsi tertentu berkelompok membentuk . . . .
   A. organel
   B. organ
   C. multiseluler
   D. sistem organ
   E. endokrin
4. Jaringan yang memiliki fungsi kontraksi adalah . . . .
   A. tulang rawan
   B. saraf
   C. tulang
   D. otot
   E. epitel
5. Berikut ini yang bukan merupakan pasangan yang benar adalah . . . .
   A. epitel selapis pipih - menutup organ
   B. otot lurik - aktin atau miosin
   C. saraf - kontraksi otot
   D. darah - jaringan ikat kelana
   E. otot polos – tak sadar
6. Salah satu jenis otot yang terdapat pada usus halus adalah . . . .
   A. otot polos melingkar dan memanjang
   B. otot polos memanjang
   C. otot lurik
   D. otot jantung
   E. otot loreng

7. Otot polos tidak terdapat pada organ . . . .
   A. dinding usus halus
   B. dinding usus besar
   C. dinding lambung
   D. rangka
   E. dinding pembuluh darah
8. Organ pada hewan tempat terjadinya pertukaran oksigen dan karbon dioksida adalah . . . .
   A. jantung
   B. lambung
   C. paru-paru
   D. ginjal
   E. hati
9. Fungsi transpor dilakukan oleh jaringan . . . .
   A. otot
   B. darah
   C. saraf
   D. lemak
   E. epitel
10. Jaringan yang memiliki ciri berbentuk silindris dengan ujung meruncing, miofibril tampak jelas, intinya berada di tengah, adalah jaringan . . . .
   A. otot polos
   B. otot lurik
   C. otot jantung
   D. epitelium bersilia
   E. tulang keras

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Apa yang menyebabkan jaringan tulang mengeras? Jelaskan!
2. Mengapa otot jantung disebut otot lurik yang istimewa? Jelaskan!
3. Sebutkan pembagian jaringan epitel berdasarkan susunan lapisan yang menyusunnya! Berikan contoh setiap jenis jaringan epitel itu dan letaknya pada tubuh!
4. Gambarkan secara bagan organ-organ yang membentuk sistem organ pada organisme!
5. Sebutkan berbagai jenis jaringan yang anda ketahui, dan jelaskan fungsinya!

* * *

Bab 4

Sistem Gerak



Sumber: *www.ABC.net.au, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- menjelaskan struktur dan fungsi tulang sebagai alat gerak pasif;
- menjelaskan struktur dan fungsi otot sebagai alat gerak aktif;
- mengidentifikasi kelainan yang terjadi pada sistem gerak;
- memberi contoh teknologi yang berhubungan dengan kelainan yang terjadi pada sistem gerak.

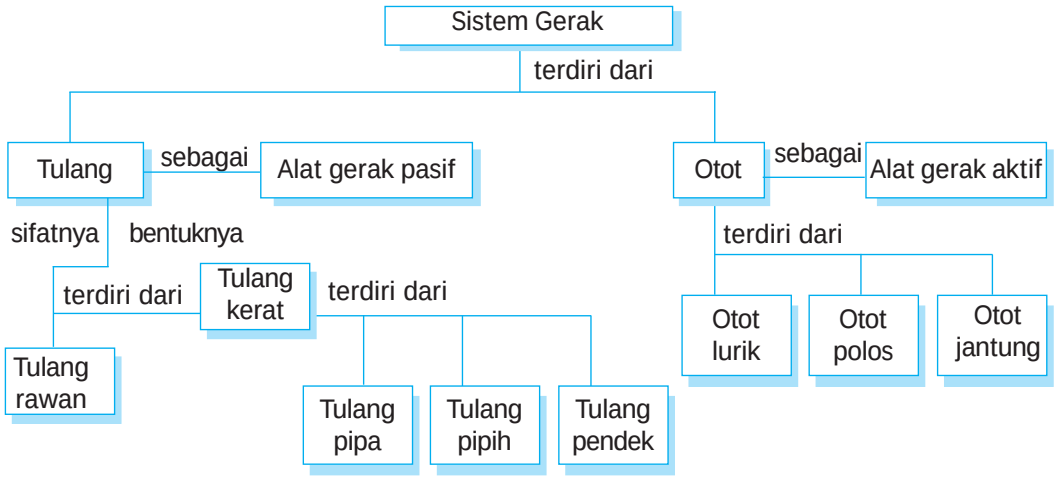
A. Pendahuluan

Seorang pemain sepak bola terlihat begitu mudah mengontrol bola sambil meloncat. Gerakan kakinya tampak lentur ketika bola diarahkan padanya. Apakah yang membuatnya sedemikian mudah dan lentur melakukan gerakan-gerakan tersebut?

Tulang membentuk rangka tubuh yang kuat sekuat besi, namun tetap lentur dan ringan. Otot yang bertanggung jawab pada gerakan tubuh memiliki kekuatan dan bersifat fleksibel. Tulang dan otot ini diselubungi kulit untuk menjaganya agar tetap hangat.

Tanpa interaksi dalam sistem gerak ini, gerak tubuh kita akan kaku seperti gerakan robot. Betapa agung Sang Pencipta manusia dan alam semesta yang telah menciptakan-nya dengan penuh keteraturan.

Agar anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut!



B. Tulang sebagai Alat Gerak Pasif

Tulang-tulang yang menyusun rangka tubuh manusia jumlahnya kurang lebih 200 buah dan terdiri dari beberapa jenis. Jumlah tulang pada manusia dewasa berbeda dengan jumlah tulang pada anak-anak. Perbedaan ini terjadi karena adanya sejumlah tulang yang tumbuh menjadi satu. Pembicaraan kita mengenai tulang sebagai alat gerak akan diawali dengan pembahasan mengenai jenis tulang.

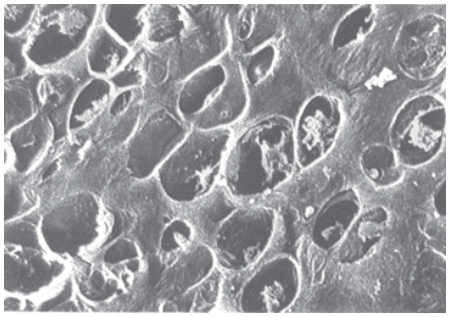
Kata Kunci

- *Aktin*
- *Filamen aktin*
- *Filamen miosin*
- *Kartilago*
- *Kontraksi*
- *Miosin*
- *Osteon*
- *Saluran havers*
- *Skeleton*

1. Jenis Tulang

Seperti telah anda ketahui pada pembahasan tentang jaringan dan organ, tulang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu tulang rawan (kartilago) dan tulang sejati (osteon). Pembagian jenis tulang tersebut berdasarkan susunan jaringan dan sifat-sifat atau ciri-ciri yang dimilikinya.

a. *Tulang Rawan (Kartilago)*



Sumber: *Jendela IPTEK, 2000*

Gambar 4.1 Penampang melintang tulang rawan.

Tulang rawan tersusun atas sel-sel tulang rawan yang menghasilkan matriks berupa *kondrin*. Tulang rawan ini bersifat bingkas dan lentur karena terbentuk dari selaput tulang rawan (perikondrium) yang banyak mengandung sel-sel pembentuk tulang rawan (kondroblas).

Jaringan tulang rawan pada anak-anak sel-selnya lebih banyak mengandung sel-sel rawan, sedangkan pada orang dewasa jaringan tulang rawannya telah terisi oleh matriks-matriks tulang. Sebagian besar anak-anak tubuhnya masih terdiri atas tulang rawan, sedangkan pada orang dewasa tulang rawan hanya ditemukan pada beberapa bagian atau lokasi tubuh, seperti pada cuping hidung, cuping telinga, persendian tulang, di antara ruas tulang belakang, antara tulang rusuk dan tulang dada, dan pada cakra epifisis.

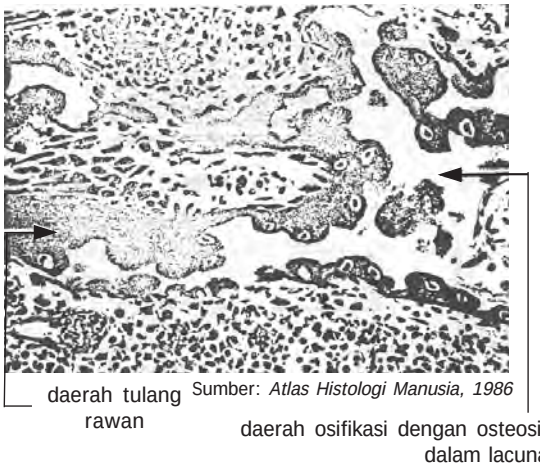
b. *Tulang Sejati (Osteon)*

Berbeda dengan sifat tulang rawan, tulang sejati atau *osteon* bersifat keras. Di samping itu, memiliki susunan struktur yang lebih kompleks dibandingkan dengan tulang rawan. Tulang memiliki fungsi utama sebagai penyusun rangka tubuh. Struktur tulang dapat dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu *osteoprogenator*, *osteoblas*, *osteosit*, dan *osteoklas*.

Osteoprogenator merupakan sel-sel tulang rawan yang bersifat khusus. Pada awal perkembangan organisme, sel-sel ini berasal dari mesenkim yang memiliki kemampuan membelah diri yang sangat baik dan mampu berdiferensiasi menjadi osteoblas. Osteoprogenator yang terdapat di sebelah bagian luar membran disebut *periosteum*.

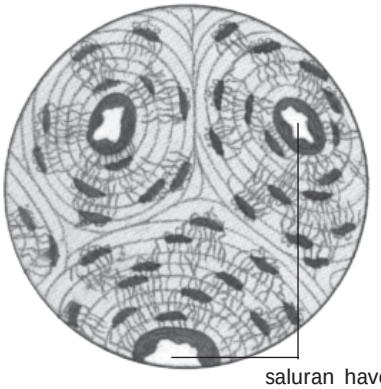
Osteoblas adalah sel-sel tulang muda yang pada proses terbentuknya tulang akan membentuk osteosit. Osteosit ini merupakan sel-sel tulang yang telah dewasa. *Osteoblas* berasal dari *monosit*. Pada masa perkembangannya, osteoblas banyak ditemukan di sekitar permukaan tulang. Osteoblas berfungsi untuk merawat dan

memperbaiki tulang serta berperan pada proses perkembangan. Gambar berikut memperlihatkan bentuk-bentuk sel penyusun tulang.



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

Gambar 4.2 Bagian-bagian sel pembentuk tulang.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 4.3 Sistem saluran havers pada tulang.

Proses terbentuknya tulang, terjadi segera setelah terbentuknya tulang rawan (kartilago). Kartilago berasal dari sel-sel mesenkim. Setelah kartilago terbentuk, bagian dalamnya akan berongga, seluruh rongga ini akan terisi oleh osteoblas, kemudian osteoblas ini akan mengisi keseluruhan rongga jaringan tulang rawan untuk kemudian membentuk sel-sel tulang.

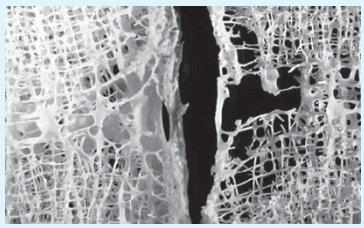
Sel-sel tulang terbentuk terutama dari arah dalam ke arah luar. Proses pembentukan seperti demikian itu disebut pembentukan secara konsentris. Kemudian, setiap satuan-satuan sel tulang akan mengelilingi pembuluh-pembuluh darah dan sel saraf membentuk suatu sistem yang dikenal sebagai saluran havers.

Selanjutnya, di sekeliling sel-sel tulang akan terbentuk senyawa protein yang pada perkembangannya akan menjadi matriks tulang. Kelak, senyawa protein ini akan berikatan dengan unsur kalium (kapur) dan fosfor sehingga matriks tulang akan mengalami pengerasan yang prosesnya dikenal sebagai penulangan atau *osifikasi*.

Berdasarkan matriks pembentukannya, jaringan tulang dibedakan menjadi dua, yaitu *tulang kompak* dan *tulang spons*. Tulang kompak adalah tulang yang memiliki matriks padat dan keadaan susunan matriksnya rapat, misalnya tulang pipa. Tulang spons merupakan jenis tulang yang matriksnya berongga, misalnya tulang-tulang pipih dan tulang-tulang pendek.

Pembagian tulang juga dapat dibedakan berdasarkan bentuknya. Menurut bentuknya tulang dibagi menjadi tiga, yaitu *tulang pipa*, *tulang pipih*, dan *tulang pendek*.

Salingtemas



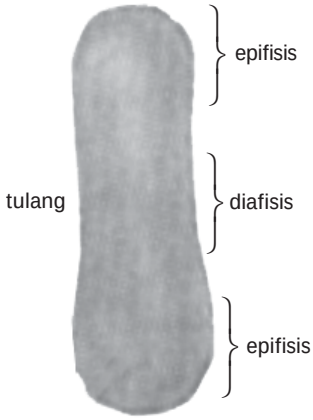
Osteoporosis umumnya terjadi pada usia setengah baya. Pada orang yang masih muda, tulang terus-menerus keropos namun bersamaan dengan itu dibentuk tulang yang baru. Kecepatan rata-rata pembentukan tulang melebihi kecepatan rata-rata tulang yang keropos.

Pada saat usia setengah baya, kecepatan pembentukan tulang menurun, menyebabkan tulang menjadi lebih tipis dan keropos. Gambar di samping menunjukkan bagian tulang yang terserang osteoporosis (kanan) dibandingkan dengan bagian tulang yang sehat (kiri). Kondisi tulang yang melemah karena osteoporosis lebih rentan untuk menjadi patah dibandingkan dengan tulang yang padat dan sehat.

Coba Anda temukan faktor-faktor apa saja yang dapat mempercepat terjadinya osteoporosis pada tulang?

1) Tulang Pipa

Tulang ini disebut tulang pipa karena bentuknya mirip dengan pipa, yaitu berbentuk bulat panjang dan berongga. Pada ujung tulang pipa terdapat perluasan yang disebut bongkol. Bongkol ini berfungsi untuk penghubung antartulang. Contoh tulang pipa, antara lain tulang betis, tulang hasta, dan tulang pengumpil. Tulang pipa terbagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian tengah (*diafisis*), bagian kedua ujung tulang pipa (epifisis), dan daerah yang terdapat di antara epifisis dan diafisis (cakra epifisis). Cakra epifisis pada anak-anak berupa kartilago yang banyak mengandung osteoblas. Osteoblas ini menempati rongga yang disebut rongga sumsum tulang.



Gambar 4.4 Tulang pipa dan bagian-bagiannya.



Sumber: *Jendela IPTEK, 2000*

Gambar 4.5 Proses osifikasi.

Lain halnya dengan cakra epifisis pada anak-anak, pada orang dewasa yang sudah tidak mengalami pertumbuhan tinggi, cakra epifisisnya mengalami proses ofisikasi (penulangan) sehingga keadaan tulangnya menjadi keras. Di samping osteoblas, pada tulang pipa juga terdapat osteoblas yang berfungsi dalam proses perombakan tulang.

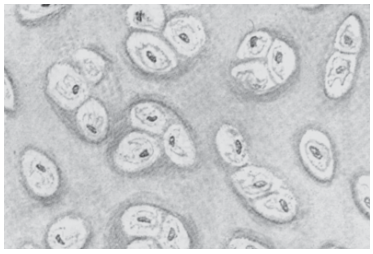
2) Tulang Pipih

Sama halnya dengan tulang pipa, tulang pipih diberi nama demikian karena tulangnya berbentuk pipih atau gepeng yang di dalamnya berongga seperti spons. Tulang pipih ini tersusun atas dua lempengan tulang, yaitu lempengan tulang kompak dan tulang spons. Tulang pipih banyak ditemukan sebagai bagian dari penyusun dinding rongga, sehingga tulang pipih sangat cocok fungsinya sebagai pelindung atau memperkuat bagian tubuh. Beberapa tulang yang termasuk tulang pipih, yaitu tulang belikat, tulang tengkorak, dan tulang rusuk.

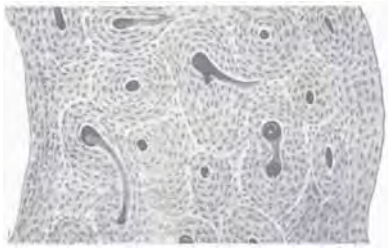
3) Tulang Pendek

Tulang ini disebut demikian karena bentuknya yang bulat dan pendek. Di dalam tulang pendek terdapat sumsum merah yang cukup banyak. Pangkal kaki, pangkal lengan, dan ruas-ruas tulang punggung termasuk jenis tulang pendek.

Tugas



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*
(a)



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*
(b)

(a) Tulang rawan hialin matang (matur), pewarnaan hematoksilin eosin 320x dan (b) Tulang kompak pewarnaan amilum baru 20x.

Perhatikan kedua gambar di atas!
Gambar di atas merupakan bagian jaringan tulang rawan dan jaringan tulang. Berikan pendapat Anda!

1. Bagaimanakah letak sel-sel jaringan tulang rawan jika dibandingkan dengan jaringan tulang kompak?
2. Pada sel tulang rawan terdapat bagian yang jernih. Disebut apakah bagian tersebut?
3. Zat-zat apakah yang terdapat pada ruang antarsel pada jaringan tulang kompak?

2. Fungsi Tulang

Selain fungsi utama tulang sebagai penyusun rangka tubuh, masih ada fungsi-fungsi tulang yang lain, antara lain sebagai berikut.

a) Pemberi bentuk tubuh.
b) Pelindung organ tubuh yang vital.
c) Penahan/penegak tubuh.
d) Tempat pembentukan sel darah.
e) Tempat menyimpan mineral terutama kalsium dan fosfor.
f) Tempat menyimpan cadangan lemak di sumsum kuning.
g) Tempat melekatnya otot.

3. Hubungan Antartulang (Persendian)

Tulang di dalam tubuh saling berhubungan satu sama lain sehingga membentuk rangka tubuh. Hubungan antartulang disebut pula *artikulasi*. Untuk dapat bergerak, pada hubungan antartulang terdapat struktur yang khusus. Struktur khusus inilah yang disebut sendi. Proses terbentuknya sendi diawali dengan membengkaknya kartilago. Lalu kedua ujung kartilago itu diliputi jaringan ikat. Selanjutnya, kedua ujung kartilago itu membentuk sel-sel tulang dan keduanya diselubungi oleh selaput sendi yang disebut *sinovial*. Membran sinovial ini keadaannya liat dan dapat menghasilkan minyak pelumas tulang yang disebut minyak sinovial. Untuk lebih jelasnya coba Anda perhatikan Gambar 4.6!

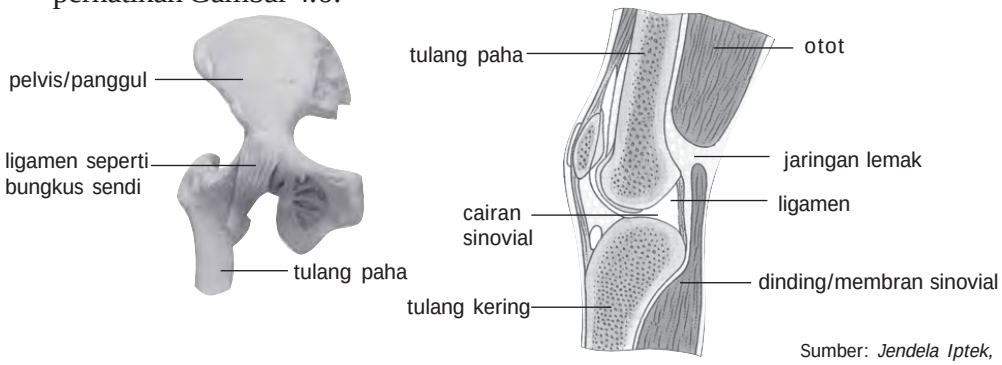
Tokoh



Sumber: *Jendela Iptek, 2001*

Ahli Tulang

Giovanni Ingrassies (1510 – 1580) adalah ahli tulang awal. Ia adalah seorang dokter reputasi sebagai Hippocrates Sisillia sesudah Bapak Kedokteran. Ia yang pertama-tama mengidentifikasi tulang tubuh yang terkecil, tulang stapes di telinga dan namanya dipakai untuk bagian dari rongga mata yang tertulang.



Sumber: *Jendela Iptek, Tubuh Manusia, 2000*

Gambar 4.6 Sendi dan bagian-bagiannya.

Pada rangka tubuh manusia terdapat tiga pola hubungan antartulang atau persendian, yaitu *sinartrosis, amfiartrosis,* dan *diartrosis*. Berikut akan dijelaskan satu per satu.

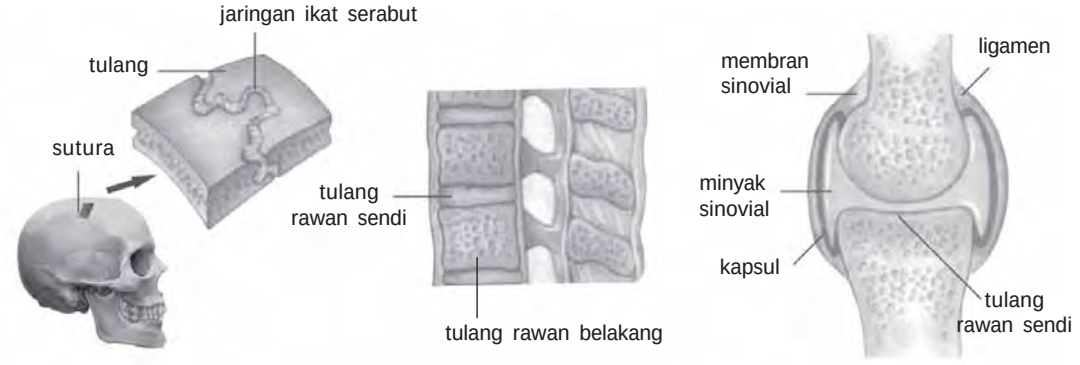
a. Sinartrosis (Sendi Mati)

Sinartrosis, yaitu pola hubungan antartulang yang sama sekali tidak memiliki celah sendi. Hubungan antartulang pada pola ini, dihubungkan dengan erat oleh jaringan serabut, karena itu tidak bisa digerakkan (sendi mati).

Pola hubungan tulang yang disebut sinartrosis dibagi menjadi dua tipe utama, yaitu *suture* dan *sinkondrosis*. Suture adalah pola hubungan sinartrosis yang dihubungkan dengan jaringan ikat serabut padat, misalnya pada tulang tengkorak. *Sinkondrosis* adalah sinartrosis yang dihubungkan oleh kartilago hialin, misalnya hubungan antara tulang epifisis dan diafisis pada tulang dewasa, hubungan tulang yang seperti ini tidak dapat digerakkan.

b. Amfiartrosis

Pada pola hubungan tulang amfiartrosis, sendi dihubungkan oleh kartilago sehingga memungkinkan untuk sedikit terjadi gerakan. Pola hubungan ini dibagi menjadi dua, yaitu *simfisis* dan *sindesmosis*. Pada simfisis, sendi dihubungkan oleh kartilago serabut yang bentuknya pipih. Pola hubungan ini dapat ditemukan pada sendi intervertebral dan simfisis pubis, sedangkan pada sindesmosis, sendi dihubungkan oleh jaringan ikat serabut dan ligamen. Sindesmosis contohnya pada sendi antara tulang betis dan tulang kering.



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 4.7 Hubungan antartulang, yaitu (a) sinartrosis, (b) amfiartrosis, dan (c) diartrosis.

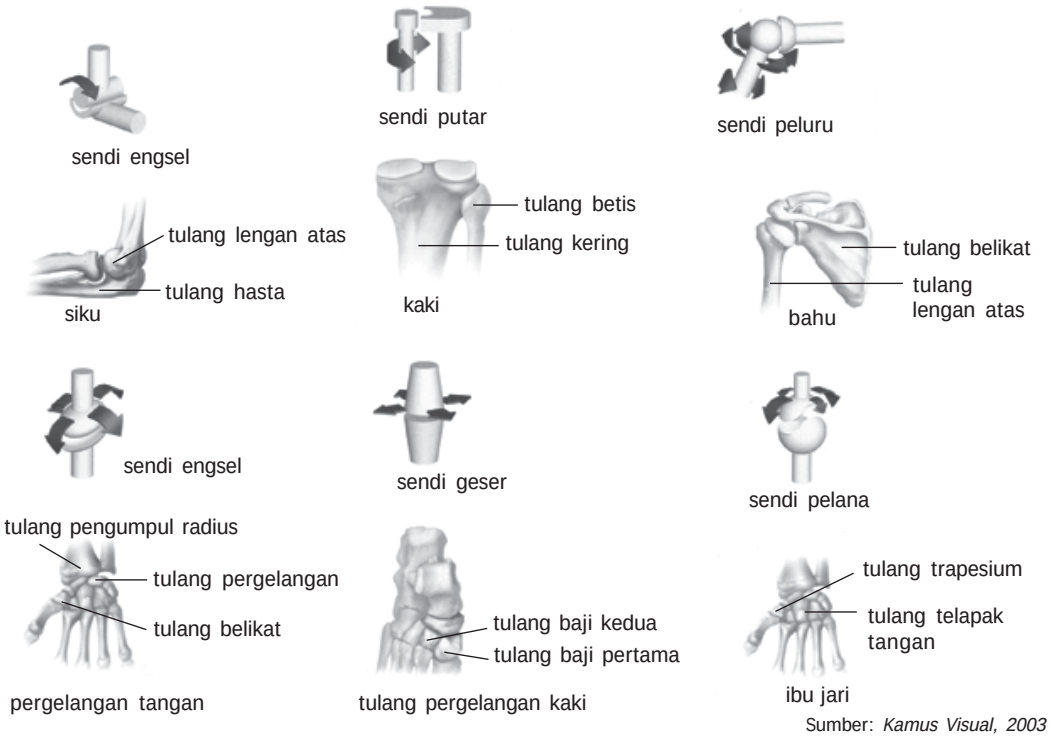
c. Diartrosis (Sendi Gerak)

Pada pola hubungan ini, kedua ujung tulang tidak dihubungkan oleh jaringan sehingga memungkinkan terjadinya gerakan. Nama lain untuk pola hubungan diartrosis, yaitu hubungan sinovial. Diartrosis merupakan hubungan antartulang yang dicirikan oleh keleluasaannya pada saat digerakkan dan bersifat fleksibel.

Beberapa ciri khusus dari pola hubungan diartrosis, yaitu:

1) permukaan sendinya diselubungi oleh selaput atau kapsul yang terbuat dari jaringan ikat fibrosa;
2) di bagian dalam kapsul terdapat pembatas. Pembatas ini merupakan membran jaringan ikat yang disebut pula membran sinovial. Membran ini menghasilkan cairan pelumas yang disebut cairan sinovial yang fungsinya untuk mengurangi gesekan;
3) kapsul-kapsul fibrosanya ada yang diperkuat oleh ligamen dan ada pula yang tidak, dan di dalam kapsul biasanya terdapat bantalan-bantalan serabut tulang rawan.

Hubungan tulang yang termasuk ke dalam pola hubungan diartrosis, yaitu sendi peluru, sendi engsel, sendi putar, sendi pelana, sendi ovoid, dan sendi luncur. Berikut akan dijelaskan bagaimana mekanisme setiap persendian melakukan gerakan.



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 4.8 Beberapa jenis sendi pada tubuh manusia antara lain sendi peluru, sendi engsel, sendi putar, dan sendi luncur.

1) Sendi Peluru

Sendi peluru, yaitu persendian yang memungkinkan terjadinya mekanisme gerak ke segala arah. Persendian seperti ini terjadi pada persendian yang terbentuk oleh hubungan antara tulang-tulang gelang bahu dan tulang lengan bagian atas, juga terdapat pada persendian yang terbentuk oleh hubungan antara tulang gelang panggul dan tulang paha.

2) Sendi Engsel

Sendi engsel merupakan persendian yang terbentuk oleh hubungan antartulang yang hanya memungkinkan terjadinya gerakan ke satu arah. Persendian seperti ini dapat ditemukan pada persendian yang terbentuk oleh ruas-ruas tulang jari kaki maupun tangan atau persendian yang terbentuk oleh tulang-tulang yang membentuk siku dan lulut.

3) Sendi Pelana atau Sela

Sendi pelana merupakan persendian yang terbentuk oleh hubungan antartulang yang memungkinkan terjadinya gerakan kedua arah. Persendian seperti ini terdapat pada hubungan antara tulang telapak tangan dan pangkal ibu jari.

4) Sendi Putar

Sendi putar merupakan persendian di mana ujung tulang yang satu dapat mengitari ujung tulang yang lain. Keadaan hubungan yang demikian memungkinkan gerakan rotasi dengan satu poros, seperti persendian antara tulang hasta dan pengumpil atau antara tulang atlas dengan tulang tengkorak.

5) Sendi Ovoid

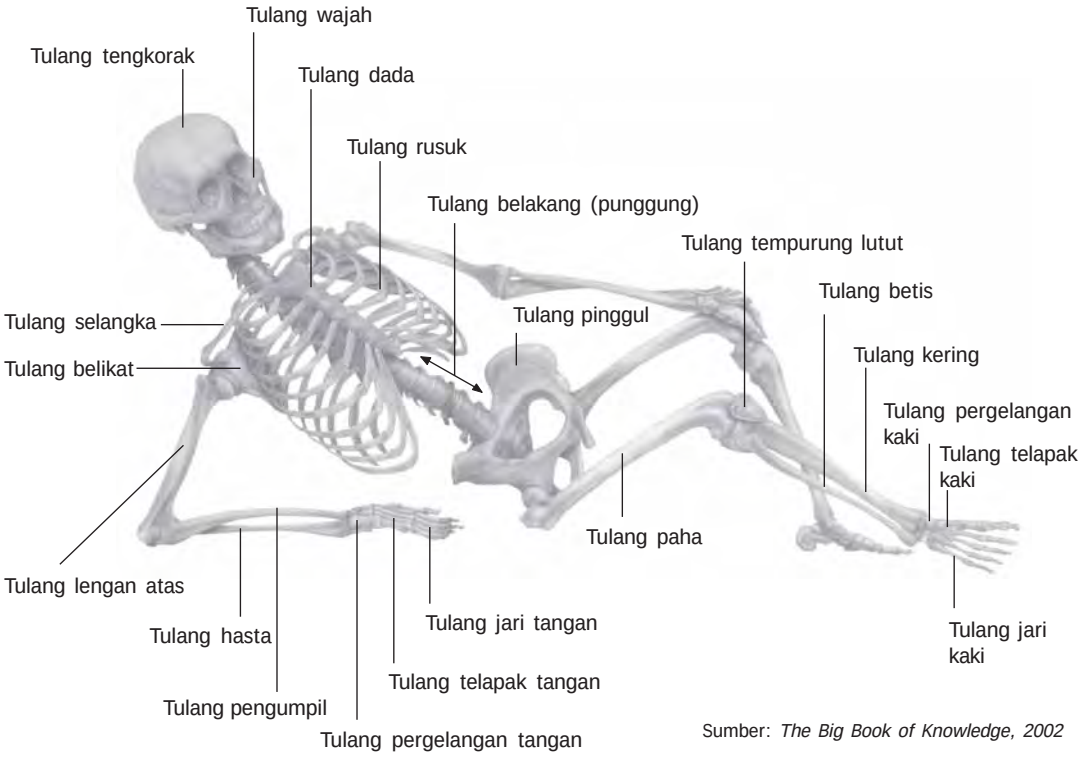
Pada persendian ini gerakannya berporos dua, yaitu gerak ke kiri dan ke kanan, maju mundur, dan ke muka ke belakang. Pada persendian ini salah satu ujung tulangnya berbentuk oval, sedangkan tulang lain yang merupakan pasangannya memiliki lekukan elips untuk tempat masuknya tulang yang berbentuk oval tadi. Persendian seperti ini terdapat pada tulang pengumpil dan tulang pergelangan tangan.

6) Sendi Luncur

Kedua ujung tulang pada sendi luncur agak rata sehingga memungkinkan gerakan menggeser dan tidak memiliki poros. Sendi luncur misalnya terdapat pada sendi antara tulang pergelangan tangan, antartulang pergelangan kaki, tulang selangka, dan tulang belikat.

4. Tulang-Tulang Penyusun Kerangka Tubuh Manusia

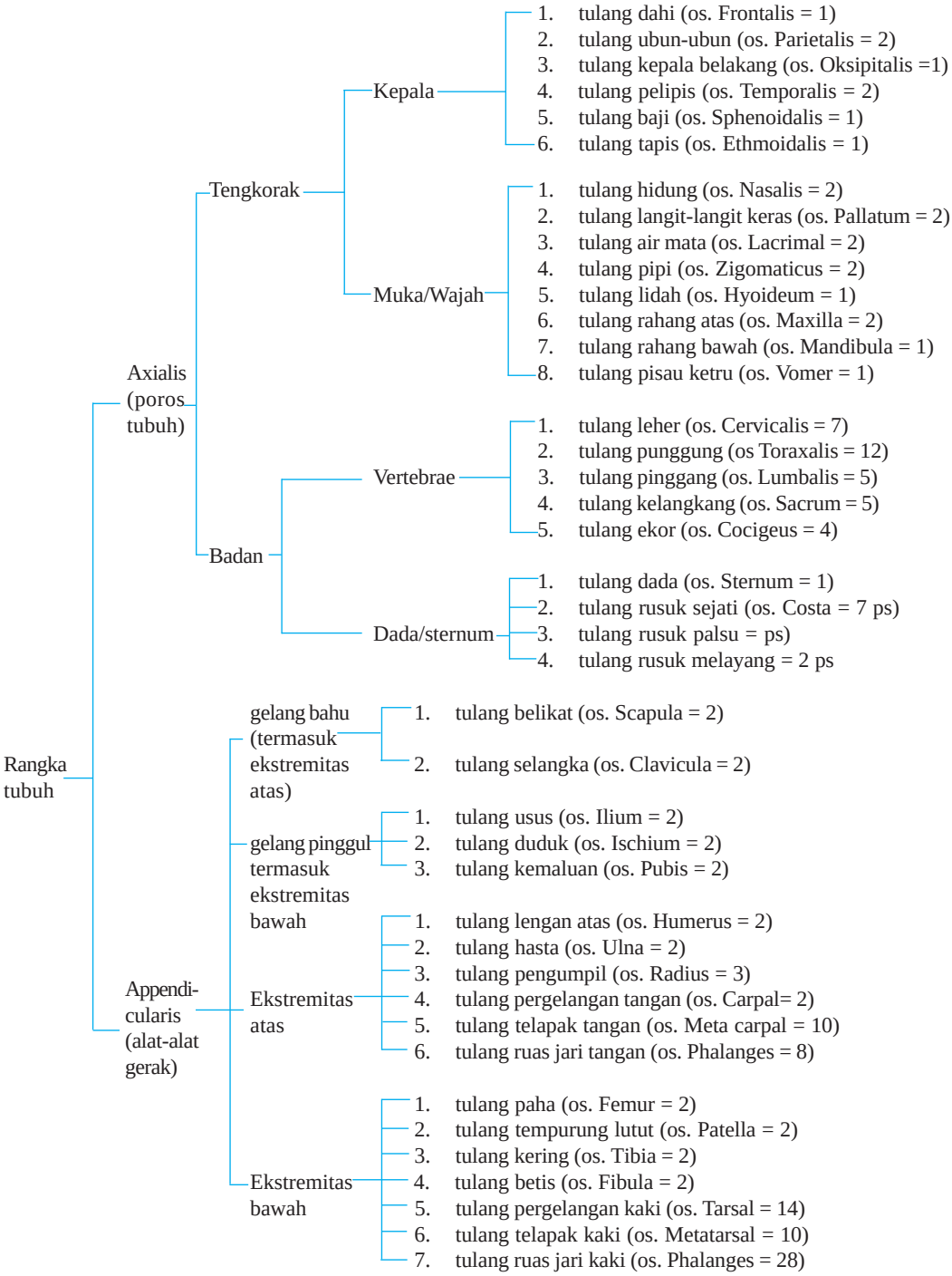
Dapat anda bayangkan bagaimana jadinya apabila tubuh manusia tidak dilengkapi dengan tulang-tulang yang membentuk sistem rangka tubuh. Tentu anda tidak akan memiliki bentuk seperti sekarang ini, tidak dapat berdiri dengan tegak karena tubuh kita harus dilengkapi suatu penyokong. Tulang-tulang yang terangkai membentuk suatu sistem rangka yang kita kenal sebagai kerangka tubuh. Sistem rangka yang membentuk kerangka tubuh dapat anda lihat pada Gambar 4.9!



Gambar 4.9 Tulang-tulang penyusun kerangka tubuh manusia.

Tulang-tulang pembentuk kerangka (skeleton) tubuh pada manusia, dikelompokkan menjadi dua kelompok besar, yaitu kelompok *rangka aksial* (rangka penyusun tubuh) dan *rangka apendikular* (anggota tubuh). Berikut akan dijelaskan mengenai maksud pembagian kelompok rangka tersebut. Namun sebelumnya, perhatikan skema pembagian tulang kerangka tubuh manusia berikut ini.

Skema Pembagian Tulang Kerangka Tubuh Manusia



Keterangan:

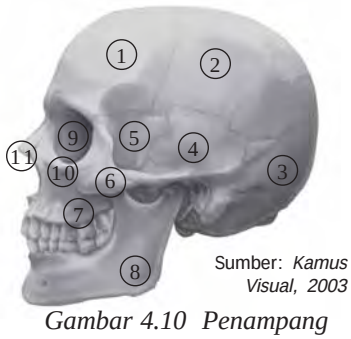
os = osteum = tulang

a. Rangka Aksial (Penyusun Badan)

Kelompok rangka *aksial* adalah rangka-rangka yang tersusun pada badan atau tubuh, yaitu *rangka tulang belakang* (vertebrae), *tulang tengkorak* (cranium), dan *tulang rusuk*. Untuk memahami dan memperjelas mengenai gambaran pengelompokan berbagai tulang yang menyusun rangka aksial pada tubuh manusia, anda dapat mempelajari pengelompokan tulang rangka aksial tersebut pada uraian berikut.

1) Kelompok tulang tengkorak

Tengkorak disebut pula tulang kepala (*cranium*) memiliki hubungan antartulang yang disebut *suture*, artinya tidak dapat digerakkan. Tengkorak memiliki fungsi utama sebagai pelindung organ otak. Susunan tulang tengkorak dapat Anda lihat pada Gambar 4.10!



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 4.10 Penampang tulang tengkorak manusia dan bagian-bagiannya

Keterangan gambar

1. tulang dahi
2. tulang ubun-ubun
3. tulang tengkorak belakang
4. tulang pelipis
5. tulang baji
6. tulang pipi
7. tulang rahang atas
8. tulang rahang bawah
9. tulang tapir
10. tuang air mata
11. tulang hidung

2) Ruas tulang belakang

Tulang belakang memiliki ruas-ruas tulang belakang yang berfungsi untuk menyangga berat dan memungkinkan manusia untuk melakukan berbagai jenis posisi dan gerakan, seperti berdiri, duduk, atau berlari (Gambar 4.11).



Sumber: *Jendela IPTEK Ilmu Kedokteran, 2000*

Gambar 4.11 Ruas-ruas tulang belakang.

3) Hioid

Rangka tulang hioid dibentuk oleh tulang yang berbentuk huruf U, terletak pada laring dan mandibula. Hioid berfungsi sebagai tempat melekatnya beberapa otot, yaitu otot mulut dan lidah. Perhatikan rangka hioid pada Gambar 4.12!



Sumber: *Jendela IPTEK Ilmu Kedokteran, 2000*

Gambar 4.12 Tulang hioid

4) Tulang dada dan rusuk

Fungsi tulang dada dan rusuk adalah ber-sama-sama tulang dada dan rusuk membentuk rongga dada sebagai pelindung bagi organ-organ penting yang terdapat di dalam rongga dada, seperti paru-paru dan jantung.

Bentuk tulang dada dan rusuk dapat Anda lihat pada Gambar 4.13!



Sumber: *IPP 8, 2003*

Gambar 4.13 Tulang dada dan tulang rusuk.

b. Rangka Apendiks (rangka anggota tubuh)

Rangka apendiks adalah rangka yang terbentuk pada susunan rangka anggota tubuh, seperti pinggul, bahu, telapak tangan, tulang-tulang lengan, tungkai, dan telapak kaki. Apabila anda kelompokkan, maka tulang apendiks ini kebanyakan merupakan tulang-tulang pembentuk alat gerak, yaitu tangan dan kaki. Rangka apendiks dibedakan menjadi rangka anggota tubuh bagian atas dan rangka anggota tubuh bagian bawah.

Rangka anggota tubuh (apendikular) bagian atas tersusun oleh beberapa tulang yang terdiri dari tulang selangka, tulang belikat, tulang lengan atas, tulang pengumpil, dan tulang hasta, tulang pergelangan tangan, tulang jari tangan, serta tulang telapak tangan.



Sumber: *IPP 8, 2003*

Gambar 4.14 Tulang belikat dan selangka.



Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2001*

Gambar 4.15 (a) Tulang lengan atas, (b) tulang hasta dan pengumpil

Tulang selangka dan tulang belikat merupakan bagian dari tulang-tulang yang membentuk bahu.

Tulang lengan atas, pengumpil, dan hasta. Ketiga kelompok tulang ini merupakan tulang-tulang yang membentuk alat gerak, yaitu tangan.

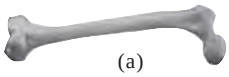
Tulang-tulang yang menyusun telapak tangan terdiri atas tulang karpal, skafoid, lunate, triquetrum, pisiform, trapesium, trapesoid, kapitatum, hamate, metakarpal, dan phalanges. Lebih jelasnya perhatikanlah Gambar 4.16!



Sumber: *IPP 8, 2003*

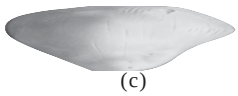
Gambar 4.16 Tulang telapak tangan.

Tulang apendiks bagian bawah adalah tulang-tulang yang membentuk anggota gerak bagian bawah, yaitu kaki. Bagian-bagian kaki terdiri dari tulang-tulang pembentuk kaki dan tulang-tulang pembentuk telapak kaki. Tulang kaki tersusun oleh tulang paha, tempurung lutut, tulang kering, dan tulang betis, sedangkan tulang-tulang telapak kaki tersusun oleh tulang tumit, kalkanaeus, talus, kuboid, navikular, kuneiformis, dan jari-jari.



(a)

Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*



(c)

Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2002*



Sumber: *Kamus Visual, 1998*

(b)



Sumber: *Kamus Visual, 1998* (d)

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi tentang tulang pada sistem gerak, kunjungi website: http://www.pmc.morricopa.edu/faculty/parabee/book.biobook.musskel.html

Gambar 4.17 Beberapa tulang penyusun rangka apendikular (a) tulang paha (b) tulang tempurung lutut (c) tulang kering dan betis (d) tulang telapak kaki.

C. Otot sebagai Alat Gerak Aktif

Otot terdiri dari sel-sel otot yang mempunyai kemampuan untuk melakukan kontraksi. Fungsi utama otot, yaitu sebagai alat gerak aktif yang disebabkan oleh kemampuan sel-sel otot untuk melakukan kontraksi otot. Otot dapat berkontraksi karena adanya suatu rangsangan, yaitu:

1) rangsang mekanis, seperti pijat, tarik, dan tekanan;
2) rangsang suhu, seperti dingin dan panas;
3) rangsang kimia, seperti asam-basa dan garam;
4) rangsang elektris dan arus listrik;

Kontraksi sel-sel otot dikendalikan oleh sel-sel saraf. Otot dapat menggerakkan tulang, kulit, rambut, gerak peristaltik saluran dalam, jantung, dan pembuluh darah.

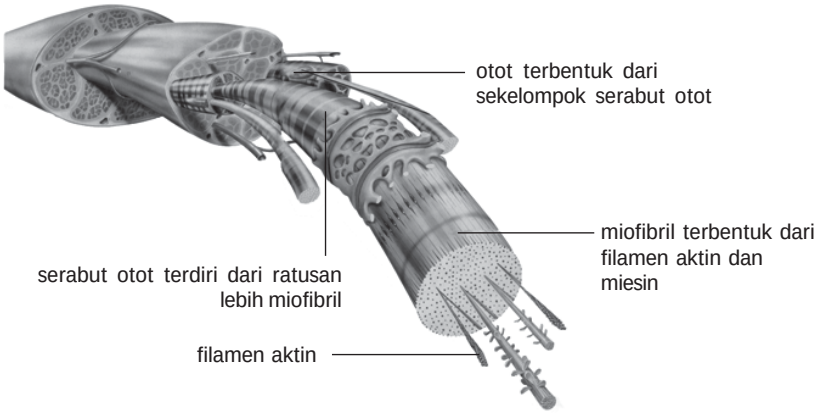
1. Jenis-Jenis Otot dan Sifatnya

Berdasarkan morfologi, letak, dan cara kerjanya otot dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu otot lurik, otot polos, dan otot jantung.

Seperti yang telah anda ketahui pada bab pembahasan tentang jaringan, secara anatomi otot tersusun oleh dua jenis filamen dasar, yaitu *filamen aktin* dan *filamen miosin*. Keadaan filamen aktin tipis, sedangkan miosin tebal. Kedua filamen inilah

yang menjadi penyusun suatu struktur otot yang disebut *miofibril*. Sekumpulan miofibril ini akan membentuk serabut otot dan sekumpulan serabut otot akan membentuk otot. Perhatikanlah gambar 4.18 yang memperlihatkan bagian-bagian yang menyusun otot!

Sebelum kita lebih jauh membahas tentang otot, kita perlu mengetahui bagaimana mekanisme pergerakan otot. Otot yang berfungsi sebagai alat gerak aktif, mempunyai kemampuan berkontraksi dan berelaksasi. Otot disebut sedang berkontraksi, apabila otot tersebut sedang memendek atau memanjang (otot sedang bekerja), sedangkan otot dikatakan berelaksasi, apabila otot itu sedang beristirahat. Secara umum, otot memiliki tiga sifat dalam melakukan gerakan, yaitu *kontraktibilitas*, *ekstensibilitas*, dan *elastisitas*.



Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2002*

Gambar 4.18 Bagian penyusun otot.

Sifat kontraktibilitas memungkinkan otot mampu memendek sehingga lebih pendek dari ukuran normalnya. Sifat kontraktibilitas ini terjadi apabila otot sedang melakukan kerja. Otot dikatakan memiliki sifat ekstensibilitas karena otot mampu memanjang, sehingga ukurannya lebih panjang dari ukuran normalnya (ukurannya semula), sedangkan karakter elastisitas, yaitu kemampuan otot untuk kembali ke ukuran normalnya.

a. Otot Lurik/Otot Rangka

Nama lain untuk otot lurik adalah otot rangka, atau sering pula disebut otot serat melintang. Disebut demikian karena keadaan fibril-fibril otot ini memiliki alur-alur melintang yang gelap disebut *anisotrop*, dan terang yang disebut *isotrop*. Alur gelap dan terang ini tersusun secara berselingan. Sel-sel otot lurik berbentuk silindris dan mempunyai inti yang jumlahnya cukup banyak.

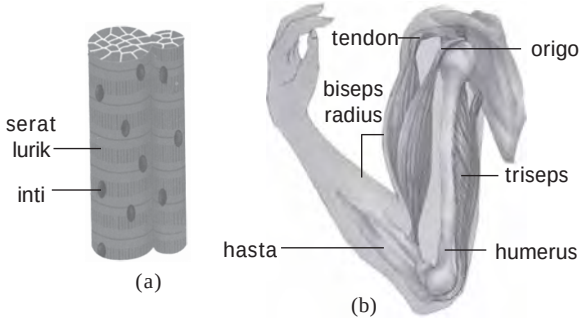
Periode istirahat pada otot lurik berlangsung berkali-kali dan dapat berkontraksi secara cepat. Otot lurik tersusun oleh sekumpulan serabut yang dibalut oleh *fasia*

propia. Kumpulan serabut yang dibalut fasia propia selanjutnya dibalut lagi oleh suatu lapisan pembungkus yang disebut superfasialis. Jika kita perhatikan otot memiliki bentuk seperti kumparan yang terbagi menjadi dua, yaitu *ventrikel* dan urat otot (tendon). Bagian otot yang disebut *ventrikel* (empal), yaitu bagian tengah otot yang menggembung, sedangkan urat otot atau tendon adalah kedua ujung otot yang mengecil.

Urat otot atau tendon terbentuk dari jaringan ikat yang bersifat keras dan liat. Berdasarkan perlekatannya pada tulang, tendon dikelompokkan menjadi dua, yaitu origo dan insersio.

Origo adalah kelompok tendon yang melekat pada tulang yang tidak berubah kedudukannya ketika otot berkontraksi, sedangkan insersio merupakan kelompok tendon yang melekat pada tulang yang bergerak ketika otot sedang bekerja (berkontraksi). Coba anda perhatikan letak kelompok otot yang disebut origo dan insersio pada Gambar 4.19!

Para atlet binaraga dan angkat berat yang sering berlatih, ototnya akan terlatih sehingga mengalami pembesaran. Otot-otot yang mengalami pembesaran tersebut disebut mengalami *hipertropi* (perhatikan Gambar 4.20!). Sebaliknya, pada orang-orang yang kurang melakukan gerak tubuh ototnya menjadi kisut atau disebut dengan istilah *altrofi*.



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 4.19 (a) Struktur otot lurik dan (b) otot-otot origo dan insessio pada lengan.



Sumber: *Jendela IPTEK Tubuh Manusia, 2000*

Gambar 4.20 Otot pada atlet binaraga yang mengalami hipertropi.

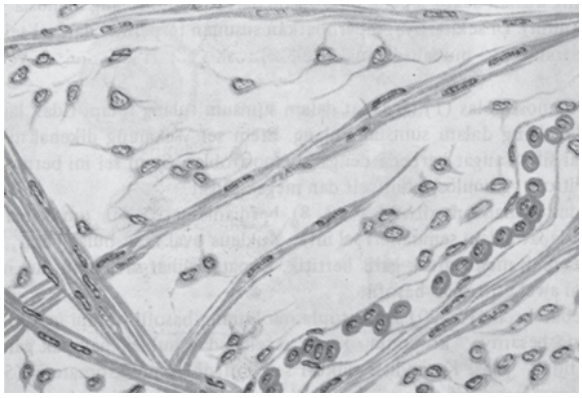
b. Otot Polos

Otot polos merupakan otot besar yang menyusun organ-organ bagian dalam (otot viseral). Otot ini disebut juga otot *involunter,* disebut demikian karena otot ini bekerja di luar kesadaran. Bentuk sel-sel otot polos seperti kumparan halus, dengan setiap selnya memiliki satu inti yang letaknya di tengah. Seperti telah dikatakan di atas bahwa otot ini bekerja tidak menurut kehendak atau perintah, karena otot polos sarafnya adalah saraf otonom. Sebagian besar otot polos dapat ditemukan pada organ-organ tubuh bagian dalam, contohnya pada dinding saluran pencernaan,

pembuluh darah, saluran pernapasan, saluran kandung kemih, dan saluran kelamin. Perhatikanlah Gambar 4.21!

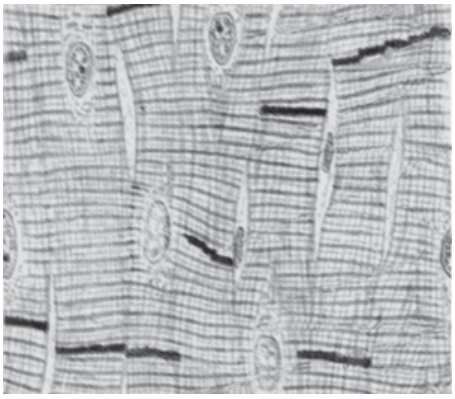
c. Otot Jantung

Jika anda perhatikan sepintas, otot jantung memiliki kemiripan struktur dengan otot lurik, tetapi apabila diperhatikan lebih teliti, ternyata otot jantung berbeda dengan otot lurik. Perbedaan yang terdapat pada otot jantung dan otot lurik, yaitu otot jantung serabut-serabut ototnya memiliki percabangan, sedangkan otot lurik tidak bercabang. Di samping itu, sistem persarafannya pun berbeda. Jika otot lurik bekerja di bawah pengaruh kesadaran, sedangkan otot jantung tidak karena sarafnya adalah sistem saraf otonom. Inti sel otot jantung terdapat di tengah. Perhatikanlah Gambar 4.22!



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

Gambar 4.21 Penampang otot polos.



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1986*

Gambar 4.22 Struktur otot jantung.

2. Sifat Kerja Otot

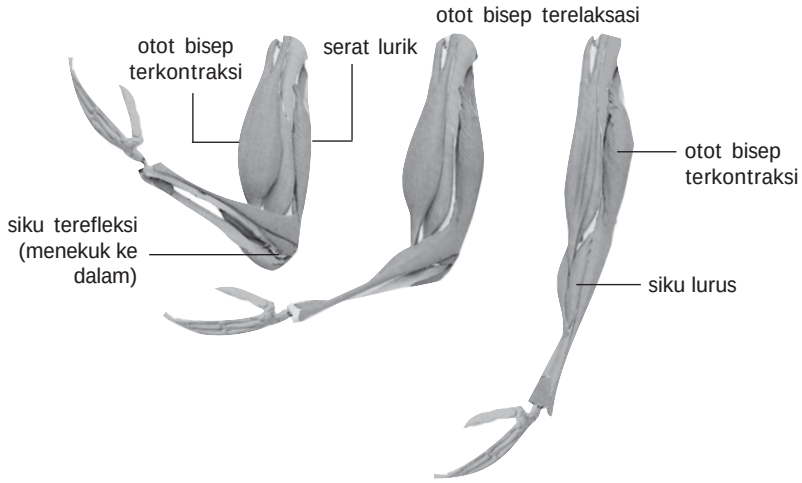
Anda telah mengetahui pada pembahasan sebelumnya, bahwa fungsi otot adalah sebagai alat gerak aktif dan sebagai gerakan (kontraksi) karena adanya rangsangan. Namun, berkontraksinya otot tidak disebabkan oleh satu rangsangan saja, tetapi oleh serangkaian rangsangan yang sifatnya berurutan. Otot salah satu rangsangan akan memperkuat rangsangan yang lain. Dengan demikian, akan terjadi ketegangan (tonus) yang maksimum. Tonus yang terjadi berlangsung secara terus-menerus.

Saat bekerja otot memiliki dua sifat, yaitu antagonis dan sinergis. Berikut akan dijelaskan mengenai dua sifat otot tersebut.

a. Sifat Antagonis Otot

Dikatakan antagonis, apabila kerja otot menyebabkan pengaruh yang sifatnya berlawanan. Keadaan otot yang saling antagonis, misalnya pada kerja otot yang

disebut ekstensor (meluruskan) dan fleksor (gerak membengkokkan), otot trisep dan otot bisep. Di samping itu, otot yang bekerja secara antagonis terjadi pada otot-otot yang bekerja *abduktor* (menjauhi badan) dan *adduktor* (mendekati badan), contohnya pada gerakan tangan sejajar bahu dan sikap gerak yang sempurna. Gerak otot secara antagonis dapat anda lihat pada Gambar 4.23!



Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*

Gambar 4.23 Sifat gerak antagonis pada otot.

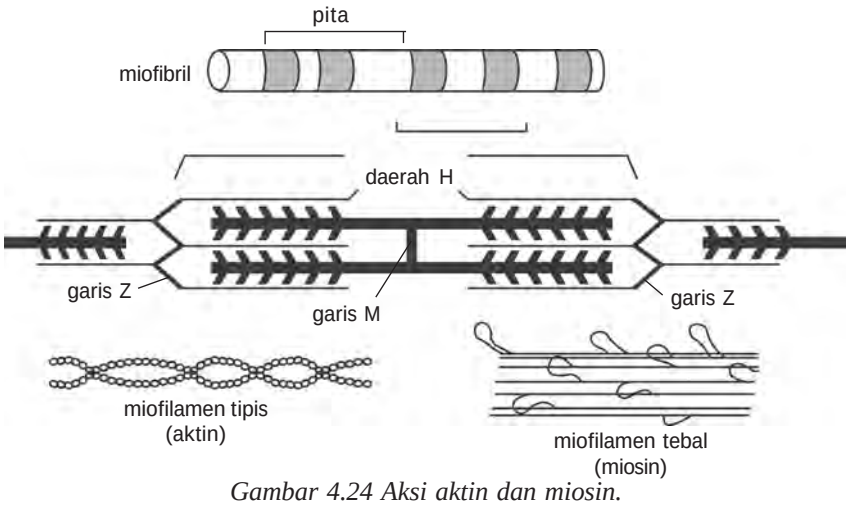
Di samping itu, otot juga memiliki sifat antagonis yang disebut depresor (ke bawah) dan elevator (ke atas), contohnya pada gerakan merunduk dan menengadahkan kepala. Gerak antagonis yang lain adalah supinator (membalik) dan pronator (menelungkup), contohnya pada gerak membalik dan menelungkupkan telapak tangan.

b. Sifat Sinergis Otot

Gerakan otot sifatnya sinergis, yaitu gerak otot yang apabila berkontraksi menimbulkan gerak searah. Gerak sinergis didapati pada gerakan menengadahkan telapak tangan atau menelungkupkan telapak tangan.

3. Mekanisme Sistem Gerak Otot

Untuk mengetahui mekanisme gerak otot, dua orang peneliti, yaitu *Hansen* dan *Huxly* pada tahun 1955 melakukan penelitian dengan cara mengamati gerakan otot menggunakan mikroskop elektron dan difraksi sinar X. Teori yang dikemukakan mereka sekarang dikenal dengan sebutan teori model *Sliding Filamen*. Teori ini menyatakan bahwa kontraksi otot terjadi sebagai akibat adanya dua set filamen di dalam sel otot kontraktil. Kedua set filamen tersebut, yaitu *filamen aktin* dan *filamen miosin*. Kedua bentuk filamen tersebut dapat anda perhatikan pada Gambar 4.24!



Gambar 4.24 Aksi aktin dan miosin.

Teori di atas dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat terjadi rangsangan yang diterima asetilkolin, rangsangan itu menyebabkan aktomiosin mengerut (berkontraksi). Kontraksi yang terjadi membutuhkan energi.

Pada saat kontraksi terjadi, filamen aktin akan berjalan di antara miosin ke dalam zona H (zona H, yaitu bagian terang di antara dua pita gelap). Dengan keadaan yang demikian itu, terjadi pemendekan serabut otot. Namun demikian, ada serabut yang tetap panjang, yaitu garis M (anisotrop/pita gelap), sedangkan garis Z (isotrop/pita terang) dan daerah H bertambah pendek waktu terjadi kontraksi.

Bagian ujung miosin dapat berkaitan dengan ATP dan menghidrolisis ATP tersebut menjadi ADP. Energi dilepaskan dengan cara mencegah pemindahan ATP ke miosin yang diubah bentuk menjadi konfigurasi energi tinggi. Miosin yang berenergi tinggi tersebut kemudian berikatan dengan aktin membentuk jembatan silang. Selanjutnya, energi yang tersimpan pada miosin akan dilepaskan sehingga ujung miosin berelaksasi menghasilkan energi yang rendah. Relaksasi yang terjadi akan mengubah sudut ikatan ujung miosin menjadi miosin ekor. Ikatan yang terjadi antara miosin berenergi rendah dan aktin akan terpecah, pada saat molekul baru ATP bergabung dengan ujung miosin. Siklus tersebut akan terus berulang.

4. Timbulnya Energi untuk Gerak Otot

Adenosin Tri Fosfat yang dikenal sebagai ATP, merupakan penghasil energi utama untuk berkontraksinya otot. ATP dihasilkan dari proses oksidasi (pembakaran) karbohidrat dan lemak. Terjadinya kontraksi otot sebagai akibat adanya interaksi antara protein otot *aktin* dan *miosin*. Perhatikanlah diagram berikut!

$$\text{Aktin} + \text{Miosin} \xrightarrow{\text{ATP-ase}} \text{Aktomiosin}$$

Tampak pada reaksi tersebut, pembentukan aktomiosin merupakan hasil interaksi antara aktin dan miosin yang membutuhkan ATP melalui bantuan enzim yang dikenal sebagai enzim ATP-ase.

Sumber energi lainnya pada otot, yaitu *fosfokreatin*. Fosfokreatin ini adalah suatu bentuk persenyawaan fosfat berenergi tinggi yang terdapat pada otot dalam konsentrasi yang tinggi. Fosfokreatin tidak dapat digunakan secara langsung sebagai sumber energi, tetapi dapat memberikan energinya kepada ADP. Proses yang terjadi dapat Anda perhatikan pada reaksi berikut!

$$\text{Fosfokreatin} + \text{ADP} \xrightarrow[\text{Fosfokinase}]{\text{Kreatin}} \text{Kreatin} + \text{ATP}$$

Banyaknya fosfokreatin yang terdapat pada otot lurik, lebih dari lima kali jumlah ATP. Proses terpecahkan ATP dan fosfokreatin untuk menghasilkan energi tidak membutuhkan oksigen bebas. Oleh karena itu, disebut proses anaerob.

Jika otot melakukan kontraksi secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama maka otot akan mengalami kelelahan. Hal tersebut terjadi sebagai akibat turunnya kandungan konsentrasi ATP dan fosfokreatin. Sebaliknya, pada saat ini justru akan terjadi kenaikan konsentrasi ADP, AMP, dan asam laktat.

Sumber lain untuk menghasilkan energi, yaitu dengan cara mengubah glikogen menjadi glukosa. Glikogen adalah senyawa yang tidak larut. Oleh karena itu, harus dilarutkan dahulu menjadi laktasidogen. Laktasidogen ini diubah menjadi glukosa dan asam laktat. Glukosa yang dihasilkan dioksidasi menjadi CO_2, H_2O, dan energi. Energi yang dibebaskan selanjutnya digunakan untuk membentuk ATP dan fosfokreatin. Proses ini terjadi pada saat otot *berelaksasi*, dan membutuhkan oksigen bebas. Oleh karena itu, proses relaksasi disebut fase aerob. Perhatikanlah bagan reaksi berikut ini!

$$\text{Glikogen} \longrightarrow \text{laktasidogen}$$
$$\text{Laktasidogen} \longrightarrow \text{glukosa} + \text{asam laktat}$$
$$\text{Glukosa} + O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O + \text{energi}$$

Apabila terjadi penimbunan asam laktat yang terlalu banyak di dalam otot, dapat menyebabkan kelelahan. Asam laktat yang berlebihan tersebut akan dioksidasi oleh oksigen, apabila terlalu banyak dibutuhkan oksigen untuk mengoksidasi asam laktat, maka orang yang mengalaminya bernapas tersengal-sengal.

D. Gangguan pada Sistem Gerak

Kelainan yang terjadi pada sistem gerak meliputi kelainan dan gangguan pada tulang dan kelainan pada otot. Berikut ini kedua kelainan tersebut akan dijelaskan.

1. Kelainan dan Gangguan pada Tulang

Tulang-tulang pada tubuh kita dapat mengalami kelainan atau gangguan karena satu hal. Kelainan pada tulang dapat disebabkan oleh kekurangan vitamin D, penyakit, kecelakaan, atau karena kebiasaan-kebiasaan buruk atau sikap yang sering dilakukan, seperti sikap duduk yang salah.

a. Kekurangan Vitamin D

Vitamin D atau yang dikenal dengan nama kalsiferol, sangat dibutuhkan oleh tubuh. Vitamin ini dimanfaatkan tubuh untuk proses pembentukan tulang. Vitamin D ini dapat disintesis oleh tubuh dari provitamin dan diubah menjadi vitamin D dengan bantuan sinar ultraviolet. Sedemikan pentingnya vitamin ini sehingga apabila proses sintesisnya terganggu, kandungan vitamin D di dalam tubuh akan berkurang dan dapat menyebabkan beberapa kelainan pada tulang. Kekurangan vitamin D pada anak-anak dapat menyebabkan *rakhitis*. Penyakit rakhitis ditandai dengan adanya proses pertumbuhan yang terganggu dan adanya kelainan dari bentuk kaki. Penderita kekurangan vitamin D pada anak-anak dapat menyebabkan bentuk kaki menyerupai huruf O atau X. Pada orang dewasa kekurangan vitamin D dapat menyebabkan kekurangan zat kapur pada tulang, yang disebut dengan istilah *osteomalasi*.

Peluang Usaha *dan* Karier

Biologi sebagai salah satu ilmu pengetahuan alam memiliki berbagai cabang atau bidang ilmu yang dapat dimanfaatkan untuk peluang berkarier. Contohnya bidang fisiologi dan anatomi tubuh, apabila bidang ini mampu kita kuasai dengan baik, khususnya mengenai sistem alat gerak (tulang dan otot), kita dapat bekerja sebagai tenaga medis, dokter, ataupun tenaga medis yang khusus menangani tim olahraga.

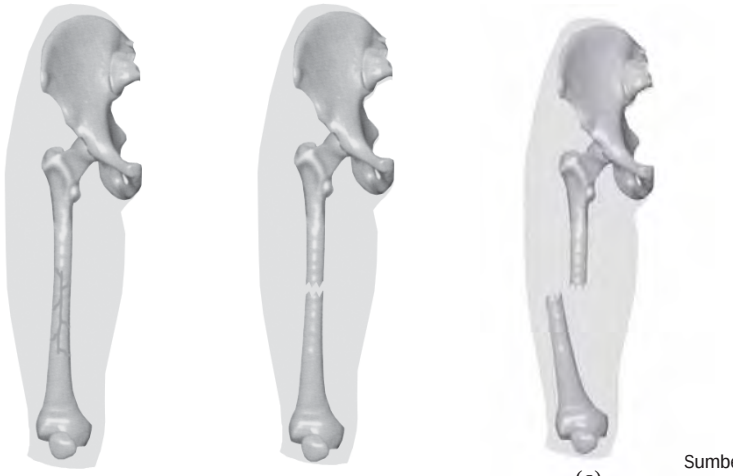
Agar bidang-bidang tersebut dapat bermanfaat untuk dunia kerja seperti telah disebutkan di atas, kita memerlukan tambahan pendidikan lain, seperti Akademi Perawat, Akademi Gizi, IImu Kesehatan dan Olahraga serta Kedokteran.

b. Kecelakaan

Kelainan tulang yang disebabkan kecelakaan dapat berupa *memar* dan *fraktura*. Memar adalah kelainan tulang akibat kecelakaan yang disebabkan adanya cedera berupa sobeknya selaput sendi. Lain halnya kelainan yang disebut fraktura (patah tulang), peristiwa kecelakaan dapat mengakibatkan fraktura dalam beberapa bentuk, yaitu patah tulang tertutup, patah tulang terbuka, dan fisura.

Patah tulang tertutup, yaitu apabila tulang yang tidak merobek lapisan kulit. Pada patah tulang terbuka, tulang yang patah merobek kulit sehingga tulang tersebut mencuat

keluar, sedangkan yang dimaksud dengan fisura, yaitu apabila kecelakaan tulang yang terjadi menyebabkan keretakan pada tulang. Perhatikanlah gambar 4.25!



(a) (b) (c)

Sumber: *The Ultimate Dictionary of Science, 1998*

Gambar 4.25 Posisi tulang yang patah pada lengan atau kaki. (a) fisura; (b) fraktura tertutup; dan (c) fraktura terbuka.

c. Kebiasaan Sikap yang Salah

Kebiasaan sikap duduk yang salah atau terlalu sering mengangkat beban hanya di salah satu sisi tubuh saja dapat mengakibatkan kelainan pada tulang. Kelainan tulang yang disebabkan oleh kebiasaan duduk dibedakan menjadi tiga, yaitu lordosis, kifosis, dan skoliosis.

Kifosis	Skoliosis	Lordosis
		
Gambar 4.26 (a) Kifosis	*Gambar 4.26 (b) Skoliosis*	*Gambar 4.26 (c) Lordosis*
Perubahan kelengkungan yang terjadi pada daerah punggung batang tulang belakang sehingga badan penderita menjadi bengkok dinamakan kifosis. Misalnya karena proses ketuaan (osteoporosis).	Skoliosis terjadi apabila tulang punggung membungkuk ke arah samping membentuk huruf S.	Lordosis adalah kebalikan dari kifosis. Tulang belakang melekuk ke dalam, terjadi karena perut besar dan berat, misalnya pada obesitas atau kehamilan.

d. Nekrosa

Nekrosa adalah kelainan pada tulang sebagai akibat adanya selaput tulang (periosteum) yang rusak sehingga bagian sel-sel tulangnya tidak memperoleh makanan menyebabkan sel tulang mati dan mengering.

e. Gangguan Persendian

Gangguan pada persendian terdiri atas *dislokasi, ankilosis artritis,* dan *terkilir.* Dislokasi gangguan persendian ini menyebabkan adanya pergeseran sendi dari posisi normal karena jaringan penggantungnya (ligamen) dan cedera (sobek).

Ankilosis, yaitu keadaan persendian yang tidak dapat digerakkan sama sekali karena persendiannya seolah-olah menyatu, sedangkan terkilir merupakan gangguan persendian yang disebabkan tertariknya ligamentum ke posisi yang tidak sesuai, namun sendi tidak mengalami pergeseran. Terkilir dapat terjadi karena melakukan gerakan yang tiba-tiba atau gerakan yang sulit dilakukan. *Artritis* adalah peradangan yang terjadi pada sendi. Terdapat empat macam artritis, yaitu *artritis gout, osteoartritis, artritis eksudatif,* dan *artritis sika.* Artritis gout disebabkan karena adanya timbunan asam urat pada sendi-sendi kecil, terutama di daerah jari-jari tangan. Akibat dari gout ini, ruas-ruas jari tangan mengalami pembengkakan.

Pada osteoartritis, orang yang mengalaminya akan mendapatkan gangguan pada saat sendi digerakkan, hal ini disebabkan karena adanya penipisan pada tulang rawan sehingga mengalami degenerasi. Lain halnya pada artritis eksudatif, kelainan disebabkan oleh adanya serangan kuman. Serangan kuman akan menyebabkan terisinya rongga sendi oleh cairan yang disebut getah radang. Artritis yang terakhir adalah artritis sika. Artritis sika disebabkan oleh berkurangnya minyak sendi sehingga menimbulkan rasa nyeri saat tulang digerakkan.

Gangguan pada sendi kini dapat diatasi dengan mengkonsumsi makanan yang banyak mengandung vitamin C. Temuan baru tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan para peneliti dari University of Manchester.

Para peneliti tersebut mengungkapkan bahwa konsumsi buah-buahan, sayur, dan vitamin C yang rendah berisiko untuk terkena gangguan pada sendi. Hal ini telah

Horizon Biologi



Sumber: *Jendela IPTEK, 2000*

Gangguan Lutut

Olahraga seperti sepak bola melibat-kan gerakan-gerak-an berputar dan kaki tendangan tinggi, hingga pe-main seperti Diego Maradona dapat merobek dan menggeser meniskus tulang rawan. Hal ini sering dikenal dengan nama masalah tulang rawan lutut. Pada beberapa kasus salah satu atau kedua meniskus diambil seluruhnya karena sendi dapat berfungsi baik tanpa adanya kedua meniskus tadi.

dibuktikan ketika mereka membandingkan kondisi orang yang mengonsumsi vitamin C dengan kadar rendah dengan mereka yang mengonsumsi vitamin C dengan kadar tinggi.

f. Serangan Kuman pada Persendian

Umumnya kelainan ini disebabkan oleh infeksi gonorhoe dan sifilis. Infeksi gonorhoe dan sifilis dapat mengakibatkan persendian menjadi kaku. Serangan sifilis yang terjadi pada waktu bayi dalam kandungan dapat menyebabkan layuh sendi, yaitu keadaan tidak bertenaga pada sendi.

2. Kelainan-Kelainan Otot

Otot dapat mengalami kelainan. Dikatakan kelainan, karena pada otot terjadi perubahan dari keadaan normalnya. Kelainan-kelainan yang dialami otot dapat disebabkan beberapa hal, yaitu ada yang disebut atrofi, kelelahan otot, tetanus, miestenia gravis, dan kaku leher (stiff).

Penjelasan berikut akan menjelaskan beberapa kelainan tersebut.

a. Atrofi

Kelainan pada otot yang dinamakan atrofi adalah suatu keadaan otot yang mengalami pengecilan sehingga kemampuannya untuk berkontraksi berkurang, sedangkan kelelahan otot yang dikenal sebagai *kram*, yaitu kelainan otot yang disebabkan otot yang melakukan aktivitas terus-menerus.

b. Tetanus

Tetanus adalah otot yang berkontraksi terus-menerus yang disebabkan oleh serangan bakteri *Clostridium tetani*. Tetanus ini sering dikenal dengan sebutan tonus atau kejang. Kelainan otot yang lain, yaitu yang dikenal sebagai *miestenia gravis*. Mestinia gravis merupakan kelainan otot sebagai akibat melemahnya otot secara berangsur-angsur sehingga terjadi kelumpuhan atau bahkan kematian. Penyebab utama kelainan ini hingga sekarang belum diketahui.

c. Stiff (Kaku Leher)

Stiff terjadi sebagai akibat adanya peradangan pada otot trapesium leher yang menyebabkan leher terasa kaku. Stiff dapat terjadi karena kesalahan melakukan gerakan.

Rangkuman

Secara umum berdasarkan cara kerjanya, terdapat dua macam alat gerak pada vertebrata, yaitu alat gerak pasif dan aktif. Peranan alat gerak pasif dilakukan oleh tulang yang membentuk sistem gerak, sedangkan alat gerak aktif dilakukan oleh otot. Otot dikatakan berperan sebagai alat gerak aktif karena otot mampu menggerakkan tulang. Hasil kerja sama antara otot dan tulang inilah apa yang kita kenal sebagai gerakan. Otot dapat berkontraksi sebagai akibat adanya perangsang.

Susunan alat gerak pada manusia terdiri atas tulang dan otot. Tulang terbagi menjadi tulang rawan (kartilago) dan tulang sejati (osteon). Sifat kartilago, yaitu bingkas dan lentur dibangun atas sel-sel tulang rawan yang menghasilkan matriks yang disebut kondrin. Proses awal mula terbentuknya tulang diawali dengan terbentuknya tulang-tulang rawan yang dihasilkan dari sel-sel mesenkim. Setelah terbentuk tulang rawan, akan berongga bagian dalamya dan terisi oleh sel-sel pembentuk tulang yang disebut osteoblas.

Proses pembentukan tulang terjadi dari arah dalam menuju ke luar sehingga proses pembentukannya disebut pembentukan secara konsentris, proses pembentukan tulang disebut osifikasi.

Berdasarkan matriks pembentuknya, tulang dibedakan menjadi tulang kompak dan tulang spons. Tulang kompak, yaitu apabila matriks pembentuknya tersusun secara padat dan rapat, sedangkan tulang spons apabila pada matriksnya terdapat rongga. Tulang-tulang pada vertebrata dan manusia membentuk sistem rangka. Tulang-tulang ini berfungsi untuk memberi bentuk tubuh, menahan dan menegakkan tubuh, tempat melekatnya otot, tempat menyimpan zat kapur, melindungi orang-orang dalam yang terdapat di bawahnya, dan tempat diproduksinya sel-sel darah.

Hubugan antara tulang yang satu dan yang lain pada tubuh, dapat secara erat atau tidak erat. Hubungan antara tulang yang satu dan yang lain disebut artikulasi. Apabila tulang berhubungan dengan tujuan untuk melakukan pergerakan dibutuhkan suatu bentuk khusus, hubungan tulang seperti itu disebut sendi. Terdapat bermacam-macam hubungan antartulang, yaitu sinartrosis, diartrosis, dan amfiartrosis.

Sinartrosis adalah persendian pada tulang yang tidak memungkinan terjadinya gerakan. Diartrosis adalah hubungan antartulang yang memungkinkan terjadinya gerakan, yang membutuhkan adanya persendian. Amfiartrosis merupakan hubungan antartulang yang memungkinkan terjadinya gerakan tatapi sedikit.

Otot merupakan alat gerak aktif. Berdasarkan jenisnya, otot dibedakan atas otot lurik, otot polos, dan otot jantung. Otot memiliki sifat antagonsis dan sinergis, pembagian ini didasarkan pada sifat kerja otot tersebut. Dikatakan bekerja antagonis apabila dua otot saling bekerja berlawanan, dan sinergis apabila dua otot saling bekerja searah.

Pada tulang maupun otot dapat terjadi kelainan. Kelainan yang terjadi pada tulang dapat terjadi karena kekurangan vitamin D, penyakit (artritis), kecelakaan, atau karena

kebiasaan bersikap yang salah dalam waktu yang lama. Pada otot, terdapat pula kelainan, diantaranya atrofi (kelelahan otot), tetanus, miestenia gravis, dan kaku leher.

Menurut teori model *sliding filamen* dari Hansen dan Huxly (1955), mekanisme gerakan otot disebabkan oleh adanya dua set filamen di dalam sel otot yang disebut filamen aktin dan miosin. Untuk berkontraksinya otot dibutuhkan energi. Energi diperoleh dari ATP (Adenosin trifosphat). ATP dihasilkan dari proses pembakaran lemak dan karbohidrat.

Pada dasarnya mekanisme gerak otot merupakan proses pembebasan dan penggunaan energi. Otot bergerak sebagai akibat adanya rangsang. Rangsang yang diterima oleh asetilkolin mengakibatkan aktomiosin mengerut. Pada saat aktomiosin mengerut, dibutuhkan energi yang berasal dari proses pemecahan ATP menjadi ADP. Selanjutnya, ADP menjadi AMP.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Untuk kontraksi otot diperlukan rangsang dari luar atau dari dalam yang akan diterima oleh . . . .
   A. sarkomer
   B. sarkolemma
   C. miofibril
   D. aktomiosin
   E. asetilkolin
2. Seorang ibu yang selalu membawa dagangannya dengan cara digendong di pinggangnya, kemungkinan akan menderita kelainan pada tulang belakangnya yang disebut . . . .
   A. lordosis
   B. kifosis
   C. koliosis
   D. diastis
   E. ankilosis
3. Kelainan berupa kontraksi otot yang terus-menerus karena serangan bakteri *Clostridium tetani* adalah . . . .
   A. tetanus
   B. atrofi
   C. atrofi
   D. stiff
   E. ankilosis
4. Hubungan antara tulang dengan tulang ada yang dapat digerakkan ada pula yang tidak dapat digerakkan. Hubungan tulang di bawah ini merupakan hubungan yang tidak dapat digerakkan (sinkondrosis) adalah . . . .
   A. simfisis dan sindesmosis
   B. antara tulang epifisis dan diafisis
   C. diartosis dan sinartrosis
   D. amfiartosis dan epifisis
   E. diartroks da epifisis

5. Pada waktu otot berkontraksi ditandai dengan . . . .
   A. memendeknya otot 20% dari ukuran semula
   B. otot tampak menjadi lebih terang
   C. zona H menjadi lebih panjang
   D. zona Z menjadi lebih pendek
   E. ukuran panjang aktomiosin bertambah
6. Contoh otot yang berantoganis adalah . . . .
   A. fleksor dan ekstensor
   B. abduktor dan depresor
   C. trisep dan bisep
   D. abduktor dan fleksor
   E. bisep dan ekstensor
7. Kontraksi otot biseps dan otot triseps pada waktu kita bermain tenis meja adalah . . . .
   A. abduksi dan adduksi
   B. depresi dan elevasi
   C. supinasi dan pronasi
   D. rotasi dan ekstensi
   E. fleksi dan ekstensi
8. Tulang penyusun rangka tubuh berjumlah . . . .
   A. ± 200 buah
   B. ± 100 buah
   C. ± 300 buah
   D. ± 400 buah
   E. ± 500 buah
9. Perasaan lelah merupakan akibat dari penimbunan yang berlebihan dari suatu zat dalam otot, zat itu ialah . . . .
   A. aktin
   B. miosin
   C. asam laktat
   D. laktasinogen
   E. aktomiosin
10. Yang bukan merupakan penyebab kelainan yang terjadi pada tulang adalah . . . .
   A. kecelakaan
   B. kekurangan vitamin D
   C. kekurangan vitamin C
   D. penyakit tetanus
   E. sikap duduk yang salah

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat dan jelas!

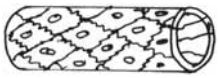
1. Bagaimana manusia dan hewan dapat melakukan pergerakan? Terangkan!
2. Tulang rawan yang terbentuk sejak embrio kelak akan menjadi tulang yang prosesnya disebut osifikasi. Uraikanlah bagaimana proses osifikasi pada tulang pipa!
3. Apakah yang menjadi perbedaan antara tulang rawan dan tulang keras?
4. Apakah yang menjadi perbedaan antara otot polos dan otot jantung?
5. Sebutkanlah hubungan antartulang (persendian) yang anda ketahui!

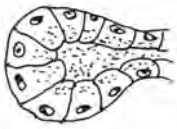
* * *

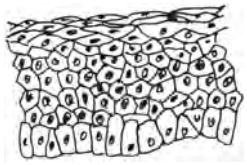
Uji Kemampuan Blok Bab 1 sampai Bab 3

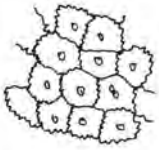
1. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang paling tepat!

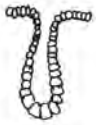
1. Di antara gambar jaringan berikut ini yang berfungsi sebagai pelindung adalah . . . .

A. 

C. 

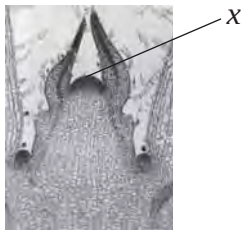
E. 

B. 

D. 

2. Fungsi dari mitokondria adalah . . . .
   A. respirasi sel
   B. pembelahan sel
   C. sintesis protein
   D. sintesis polisakarida
   E. transportasi di dalam sel
3. Alasan sel hewan memiliki bentuk yang relatif tidak tetap disebabkan membrannya tersusun dari . . . .
   A. protein
   B. lipoprotein
   C. lemak
   D. selulosa
   E. pektin
4. Mikrofilamen berperan dalam proses . . . .
   A. fotosintesis
   B. pencernaan
   C. pernapasan
   D. sintesa protein
   E. pembelahan sel
5. Organel yang ditemukan pada sel hewan dan tidak ditemukan pada sel tumbuhan adalah . . . .
   A. sentriol
   B. plastida
   C. ribosom
   D. membran sel
   E. inti
6. Jaringan tubuh tumbuhan yang terdapat hampir di seluruh bagiannya adalah . . . .
   A. felem
   B. floem
   C. xilem
   D. endodermis
   E. parenkim
7. Bagian tumbuhan yang berfungsi mengedarkan air dan garam-garam mineral ke seluruh bagian tubuh adalah . . . .
   A. floem
   B. xilem
   C. parenkim
   D. batang
   E. daun
8. Berkas pembuluh angkut pada akar monokotil bertipe . . . .
   A. ampikribal
   B. radial
   C. konsentris
   D. kolateral
   E. sentral

9. Perhatikan gambar di samping ini!
Pada bagian *x* terjadi proses . . . .
   A. pertumbuhan primer
   B. perpanjangan sel
   C. perbanyakan sel
   D. diferensiasi sel
   E. pertumbuhan primer dan sekunder



Sumber: *Biology, 1999*

10. Bahan baku kimia diangkut ke bagian tumbuhan melalui . . . .
   A. pembuluh tapis
   B. pembuluh kayu
   C. kulit kayu
   D. trakeid
   E. bukan salah satu jawaban di atas

11. Penampang melintang akar tumbuhan dikotil berturut-turut dari luar ke dalam adalah . . . .
   A. epidermis, berkas pengangkut, dan endodermis
   B. epidermis, korteks, berkas pengangkut, dan endodermis
   C. epidermis, korteks, endodermis, dan berkas pengangkutan
   D. endodermis, berkas pengangkutan, korteks, dan epidermis
   E. endodermis, epidermis, korteks, dan berkas pengangkutan

12. Pada batang tanaman terdapat (1) kolenkim; (2) sklerenkim; (3) suberin; (4) kutikula; (5) lignin. Perlindungan terhadap pengaruh mekanik dari luar pada batang jagung dilaksanakan oleh . . . .
   A. 1 B. 2 C. 3 D. 4 E. 5

13. Butir klorofil paling banyak terdapat pada . . . .
   A. epidermis atas
   B. jaringan tiang
   C. jaringan bunga karang
   D. jaringan parenkim
   E. epidermis bawah

14. Bagian yang membentuk berkas pembuluh pada tanaman adalah . . . .
   A. korteks C. kambium E. kambium gabus
   B. empulur D. endodermis

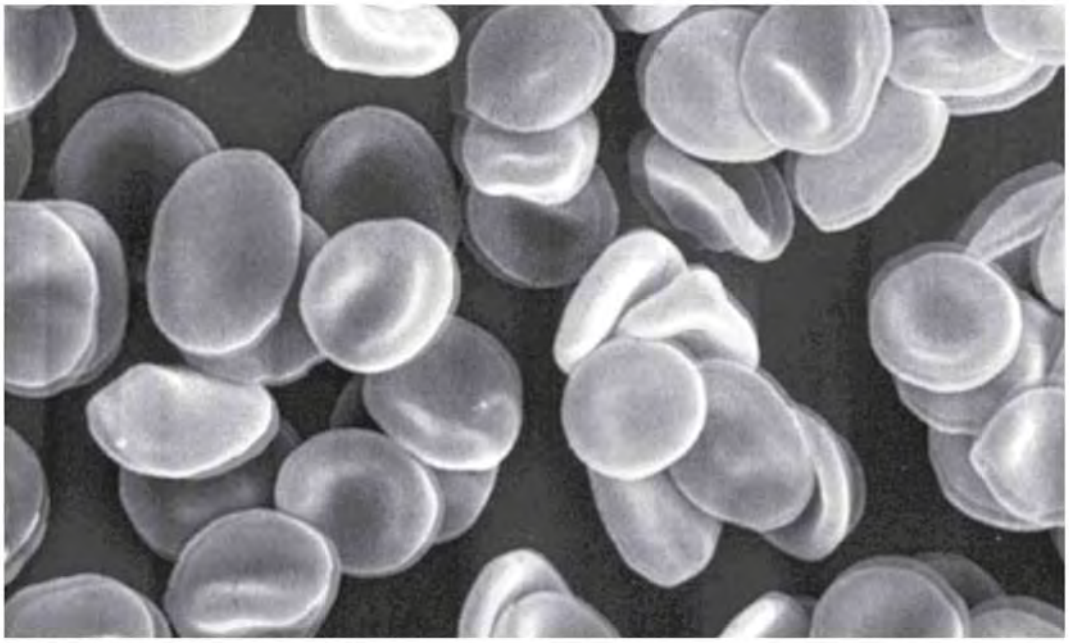
15. Jaringan yang banyak mengandung zat perekat kolagen dan zat kapur adalah . . . .
   A. jaringan otot
   B. jaringan epitel
   C. jaringan epitel kubus
   D. jaringan tulang
   E. jaringan benih

II. Jawablah pertanyaan berikut dengan singkat dan jelas!

1. Apa perbedaan antara sel tumbuhan dan hewan? Sebutkan!
2. Bagaimana mekanisme pengaturan keluar masuknya zat melalui membran? Jelaskan!
3. Apakah fungsi jaringan epidermis pada akar?
4. Apakah yang dimaksud dengan kambium intervasikuler?
5. Apa yang membentuk matriks dan serabut pada jaringan pengikat? Sebutkan!

Bab 5

Sistem Peredaran Darah



Sumber: *www.udal.edu, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

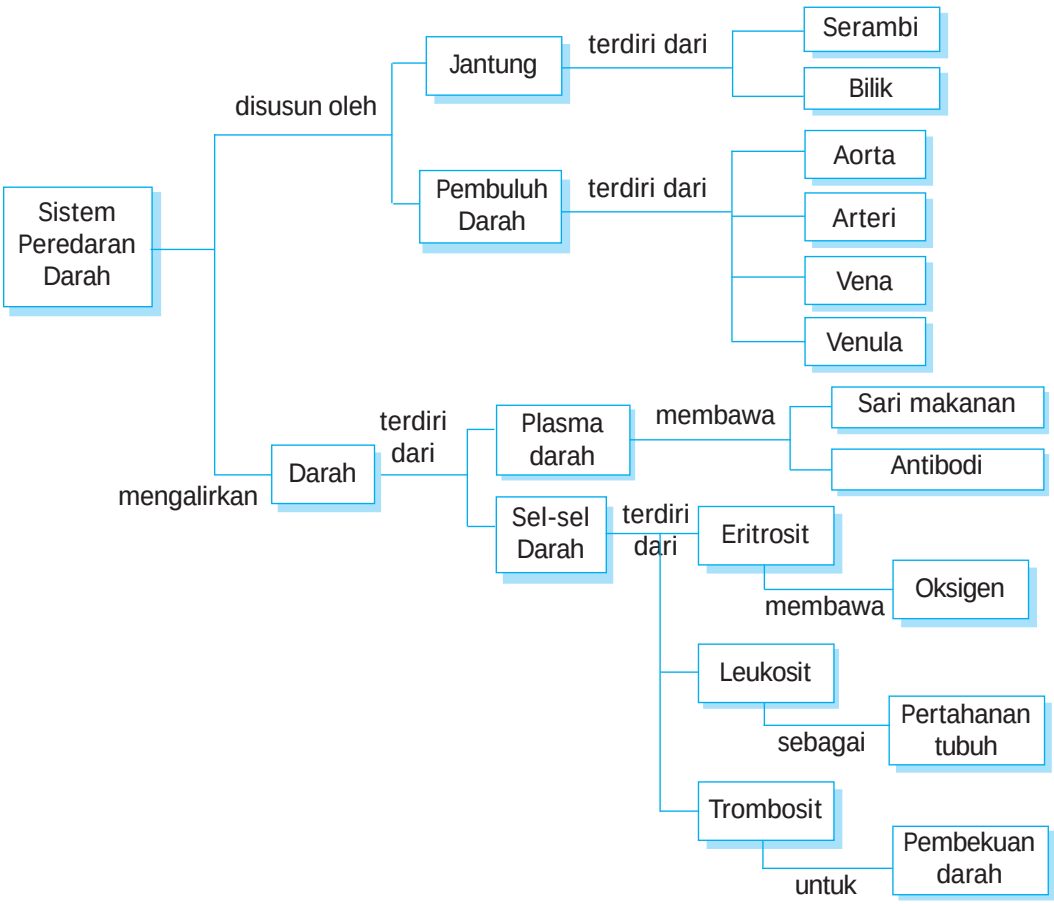
- menjelaskan struktur dan fungsi sistem peredaran darah pada manusia dan hewan tertentu;
- menjelaskan proses peredaran darah mulai dari jantung sampai ke seluruh tubuh;
- mengidentifikasi kelainan yang terjadi pada sistem peredaran darah manusia dan hewan tertentu;
- memberi contoh teknologi yang berhubungan dengan kelainan yang terjadi pada sistem peredaran darah;
- menjelaskan struktur jenis dan pembentukan darah;
- menjelaskan peranan darah dalam pengangkutan sari makanan oksigen, dan pertahanan tubuh.

A. Pendahuluan

Anda tentu masih ingat bagaimana pentingnya peran oksigen di dalam tubuh. Oksigen dalam tubuh berguna untuk melaksanakan proses oksidasi (pembakaran) zat makanan. Pembakaran zat makanan itu sendiri berlangsung pada seluruh sel tubuh. Oleh karena itu, harus ada alat transportasi yang menyebabkan oksigen dari paru-paru dan zat makanan dari usus halus mencapai sel-sel yang tersebar di seluruh tubuh manusia. Berupa apakah alat transportasi atau peredaran dalam tubuh manusia itu?

Sistem peredaran pada manusia meliputi sistem peredaran darah dan sistem peredaran getah bening. Sistem peredaran darah manusia meliputi darah, jantung, dan pembuluh darah. Untuk lebih memahami mengenai sistem peredaran darah, berikut akan dijelaskan satu demi satu komponen sistem tersebut, sehingga anda benar-benar memahami bagaimana pentingnya komponen sistem peredaran darah itu dalam tubuh manusia.

Agar Anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikan peta konsep berikut!



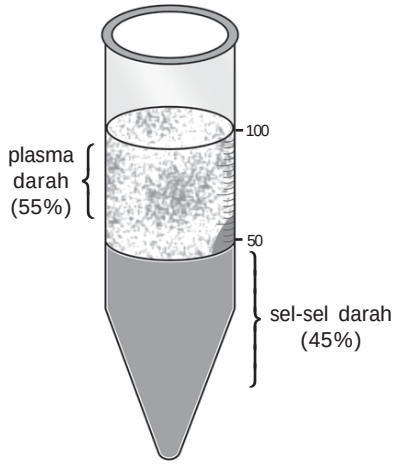
B. Fungsi dan Komposisi Darah

Kata Kunci

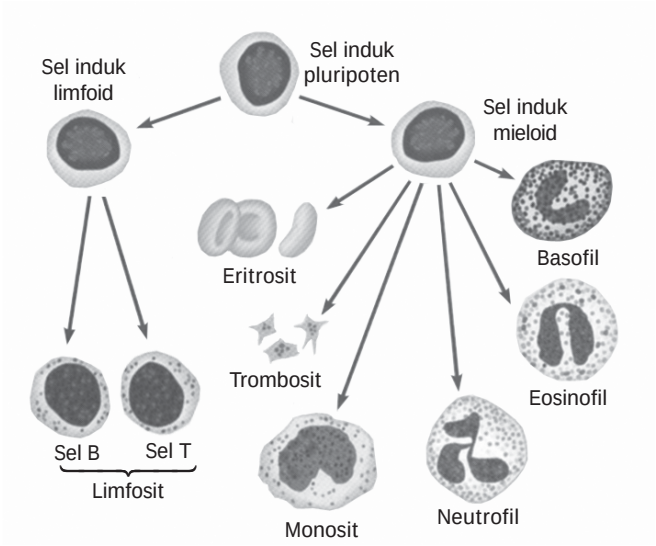
- *Anemia*
- *Arteri*
- *Diasole*
- *Eritrosit*
- *Hipertensi*
- *Jantung*
- *Leukemia*
- *Leukosit*
- *Peredaran darah terbuka*
- *Peredaran darah tertutup*
- *Plasma darah*
- *Sistem ABO*
- *Sistem rhesus*
- *Sistole*
- *Sklerosis*
- *Trombosit*

Volume darah di dalam tubuh manusia kurang lebih 1/14 atau 8% dari berat badan. Pada prinsipnya darah berfungsi sebagai alat pengangkut zat-zat makanan, sisa-sisa metabolisme, dan hormon. Selain itu, darah juga berperan dalam mengatur keseimbangan asam-basa cairan tubuh dan menyebabkan panas tubuh yang berlebihan dari suatu bagian tubuh merata ke bagian tubuh yang lainnya, bahkan darah berperan pula dalam perlindungan tubuh.

Darah terdiri dari plasma darah dan sel-sel darah. Plasma darah mengandung 90% air, sedangkan selebihnya adalah protein-protein darah (albumin, globulin, dan fibrinogen), bermacam-macam garam, zat-zat makanan dari saluran pencernaan, sisa-sisa metabolisme yang diangkut menuju alat ekskresi, hormon, dan gas-gas yang terlarut.



Gambar 5.1 Perbandingan plasma darah dan sel-sel darah manusia.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 5.2 Bermacam-macam sel darah.

1. Eritrosit (Sel Darah Merah)

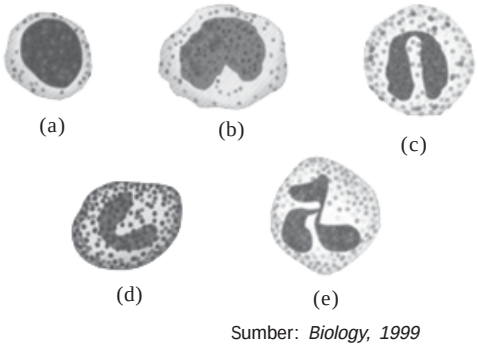
Eritrosit disebut juga sebagai sel darah merah. Warna merah pada eritrosit disebabkan oleh adanya hemoglobin. Hemoglobin tersusun dari senyawa besi *hemin* dan suatu jenis protein, yaitu *globin*. Peranan utama eritrosit adalah sebagai pengangkut

oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Peranan lain eritrosit adalah menjaga keseimbangan asam-basa cairan darah dan juga mengangkut O_2 di dalam tubuh. Setiap molekul hemoglobin (Hb) mengandung 4 atom besi dan setiap atom besi dapat mengangkut 1 molekul oksigen (O_2). Molekul-molekul oksigen tersebut diangkut oleh Hb dalam bentuk oksihemoglobin.

Jumlah eritrosit pada seorang pria dewasa ± 5.400.000 sel per mm^3 dan pada seorang wanita dewasa ± 4.800.000 sel per mm^3. Diameter sel-sel ini sekitar 7 mikron dengan ketebalan 2 mikron, sedangkan kadar hemoglobin normal berkisar antara 14 sampai 16 gram per 100 milimeter darah.

Pembentukan eritrosit terjadi di dalam sumsum tulang pipih (tulang belakang) dan tulang pipa. Umur eritrosit rata-rata 120 hari, setelah itu akan dihancurkan di dalam limpa dan hati. Kurang lebih 3 juta sel yang dihancurkan setiap detiknya dan sebanyak itu pula harus dihasilkan eritrosit yang baru. Senyawa hemin dari hemoglobin yang sudah dihancurkan diubah menjadi pigmen empedu berupa *biliverdin* dan *bilirubin*. Sebagian besar zat besi dari penghancuran haemoglibin tersebut diangkut kembali ke dalam sumsum tulang untuk pembentukan eritrosit baru.

2. Leukosit (Sel Darah Putih)



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 5.3 Macam-macam sel darah putih. (a) limfosit; (b) monosit; (c) eosinofil; (d) basofil; (e) neutrofil.

Leukosit atau sel darah putih tidak mengandung pigmen, diameternya rata-rata lebih besar daripada eritrosit, yaitu berkisar antara 8 sampai 15 mikron dan masing-masing mengandung inti sel. Pembentukan leukosit terjadi pada limfa, kelenjar-kelenjar limfoid, dan sumsum merah pada tulang. Pada seorang dewasa dalam keadaan normal, jumlahnya lebih kurang 5.000 sampai 10.000 sel per mm^3 darah.

Jumlah leukosit dapat meningkat dengan cepat pada penderita penyakit tertentu, keadaan ini disebut *leukositosis*, misalnya pada penderita radang paru-paru. Pada penderita leukimia, jumlah leukosit dapat mencapai 1 juta per mm^3 atau lebih dan ini sangat berbahaya karena sel-sel pada sumsum tulang yang menghasilkan eritrosit digantikan oleh sel-sel leukimia sehingga menghambat pembentukan eritrosit.

Lain halnya dengan penyakit tipus, jumlah leukosit menurun karena penyakit ini merusak jaringan-jaringan limfoid yang banyak terdapat pada dinding usus. Kekurangan sel-sel darah putih ini disebut *leukopeni*.

Leukosit dikelompokkan berdasarkan keberadaan butiran-butiran yang terdapat pada cairan selnya menjadi *agranulosit*, yaitu leukosit yang tidak memiliki butiran-

butiran sehingga cairan sel jernih, tetapi memiliki satu inti yang besar. Jenis sel darah putih ini dihasilkan oleh jaringan-jaringan limfoid dan dapat dibedakan menjadi *limfosit* dan *monosit.* Bentuk leukosit lain adalah *granulosit,* pada cairan sel terdapat butiran-butiran yang menyerap zat warna tertentu dan inti sel berlekuk-lekuk. Granulosit dihasilkan oleh sumsum merah pada tulang dan dapat dibeda-bedakan lagi berdasarkan kemampuannya menyerap zat warna menjadi *neutrofil, eosinofil,* dan *basofil.*

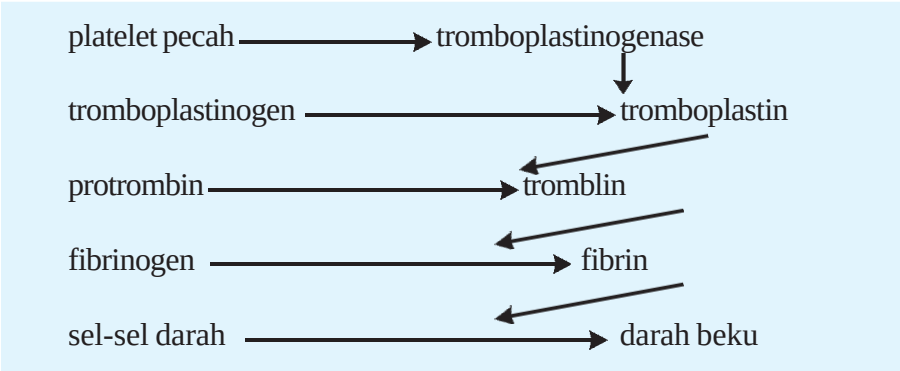
a. *Limfosit* mengandung sedikit cairan sel dan mempunyai sifat amuboid sehingga dapat keluar dari pembuluh darah. Jenis sel darah putih ini sangat berperan dalam melawan bakteri penyebab penyakit karena kemampuannya untuk menghasilkan zat-zat antibodi.
b. *Monosit* mengandung banyak cairan sel dan bersifat fagosit terhadap bakteri. Jumlahnya menempati urutan ketiga paling banyak setelah neutrofil dan limfosit.
c. *Neutrofil* merupakan jenis leukosit yang paling banyak, yaitu antara 65 sampai 705 dari seluruh jumlah leukosit. Bentuk intinya beraneka ragam dan pada cairan sel terdapat butiran-butiran yang menyerap zat warna netral *Neutrofil* bersifat *amuboid* dan *fagosit.*
d. *Eosinofil* memiliki inti yang terdiri dari dua belahan dan butiran-butiran pada cairan selnya dapat menyerap zat warna eosin yang bersifat asam. Eosinofil bergerak lambat dan bersifat *fagosit* terhadap partikel-partikel asing di sekitarnya. Jumlah eosinofil meningkat pada keadaan alergi, misalnya asma dan infeksi cacing tambang.
e. *Basofil* memiliki inti yang berbentuk seperti huruf S, butiran-butiran pada cairan selnya dapat menyerap zat warna yang bersifat basa. Geraknya lambat dan peranannya masih belum jelas.

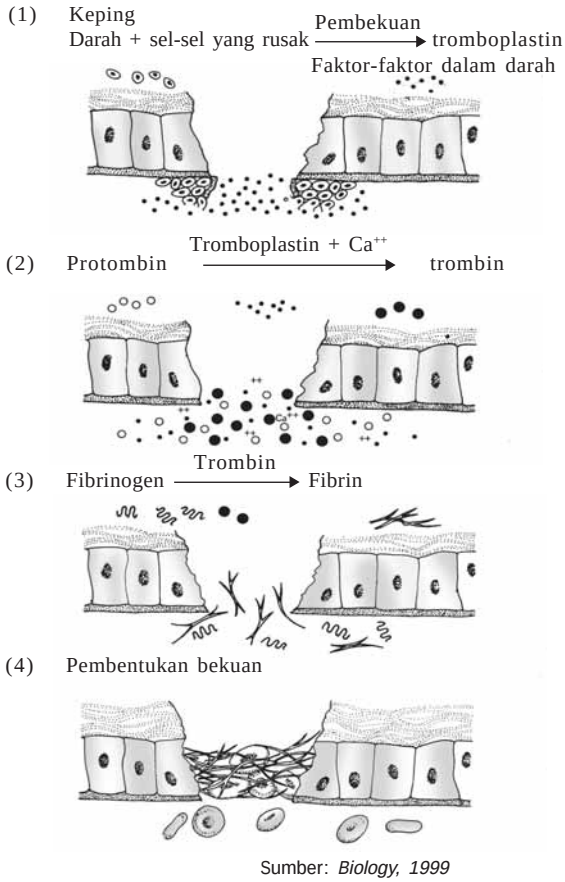
3. Keping-Keping Darah (Trombosit)

Komponen darah yang satu ini berupa kepingan-kepingan (platelet) yang tidak berinti. Oleh karena itu, kurang tepat jika disebut sebagai trombosit yang berarti sel darah pembeku. Keping-keping darah bentuknya tidak beraturan dengan ukuran lebih kecil daripada eritrosit serta tidak berwarna dan juga tidak dapat bergerak sendiri, tetapi hanya mengikuti aliran darah. Dalam keadaan normal jumlahnya ± 250.000 keping per mm kubik. Keping darah ini berasal dari megakaryosit di dalam sumsum merah pada tulang dan berperan dalam *proses pembekuan darah.*

Proses pembekuan darah merupakan suatu proses yang rumit dan melibatkan banyak faktor antihemofili, yaitu faktor-faktor yang berperan untuk menghentikan perdarahan. Proses pembekuan darah dimulai ketika terjadi kerusakan pada pembuluh darah yang menyebabkan keping-keping darah keluar dari pembuluh bersama-sama dengan komponen darah lainnya. Keping-keping darah mudah pecah setelah bersinggungan dengan udara atau permukaan yang kasar sehingga enzim tromboplastinogenase yang terdapat di dalamnya keluar dan bercampur dengan plasma darah.

Pada plasma darah terdapat tromboplastinogen yang merupakan salah satu komponen globulin, zat ini diaktifkan oleh enzim tromboplastinogenase menjadi tromboplastin. Sementara itu pada plasma darah terdapat pula protrombin yang dihasilkan hati dengan bantuan vitamin K. Protrombin hanya dapat berperan dalam proses pembekuan darah jika telah diaktifkan menjadi enzim trombin. Untuk mengaktifkannya dibutuhkan pula tromboplastin dan ion kalsium (Ca^{2+}).





Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 5.4 Proses pembekuan darah.

Peranan enzim trombin ialah mengubah fibrinogen, yaitu salah satu protein darah yang larut dalam plasma darah menjadi fibrin berbentuk jalinan serat-serat halus yang akan menjaring sel-sel darah. Dengan demikian, terjadilah gumpalan darah pada bagian pembuluh darah yang rusak dan gumpalan ini menghalangi darah agar tidak ke luar dari pembuluh tersebut.

Proses pembekuan darah tidak akan terjadi jika salah satu dari faktor-faktor antihaemofili tidak tersedia. Artinya pendarahan tidak dapat dihentikan atau dikenal sebagai *hemofilia*. Namun, jika proses pembekuan terjadi di dalam pembuluh darah maka gumpalan darah (embolus) dapat menyumbat pembuluh-pembuluh darah. Keadaan yang disebut *embolisme* ini menghambat pemberian zat-zat makanan dan oksigen bagi jaringan sehingga dapat menyebabkan kematian jaringan tersebut.

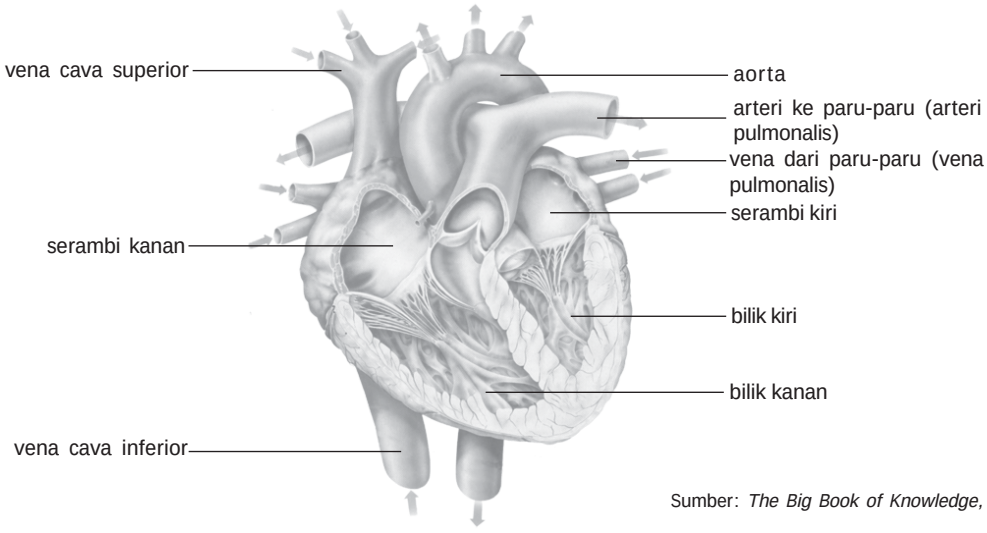
Pada keadaan yang normal, darah yang keluar dari pembuluh darah akan mengalami proses pembekuan. Namun, darah yang diambil dari seseorang untuk dipindahtugaskan harus diupayakan agar tidak membeku, salah satu cara di antaranya, yaitu dengan menambahkan senyawa organik tertentu, misalnya natrium sitrat yang akan mengikat ion Ca^{2+} sehingga menghambat pembekuan trombin. Selain itu, perlu juga penyimpanan pada ruang bersuhu rendah agar enzim-enzim yang berperan sebagai faktor antihemofili tidak berfungsi.

C. Alat-Alat Peredaran Darah

1. Jantung

Seperti halnya pada mamalia yang lain, jantung manusia berada di dalam rongga dada dan terbungkus oleh dua lapis selaput *perikardium*. Di antara kedua lapisan tersebut terdapat cairan yang berfungsi untuk mencegah gesekan permukaan luar jantung dengan organ-organ lainnya karena gerak jantung yang terus-menerus sebagai pemompa darah.

Jantung manusia terdiri dari empat ruang yang masing-masing berhubungan dengan pembuluh-pembuluh darah. Pada serambi kiri terdapat empat muara pembuluh *vena pulmonalis* yang mengalirkan darah dari paru-paru, sedangkan pada serambi kanan terdapat dua muara pembuluh *vena cava superior* yang mengalirkan darah dari tubuh bagian bawah. Sementara itu, bilik kiri berhubungan dengan satu pembuluh nadi besar (aorta) yang cabang-cabangnya mengalirkan darah ke seluruh bagian tubuh. Bilik kanan berhubungan dengan *arteri pulmonalis* yang mengalirkan darah ke paru-paru.

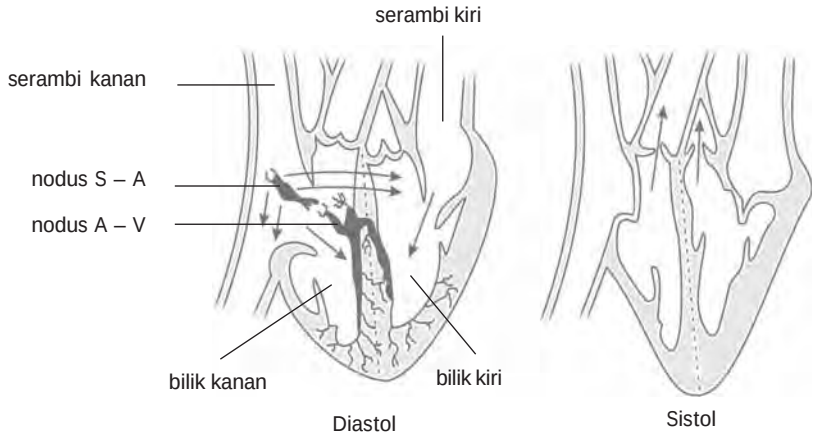


Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2002*

Gambar 5.5 Bilik jantung dan bagian-bagiannya.

Ruang-ruang jantung sebelah kiri dibatasi oleh sekat pemisah (septum) terhadap ruang-ruang sebelah kanan, tetapi sekat pemisah antara serambi kanan dengan serambi kiri pada *fetus* masih terdapat lubang yang disebut *foramen ovale* dan akan tertutup dengan sendirinya kurang lebih 10 hari setelah kelahiran. Antara serambi kiri dengan bilik kiri dijaga oleh katup berkelopak dua yang disebut *katup bikuspid* atau *katup mital,* antara serambi kanan dengan bilik kanan dijaga oleh katup berkelopak tiga *trikuspid*. Katup-katup tersebut diperkuat oleh serat-serat *korda tendinae*, sehingga katup hanya dapat terbuka ke arah bilik. Katup-katup lainnya ialah katup *semilunar* yang berbentuk bulan sabit, yaitu katup antara bilik kiri dengan aorta, serta katup antara bilik kanan dengan arteri pulmonalis.

Dinding jantung terdiri dari otot-otot jantung (miokardium) yang memiliki kemampuan berkontraksi sehingga menjadikan jantung dapat berdenyut seumur hidup dan tentu membutuhkan energi. Untuk itu, zat-zat makanan dan oksigen harus disediakan terus-menerus. Hal ini dilakukan melalui pembuluh darah yang khusus melayani otot-otot jantung saja, yaitu *arteri koronaria* yang bercabang ke seluruh bagian jantung. Jika pembuluh nadi yang merupakan percabangan dari aorta ini tersumbat atau menyempit maka kerja otot jantung akan terganggu atau bahkan terhenti, keadaan ini disebut *infra miokardium* yang dapat menyebabkan kematian mendadak.



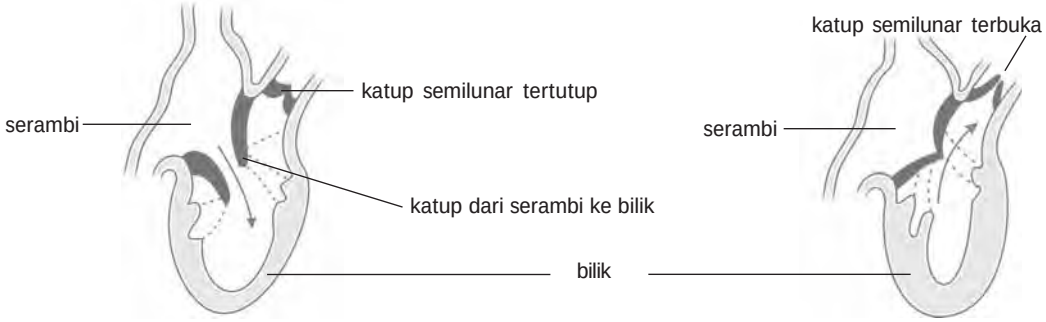
Gambar 5.6 Skema diastol dan sistol pada jantung.

Kemampuan jantung untuk berdenyut dipicu oleh suatu jaringan tertentu yang disebut *nodus sinoatrial (nodus S)* pada dinding atas serambi kanan. Impuls yang ditimbulkan nodus S-A disebarkan ke seluruh otot serambi sehingga otot-otot serambi berkontraksi yang menyebabkan darah dari serambi masuk ke bilik.

Sementara itu, impuls dari nodus S–A perlahan-lahan mencapai nodus atrioventikular (nodus A–V) yang terletak di bagian bawah sekat serambi. Kemudian diteruskan melalui berkas His yang bercabang dua, satu cabang menuju otot bilik kiri dan cabang yang lain menuju otot bilik kanan. Masing-masing cabang tersebut membentuk ranting-ranting ke seluruh otot bilik. Impuls tersebut menyebabkan otot-

otot bilik berkontraksi, peristiwa ini disebut sistol sehingga tekanan di dalam bilik meningkat dan darah mendesak ke segala arah. Desakan ke arah serambi menyebabkan katup *trikuspid* menutup, sedangkan desakan dari bilik kiri ke aorta dan dari bilik kanan ke arteri pulmonalis menyebabkan katup-katup semilunar terbuka.

Ketika darah keluar dari bilik kiri melewati katup *semilunar* di dalam aorta masih terdapat sebagian darah yang belum dialirkan, sehingga tekanan darah di dalam aorta meningkat dan tekanan ini dinamakan tekanan *sistol* yang dalam keadaan normal besarnya ± 120 Hg. Setelah pengosongan bilik, otot-otot bilik mengalami relaksasi atau biasa pula disebut *diastol*, tekanan di dalam bilik saat itu lebih rendah daripada tekanan di dalam aorta sehingga darah dari aorta mendesak kembali ke jantung yang mengakibatkan katup semilunar menutup. Jika darah di dalam aorta sebagian telah dialirkan ke berbagai arteri maka tekanannya akan menurun sampai 80 mm Hg pada keadaan normal dan disebut sebagai tekanan *diastol*.



A. Darah mengalir dari serambi ke bilik

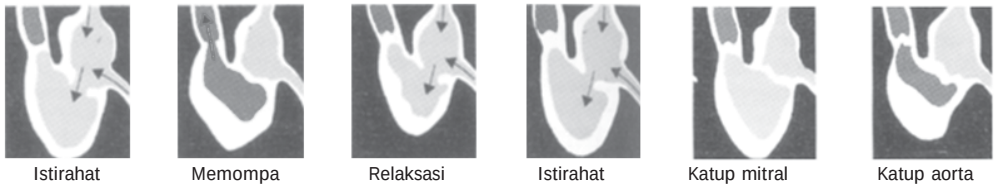
b. Darah meninggalkan bilik

Gambar 5.7 Berbagai aliran darah.

Horizon **Biologi**

Detak Jantung

Setiap detak jantung mempunyai dua fase utama. Fase saat otot jantung berkontraksi penuh dan memompakan darah ke luar disebut sistole. Fase relaksasi dan pengisian kembali dengan darah disebut diastole. Selang waktu denyut jantung adalah 0,8 detik. Katup berfungsi untuk mencegah mengalirnya kembali darah dari bilik ke serambi. Katup mitral berada di sebelah kiri tubuh dan katup aorta (trikuspidalis) terdapat di sebelah kanan.



Istirahat | Memompa | Relaksasi | Istirahat | Katup mitral | Katup aorta

Sistol

Diastol

Sumber: *Ensiklopedia Umum untuk Pelajar Jilid 5, 2005*

Selama jantung mengalami diastol, darah dari vena pulmonalis masuk ke dalam serambi kiri dan darah dari vena cava memasuki serambi kanan yang selanjutnya otot-otot serambi akan berkontraksi lagi setelah memperoleh impuls dari nodus S-A.

Dari uraian di atas jelaslah bahwa selama satu denyut jantung terjadi perubahan tekanan darah terhadap dinding aorta, pada orang dewasa dalam keadaan normal tekanan yang tertinggi, yaitu tekanan sistol besarnya kurang lebih 120 mm Hg. Tekanan darah ini dapat diukur dengan *tensimeter* atau *sphygmomanometer* dan hasilnya biasa dituliskan sistol/diastol = 120/80 mm Hg.

Salingtemas

Bagaimana Tekanan Darah Diukur?

Naik turunnya tekanan darah seirama dengan pemompaan jantung dalam mengalirkan darah ke seluruh tubuh melalui pembuluh arteri. Saat jantung memompa, tekanan darah memuncak, ini dinamakan sistol. Pada saat jantung tidak memompa, tekanan darah turun (terendah), dinamakan diastol. Untuk mengukur tekanan darah digunakan alat sphigmomanometer yang terdiri dari kantong udara yang dililitkan di sekeliling bahu atas. Alat ini dihubungkan ke pemompa udara dan alat ukur merkuri oleh selang karet.



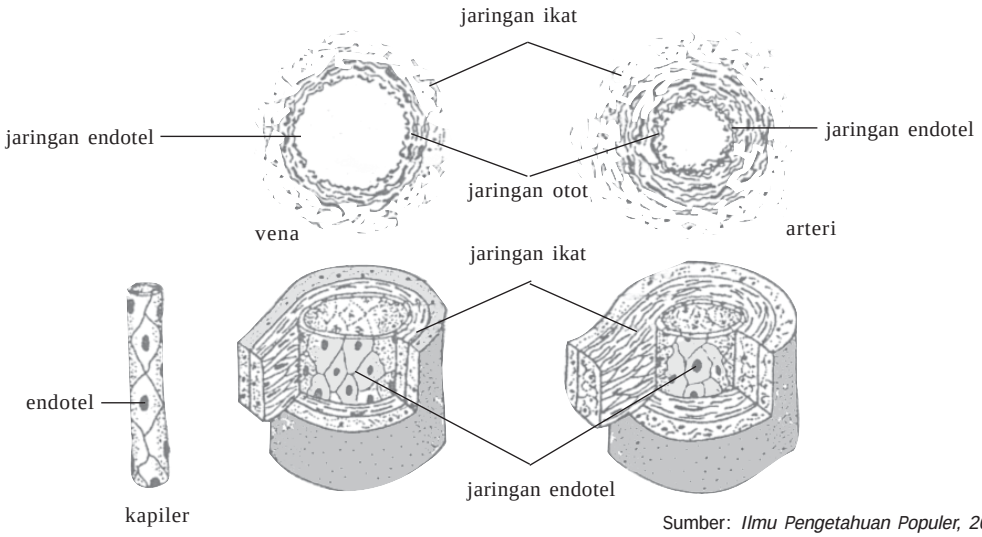
Sumber: *Kompas,* 2 Mei 2005

Tekanan darah umumnya cenderung meningkat dengan bertambahnya umur, orang dewasa dikatakan bertekanan darah tinggi *(hipertensi)* apabila sistol/diastolnya melebihi 160/100 mm Hg. Beberapa faktor yang memengaruhi besarnya tekanan darah antara lain kekuatan kontraksi otot-otot bilik, volume darah keseluruhan, dan kekenyalan dinding arteri.

Waktu yang dibutuhkan otot-otot jantung selama sistol dalam keadaan istirahat kurang lebih 0,27 detik dan diastol 0,53 detik sehingga satu kali denyut jantung membutuhkan kira-kira 0,80 detik. Artinya, frekuensi denyut jantung dalam keadaan istirahat kurang lebih 70 sampai 75 kali per menit. Frekuensi denyut jantung ini dikendalikan oleh saraf simpatik dan saraf parasimpatik.

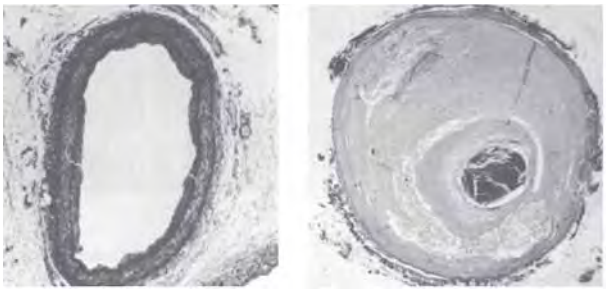
2. Pembuluh Darah

Seluruh pembuluh darah yang mengalirkan darah dari jantung disebut *arteri* atau pembuluh *nadi*. Diameternya bervariasi mulai dari yang paling besar, yaitu aorta ± 20 mm sampai ke cabang-cabang yang paling kecil, yaitu arteriol ± 0,2 mm. Dinding arteri yang bersifat elastik (kenyal) dan mampu berkontraksi ini, terdiri dari jaringan endotel yang melapisi permukaan dalam arteri. Penimbunan senyawa-senyawa lemak pada dinding arteri menyebabkan penyempitan pembuluh dan hilangnya kekenyalan dinding arteri, keadaan ini disebut *atherosklerosis.*



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

Gambar 5.8 Struktur pembuluh darah.



(a) normal (b) mengalami penyumbatan

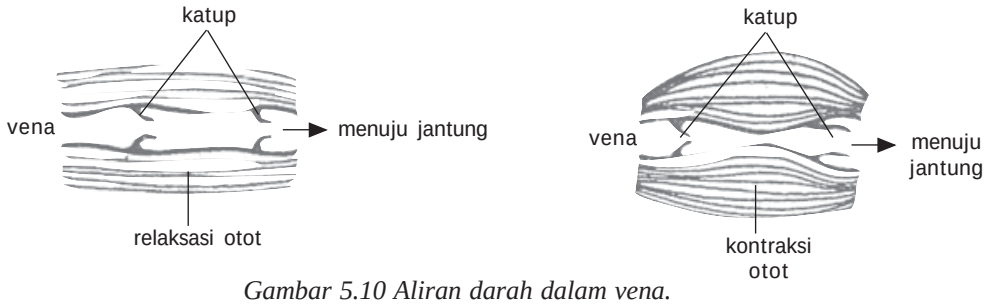
Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

Gambar 5.9 Penampang melintang arteri koronaria.

Cabang-cabang halus dari arteriol yang tersebar di seluruh jaringan tubuh adalah pembuluh kapiler, diameternya kurang lebih 7 mikron (1 mikron – 0,001 mm) sehingga hanya satu per satu sel darah yang dapat melewatinya. Dinding kapiler tersusun dari lapis sel endotel yang memungkinkan pertukaran zat-zat antara darah dan cairan jaringan secara difusi.

Darah dari kapiler dikumpulkan kembali ke dalam vena-vena kecil yang disebut *venula* dengan diameter ± 0,2 mm. Selanjutnya, darah masuk ke dalam *vena* atau pembuluh balik yang diameternya lebih besar dan akan mengalirkan darah ke jantung. Vena yang paling besar ialah vena cava superior dan vena cava inferior yang diameternya kurang lebih 20 mm. Seperti halnya arteri, dinding vena juga tersusun dari tiga macam jaringan, tetapi jaringan ototnya tipis sehingga secara keseluruhan dinding vena lebih tipis dan kurang kenyal dibandingkan dengan dinding arteri.

Pengaruh kontraksi jantung terhadap aliran darah vena sangat kecil sehingga aliran di dalam vena lebih banyak disebabkan oleh kontraksi otot-otot di sekitarnya yang dibantu oleh katup-katup pencegah arus balik di sepanjang pembuluh. Katup-katup yang tidak dapat menutup dengan sempurna dan lemahnya dinding pembuluh dapat menyebabkan pelebaran pembuluh vena atau dikenal dengan sebutan *varises* yang dapat terjadi di kaki bagian bawah atau di sekitar dubur yang disebut *hemoroid*.



Gambar 5.10 Aliran darah dalam vena.

Tugas

Hitunglah jumlah denyut nadi Anda pada daerah leher atau di daerah sekitar tangan pergelangan Anda selama satu menit pada keadaan-keadaan berikut:

a. Santai/duduk;
b. Sesaat setelah berlari-lari kecil.

Bandingkanlah hasilnya dengan teman sekelas Anda! Berdasarkan hasil tersebut, diskusikanlah faktor-faktor apa saja yang dapat memengaruhi kecepatan denyut nadi seseorang!

D. Hubungan Sistem Peredaran Darah dengan Kesehatan

Karena peranannya yang begitu penting pada semua sistem organ, kelainan dan gangguan pada sistem ini memengaruhi secara langsung sistem organ yang lain bahkan dapat berakibat pada kematian. Seperti yang kita ketahui ada dua macam sistem penggolongan darah, yaitu ABO dan Rh. Pada transfusi darah perlu diketahui jenis darah donor dan resipiren agar tidak terjadi penggumpalan. Di lain pihak, pembuluh darah beserta jantung sering kali terkena penyakit akibat gaya hidup yang salah. Berikut ini akan diuraikan beberapa hal yang penting sehubungan dengan sistem peredaran darah pada kesehatan.

1. *Stroke dan Serangan Jantung*

Serangan jantung adalah kematian jaringan otot jantung yang disebabkan oleh penyumbatan arteri koroner dalam jangka waktu yang lama. Sementara itu, stroke merupakan kematian jaringan saraf di otak yang disebabkan oleh penyumbatan arteri di otak. Kedua jenis penyakit ini erat kaitannya dengan trombus yang menyumbat arteri.

Trombus terbentuk pada arteri koroner atau arteri dalam otak berupa gumpalan lemak, plak atau jaringan ikat. Gumpalan tersebut kemudian diangkut oleh peredaran darah sampai tersumbat pada arteri yang terlalu kecil untuk dilewati oleh Embolus tersebut. Pada saat ini jaringan di sekitarnya akan mati karena kekurangan oksigen.

Kebanyakan orang menganggap bahwa serangan jantung atau stroke adalah serangan yang tiba-tiba. Padahal kedua penyakit ini merupakan efek final dari kerusakan perlahan-lahan pada sistem peredaran darah. Pada jangka waktu yang lama, gumpalan yang disebut plak mulai menggumpal dan menyempitkan pembuluh darah, disebut juga dengan aterosklerosis.

Faktor yang menyebabkan aterosklerosis antara lain merokok, kegemukan, makanan berlemak, kolesterol tinggi, dan kurang olah raga. Salah satu kolesterol, yaitu LDL (Low Density Protein) menambah jumlah plak dalam pembuluh darah. LDL berbeda dengan HDL yang menurunkan gumpalan kolesterol dalam pembuluh darah.

Kenyataannya, hipertensi juga meningkatkan risiko serangan jantung dan stroke. Hal ini menjadi suatu peringatan bagi penderita untuk kembali ke gaya hidup sehat. Pada kebanyakan kasus lain, terjadi angina pultaris, yaitu perasaan sakit di dada akibat arteri koroner yang tersumbat.

Rendahnya kadar hemoglobin atau disebut juga *anemia* merupakan salah satu gangguan terhadap pengangkutan oksigen. Hal ini dapat disebabkan oleh kehilangan banyak darah, misalnya karena pendarahan yang hebat, luka bakar, atau infeksi cacing (misalnya cacing tambang); gangguan pembentukan darah, misalnya karena kekurangan vitamin dan zat-zat makanan tertentu, atau dapat pula karena adanya kerusakan pada sumsum tulang, dan penghancuran sel-sel darah merah yang terlalu cepat dan banyak, misalnya karena penyakit malaria.

Sebenarnya, anemia adalah defisiensi sel darah merah atau kekurangan hemoglobin. Hal ini mengakibatkan penurunan jumlah sel darah merah, atau jumlah sel darah merah tetap normal tetapi jumlah hemoglobinnya subnormal. Karena kemampuan darah untuk membawa oksigen berkurang, maka individu akan terlihat pucat atau kurang tenaga.

Ada beberapa jenis anemia, antara lain berikut ini.

a) Anemia hemoragi terjadi akibat kehilangan darah akut. Sumsum tulang secara bertahap akan memproduksi sel darah merah baru untuk kembali ke kondisi normal.
b) Anemia defisiensi zat besi terjadi akibat penurunan jenis makanan, penurunan daya absorpsi, atau kehilangan zat besi secara berlebihan.
c) Anemia aplastik akibat sumsum tulang tidak aktif ditandai dengan penurunan sel darah merah secara besar-besaran. Hal ini dapat terjadi karena pajanan radiasi yang berlebihan, keracunan zat kimia, atau kanker.
d) Anemia pernicious karena tidak ada vitamin B12.
e) Anemia sel sabit *(sickle cel anemia)* adalah penyakit keturunan dimana molekul hemoglobin yang berbeda dari hemoglobin normalnya karena penggantian salah satu asam amino pada rantai polipeptida beta. Akibatnya, sel darah merah terdistorsi menjadi berbentuk sabit dalam kondisi konsentrasi oksigen yang rendah. Sel-sel terdistorsi ini menutup kapilar dan mengganggu aliran darah.

2. Wasir

Wasir merupakan penyebab pembuluh vena rektum mekar. Pengobatan penyakit wasir dapat dilakukan dengan obat-obat yang dijual bebas dari suntikan. Perkembangan terbaru dalam pengobatan penyakit ini adalah pembedahan dengan laser. Pada prinsipnya, pembedahan ini sama dengan pembedahan biasa, hanya sarana pemotongnya menggunakan alat canggih, yaitu laser.



Selain pengobatan dengan pembedahan menggunakan laser, Dr. Barlian Sutedjua, Sp.B juga memperkenalkan teknologi terbaru untuk pengobatan wasir yaitu "Hemoroid Circular Sropler atau teknik longo.

Bentuk alat ini seperti senter, terdiri dari sebuah lingkaran dan sebuah pendorong di belakangnya.

Sistem sirkulasi pada hewan dan manusia berperan pada pengangkutan dan peredaran berbagai bahan, antara lain zat-zat makanan, oksigen, hormon, dan sisa-sisa metabolisme.

3. Penggolongan Darah

Adakalanya seseorang harus memperoleh transfusi darah karena darah yang diberikan harus sesuai dengan golongan darah penderita karena darah manusia tidak semuanya sama, *Karl Landsteiner* (1900) mengelompokkan darah ke dalam empat golongan, yaitu A, B, AB, dan O. Pengelompokan ini didasarkan pada adanya dua macam *antigen* atau *aglutinogen*, yaitu suatu senyawa karbohidrat dengan protein pada permukaan eritrosit, kedua macam antigen itu adalah antigen A dan B.

Tokoh



Sumber: *Jendela IPTEK, 2000*

Golongan Darah

Alasan mengapa sel-sel darah merah dapat pecah atau menggumpal menjadi satu pada transfusi, diungkapkan oleh ilmuwan Austria, Karl Landsteiner (1868-1943) dan kawan-kawannya. Pada beberapa kasus, zat-zat kimia dalam plasma darah seseorang bereaksi dengan zat-zat lainnya yang ada di permukaan sel-sel darah merah dari darah orang lain. Pekerjaan di atas membawa ke arah penemuan sistem golongan darah ABO pada awal tahun 1900-an, kemudian sistem M, N, dan P di tahun 1927. Pada tahun 1940, sistem rhesus pertama kali dikenal pada kera-kera rhesus. Landsteiner menerima hadiah Nobel untuk Fisiologi atau Kedokteran di tahun 1930.

Kesalahan pada transfusi dapat menimbulkan akibat yang fatal karena di dalam plasma darah resipien, yaitu orang yang menerima transfusi darah terbentuk aglutinin.

Aglutinin adalah zat antibodi yang akan menggumpalkan antigen asing (dari donor), peristiwa yang disebut aglutinasi ini menyebabkan penggumpalan eritrosit dari donor dalam pembuluh darah resipien.

Golongan darah A memiliki antigen A dan plasma darahnya membentuk aglutinin b (beta) sebagai penggumpal antigen B. Golongan darah B memiliki antigen B dan plasma darahnya membentuk aglutinin a (alfa) sebagai penggumpal antigen A. Golongan darah AB memiliki antigen A dan antigen B, plasma darahnya tidak membentuk aglutinin alfa maupun beta. Golongan darah O tidak memiliki antigen A maupun antigen B, plasma darahnya membentuk aglutinin alfa dan aglutinin beta.

Berdasarkan sifat aglutinin dan antigen dari masing-masing golongan darah tersebut maka dapat diketahui bahwa pindah tuang darah hanya dapat dilakukan jika tidak terjadi reaksi aglutinasi antara antigen dari darah donor dengan aglutinin dari darah resipien. Untuk lebih jelasnya, pelajarilah tabel berikut!

Tabel Kemungkinan Pindah Tuang (Transfusi)

Golongan Darah Resipien	Golongan Darah Donor			
	A	B	AB	O
A, β (beta)	–	+	+	–
B, α (alfa)	+	–	+	–
AB, –	–	–	–	–
O, α dan β	+	+	+	–

Keterangan:

\+ terjadi aglutinasi

– tidak terjadi aglutinasi

Orang dari golongan darah AB dapat menerima darah dari semua golongan karena pada plasma darahnya tidak terdapat aglutinin apa pun. Oleh karena itu, disebut resipien universal, sedangkan orang dari golongan darah O dapat memberikan darahnya ke semua golongan darah karena pada eritrositnya tidak terdapat antigen sehingga disebut donor universal.

Sistem golongan darah yang lain adalah berdasarkan faktor *rhesus*, ditemukan oleh Landsteiner, Lione, dan Weiner pada tahun 1940. Mereka menyuntikkan darah kera *Macaca rhesus* ke tubuh kelinci, ternyata darah kera tersebut digumpalkan oleh aglutinin yang dihasilkan pada plasma darah kelinci. Aglutinin yang berasal dari kelinci itu ternyata dapat juga menggumpalkan darah manusia walaupun tidak terjadi pada semua orang.

Orang yang darahnya dapat digumpalkan oleh faktor aglutinin dikelompokkan sebagai golongan darah Rh^+, sedangkan yang darahnya tidak dapat digumpalkan oleh aglutinin dikelompokkan ke dalam darah Rh^-. Golongan darah Rh^+ memiliki antigen faktor Rh dan pada plasma darahnya tidak dapat terbentuk antibodi terhadap

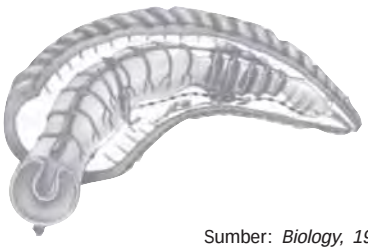
faktor Rh, sedangkan golongan darah Rh^- tidak memiliki antigen faktor Rh dan pada plasma darahnya dapat terbentuk antibodi terhadap faktor Rh. Kesulitan yang timbul dari faktor rhesus ini, yaitu jika seorang ibu yang tergolong Rh^- mengandung bayi (fetus) dengan Rh^+. Apabila karena sesuatu hal darah fetus memasuki peredaran darah ibu melalui plasenta, maka di dalam plasma darah ibu akan dihasilkan antibodi Rh yang akan kembali ke dalam peredaran darah fetus. Hal ini akan menyebabkan kerusakan pada sel-sel darah merahnya, keadaan seperti ini disebut erythroblastosis fetalis. Hal ini dapat berakibat buruk bagi bayi yang dikandungnya.

E. Sistem Peredaran Darah pada Hewan



Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 5.11 Sistem sirkulasi pada planaria.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 5.12 Sistem sirkulasi pada cacing tanah.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 5.13 Sistem sirkulasi pada belalang.

Bagi Protozoa dan sejumlah Metazoa tingkah rendah, seperti Porifera, dan Planaria peredaran zat-zat di seluruh tubuhnya melalui proses difusi, osmosis, dan transpor aktif. Sistem sirkulasi hanya berlangsung di dalam sel atau antarsel saja, tidak ada sistem sirkulasi yang khusus.

Sistem sirkulasi pada Planaria bertindak juga sebagai sistem ekskresi yang bercabang-cabang ke seluruh bagian tubuh dan mengumpulkan zat-zat buangan yang harus dikeluarkan dari tubuh.

Cacing tanah mempunyai sistem transportasi darah tertutup. Dinding pembuluh darah sangat tipis, dan zat-zat dapat berdifusi dengan mudah antara darah dengan cairan ekstra seluler. Pembuluh darah terdiri dari pembuluh darah punggung, pembuluh darah perut, dan lima pasang lengkung aorta yang berfungsi sebagai jantung. Darah di dalam pembuluh darah punggung mengalir dari belakang menuju kepala. Dari pembuluh darah punggung darah mengalir menuju pembuluh darah perut melalui lengkung aorta yang terletak di bagian depan. Dalam pembuluh perut, darah mengalir dari depan menuju belakang.

Sistem sirkulasi pada insekta, misalnya belalang hanya terdiri dari satu pembuluh yang memanjang dan terletak membujur di atas saluran makanan. Bagian belakang dari pembuluh terdiri dari beberapa gelembung disebut jantung pembuluh. Jantung pembuluh paling belakang tertutup. Bagian depan dari pembuluh darah yang ujungnya terbuka adalah aorta.

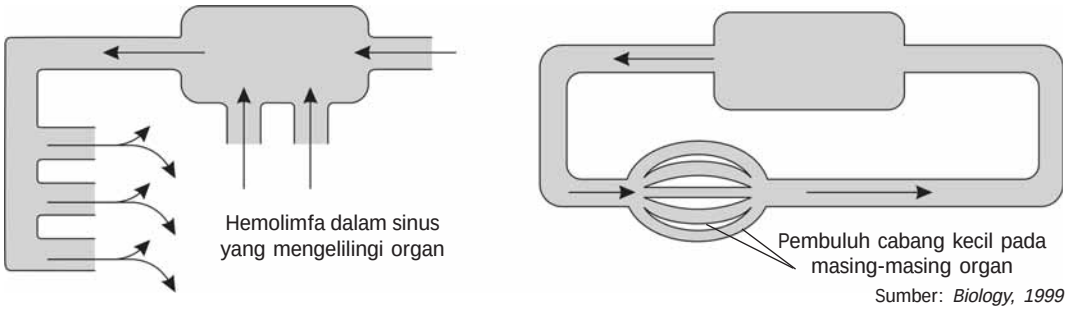
Serangga memiliki sistem peredaran darah terbuka, darah diedarkan dari aorta ke seluruh tubuh tanpa melalui pembuluh darah. Darah dari seluruh tubuh masuk ke jantung melalui sistem osteum dan tidak memiliki pembuluh balik.

Lain halnya dengan hewan-hewan yang mempunyai tingkatan lebih tinggi, peredaran di dalam tubuhnya terjadi dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain sehingga tidak memadai lagi jika hanya mengandalkan proses difusi. Hewan-hewan tersebut dilengkapi dengan sistem peredaran darah yang dapat dikelompokkan menjadi dua macam, yaitu *sistem peredaran darah terbuka* dan *sistem peredaran darah tertutup*.

1. Sistem Peredaran Darah Terbuka

Pada sistem ini, darah bercampur dengan cairan yang terdapat pada rongga-rongga tubuh maupun pada ruang-ruang antarjaringan. Darah pada sistem peredaran darah terbuka umumnya hampir tidak berwarna walaupun mengandung pigmen pernapasan berupa hemoglobin, hemosianin, atau jenis lain yang terlarut di dalamnya. Sel-sel darah bersifat amuboid

Hewan-hewan yang memiliki sistem peredaran darah terbuka antara lain Arthropoda serta sebagian dari annelida, mollusca, dan echinodermata. Aliran darah di dalam tubuh hewan tersebut ditimbulkan oleh desakan dari jantung yang strukturnya masih sangat sederhana, misalnya pada mollusca hanya terdiri dari satu serambi (atrium) dan satu bilik (ventrikel). Jantung pada beberapa jenis Arthropoda tidak memiliki kamar-kamar sehingga dianggap sebagai pelebaran pembuluh darah saja.



Sumber: *Biology, 1999*

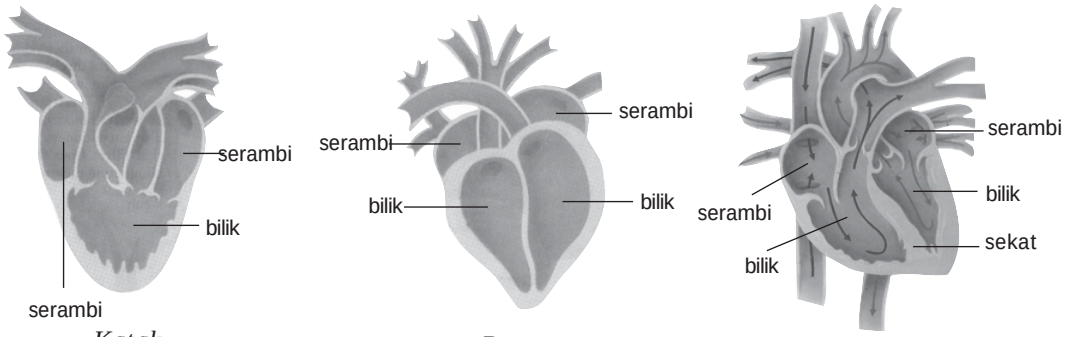
Gambar 5.14a. Sistem peredaran darah terbuka b. sistem peredaran darah tertutup.

2. Sistem Peredaran Darah Tertutup

Sistem peredaran ini dijumpai pada chordata, cephalopoda, holothuroidea, oligochaeta, dan hirudinae. Namun, pembahasan akan lebih ditekankan pada vertebrata yang merupakan anggota dari chordata. Alat peredarannya terdiri dari darah, jantung, dan pembuluh-pembuluh darah.

Jantung berfungsi sebagai alat pemompa darah. Terdiri atas serambi (ruang penampung darah yang masuk ke jantung) dan bilik (pemompa darah yang menyebabkan aliran darah ke luar jantung). Kedua macam ruangan tersebut dipisahkan oleh katup pencegah arus balik.

Bentuk dan susunan jantung pada hewan-hewan vertebrata ada beberapa macam bergantung pada tingkatannya.

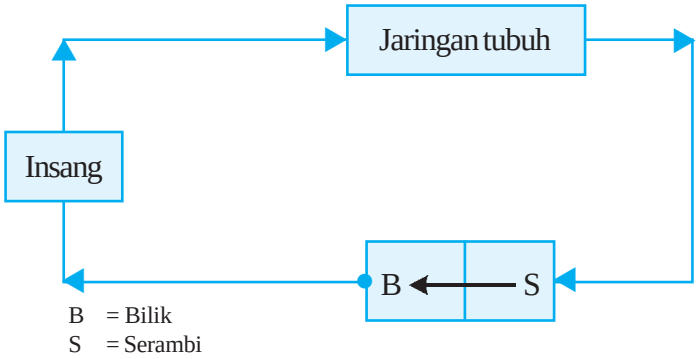


Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 5.15 Susunan jantung pada beberapa vertebrata.

Sistem peredaran darah tertutup dapat dibedakan menjadi *peredaran darah tunggal* dan *peredaran darah ganda.*

a. Peredaran Darah Tunggal

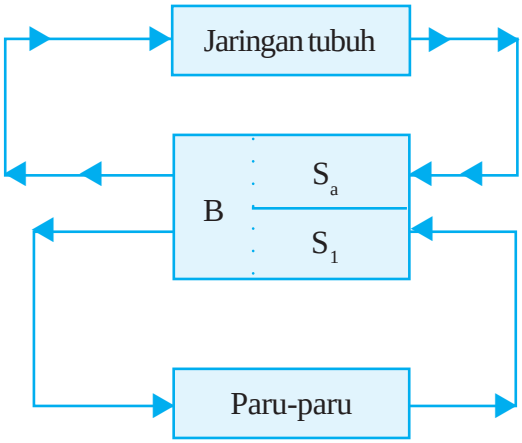


Gambar 5. 16 Peredaran darah tunggal.

Peredaran darah tunggal, terdapat pada ikan. Darah dari bilik seluruhnya dipompakan ke satu arah melalui konus arteriousus lalu ke aorta ventralis yang menuju insang untuk melepaskan CO_2 dan mengikat O_2, selanjutnya darah dialirkan ke seluruh bagian tubuh melalui arteri dan cabang-cabangnya yang berhubungan dengan pembuluh-pembuluh kapiler. Kemudian, darah akan dikumpulkan ke dalam vena cava menuju ke sinus venosus dan bermuara di serambi untuk diteruskan ke dalam bilik. Jadi, darah hanya melewati jantung satu kali. Oleh karena itulah, disebut peredaran darah tunggal.

b. Peredaran Darah Ganda

Peredaran darah ganda, yaitu sebagian darah dan bilik akan melintasi sirkulasi paru-paru dan sebagian lagi melintasi sirkulasi sistemik.



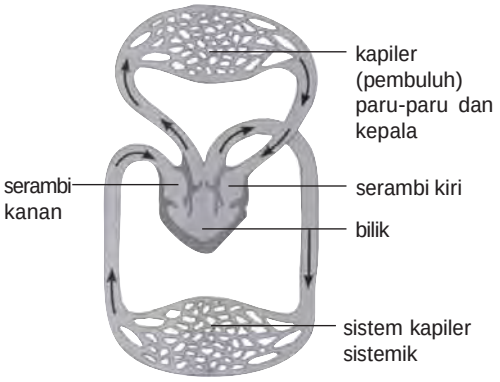
B = Bilik S_a = Serambi kanan
S = Serambi S_1 = Serambi kiri

Gambar 5.17 Skema peredaran darah ganda.

Pada sirkulasi arteri pulmonalis, setelah terjadi pertukaran gas, maka darah yang banyak mengandung oksigen ini akan kembali menuju jantung melalui vena pulmonalis ke serambi kiri dan diteruskan ke bilik. Pada sirkulasi sistemik, darah dan bilik dialirkan melalui aorta (nadi besar) yang kemudian bercabang-cabang menjadi arteri ke seluruh bagian tubuh dan dilanjutkan dengan pembuluh kapiler. Setelah terjadi pertukaran zat-zat antara darah di dalam kapiler dengan cairan jaringan maka darah yang banyak mengandung CO_2 ini dikumpulkan ke pembuluh-pembuluh vena. Darah kemudian diteruskan ke dalam vena cava yang berukuran lebih besar dan akhirnya bermuara pada serambi kanan melalui sinus venosus untuk diteruskan ke dalam bilik.

3. Peredaran Darah pada Hewan Vertebrata

a. Peredaran Darah pada Amfibi



Sumber: *Biology, Campbell, 1999*

Gambar 5.18 Sistem peredaran darah pada amfibi.

Seperti telah anda ketahui bahwa jantung pada amfibi memiliki satu bilik dan dua serambi. Sebagian darah dari bilik melintasi sirkulasi paru-paru seperti yang telah dijelaskan di atas, sebagian lagi darah dari bilik ini melintasi sirkulasi sistemik mulai dari pangkal aorta yang disebut konus arteriosus, kemudian disebarkan ke seluruh tubuh. Darah akan kembali ke jantung melalui vena cava posterior yang berfungsi mengumpulkan darah dari tubuh bagian belakang dan alat-alat dalam. Vena cava anterior yang berfungsi mengumpulkan darah dari bagian kepala dan anggota gerak depan.

Kedua vena tersebut bermuara ke serambi kanan setelah melalui sinus venosus. Selanjutnya, darah yang kaya O_2 dari serambi kiri dan bilik. Sistem peredaran darah pada amfibi memiliki dua vena porta, yaitu vena porta renalis yang terdapat antara tubuh bagian belakang dengan ginjal dan vena porta hepatika yang menghubungkan antara lambung dan usus dengan hati.

b. Peredaran Darah pada Reptil

Hewan-hewan reptil (kecuali buaya) memiliki sistem peredaran yang mirip dengan amfibi, perbedaan yang penting adalah bahwa pada sirkulasi sistemik terdapat dua busur aorta, yaitu busur aorta kiri langsung menuju alat-alat pencernaan, ginjal, dan tubuh bagian belakang lainnya, sedangkan satu lagi adalah busur aorta kanan yang bercabang dua, yaitu satu cabang ke bagian kepala dan satu cabang lainnya bercabang ke busur aorta kiri.

Peredaran darah buaya agak berbeda dengan reptil lainnya karena bilik kanan dan bilik kiri terpisah hampir sempurna sehingga darah yang kaya O_2 tidak bercampur dengan darah yang mengandung CO_2. Pada bilik kanan terdapat dua pembuluh darah, sebagian darah yang kaya CO_2 itu dialirkan melalui aorta yang membelok ke kiri, yaitu busur aorta kiri menuju daerah perut, sedangkan darah yang sebagian lagi dialirkan melalui arteri pulmonalis untuk melintasi sirkulasi paru-paru.

Pada bilik kiri terdapat aorta yang membelok ke kanan, yaitu busur aorta kanan yang mengalirkan darah yang kaya O_2 ke kepala dan tubuh bagian belakang, busur aorta kanan dan busur aorta kiri berhubungan melalui suatu lubang yang disebut *foramen panizzae*. Keberadaan foramen *panizzae* memungkinkan distribusi oksigen ke alat-alat pencernaan dan pemeliharaan keseimbangan tekanan cairan di dalam jantung pada waktu menyelam.

c. Peredaran Darah pada Aves dan Mamalia

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai sistem peredaran darah yang dibahas pada bab ini, kunjungi www.emc.maricopa.edu

Sistem peredaran darah pada burung terdiri dari jantung dan pembuluh darah. Jantung burung dibungkus oleh suatu selaput yang disebut perikardium. Jantung burung terbagi dalam 4 bagian, yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, dan ventrikel kiri. Di antara atrium dan ventrikel dibatasi oleh sekat yang mempunyai klep. Sekat ini memisahkan atrium dan ventrikel secara sempurna. Pada burung, busur aorta sebelah kiri sudah tidak ada sistem portanya hanya terdiri dari sistem porta hepatikus. Peredaran darah pada burung merupakan peredaran darah ganda, terdiri dari peredaran darah besar dan peredaran darah kecil.

Rangkuman

Sistem sirkulasi pada hewan dan manusia berperan sebagai pengangkutan dan peredaran berbagai bahan, antara lain zat-zat makanan, oksigen, hormon, dan sisa-sisa metabolisme.

Pada sistem ini darah bercampur dengan cairan yang terdapat pada rongga-rongga tubuh maupun pada sisi atau ruang-ruang antarjaringan.

Alat peredarannya terdiri dari darah, jantung dan pembuluh-pembuluh darah. Trombosit atau keping-keping darah berukuran lebih kecil daripada sel-sel darah lainnya dan umumnya tidak mempunyai inti sel. Keping-keping darah ini berperan pada proses pembekuan darah.

Jantung berfungsi sebagai alat pemompa darah yang pada dasarnya terdiri atas serambi, yaitu ruang penampung darah yang masuk ke jantung, dan bilik sebagai pemompa darah yang menyebabkan aliran darah ke luar jantung. Adanya sekat-sekat pemisah yang sempurna pada bilik maupun pada serambi menyebabkan darah yang kaya O_2 terpisah dengan darah yang kaya CO_2 pada jantung aves dan mamalia.

Pembakaran zat makanan berlangsung pada seluruh sel-sel tubuh. Artinya, ada alat transportasi yang menyebabkan oksigen dari paru-paru dan zat makanan dari usus halus sehingga dapat mencapai sel-sel yang tersebar di seluruh tubuh manusia. Sebanyak 55% dari volum darah adalah plasma darah dan 45% lainnya adalah sel-sel darah yang terdiri dari eritrosit, leukosit, dan trombosit. Sel-sel darah merupakan sel-sel bebas yang tergolong ke dalam jaringan ikat.

Pembentukan eritrosit terjadi di dalam sumsum merah pada tulang sel-sel muda yang baru dibentuk memiliki inti sel, tetapi tanpa hemoglobin. Kurang lebih 3 juta sel yang dihancurkan setiap detik dan sebanyak itu pula harus dihasilkan eritrosit yang baru.

Jenis sel darah putih dihasilkan oleh jaringan-jaringan limfoid dan dapat dibedakan menjadi limfosit dan monosit. Bentuk intinya beraneka-ragam, pada cairan sel terdapat butiran-butiran yang menyerap zat warna netral. Basofil memiliki inti yang berbentuk seperti huruf S, butiran-butiran pada cairan sel dapat menyerap zat warna yang bersifat basa. Komponen darahnya berupa kepingan-kepingan (platelet) yang tidak berinti.

Fibrin berbentuk jalinan serat-serat halus yang akan menjaring sel-sel darah sehingga terjadilah gumpalan darah pada bagian pembuluh darah yang rusak dan gumpalan ini menghalangi darah agar tidak terus mengalir keluar dari pembuluh tersebut.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang tepat!

1. Sistem peredaran pada serangga disebut sistem peredaran darah terbuka, karena . . . .
   A. tidak memiliki jantung
   B. darah tidak selalu beredar dalam pembuluh
   C. yang diangkut dalam pembuluh hanya sari makanan
   D. O_2 dan CO_2 diangkut dalam sistem trakea
   E. tidak memiliki vena dan arteri
2. Pembuluh darah yang membawa darah dari bagian depan tubuh ikan ke sinus venosus disebut . . . .
   A. vena cava superior
   B. vena cava anterior
   D. vena pulmo kutaneus
   E. archus aorta

C. vena cordinalis anterior

3. Pada katak pembuluh darah yang membawa darah dari tungkai belakang dan ekor ke ginjal disebut . . . .
   A. vena cava
   B. porta hepatika
   C. vena porta renalis
   D. vena pulpa kutaneus
   E. sinus venosus
4. Sistem pembuluh darah yang membawa hasil pencernaan makanan dari usus halus vertebrata adalah sistem vena . . . .
   A. intestinalis
   B. porta renalis
   C. pulmonalis
   D. porta hepatikus
   E. abdominalis
5. Setelah mengalami proses pencernaan, sari makanan siap untuk diserap dan dibawa ke seluruh tubuh oleh darah. Bagian darah yang berperan dalam pengangkutan ini adalah . . . .
   A. plasma
   B. eritrosit
   C. leukosit
   D. trombosit
   E. limfosit
6. Leukemia adalah suatu kondisi di mana terdapat suatu penambahan yang besar pada . . . .
   A. eritrosit
   B. neurosit
   C. fibrinogen
   D. leukosit
   E. trombosit
7. Pada proses pembekuan darah zat yang berfungsi mengubah protrombin menjadi trombin adalah . . . .
   A. antihama filia
   B. fibrinogen
   C. trombokinase
   D. tromboplastin
   E. fibrin
8. Protrombin adalah vitamin yang berperan dalam proses pembekuan darah bergantung pada . . . .
   A. vitamin A
   B. vitamin B
   C. vitamin E
   D. vitamin D
   E. vitamin K
9. Golongan darah yang disebut sebagai donor universal adalah . . . .
   A. golongan B
   B. golongan A
   C. golongan AB
   D. golongan O
   E. golongan A dan B
10. Pembuluh-pembuluh darah dalam sistem peredaran darah di mana molekul-molekul paling mudah melewatinya secara difusi adalah . . . .
   A. kapiler
   B. vena
   C. arteri
   D. pembuluh limfa
   E. aorta

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Mengapa darah dari jaringan-jaringan pada sistem peredaran darah terbuka dapat kembali ke jantung? Jelaskan!
2. Mengapa jantung manusia dikatakan sebagai jantung yang paling sempurna? Bandingkanlah dengan jantung hewan-hewan lainnya!
3. Bagaimana jantung mengalami sistol dan diastol, serta jelaskan hal-hal yang berhubungan dengan kedua peristiwa tersebut!
4. Bagaimanakah peredaran limfa di dalam tubuh? Jelaskan sirkulasi dan peranannya!
5. Jelaskan hubungan antara gaya hidup seperti merokok dengan risiko serangan jantung dan stroke!

* * *

Bab 6

Sistem Pencernaan



Sumber: *http://www.cheongieon.net, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- menjelaskan struktur dan fungsi, organ-organ pencernaan makanan pada manusia dan hewan tertentu;
- menjelaskan proses pencernaan mekanik dan kimiawi;
- membedakan antara sistem pencernaan makanan pada manusia dan hewan tertentu;
- mengidentifikasi kelainan yang terjadi pada sistem pencernaan makanan;
- memberi contoh teknologi yang berhubungan dengan kelainan yang terjadi pada sistem pencernaan makanan.

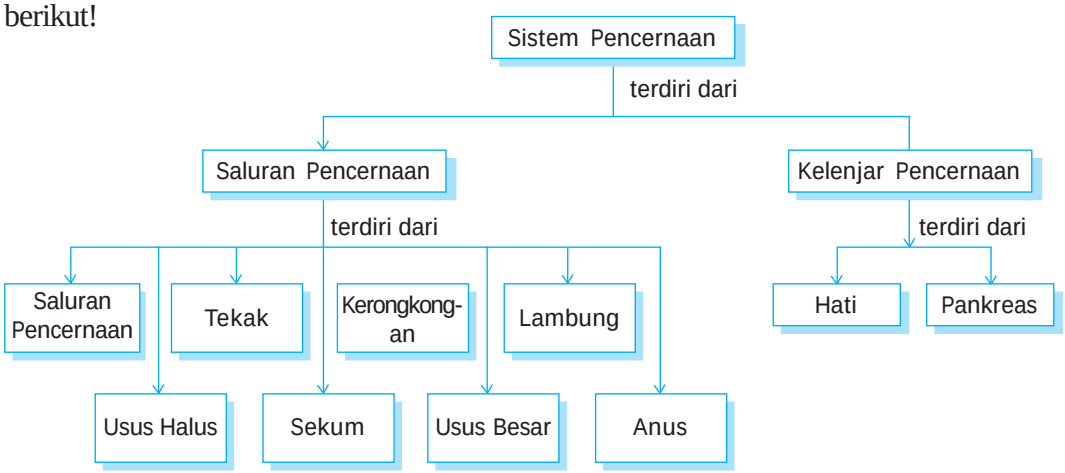
A. Pendahuluan

Pernahkah Anda mengalami tidak lancar atau sulit buang air besar? Apa yang anda alami tersebut berhubungan erat dengan jumlah serat pada makanan yang dikonsumsi setiap harinya.

Serat makanan atau *dietary fiber* merupakan bagian dari makanan yang tidak bisa dicerna dan diserap untuk menghasilkan energi pada saat proses pencernaan berlangsung. Akan tetapi, serat tersebut mampu menyerap lemak yang mengganggu kesehatan, seperti kolesterol yang berlebihan. Jenis makanan yang mengandung serat, yaitu buah-buahan, gandum, sayur-sayuran, dan kacang-kacangan.

Pada proses pencernaan serat memiliki peran yang cukup banyak, salah satunya, yaitu mempercepat waktu untuk mencerna makanan, dimulai ketika makanan masuk dari mulut sampai sisa-sisa makanan dibuang dalam bentuk *feses*. Bagaimanakah sesungguhnya proses pencernaan makanan yang terjadi di dalam tubuh kita? Organ tubuh mana sajakah yang berperan di dalamnya?

Agar Anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikan peta konsep berikut!

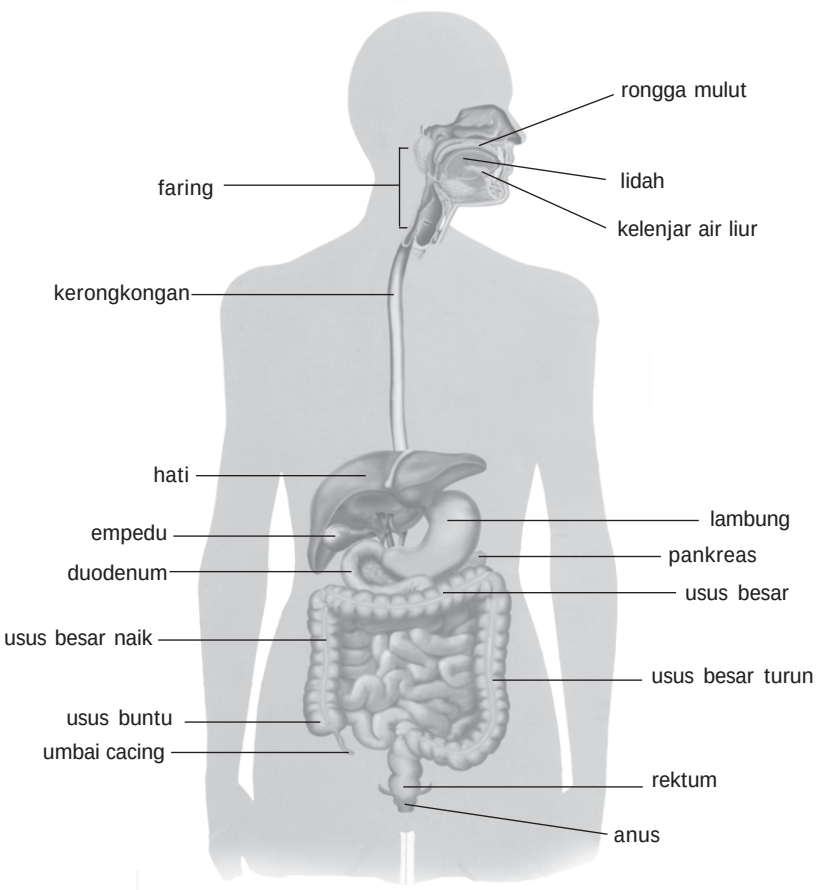


B. Sistem Pencernaan pada Manusia

Pada manusia makanan dicernakan dengan alat-alat pencernaan yang dimulai dari mulut dan berakhir di usus. Hasil-hasil pencernaan akan diserap, sedangkan sisa-sisa pencernaan dibuang melalui alat-alat pengeluaran yang khusus.

Alat-alat pencernaan secara garis besar terbagi menjadi dua, yaitu saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. Saluran pencernaan meliputi rongga mulut (oral), tekak, kerongkongan (esofagus), lambung (ventrikulus), sekum, usus besar (kolon), dan anus.

Organ yang menghasilkan kelenjar pencernaan pada sistem pencernaan manusia terdiri dari kelenjar ludah (glandula salivaris), hati (hepar), kelenjar dinding lambung, dan pankreas.



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 6.1 Sistem pencernaan manusia.

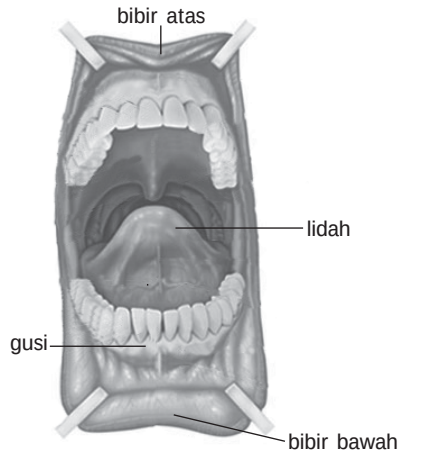
Selanjutnya, marilah kita bicarakan sistem pencernaan manusia ini dengan memulai pembahasan kita dari saluran pencernaan yang kemudian kita lanjutkan dengan membicarakan organ-organ yang berhubungan dengan sistem pencernaan termasuk kelenjar pencernaan. Namun sebelumnya, perhatikan dan pelajarilah Gambar 6.1!

Kata Kunci

- *Amilase*
- *Fundus*
- *Getah lambung*
- *Glandula salivaris*
- *Kalok*
- *Kardiak*
- *Lipase*
- *Mikroveli*
- *Pankreas*
- *Pencernaan kimiawi*
- *Pencernaan mekanik*
- *Peristaltik*
- *Pilorus*
- *Ulkus*
- *Vitamin*

1. Saluran Pencernaan

Seperti telah dikatakan sebelumnya bahwa saluran pencernaan pada manusia terdiri dari rongga mulut (oral), tekak, kerongkongan (esofagus), lambung (ventrikulus), usus halus (intestinum), sekum, usus besar (kolon), dan anus sebagai alat pelepasan sisa makanan. Selanjutnya, marilah kita tinjau satu per satu bagian-bagian alat pencernaan yang membentuk saluran pencernaan yang dimulai dari rongga mulut sampai anus berikut ini!



Sumber: *Encyclopedia Britania, 2003*

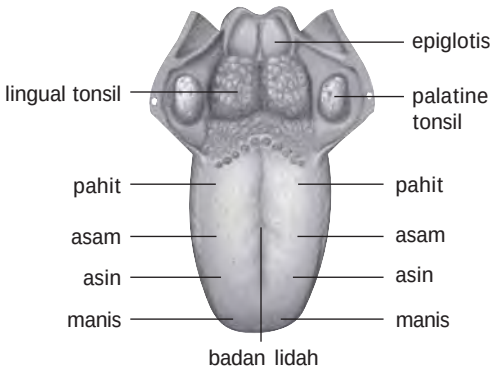
Gambar 6.2 Rongga mulut.

a. Rongga Mulut

Di dalam rongga mulut terdapat beberapa alat pencernaan, yaitu lidah (lingua), kelenjar ludah (glandula salivaris), dan gigi (dentin). Marilah kita lihat masing-masing alat pencernaan yang terdapat di dalam rongga mulut tersebut dan peranannya dalam proses pencernaan makanan.

1) Lidah (lingua)

Permukaan lidah dilapisi oleh lapisan mukosa yang penuh dengan tonjolan yang dinamakan *papila* yang mengandung saraf pengecap. Lidah berfungsi sebagai indera pengecap makanan, mengatur makanan pada saat me-ngunyah dan menelan makanan, serta membantu menghasilkan suara ketika kita berbicara.



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 6.3 Lidah

2) Kelenjar ludah (glandula salivaris)

Kelenjar ludah yang terdapat di dalam rongga mulut manusia terdiri dari:

a) Kelenjar parotis, terletak pada bagian akhir dari rahang atas di depan telinga, terdapat sepasang, salurannya disebut duktus stensen, bermuara di pipi sebelah dalam. Menghasilkan ludah yang berbentuk cair (serosa) dan enzim ptialin.

b) Kelenjar submandibularis terletak di bawah kedua sisi tulang rahang, terdapat sepasang, salurannya disebut *duktus wharton* yang bermuara



Sumber: *Atlas Histologi Manusia, 1989*

Gambar 6.4 Satu kuncup kecap.

di dasar mulut. Menghasilkan ludah yang mengandung air dan lendir (seromukosa).

c) Kelenjar sublingualis, terletak di bagian dasar bawah lidah, dan bermuara ke dalam dasar mulut. Menghasilkan ludah yang mengandung air dan lendir (seromukosa).

Ketiga kelenjar ini menghasilkan 1,5 liter air liur (saliva) per hari. Deras aliran saliva dirangsang oleh adanya makanan dalam mulut, melihat makanan, mencium bau, dan memikirkan makanan. Masing-masing kelenjar beratnya kurang lebih 30 gram.

Apabila dari ketiga kelenjar tersebut salah satunya terkena infeksi maka akan terjadi pembengkakan pada kelenjar tersebut, penyakitnya disebut gondongan (parotitis).

Air liur (saliva) terdiri dari 99,5% air, mengandung *musin* (lendir dari protein) dan enzim ptialin. Ptialin merupakan enzim amilase yang terdapat pada rongga mulut. PH air liur untuk orang yang sehat, yaitu 6,5 – 6,8. Air liur berfungsi untuk membasahi makanan, mencegah kekeringan di mulut, mencernakan amilum oleh enzim ptialin, membunuh kuman oleh lisosom, sebagai bufer, melancarkan faal pengecap, dan sebagai pelindung selaput mulut dari panas, dingin, asam, dan basa.

3) Gigi (dentin)

Berdasarkan fungsinya gigi terbagi menjadi empat macam, yaitu gigi seri (Incicivus = I) yang berfungsi untuk memotong makanan, gigi taring (Caninus = C) yang berfungsi untuk merobek makanan, gigi geraham muka (Premolar = PM), yang berfungsi untuk mengunyah, dan gigi geraham belakang (Molar = M) yang juga berfungsi untuk mengunyah.

Manusia memiliki dua set gigi, yaitu gigi susu berjumlah 20 buah dan gigi permanen berjumlah 32 buah. Semua gigi susu akan tanggal pada saat berusia 6 – 12 tahun, kemudian digantikan oleh munculnya gigi permanen. Berikut adalah rumus gigi susu pada manusia.

2 PM	1C	2I	2I	1C	2 PM
2 PM	1C	2I	2I	1C	2 PM

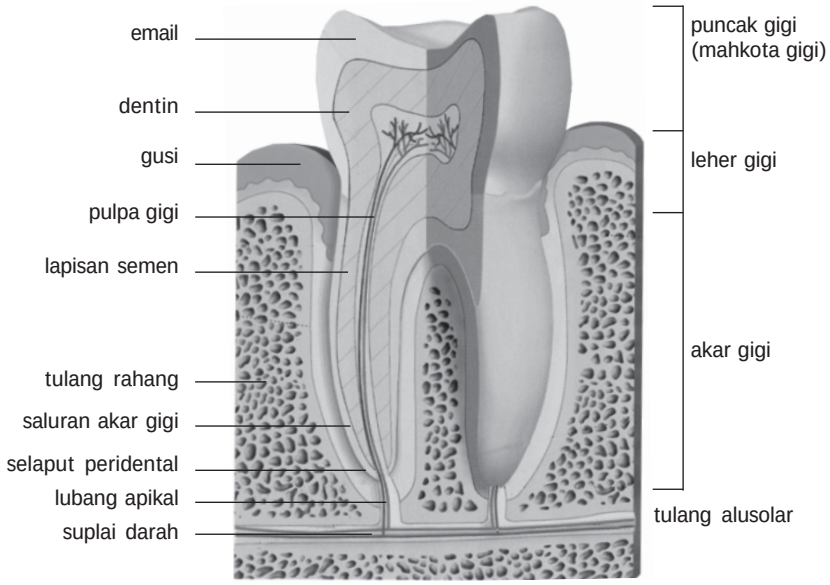


Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

Gambar 6.5 Jumlah gigi susu pada manusia.

Sementara itu, jumlah gigi lengkap sempurna akan tumbuh permanen pada umur 6–12 tahun dengan jumlah sebanyak 32 buah dengan rumus sebagai berikut.

3M	2PM	1C	2I	2I	1C	2 PM	3M
3M	2PM	1C	2I	2I	1C	2 PM	3M



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 6.6 Penampang gigi.

Gigi terpancang di dalam rahang dan dilindungi oleh gusi. Pada umumnya, gigi memiliki penampang sebagai berikut.

1) Puncak gigi (korona), yaitu bagian yang tampak dari luar.
2) Leher gigi (koilum), yaitu bagian yang terlindung di dalam gusi.
3) Akar gigi (radiks), yaitu bagian yang tertanam di dalam rahang.

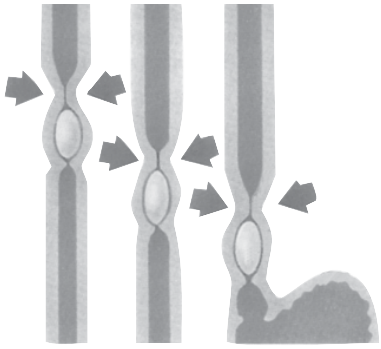
Masing-masing gigi terdiri dari lapisan email yang putih dan keras. Email berfungsi untuk melindungi tulang gigi.

Di dalam gigi terdapat rongga gigi atau vulva yang mengandung pembuluh darah dan urat syaraf. Bagian dentin yang masuk ke rahang dilapisi zat yang disebut semen. Bakteri yang hidup di sela-sela gigi adalah *Entamuba ginggivalis* yang berperan untuk menguraikan sisa-sisa makanan yang tertinggal di dalam mulut.

b. *Tekak (Faring)*

Tekak merupakan pertemuan saluran pernapasan antara rongga hidung dengan tenggorokan dan saluran pencernaan antara rongga mulut dan kerongkongan. Lubang yang menuju tenggorokan, disebut *glotis* dan ditutup oleh klep yang disebut *epiglotis* pada waktu proses menelan. Tekak terdiri dari tiga bagian, yaitu *nasofarings*, *orofarings*, dan *tubaeustachius*.

c. *Kerongkongan*



Sumber: *Modern Biology, 2004*

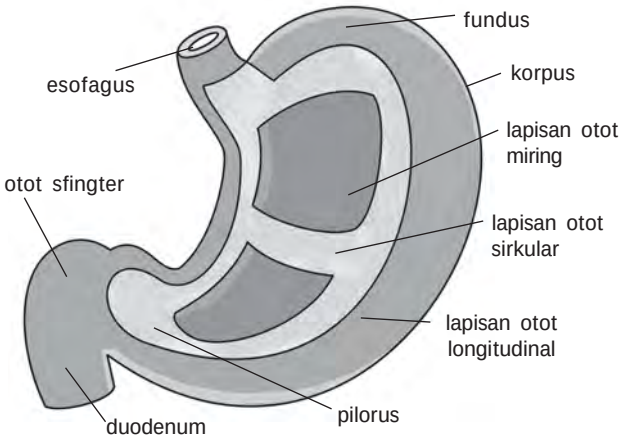
Gambar 6.7 Kerongkongan.

Kerongkongan berdasarkan historisnya terdiri dari empat lapisan, yaitu lapisan mukosa, lapisan submukosa, lapisan muskularis, dan lapisan adventitia. Kerongkongan merupakan saluran penghubung antara mulut dan lambung. Satu pertiga bagian atasnya terdiri dari otot lurik dan dua pertiga bagian bawahnya terdiri dari otot polos. Makanan pada saluran ini hanya membutuhkan waktu enam detik untuk sampai ke lambung karena kontraksi otot lurik pada satu pertiga kerongkongan bagian atas. Gerakan ini terjadi karena otot memanjang dan melingkar dinding esofagus berkontraksi secara bergantian.

d. *Lambung (Ventrikulus)*

Lambung merupakan kantung besar yang terletak di sebelah kiri rongga perut bagian atas dan tepat berada di bawah diafragma. Lambung terdiri dari:

1) lapisan peritoneal luar yang merupakan lapisan serosa;
2) lapisan berotot yang terdiri dari lapisan sirkular (melingkar), lapisan otot obligus (menyerong), dan lapisan otot longitudinal (memanjang);
3) lapisan submukosa yang terdiri dari jaringan areoral berisi pembuluh darah dan limfa;
4) lapisan mukosa yang terletak di sebelah dalam, tebal, dan terdiri atas banyak kerutan atau *rugae*, kerutan tersebut akan hilang jika organ ini mengembang karena berisi makanan dan banyak mengeluarkan mukus.



Sumber: *The Ultimate Visual Dictionary of Science, 1998*

Gambar 6.8 Anatomi lambung.

Ketiga otot yang terdapat pada lambung mengatur gerak peristaltik. Fungsi lambung, yaitu menyimpan makanan sementara dan melakukan pencernaan secara kimiawi dengan bantuan getah lambung. Lambung dibagi menjadi tiga daerah.

1) Daerah *kardiak,* merupakan daerah pintu masuk pertama makanan dari esofagus. Pada bagian ini banyak dihasilkan mukus alkali.
2) Daerah *fundus* yang merupakan daerah bagian tengah lambung yang membulat, menghasilkan HCl dan musin.
3) Daerah *pilorus* yang merupakan bagian di daerah bawah lambung yang berhubungan dengan usus 12 jari (duodenum), menghasilkan mukus alkali.

Pada dinding lambung terdapat kelenjar yang menghasilkan getah lambung yang mengandung musin atau lendir yang mengandung protein, pepsinogen, dan asam klorida (HCl).

Tokoh

CLAUDE BERNARD

Ilmuwan Prancis, Claude Bernard (1813-1878) dikenal sebagai penemu percobaan fisiologi yang menyelidiki cara kerja bahan-bahan kimia dalam tubuh. Ia menemukan bahwa hanya beberapa tahap pencernaan terjadi di lambung, sisanya terjadi di usus kecil. Ia juga menyelidiki peranan hati dan pankreas, dan mengawali prinsip "homeostatis", suatu pendapat bahwa di dalam tubuh diperlukan keadaan-keadaan yang selalu konstan.



Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*

Dinding lambung juga menghasilkan hormon gastrin yang langsung diserap pembuluh darah. Hormon gastrin ini fungsinya untuk merangsang pengeluaran getah lambung.

Makanan hasil dari pencernaan di rongga mulut disebut *bolus***.** Bolus kemudian dicerna lagi di lambung selama ± 10 menit. Seluruh makanan dalam lambung itu akan meninggalkannya lambung setelah ± 6 jam diisi makanan. Makanan dalam lambung

teraduk dan bercampur dengan getah lambung sehingga berbentuk seperti bubur, disebut *chymus*.

Ujung pilorus mengandung otot sfingter untuk mengatur chymus turun ke usus halus. Turunnya chymus dari lambung melalui pilorus dibantu oleh gerak peristaltik.

Gerak peristaltik merupakan kontraksi otot-otot lambung di sekitar *chyme* yang dapat menyebabkan *chyme* terdorong menuju usus halus. Dengan demikian, di lambung terjadi pula pencernaan makanan secara mekanis oleh gerak peristaltik.

Getah lambung (sukus gastrikus) dihasilkan 2-3 liter/hari dengan pH 1,0–1,5 sehingga mampu membunuh kuman-kuman dalam makanan. Pengeluaran getah lambung sangat dipengaruhi oleh banyaknya makanan yang masuk ke lambung. Jika makanan yang masuk sedikit, tetapi sekresi HCl berlebihan, maka dinding lambung akan rusak dan menimbulkan radang (ulkus).

Tugas

1. Gambarlah organ sistem pencernaan pada manusia! Berilah keterangan pada setiap organ tersebut dan tandailah dengan angka urutan saluran pencernaannya!
2. Lakukan hal yang sama seperti nomor satu pada gambar sistem pencernaan sapi atau kelinci!
3. Bandingkan persamaan dan perbedaan di antara keduanya! Buatlah dalam bentuk tabel!

Macam-macam getah lambung adalah sebagai berikut.

1) HCl dapat mengaktifkan pepsinogen menjadi pepsin untuk memecah protein menjadi pepton.

$$\text{Pepsinogen} \xrightarrow{\text{HCl}} \text{Pepsin}$$

$$\text{Protein} \xrightarrow{\text{Pepsin}} \text{Pepton}$$

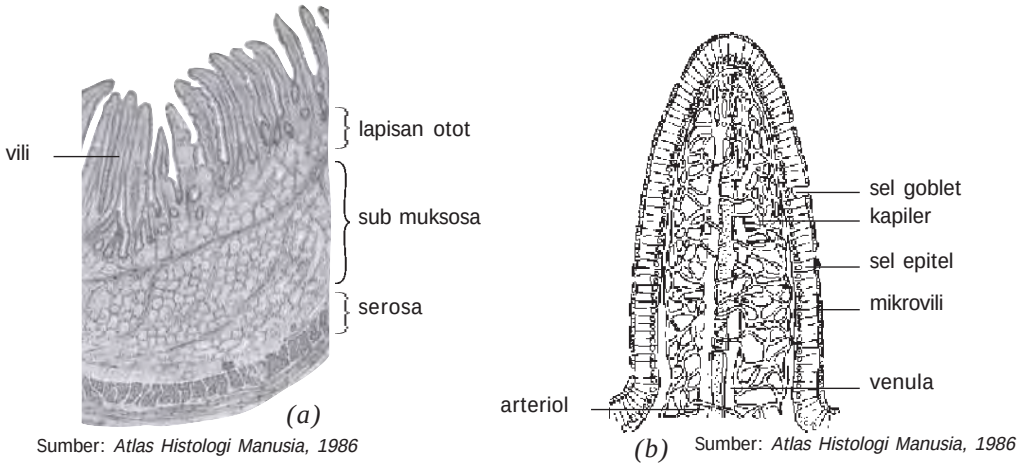
2) Renin terdapat pada anak hewan yang juga terdapat pada tubuh manusia, berfungsi untuk menggumpalkan susu.

$$\text{Kaseinogen} \xrightarrow{\text{renin}} \text{kasein yang menggumpalkan susu}$$

3) Lipase lambung untuk menghidrolisis lemak.
4) Intrinsik faktor, berfungsi untuk membantu usus menyerap vitamin B_{12}. Vitamin B_{12} ada yang disintesis oleh bakteri lambung.

Di daerah pilorus lambung terdapat otot sfingter. Otot sfingter ini akan mengendur apabila terkena asam, dan mengerut apabila terkena basa. Sebaliknya, otot pilorus di daerah pangkal usus 12 jari yang berbatasan dengan lambung akan mengerut apabila terkena asam dan mengendur apabila terkena basa. Keadaan seperti ini yang akan mengatur pengeluaran makanan dari lambung ke usus sedikit demi sedikit.

e. Usus Halus (Intestinum)



Gambar 6.9 (a) Penampang duodenum (b) penampang rinci satu vilus.

Usus halus terdiri dari tiga bagian, yaitu duodenum (usus 12 jari) yang panjangnya ± 0,25 cm, Jejunum (usus kosong) yang panjangnya ± 7 meter, dan ileum (usus penyerapan) yang panjangnya ± 1 meter. Pada lapisan dalam atau tunica mukosa, jejunum dan ileum terdapat tonjolan-tonjolan halus yang disebut *vilus* (jamak = vili) yang berfungsi untuk memperluas permukaan dinding usus dalam penyerapan sari makanan.

Karbohidrat diserap dalam bentuk glukosa, sedangkan protein diserap dalam bentuk asam amino. Glukosa dan asam amino dibawa oleh darah ke hati melalui vena porta hepatica. Dalam hati glukosa yang berlebihan diubah menjadi glikogen dengan bantuan hormon insulin. Glikogen disimpan dalam otot dan hati, sedangkan glukosa yang diperlukan dari hati dialirkan ke jantung melalui vena cava inferior.

Lemak dicerna menjadi asam lemak dan gliserol. Sebelum diserap oleh usus, asam lemak diemulsikan terlebih dahulu oleh garam empedu, kemudian dicerna oleh enzim lipase menjadi asam lemak dan gliserol. Penyerapannya melalui proses difusi, osmosis, filtrasi, dan transportasi aktif.

Di dalam vilus, asam lemak dan gliserol dibawa oleh pembuluh limfa (getah bening) yang bermuara pada vena cava, sedangkan garam empedu akan masuk ke dalam darah menuju hati untuk dijadikan empedu kembali. Vitamin dan garam-garam empedu tidak mengalami pencernaan.

Getah usus (sukus enterikus) dihasilkan oleh dua macam kelenjar, yaitu kelenjar burner dan kelenjar leiberkuhn. Kelenjar Burner berada di duodenum menghasilkan musin dan enzim proteolisis (pemecah protein), sedangkan kelenjar Leiberkuhn berada di sepanjang usus halus, bermuara di celah-celah vili menghasilkan getah usus.

Getah usus mengandung bahan organik dan anorganik. Bahan organik terdiri atas enzim-enzim sebagai berikut.

1) Amilase yang memecah amilum menjadi disakarida.
2) Pepsin yang memecah peptida menjadi asam amino.
3) Erepsin berasal dari erepsinogen oleh enzim enterokinase dengan proses sebagai berikut.

$$\text{Erepsinogen} \xrightarrow{\text{enterokionase}} \text{erepsin}$$

4) Lipase, merupakan enzim pemecah gliserida (lemak) menjadi asam lemak dan gliserol.
5) Disakarase, merupakan pemecah disakarida menjadi monosakarida.
6) Fosfatase, enzim untuk memperlancar proses penyerapan asam lemak dan glukosa.
7) Enterokinase, merupakan enzim tripsinogen dari pankreas menjadi tripsin.

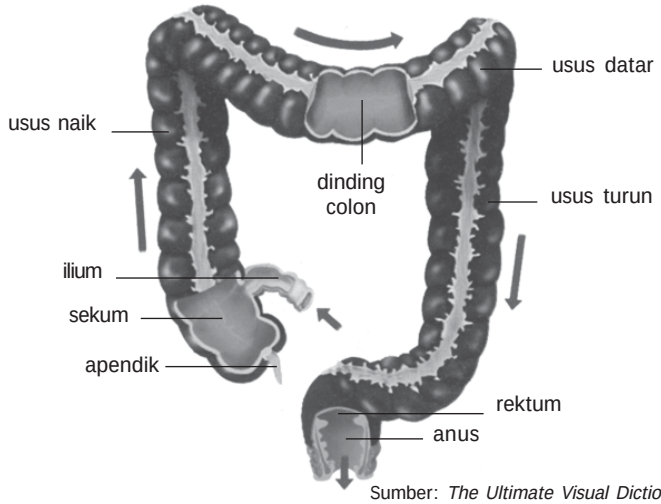
f. Sekum (Caecum)

Pada ujung usus halus terdapat katup yang disebut katup *bauhini* (katup ileosekal) yang berfungsi mencegah makanan masuk kembali ke usus halus. Pangkal usus besar disebut sekum dengan kepanjangannya yang disebut rumbai cacing (apendiks).

Pada ruminansia atau hewan memamah biak, sekum berbentuk kantong berwarna hijau tua. Sekum berfungsi menyimpan makanan agak lama sehingga dalam sekum terjadi pencernaan makanan oleh bakteri, terutama pencernaan selulosa. Bakteri-bakteri ini mengasilkan enzim selulosa untuk memecahkan selulosa menjadi glukosa.

g. Usus Besar (Colon)

Pada usus besar tidak terdapat vili sehingga tidak terjadi penyerapan sari-sari makanan, tetapi terjadi penyerapan air sehingga feses menjadi lebih padat. Pada colon juga terjadi proses pembusukan sisa pencernaan oleh bakteri *Escherichia coli* yang menghasilkan gas H_2S, NH_4, indole, skatole, phenol, dan vitamin K (berperan dalam proses pembekuan darah). Colon atau usus besar ini terbagi menjadi tiga bagian, yaitu asenden atau usus halus, transversum atau usus datar, dan desendens atau usus turun.



Sumber: *The Ultimate Visual Dictionary of Science, 1998*

Gambar 6.10 Usus besar.

h. Anus

Bagian kolon paling akhir disebut rektum yang panjangnya ± 15 cm dan diakhiri dengan anus (dubur). Pada anus terdapat otot volunter yang dikendalikan oleh kehendak kita.

2. Kelenjar dan Organ Sistem Pencernaan

Kamu telah mengetahui bahwa dalam mencerna makanan terjadi pencernaan makanan secara mekanik dan kimiawi. Pencernaan makanan secara kimiawi melibatkan enzim untuk proses pencernaannya. Enzim-enzim ini dikeluarkan oleh organ pencernaan sewaktu makanan melewati beberapa lokasi saluran pencernaan.

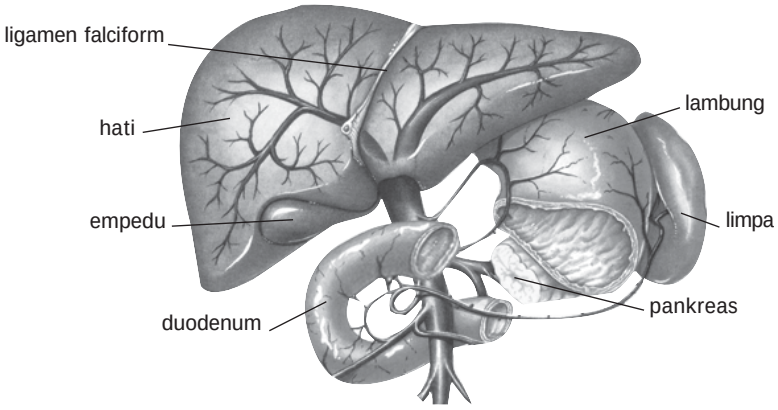
a. Hati (Hepar)

Seperti telah dijelaskan pada uraian sebelumnya, setelah makanan dicerna sampai menjadi sari-sari makanan, sari-sari makanan itu selanjutnya diserap oleh usus halus, namun sebelumnya akan melalui hati terlebih dahulu. Hati adalah kelenjar pencernaan terbesar yang memiliki fungsi untuk mengatur keseimbangan kadar gula dalam darah, mensekresikan cairan empedu, merombak eritrosit yang sudah tua, mensistensis albumin, globulis, dan fibrinogen.

Empedu (chole) merupakan suatu cairan setengah kental berwarna kuning keemasan (kehijauan), pH-nya 7,6–8,6, berasa pahit sekali. Pada cairan empedu terdapat garam-garam empedu, pigmen empedu, air, kolesterol, dan lesitin. Garam-garam empedu dapat mengemulsikan lemak agar mudah diserap ke dalam darah. Di samping itu, empedu juga sebagai penghasil pigmen bilirubin dan biliverdin. Pada feses pigmen ini sering terlihat berwarna cokelat.

Empedu berfungsi mengurangi tegangan permukaan lemak, mengaktifkan lipase dalam usus, memberi warna feses, menolong daya absorpsi lemak pada dinding usus, dan menciptakan reaksi alkali pada usus (klorida dan bikarbonat).

Penggetahan empedu dikendalikan oleh suatu hormon yang dinamakan sekretin dan pengeluaran empedu diatur oleh hormon koleositokinin.



Sumber: *The Ultimate Visual Dictionary of Science, 1998*

Gambar 6.11 Diagram anatomi hubungan antara hati, duodenum, dan pankreas.

Untuk mengatur keseimbangan kadar gula dalam darah, hati harus bekerja sama dengan pankreas sebagai penghasil enzim insulin dan glukagon. Apabila kadar gula dalam darah tinggi, insulin yang dikeluarkan pankreas akan merangsang hati untuk mengabsorpsi glukosa dan mengubahnya menjadi glikogen. Dengan begitu, kadar glukosa dalam darah dapat diturunkan hingga mendekati normal.

Untuk menurunkan kadar gula dalam darah, hormon insulin tidak hanya bekerja dengan hati. Terdapat beberapa cara insulin untuk menurunkan kadar gula darah, yaitu sebagai berikut.

1) Merangsang sel-sel tubuh agar lebih banyak menyerap glukosa dari darah.
2) Merangsang hati untuk menyerap gula darah (glukosa).
3) Merangsang sel-sel lemak untuk mengambil glukosa dan mengubahnya menjadi lemak.
4) Insulin dapat merangsang sel-sel untuk mempercepat proses respirasi seluler yang mempergunakan glukosa.

Di samping insulin, pankreas juga berfungsi sebagai penghasil glukagon. Glukagon adalah sejenis hormon yang dapat merangsang hati mengubah gula yang tersimpan dalam glikogen untuk dikembalikan menjadi glukosa. Selain itu, glukagon dapat pula mengeluarkan glukosa jika kadar glukosa dalam darah terlalu rendah.

Dengan demikian, dari uraian tersebut kita dapat mengambil kesimpulan, bahwa hormon insulin dan glukagon bekerja bersama-sama dalam mengatur keseimbangan kadar gula darah. Dapat diartikan bahwa insulin bekerja saling antagonis dengan glukagon. Orang yang menderita kekurangan insulin biasanya memperlihatkan gejala lemah, lesu, dan mudah capai karena kadar gula darahnya sangat tinggi. Namun, gula darah tersebut tidak bisa diubah menjadi energi. Penyakit yang disebabkan kekurangan insulin disebut *diabetes melitus.*

b. Pankreas

Pankreas berada di dalam lipatan duodenum berbentuk huruf 'U' yang panjangnya ± 12 cm dan tebalnya ± 2,5 cm. Pada pankreas terdapat dua macam kelenjar, yaitu kelenjar endokrin dan kelenjar eksokrin.

Bagian eksokrin berbentuk asinus-asinus. Bagian asinus-asinus ini akan mensekresikan cairan yang kaya enzim ataupun proenzim, sedangkan bagian saluran-salurannya mensekresikan cairan yang kaya HCO_3^-. Kedua cairan ini bersatu membentuk getah pankreas. Getah pankreas ini diproduksi ± 1.500 ml setiap harinya.

Bagian endokrin merupakan sisa dari sel-sel kelenjar pankreas. Apabila kita melihatnya di bawah mikroskop, bagian endokrin akan tampak terletak di antara "lautan" asinus-asinus kelenjar eksokrin seolah-olah seperti "pulau", sehingga disebut *pulau-pulau langerhans.*

C. Gangguan pada Sistem Pencernaan Makanan

Beberapa kelainan atau gangguan pada sistem pencernaan yang sering kita dengar, yaitu penyakit maag. Di samping penyakit ini ada beberapa lagi yang perlu anda ketahui, antara lain berikut ini.

1. Ulkus (Tukak Lambung)

Ulkus merupakan suatu penyakit pencernaan yang disebabkan oleh adanya kerusakan pada selaput lendir karena faktor-faktor psikosomatis, toksin, atau akibat bakteri*(Streptococcus sp)*. Faktor psikosomatis, yaitu kelainan yang menyebabkan penderitanya selalu ketakutan, kecemasan, keinginan yang berlebihan, kelelahan yang dapat merangsang sekresi HCl yang berlebihan. HCl yang dikeluarkan lambung apabila berlebihan sangat berbahaya, karena dapat merusak selaput lendir lambung.

2. Kolik

Penyakit ini memperlihatkan gejala rasa nyeri pada perut. Kolik disebabkan oleh makanan yang mengandung zat-zat perangsang seperti cabai dan lada.

3. Parotitis

Parotitis merupakan penyakit radang pada kelenjar parotis, yang biasa dikenal dengan nama penyakit gondong.

4. Peritonitis

Peritonitis adalah infeksi pada rongga perut.

5. Konstipasi/sembelit

Sembelit adalah gangguan pencernaan dimana penderitanya mengalami sulit buang air besar karena feses terlalu keras.

6. Diare

Diare adalah kelainan pencernaan yang disebabkan adanya infeksi pada colon yang disebabkan oleh bakteri. Penderita diare ketika buang air besar fesesnya encer, apabila tidak segera dicegah dapat menimbulkan dehidrasi.

7. Apendisitis

Apendisitis, yaitu peradangan pada bagian usus besar yang kita kenal sebagai apendiks (usus buntu) atau umbai cacing.

8. Malnutrisi

Mulnutrisi yang sangat berbahaya, yaitu kwashiorkor karena penyakit ini dapat mengakibatkan sel-sel pankreas atropi (penyusutan organ) dan kehilangan banyak retikulum endoplasma. Akibatnya, pembentukan beberapa enzim pencernaan dapat terganggu.

D. Sistem Pencernaan pada Hewan

Pada subbab ini akan dipelajari mengenai sistem pencernaan pada burung dan mamalia memamah biak (ruminansia).

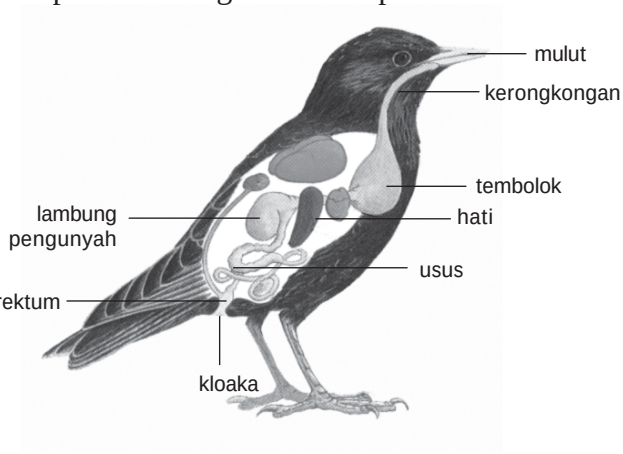
1. Sistem Pencernaan pada Burung

Burung memiliki jenis makanan yang berbeda-beda, ada burung pemakan daging, biji-bijian, buah-buahan, serangga, bahkan ada pula burung pemakan madu. Sesuai dengan perbedaan jenis makanannya maka alat-alat pencernaan pada burung pun berbeda-beda. Namun, secara garis besar alat-alat pencernaannya sama. Oleh karena itu, untuk mempelajarinya kita dapat memakai salah satu jenis burung saja. Pada pembahasan mengenai sistem pencernaan burung ini, kita akan memakai burung pemakan biji-bijian yaitu merpati.

Alat pencernaan pada burung merpati terdiri dari *mulut, kerongkongan, tembolok, lambung, usus,* dan *kloaka.* Dalam mulut burung tidak terdapat gigi, makanan diambil dari lingkungan sekitarnya dengan paruhnya, kemudian ditelan. Melalui kerongkongan makanan masuk ke dalam tembolok dan disimpan sementara. Tembolok merupakan pembesaran dari kerongkongan bagian bawah. Kenyang tidaknya bangsa unggas ini terlihat pada bagian temboloknya karena tembolok akan menjadi besar setelah makan. Dari tembolok makanan akan masuk ke dalam lambung.

Lambung bangsa unggas dibedakan menjadi dua, yaitu lambung kelenjar dan lambung pengunyah. Lambung kelenjar menghasilkan getah pencernaan untuk mencernakan makanan secara kimiawi. Pada bagian dalam lambung pengunyah terdapat otot-otot yang kuat. Di sini makanan digilas dan diremas dengan bantuan kerikil yang ditelan bersama makanan. Dalam lambung pengunyah (empedal) terjadi pencernaan secara mekanik. Dari lambung pengunyah makanan kemudian masuk ke dalam usus halus.

Dalam usus halus makanan dicerna secara kimiawi dengan bantuan getah dari pankreas dan getah dari empedu. Di sini sari-sari makanan hasil pencernaan diserap oleh dinding usus, sisanya masuk ke dalam usus besar. Di antara usus halus dan usus besar terdapat usus buntu. Usus buntu burung ada dua buah dan berukuran besar. Usus buntu berfungsi untuk memperluas bidang penyerapan. Dari usus besar feses didorong ke dalam rektum, yang kemudian dikeluarkan melalui kloaka. Kloaka merupakan tempat bermuaranya tiga saluran, yaitu saluran dari ginjal, saluran kelenjar kelamin, dan saluran makanan.



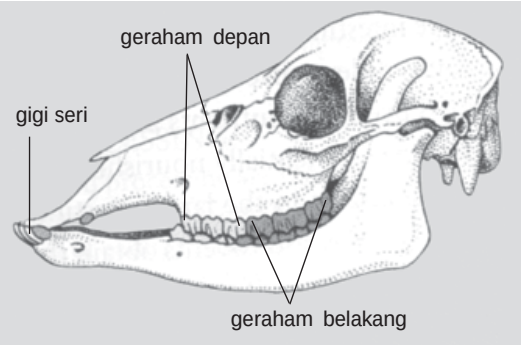
Sumber: *Children Ilustrated Encyclopedia, 2003*

Gambar 6.12 Sistem pencernaan burung.

2. Sistem Pencernaan pada Mamalia Memamah Biak (Ruminansia)

Mamalia memamah biak atau yang biasa disebut ruminansia makanannya berupa rumput atau tumbuh-tumbuhan sehingga anggotanya merupakan hewan golongan herbivora. Hewan memamah biak ini, misalnya sapi, kerbau, dan kambing.

Pada rongga mulut hewan memamah biak itu terdapat lidah untuk membantu mengatur letak makanan dan menelan. Selain itu, lidah juga berguna untuk merenggut makanannya.



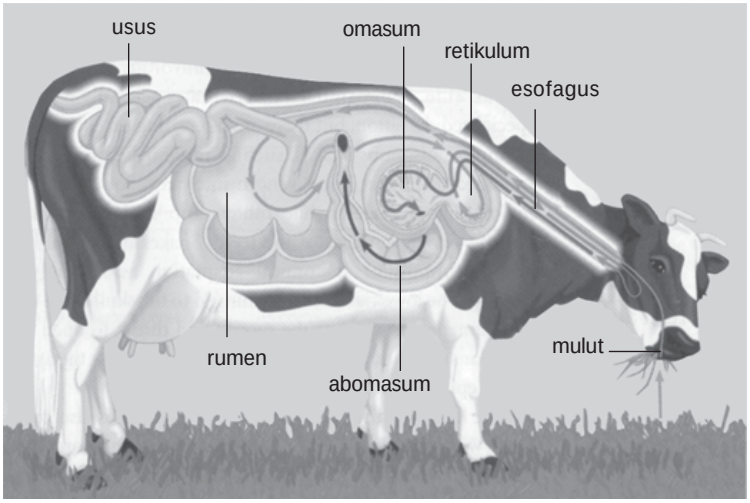
Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 6.13 Susunan gigi pada ruminansia (sapi).

Gigi pada hewan memamah biak susunannya terdiri dari gigi seri untuk memotong makanan dan geraham untuk menggilas. Gigi seri hanya terdapat pada rahang bawah. Gerakan rahang yang terlihat ke kiri dan ke kanan adalah gerakan menggilas makanan. Bentuk geraham lebar, datar pada permukaan, dan kuat. Di antara gigi seri dan geraham terdapat ruang yang tidak ditumbuhi gigi. Ruang itu disebut diasterna. Melalui diasterna inilah sapi, kerbau, atau kambing menjulurkan lidahnya merenggut rumput. Makanan tersebut tidak dikunyah, tetapi langsung ditelan masuk ke perut (perut besar).

Perut ruminansia dibedakan menjadi empat, yaitu *perut besar (rumen), perut jala (retikulum), perut kitab (omasum),* dan *perut masam (abomasum).* Perut besar, jala dan kitab sebenarnya merupakan modifikasi kerongkongan (esofagus), sedangkan yang dimaksud dengan perut yang sebenarnya adalah perut masam (abomasum).

Makanan dari rongga mulut masuk ke dalam perut besat (rumen). Dalam perut besar terjadi fermentasi selulosa dengan bantuan bakteri. Hasil fermentasinya berupa asam laktat, asam lemak, asam asetat, vitamin, dan gas. Hasil fermentasi tersebut sebagian diserap di dalam rumen, sebagian gas diabsorpsi, kemudian dikeluarkan melalui paru-paru, dan ada pula yang dikeluarkan pada saat sendawa melalui perut.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 6.14 Sistem pencernaan makanan pada ruminansia (sapi).

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai sistem pencernaan makanan yang dibahas pada bab ini, kunjungi website: http://acm.uivc.edu/sigbio/project/digestive/index.html

Dari perut besar makanan diteruskan ke perut jala (retikulum). Di sini makanan dicerna secara kimiawi menjadi bentuk gumpalan-gumpalan kecil. Selanjutnya, gumpalan tersebut dikeluarkan lagi ke dalam rongga mulut untuk dikunyah kembali. Karena mengunyah makanan dua kali, ruminansia disebut hewan memamah biak. Proses ini biasa berlangsung pada saat hewan sedang beristirahat. Setelah dikunyah, makanan ditelan lagi masuk ke dalam perut kitab (omasum), di sini terjadi penyerapan air. Selanjutnya, makanan diteruskan ke dalam perut masam (abomasum) untuk dicerna secara kimiawi. Pada bagian perut ini bakteri akan mati dan dicerna sebagai protein ruminansia.

Hasil pencernaan masuk ke dalam usus dua belas jari dan masuk ke dalam usus halus. Di dalam usus halus terjadi penyerapan hasil pencernaan. Sisa makanan yang tidak diserap masuk ke usus besar, mengalami penyerapan air, dan pembusukan menjadi feses. Feses terkumpul di dalam rektum dan selanjutnya dikeluarkan melalui anus. Pada kuda dan kelinci proses pencernaan makanan juga terjadi simbiosis dengan bakteri di dalam usus buntu. Bakteri ini membantu mencernakan selulosa.

Rangkuman

Proses pencernaan dibagi menjadi tiga, yaitu pencernaan mekanis yang bertujuan untuk mengubah bentuk makanan menjadi lebih kecil agar mudah ditelan dan dicerna. Pencernaan kimiawi bertujuan untuk menguraikan makanan menjadi bentuk yang lebih halus dengan bantuan enzim pencernaan, sedangkan pencernaan biologis bertujuan menguraikan dan membusukkan makanan dengan bantuan organisme lain.

Sistem pencernaan makanan tersusun atas saluran pencernaan dan kelenjar pencernaan. Saluran pencernaan secara beruntun terdiri atas rongga mulut - esofagus - lambung - usus halus (intestinum), dan usus besar (kolon). Proses pencernaan makanan dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu pencernaan secara mekanis (gigi dan otot saluran cerna) dan pencernaan kimiawi (dengan enzim pencernaan). Bahan makanan untuk pertama kalinya masuk ke rongga mulut. Di dalam rongga mulut makanan mengalami proses pencernaan secara mekanis dengan bantuan gigi dan otot lidah, serta pencernaan kimiawi oleh enzim ptialin. Pada lambung juga terjadi pencernaan secara mekanis yang dibantu gerak peristaltik. Pencernaan kimiawi di lambung adalah untuk mengubah protein menjadi proteosa dan yang mekanismenya dibantu oleh enzim pepsin. Di usus halus, makanan mengalami proses pencernaan lemak menjadi asam lemak dan gliserol yang dibantu oleh

enzim lipase. Selain itu, di usus halus terjadi pencernaan protein dan pepton menjadi dipeptida dan asam amino yang dibantu oleh enzim tripsin. Di usus besar tidak terjadi proses pencernaan, tetapi hanya penyerapan air.

Kelenjar-kelenjar pencernaan penghasil enzim, antara lain kelenjar saliva, pankreas, kelenjar parotis, kelenjar submaksilaris, kelenjar sublingual, dan hati. Gangguan-gangguan yang terjadi pada alat pencernaan, yaitu tukak lambung, kolik, parotitis, peritonitis, konstipasi, diare, usus buntu, dan malnutrisi.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang tepat!

1. Dalam air liur manusia terdapat enzim ptialin yang bertugas untuk . . . .
   A. memecahkan protein menjadi peptida
   B. merombak peptida menjadi asam amino
   C. menguraikan lemak menjadi asam lemak dan gliserol
   D. memecahkan protein menjadi asam amino
   E. menghidrolisis polisakarida menjadi maltosa
2. Getah lambung yang mengubah protein menjadi albumosa dan pepton adalah . . . .
   A. lipase C. asam klorida E. gastrin
   B. kimase D. pepsinogen
3. Fungsi empedu untuk . . . .
   A. mengemulsikan zat lemak dan memengaruhi penyerapan vitamin K
   B. mengatur distribusi makanan dan memengaruhi penyerapan vitamin B
   C. desinfektans dan memengaruhi kerja hati
   D. mengatur suhu tubuh dan memengaruhi penyerapan vitamin K
   E. mengatur kadar glukosa agar tetap stabil dan memengaruhi penyerapan garam-garam mineral
4. Peristiwa konstipasi (sembelit) pada defekasi dapat terjadi karena . . . .
   A. terlalu banyak air yang diserap dinding kolon
   B. infeksi pada dinding kolon
   C. infeksi pada usus buntu
   D. radang pada selaput dinding rongga perut
   E. produksi getah lambung berlebih
5. Penyakit marasmus disebabkan oleh kekurangan zat . . . .
   A. karbohidrat C. protein E. mineral-mineral
   B. lipida D. vitamin B1

6. Di bawah ini yang bukan merupakan fungsi vitamin D bagi tubuh kita adalah . . . .
   A. mengatur kadar zat kapur dan fosfor dalam darah
   B. memengaruhi kerja kelenjar endokrin
   C. memengaruhi proses penulangan
   D. memengaruhi proses pembelahan sel
   E. memperbesar penyerapan zat kapur dan fosfor
7. Yang dimaksud dengan pencernaan secara kimiawi adalah . . . .
   A. pergerakan makanan di dalam usus
   B. penyerapan makanan oleh epitel usus
   C. penggunaan enzim pencernaan untuk memecah zat-zat makanan
   D. pemecahan zat-zat makanan sampai dapat diserap oleh usus
   E. penghancuran makanan secara mekanik
8. Penyakit pelagra dengan gejala 3D (dermatitis, diare, dan dimensia) disebabkan oleh kekurangan . . . .
   A. vitamin C
   B. vitamin A
   C. asam nikotin dan piridoksin
   D. biotin dan kolin
   E. vitamin D
9. Agar protein dapat diserap oleh usus, maka . . . .
   A. harus dicerna lebih dahulu menjadi asam lemak dan gliserol
   B. harus dicerna lebih dahulu menjadi asam amino oleh enzim
   C. tetap dalam bentuk protein asalkan cair
   D. tetap dalam bentuk protein asalkan halus
   E. harus dicerna lebih dahulu menjadi monosakarida
10. Zat makanan pada proses metabolisme yang menghasilkan energi tertinggi untuk satuan berat yang sama . . . .
   A. karbohidrat
   B. lemak
   C. protein
   D. vitamin
   E. serat

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Bagaimanakah proses pencernaan protein sampai dapat diserap oleh usus? Terangkan!
2. Mengapa lemak dikatakan sebagai nutrisi yang paling banyak menyediakan energi?
3. Apakah yang akan terjadi jika tubuh seseorang kekurangan protein? Jelaskan!
4. Apakah fungsi empedu? Di manakah empedu dihasilkannya?
5. Bagaimana jika sekeresi HCl berlebihan sedangkan, makanan yang masuk sedikit? Apakah fungsi HCl?

* * *

Bab 7

Sistem Pernapasan



Sumber: *www.cheongieon.net, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- mendeskripsikan struktur dan fungsi organ-organ respirasi pada manusia;
- menjelaskan peranan sistem pernapasan di dalam mendukung sistem organ lainnya;
- menjelaskan mekanisme pertukaran gas antara jaringan dengan darah dan antara paru-paru dengan lingkungan;
- menjelaskan berbagai kelainan dan penyakit pada sistem pernapasan beserta teknologi yang berhubungan;
- menjelaskan sistem pernapasan pada beberapa jenis hewan.

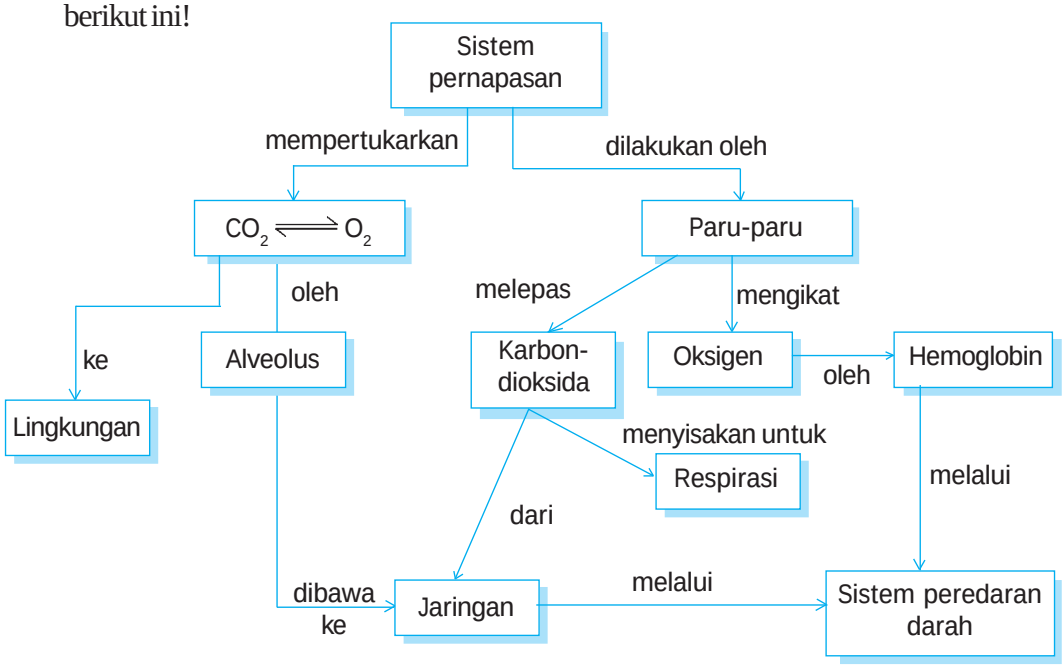
A. Pendahuluan

Seperti yang telah kita ketahui, setiap sel di tubuh memerlukan O_2 untuk respirasi dan membuang CO_2 sebagai sisa metabolisme. Kenyataannya, tidak semua sel memiliki akses untuk mempertukarkan gas-gas tersebut ke lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem organ untuk menjembatani antara lingkungan luar dan sel-sel tubuh.

Pada dasarnya, pengertian respirasi adalah penggunaan oksigen sebagai pengoksidasi dalam berbagai proses metabolisme tubuh. Akan tetapi, secara sistem respirasi mengacu kepada pertukaran gas antara tubuh dan lingkungan oleh sistem pernapasan. Oleh karena itu, pernapasan dapat diartikan sebagai proses masuknya oksigen ke dalam tubuh dan keluarnya karbon dioksida melalui sistem pernapasan. Paru-paru merupakan organ terbesar pada sistem pernapasan. Paru-paru memiliki peranan yang sangat penting dalam proses pernapasan karena merupakan tempat pertukaran gas oksigen (O_2) dan karbon dioksida (CO_2). Karena memiliki fungsi yang sangat penting, paru-paru harus senantiasa dijaga kesehatannya agar terhindar dari gangguan ataupun terserang penyakit. Olahraga renang merupakan salah jenis olahraga yang dapat menjaga kesehatan paru-paru.

Pada kondisi normal, paru-paru dapat mengembang dan berelaksasi kembali ke bentuk semula sebanyak 12 – 20 kali per menit. Apakah Anda mengetahui bagaimana mekanisme pernapasan terjadi pada manusia? Organ apa saja yang terlibat di dalamnya?

Agar anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikan peta konsep berikut ini!



B. Pengertian Pernapasan

Kata Kunci

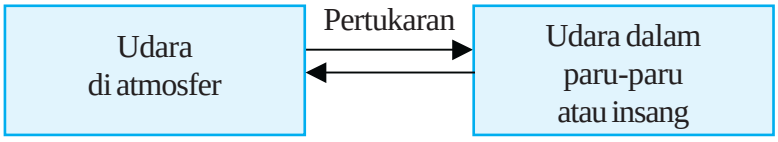
- *Aerob*
- *Anaerob*
- *Difusi*
- *Ekspirasi*
- *Eksternal*
- *Internal*
- *Trakea*
- *Udara komplementer*
- *Udara residu*
- *Udara tidal*

Pada dasarnya pernapasan merupakan serangkaian pengambilan oksigen melalui alat pernapasan dan pengeluaran sisa oksidasi yang berupa karbon dioksida dan uap air. Pernapasan meliputi proses inspirasi dan ekspirasi. Inspirasi adalah pemasukan udara luar ke dalam tubuh melalui alat-alat pernapasan. Ekspirasi merupakan pengeluaran udara pernapasan dari alat pernapasan.

Pada beberapa makhluk hidup tingkat tinggi seperti hewan vertebrata dan manusia, masuknya oksigen ke dalam tubuh terjadi melalui perantaraan alat-alat pernapasan. Proses respirasi berlangsung dalam tiga tahap, antara lain berikut ini.

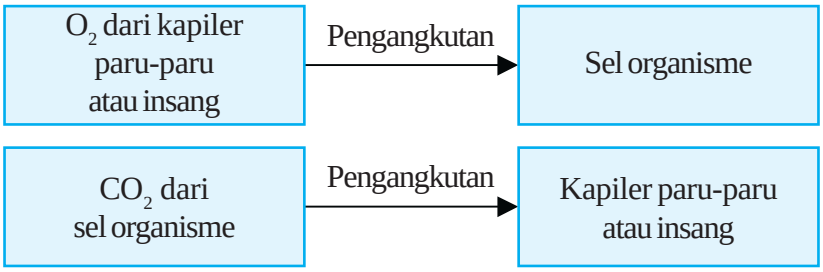
1. Respirasi Eksternal

Respirasi eksternal adalah proses pertukaran oksigen dan karbon dioksida antara udara di atmosfer dan udara di dalam paru-paru. Hal ini berlaku pada hewan yang hidup di darat. Bagi hewan-hewan yang hidupnya di air, respirasi eksternal merupakan proses pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida antara udara di dalam medium air dan udara dalam insang.



2. Pengangkutan Gas Oksigen dan Karbon Dioksida

Pengangkutan atau transportasi gas terdiri atas dua proses, yaitu transportasi oksigen dari kapiler paru-paru atau kapiler insang diedarkan ke seluruh sel-sel organisme dan transportasi karbon dioksida dari sel-sel organisme ke kapiler paru-paru atau insang.

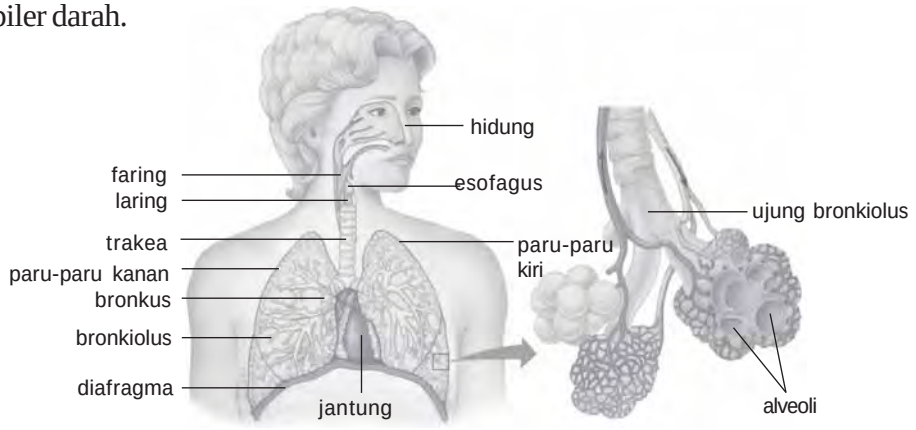


3. Respirasi Internal

Oksigen yang diperoleh dari lingkungan digunakan pada proses pembakaran untuk menghasilkan energi, sedangkan sebagai hasil sampingannya adalah karbon dioksida yang harus dikeluarkan dari tubuh. Proses respirasi internal sering kali disebut sebagai *respirasi seluler,* karena proses respirasi ini terjadi di dalam sel, yaitu di dalam sitoplasma dan mitokondria. Respirasi internal atau seluler terjadi melalui beberapa tahap, yaitu *glikolisis, siklus krebs,* dan *transport elektron (transfer elektron)* yang akan dipelajari di kelas XII.

C. Organ Pernapasan

Pada mamalia, paru-paru terdiri dari beberapa gelambir. Bronkus memasuki paru-paru kemudian bercabang-cabang sampai akhirnya ke bagian yang menggelembung berdinding tipis, disebut alveoli, selalu basah dan banyak mengandung kapiler darah.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 7.1 Bagian-bagian dalam paru-paru pada mamalia. Selain pembuluh darah, di dalam paru-paru juga terdapat pembuluh limfa

Alveoli merupakan tempat pertukaran oksigen dengan karbon dioksida. Jumlah alveoli pada satu paru-paru sangat banyak mencapai puluhan juta sampai ratusan juta. Jumlah alveolus yang banyak memperluas area pertukaran gas di paru-paru. Dengan demikian, permukaan paru-paru yang sangat luas memungkinkan pengambilan oksigen dengan leluasa.

Sebagai salah satu anggota mamalia, manusia memiliki paru-paru dengan ciri seperti yang telah diutarakan di atas. Jumlah alveolusnya 300 juta buah, dengan luas jika dibentangkan sekitar 70 m^2. Dengan keadaan luas paru-paru seperti itu, maka respirasi menjadi lebih efisien dan perolehan oksigen akan menjamin hidup manusia. Alveolus memiliki dinding yang tipis terbuat dari epitel selapis pipih. Paru-paru manusia

dibatasi oleh pleura yang sangat elastis. Demikian pula dengan dinding rongga dada bagian dalam, dibatasi oleh pleura. Di antara pleura paru-paru dengan pleura rongga dada terdapat cairan intrapleura. Tekanan intrapleura lebih rendah daripada tekanan udara luar. Hal ini memudahkan pemasukan volume udara ke rongga dada.

Sebelum memasuki rongga dada, udara masuk ke rongga hidung. Di sini rambut hidung menyaring partikel kotoran, debu, atau serangga kecil. Selanjutnya, udara dihangatkan, dilembapkan agar oksigen terlarut, dan dibersihkan sekali lagi oleh mukus (lendir) yang terdapat di permukaan dinding rongga hidung. Membran mukosa yang terdapat di sepanjang rongga hidung sangat banyak mengandung serabut saraf dan pembuluh darah. Keadaan ini sekaligus untuk mendeteksi gas kimiawi yang berasal dari baubauan. Dalam hal ini hidung berperan sebagai alat indra.

Selanjutnya, udara yang telah hangat dan lembab memasuki faring, sebuah saluran sepanjang kurang lebih 10 cm. Faring merupakan penghubung antara rongga mulut, kerongkongan, dan rongga hidung.

Meskipun faring merupakan tempat bertemunya saluran pencernaan (esofagus), dari mulut ke lambung dengan saluran udara (trakea, dari hidung ke paru-paru), tidak terdapat masalah yang menyebabkan makanan salah masuk ke tenggorokan atau udara masuk ke kerongkongan, sebab terdapat mekanisme refleks yang mengatur penyalurannya. Jika kita menelan sesuatu, jalan masuk udara ke faring tertutup. Anak tekak atau *uvula* melipat ke belakang dan menutup bagian atas faring. Sebaliknya jika menarik napas, uvula bergerak ke tempat semula. Dengan demikian, antara saluran pernapasan dan saluran pencernaan tidak saling mengganggu.

Namun, adakalanya ketika kita makan sambil berbicara, makanan secara tidak sengaja masuk ke saluran pernapasan sehingga menyebabkan peristiwa tersedak. Saat terjadinya peristiwa tersedak, tubuh akan berusaha untuk mengeluarkan kembali makanan yang masuk secara refleks. Mekanisme menelan dan bernapas diatur sedemikian rupa oleh katup *epiglotis* serta gerakan ke atas oleh laring sewaktu menelan sehingga saluran ke rongga hidung tertutup rapat dan berjalan normal kembali.

Tokoh



Sumber: *Jendela IPTEK (6), 2000*

Pernapasan dan Pembakaran

John Mayow (1640-1679), seorang ahli hukum Inggris yang kemudian menjadi dokter, melakukan banyak penelitian mengenai pernapasan. Ia membuktikan bahwa otot-otot dada dan diafragma membuat paru-paru menegang dan mengembang seperti pompa angin saat memasukkan udara. Ia juga menunjukkan bahwa pengeluaran napas merupakan proses yang tak melibatkan otot-otot, tetapi disebabkan oleh kemampuan paru-paru mengempis secara alami. Dengan memasukkan binatang-binatang dan api ke dalam gelas yang tertutup rapat sendiri-sendiri atau bersama-sama, Mayow mendemonstrasikan bahwa mereka menggunakan sejumlah zat tertentu dari udara yang sama; membuat pernapasan seperti pembakaran. Zat tertentu tersebut, di kemudian hari diidentifikasikan dan diberi nama oksigen.

Saluran pernapasan berikutnya adalah *laring*. Ketika menelan, epiglotis pada laring menutup dan ketika bernapas epiglotis membuka. Oleh karena itu, sulit sekali seseorang menelan makanan sambil bicara. Laring juga menghasilkan suara pada saat udara dihembuskan dari paru-paru. Suara yang merupakan getaran udara muncul dari getaran pita suara yang melintang pada lubang laring, dibantu oleh mulut dan lidah.

Dari laring, udara menuju *trakea* (tenggorokan) yang tersusun atas cincin-cincin tulang rawan. Di ujungnya, trakea bercabang dua menjadi bronki menuju paru-paru kanan dan paru-paru kiri. Di paru-paru, bronki masih bercabang-cabang secara dikotomis menjadi cabang-cabang halus disebut *bronkiolus*. Dari trakea sampai alveoli terdapat sekitar 23 kali percabangan.

D. Mekanisme Pernapasan Manusia

Dalam proses bernapas, terhirupnya udara bukan karena aktivitas paru-paru sebab paru-paru tidak memiliki otot untuk berkontraksi, melainkan karena kontraksi sekat diafragma dan otot-otot dada.

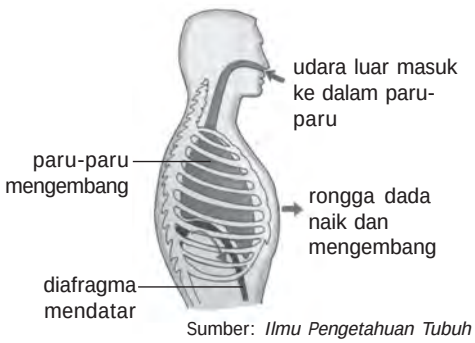
Terdapat dua mekanisme pernapasan pada manusia, yaitu inspirasi atau inhalasi dan ekspirasi atau ekshalasi. Efisiensi pertukaran udara di paru-paru didukung dengan adanya diafragma, yaitu suatu sekat berotot berbentuk kubah yang membatasi rongga dada dengan rongga perut. Selanjutnya, marilah kita lihat bagaimanakah proses inspirasi dan ekspirasi pada alat pernapasan terjadi!

1. Inspirasi dan Ekspirasi

Inspirasi atau inhalasi dikenal sehari-hari sebagai proses menarik napas atau memasukkan udara ke dalam paru-paru, sedangkan ekspirasi atau ekshalasi sama dengan mengembuskan udara dari paru-paru ke luar. Perhatikanlah mekanisme pernapasan berikut ini!

a. Inspirasi

1) Otot-otot antartulang rusuk berkontraksi menggerakkan rongga dada sehingga naik dan mengembang.
2) Diafragma berkontraksi dan mendatar.
3) Kedua mekanisme tersebut akan menaikkan volume kapasitas pleura dan menurunkan tekanannya.
4) Udara luar masuk ke dalam paru-paru.

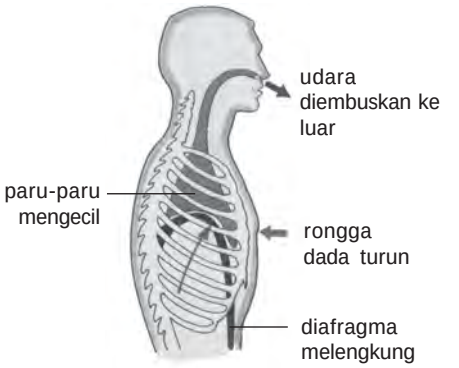


Sumber: *Ilmu Pengetahuan Tubuh Manusia, 1995*

Gambar 7.2 Proses inspirasi.

b. Ekspirasi

1) Otot antartulang rusuk berelaksasi dan rongga dada turun dan mengempis.
2) Diafragma berelaksasi dan melengkung (diafragma dalam keadaan normal melengkung).
3) Volume dalam rongga pleura menurun, sehingga tekanannya meningkat.
4) Udara ke luar dari paru-paru.

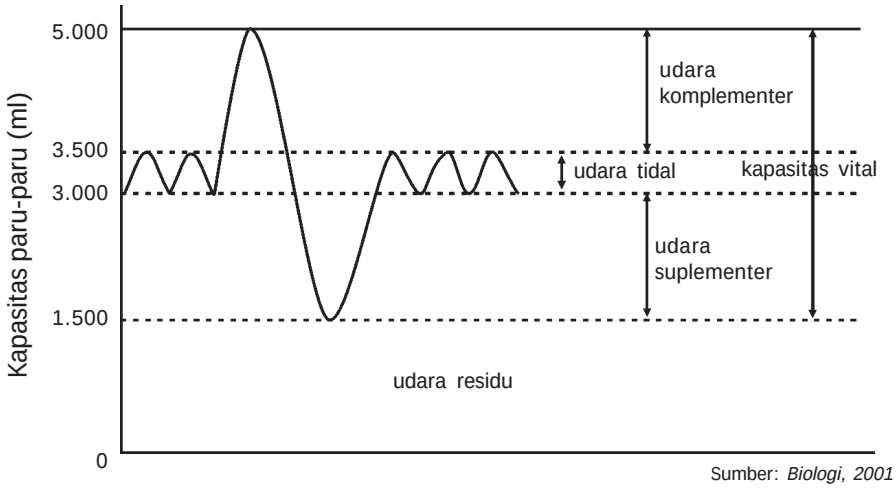


Sumber: *Ilmu Pengetahuan Tubuh Manusia, 1995*

Gambar 7.3 Proses Ekspirasi.

2. Volume Udara Pernapasan

Paru-paru dapat menampung sekitar 5.000 ml udara yang disebut kapasitas total paru-paru. Apabila kita bernapas biasa, volume udara yang dapat keluar masuk lebih kurang 500 ml. Udara ini biasa disebut *udara tidal*. Jika kita menarik napas dalam-dalam maka volume udara yang masih dapat masuk sekitar 1.500 ml. Udara ini disebut *udara komplementer.* Sebaliknya, *udara suplementer* adalah jika kita mengembuskan napas sekuat-kuatnya masih dapat mengeluarkan volume udara sebanyak 1.500 ml. Ternyata, setelah kita mengeluarkan udara suplementer volume udara yang masih tersisa di dalam paru-paru kira-kira 1.500 ml. Sisa udara ini disebut *udara residu.* Kemampuan paru-paru mengeluarkan udara sekuat-kuatnya dan mengambil udara sebanyak-banyaknya disebut dengan *kapasitas vital paru-paru.* Volume udara ini lebih kurang 3.500 ml.



Sumber: *Biologi, 2001*

Gambar 7.6 Kapasitas paru-paru.

Perlu anda ingat bahwa tidak semua udara yang masuk ke paru-paru dipergunakan dalam proses pertukaran gas. Terdapat sekitar 150 ml udara yang menempati bagian-bagian saluran pernapasan di luar alveolus. Oleh karena itu, jika setiap menit kita bernapas 12 kali maka udara segar yang mencapai alveolus bukan 500 ml x 12 = 6.000 ml, melainkan (500 – 150) ml x 12 = 4.200 ml. Jumlah ini dinamakan *ventilasi alveolar.*

Kecepatan bernapas dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain *suhu, oksigen,* dan *karbon dioksida.*

1) Suhu
   Pada saat suhu tubuh tinggi, misalnya demam, kecepatan bernapas meningkat.
2) Oksigen jika kadar oksigen turun misalnya saat kelelahan setelah lari maka kecepatan bernapas meningkat.
3) Karbon dioksida
   Jika kadar karbon dioksida dalam darah meningkat maka kecepatan bernapas akan meningkat.

Salingtemas

Tips, Aneka Ramuan Pencegah SARS

Dunia dilanda kepanikan luar biasa akibat wabah SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) merebak sejak bulan November 2002 di Guangdong, Cina. Penyakit pernapasan akut yang disebabkan sejenis virus influenza ini tidak mempan diobati dengan antibiotika biasa. Namun, virus ini bisa ditangkal dengan cukup istirahat dan olahraga serta mengonsumsi beberapa tanaman obat yang mampu meningkatkan kekebalan tubuh.

Sepasang suami istri di Hong Kong diberitakan terkena penyakit flu ganas ini. Sang suami menularkan virus ini kepada istrinya karena selama dia sakit, istrinya tetap menemani di sampingnya. Meski sama-sama kena SARS, si istri cepat pulih, sedangkan suaminya masih bergulat dengan penyakit yang telah merenggut sekitar ratusan nyawa ini.

Dari artikel yang Anda baca tersebut, coba jelaskan bagaimana virus tersebut dapat menular dari seseorang kepada orang lain melalui sistem pernapasan? Kemudian carilah jenis tanaman yang dapat meningkatkan kekebalan tubuh agar kita terhindar dari virus yang mematikan tersebut?

Sumber: *Kompas*, 11/4/2003 dengan pengubahan seperlunya

3. Transportasi Gas

Oksigen dan karbon dioksida tidak begitu saja dapat ditransportasikan oleh darah dan berdifusi ke jaringan. Ada mekanisme khusus penyusutannya, yaitu larut secara fisik dan larut secara kimiawi dalam darah.

a. Transportasi Oksigen

Hanya sebagian kecil oksigen (1,5%) yang larut secara fisik dalam darah, selebihnya (98,5%) larut dalam hemoglobin.

O_2 yang secara fisik larut dalam plasma darah jumlahnya sangat sedikit karena O_2 kurang larut dalam cairan tubuh. Jumlah yang terlarut berbanding tekanan oksigen darah, semakin tinggi tekanan oksigen semakin mudah larut O_2. Pada tekanan arteri normal sebesar 100 mmHg, hanya 3 ml O_2 yang dapat larut dalam 1 liter darah. Dengan demikian, hanya 15 ml O_2/menit yang dapat dilarutkan dalam aliran darah paru normal yang besarnya 5 ml/menit. Bahkan pada keadaan istirahat, sel mengonsumsi sampai 250 ml O_2/menit, dan jumlah dapat meningkat sampai dua puluh lima kali lipat selama olahraga berat. Untuk menyalurkan O_2 yang diperlukan oleh jaringan bahkan dalam keadaan istirahat, curah jantung harus mencapai 83,3 liter/menit apabila O_2 hanya dapat diangkut dalam bentuk terlarut.

Dengan hemoglobin, suatu molekul protein yang mengandung besi, memiliki kemampuan untuk membentuk ikatan longgar-reversibel dengan O_2. Apabila tidak berikatan dengan O_2, Hb disebut sebagai hemoglobin tereduksi, apabila berikatan dengan O_2, Hb disebut sebagai oksihemoglobin (HbO_2).

$$\underset{\text{hemoglobin}}{Hb} + \underset{\text{oksigen}}{O_2} \rightleftharpoons \underset{\text{oksihemoglobin}}{HbO_2}$$

b. Transportasi Karbon Dioksida

Karbon monoksida (CO) dan O_2 bersaing untuk menempati tempat pengikatan yang sama di Hb, tetapi afinitas Hb terhadap CO_2 adalah 240 kali lebih kuat dibandingkan dengan kekuatan ikatan antara Hb dan O_2. Ikatan CO dan Hb dikenal sebagai karboksihemoglobin (HbCO). Karena Hb lebih cenderung berikatan dengan CO, keberadaan CO walaupun sedikit dapat mengikat Hb dalam jumlah yang relatif besar, sehingga tidak tersedia Hb untuk mengangkut O_2.

CO merupakan gas beracun yang dihasilkan selama pembakaran tidak sempurna produk-produk karbon, seperti bahan bakar, mobil, batubara, kayu, dan tembakau. Karbon monoksida sangat berbahaya karena bekerja secara tersamar (tersembunyi). Apabila dalam suatu lingkungan tertutup diproduksi CO, sehingga konsentrasinya terus meningkat (sebagai contoh, di dalam mobil yang sedang diparkir dengan mesin hidup dan jendela tertutup), CO tersebut dapat mencapai kadar mematikan tanpa disadari oleh korbannya. Karbon monoksida tidak dapat dideteksi karena tidak berbau, tidak berwarna dan tidak berasa.

Sewaktu darah arteri mengalir melalui kapiler jaringan, CO_2 berdifusi mengikuti penurunan gradien tekanan parsialnya dari sel jaringan ke dalam darah. Karbon dioksida diangkut dalam darah dengan tiga cara, yaitu terlarut secara fisik, terikat ke Hb, dan sebagai bikarbonat.

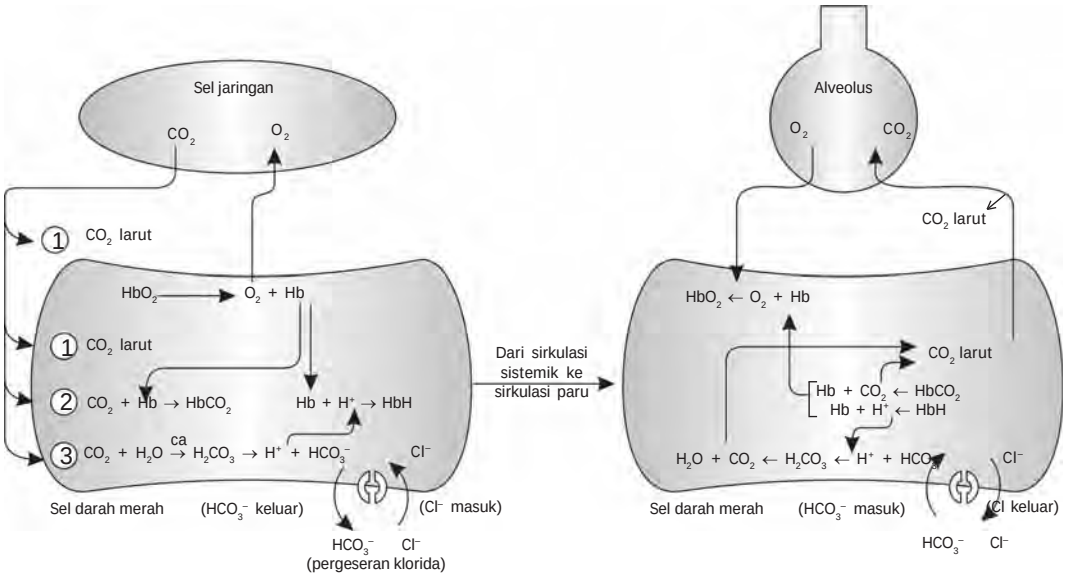
Seperti O_2 yang larut, jumlah CO_2 yang *secara fisik larut* dalam darah bergantung pada tekanan darah. Karena dalam darah CO_2 lebih larut daripada O_2, proporsi CO_2 total dalam darah yang secara fisik larut lebih besar dibandingkan

dengan O_2. Walaupun demikian, hanya 10% dari kandungan CO_2 total darah diangkut dengan cara ini pada kadar tekanan CO_2 vena sistemik normal.

Tiga puluh persen CO_2 lainnya berikatan dengan Hb untuk membentuk karbamino hemoglobin ($HbCO_2$). Karbon dioksida berikatan dengan bagian globin dari Hb, berbeda dengan O_2 yang berikatan dengan bagian hem. Hb tereduksi memiliki afinitas yang lebih besar untuk CO_2 daripada HbO_2. Dengan demikian, pembebasan O_2 dari Hb di kapiler jaringan mempermudah Hb menyerap CO_2. Cara terpenting untuk mengangkut CO_2 adalah sebagai bikarbonat (HCO_3^-), yaitu 60% CO_2 diubah menjadi HCO_3^- oleh reaksi kimia berikut, yang berlangsung di dalam sel darah merah:

$$CO_2 + H_2O \overset{\text{karbonat anhidrase}}{\rightleftharpoons} H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$$

Pada langkah pertama, CO_2 berikatan dengan H_2O untuk membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Reaksi ini dapat berlangsung dengan sangat lambat di plasma, tetapi berlangsung cepat di dalam sel darah merah karena adanya enzim eritrosit karbonat anhidrase yang mengkatalisasi (mempercepat) reaksi. Sebagian dari molekul-molekul asam karbonat secara spontan terurai menjadi ion hidrogen (H^+) dan ion bikarbonat (HCO_3^-). Dengan demikian, satu atom karbon dan dua atom oksigen dari molekul CO_2 semula terdapat dalam darah sebagai bagian integral dari HCO_3. Hal ini menguntungkan, karena HCO_3^- lebih mudah larut dalam darah dibandingkan dengan CO_2. Perhatikan Gambar 7.7!



Sumber: *Fisiologi Manusia, 2001*

Gambar 7.7 Pengangkutan CO_2 oleh hemoglobin.

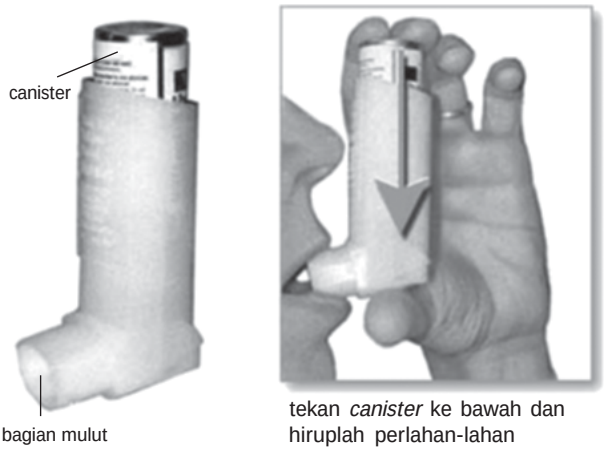
E. Gangguan pada Sistem Pernapasan

Bernapas merupakan proses kontak langsung antara tubuh bagian dalam dan udara luar. Oleh karena itu, banyak sekali risiko yang mungkin terjadi terhadap alat-alat pernapasan. Terlebih pada saat ini udara sudah mengalami polusi yang cukup berat. Berikut akan dijelaskan beberapa kelainan yang dapat mengganggu saluran pernapasan.

1) Kanker paru-paru. Kebanyakan kanker paru-paru disebabkan oleh polusi udara yang sifatnya langsung, seperti limbah industri dan asap rokok, misalnya bagi para perokok. Polutan yang dapat menyebabkan kanker, di antaranya CO, NO_2, H_2SO_4, HCO, asbestos, dan banyak lagi yang lainnya.
2) Pneumonia. Penyakit ini disebabkan oleh infeksi bakteri, jamur, dan virus. Kuman-kuman tersebut menyerang dinding alveolus.
3) Laringitis, yaitu penyakit radang pada laring yang disebabkan iritasi atau infeksi. Iritasi pada laring biasanya diakibatkan asap rokok. Jika radang mencapai pita suara, penderitanya akan kehilangan suara.
4) Asma. Penyakit ini bersifat kronis dan menurun, sebagai akibat menyempitnya bronki dan bronkiolus sehingga jumlah udara yang masuk di bawah batas minimal. Asma akan kambuh oleh alergi terhadap beberapa jenis makanan atau partikel di udara seperti serbuk sari bunga dan debu.

   Obat untuk menangani asma pada dasarnya dibagi dua, yaitu kelompok pelega *(reliever)* dan pengontrol *(controller)*. Kelompok pelega berfungsi melebarkan saluran napas yang menyempit, disebut sebagai bronkodilator. Jika dianalogikan maka obat bronkodilator ini membuat daun putri malu yang menguncup jadi mengembang kembali.

   Sementara itu, obat pengontrol berfungsi untuk menjaga agar saluran pernapasan tidak cepat menyempit. Jika dianalogikan maka obat pengontrol bertujuan membuat daun putri malu tidak mudah menguncup ketika disentuh.



Sumber: *www.z.about.com, 2006*

Gambar 7.8 Alat pelega asma.

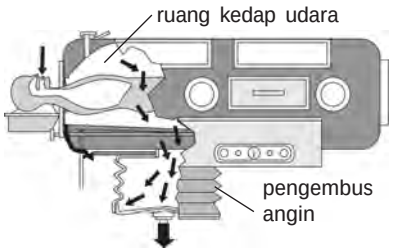
Cara pemberian obat asma yang paling baik adalah dengan cara disemprotkan/diisap langsung ke saluran pernapasan. Contohnya adalah pengobatan dengan menggunakan inhaler, seperti tampak pada gambar.

Ada beberapa alasan yang mendasarinya. Pertama, obat yang disemprotkan/diisap akan masuk langsung ke saluran napas, jadi efeknya lebih cepat. Kedua, karena masuknya langsung ke saluran napas maka dosisnya bisa lebih kecil untuk mendapatkan efek yang baik. Ketiga, efek samping obat yang disemprotkan/diisap akan lebih kecil daripada yang diminum. Obat yang diminum akan masuk dahulu ke perut, lalu diserap pembuluh darah dan baru diedarkan ke seluruh tubuh dan sebagian ke saluran napas sehingga dosisnya perlu lebih tinggi, efeknya lebih lambat dan efek samping lebih tinggi.

5) Bronkitis. Merupakan radang tenggorokan (bronki) yang disebabkan infeksi bakteri yang menyerang selaput epitel bronki.
6) Pleuritis. Merupakan radang pada pleura di sekeliling paru-paru. Jika radangnya sangat parah, udara paru-paru akan keluar menuju rongga antara pleura.
7) Emfisema. Penyakit ini ditandai dengan gejala hilangnya elastisitas paru-paru karena terendam cairan atau terkikisnya sekat antara alveoli yang menimbulkan luas permukaan membran berkurang. Akibatnya, udara yang dihirup sedikit sekali. Gejala yang ditimbulkan berupa sulit bernapas dan sangat sakit. Emfisema akan terjadi pada setiap orang sejalan dengan bertambahnya usia, dan akan terjadi lebih dini pada para perokok dan orang-orang yang bermukim di lingkungan yang mengalami polusi cukup berat.
8) Mimisan. Perdarahan pada hidung sebagai akibat pecahnya kapiler darah sampai ke permukaan jaringan epitel rongga hidung.

Horizon Biologi

Respirator Emerson



Respirator emerson (paru-paru kecil) merupakan alat bantu pernapasan yang mempunyai daya tahan cukup lama.
Cara kerja alat ini sebagai berikut. Tubuh pasien dimasukkan ke dalam ruang kedap udara dengan kepala berada di luar dan leher ditutup dengan menggunakan sebuah ban leher. Bilamana pengembus angin bergerak ke bawah, tekanan udara di dalam ruang (yang semula berada pada tingkat atmosfer yang normal) juga menurun. Lalu udara bertekanan atmosfer mengalir ke dalam paru-paru melalui hidung paru-paru besi itu. Pasien, oleh karenanya, secara pasif mengembuskan napas melalui gerakan kembali otot dinding dada. Dengan demikian, tekanan untuk membantu pernapasan keluar dapat dilakukan.

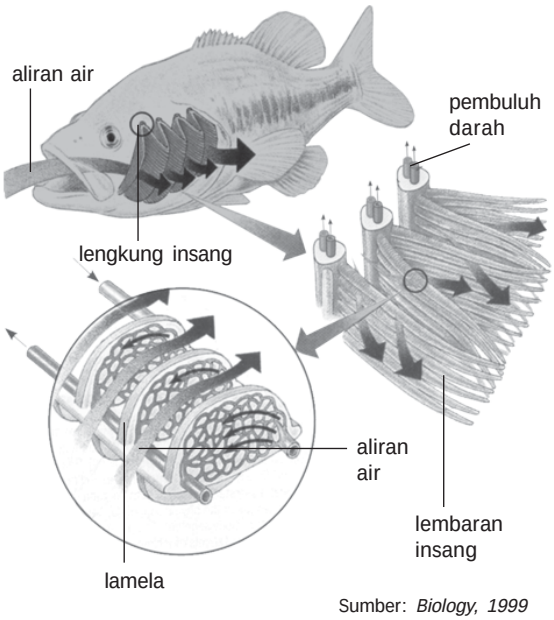
9) TBC. Penyakit ini disebabkan oleh infeksi bakteri *Mycobacterium tuberculosa*. Bakteri ini menular melalui udara inspirasi, kemudian merusak jaringan paru-paru. Keadaan dengan risiko penyakit TBC antara lain nutrisi yang buruk, usia yang sudah tua, hidup di tempat yang berdempetan, dan sosio-ekonomi yang rendah. Gejala-gejalanya berupa berat badan menurun secara drastis, lesu, batuk-batuk berdahak kadang berdarah, sesak napas, sakit dada, dan sering berkeringat di malam hari.

10) Emboli. Emboli adalah gumpalan darah yang menyumbat kapiler di paru-paru. Penyumbatan dapat menyebabkan aliran darah yang membawa oksigen dan karbon dioksida terhambat. Emboli paru-paru dapat terjadi jika seseorang terkena serangan jantung, keracunan, overdosis obat, atau tersengat listrik. Bagi penderita dapat berakibat fatal.

F. Sistem Pernapasan pada Hewan Vertebrata

Alat pernapasan hewan vertebrata berbeda-beda, sesuai dengan struktur tubuh dan tempat hidupnya. Hewan yang hidup di darat umumnya memiliki alat pernapasan berupa paru-paru, sedangkan hewan yang hidup di air alat pernapasannya berupa insang.

1. Sistem Pernapasan pada Ikan



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 7.9 Sistem pernapasan pada ikan.

Ciri khas alat pernapasan bagi hewan-hewan vertebrata yang hidup di air adalah insang. Insang pada ikan terletak pada ruang insang di sisi kanan dan kiri kepalanya. Pada ikan bertulang sejati, insangnya dilindungi dengan tutup insang (operkulum).

Ikan mengambil oksigen yang terlarut di dalam air dengan cara mengalirkan air melalui celah-celah insang. Pada celah insang terdapat banyak pembuluh darah kapiler. Arah aliran darah pada insang berlawanan dengan arah aliran air yang melewati insang. Aliran air yang melalui insang berlangsung secara tetap dan terus-menerus. Aliran air disebabkan adanya tekanan dari rongga mulut dan daya isap insang. Adanya katup

pengatur mulut dan operkulum menyebabkan aliran air hanya satu arah. Kegiatan hidup ikan ini dapat kamu amati dengan cara memperhatikan gerakan membuka dan menutupnya mulut ikan ketika berenang di dalam air. Sepintas tampak seolah-olah ikan sedang minum air, tetapi sebenarnya pada saat itu ikan sedang melakukan pernapasan, yakni dengan cara melewatkan air melalui celah insang. Pada saat air melewati insang, darah akan melepaskan karbon dioksida dan mengikat oksigen yang terlarut di dalam air melalui celah insang tadi.

Pada beberapa jenis ikan tertentu yang hidup di air keruh (lumpur), misalnya gurami, betok, gabus, dan lele memiliki alat bantu pernapasan yang disebut *labirin*. Labirin ini merupakan perluasan insang, terletak di atas insang. Dengan adanya labirin memungkinkan jenis-jenis ikan tersebut dapat bertahan hidup di tempat yang kekurangan oksigen. Labirin berguna sebagai tempat menyimpan cadangan udara.

2. Sistem Pernapasan pada Amfibi

Salah satu hewan amfibi yang paling mudah dikenal dan banyak ditemukan di lingkungan sekitar kita adalah katak. Dalam proses perkembangan hidupnya katak mengalami metamorfosis. Pada fase awal dari kehidupannya, yaitu berupa berudu atau kecebong yang hidup di air, sedangkan pada fase perkembangan selanjutnya akan menjadi katak dewasa yang hidup di darat. Sejalan dengan perkembangan alat pernapasannya, katak juga mengalami perubahan. Pada saat fase berudu katak bernapas dengan menggunakan insang luar, sedangkan pada fase dewasa katak bernapas menggunakan paru-paru dan kulit.

Pada proses perkembangannya, peran insang luar pada berudu digantikan oleh insang dalam. Selanjutnya, insang luar tersebut akan mengalami perubahan dan tumbuh menjadi semacam selaput kulit di sekitar rongga mulut, sedangkan insang dalam akan berkembang menjadi paru-paru. Alat pernapasan katak tipis dan kaya dengan kapiler darah, sehingga sangat baik untuk melakukan pertukaran oksigen dan karbon dioksida.

Seperti telah dikatakan di atas, selain menggunakan paru-paru, katak juga bernapas dengan permukaan kulitnya. Kulit katak yang selalu basah dan berlendir memudahkan udara untuk masuk secara difusi.

Katak memiliki rongga buko faring yang terletak di bagian bawah rongga mulutnya. Rongga buko faring dibentuk antara rongga mulut dan faring. Pada rongga ini terjadi gerakan sangat cepat. Pada saat bergerak, lubang hidung akan terbuka, glotis tertutup sehingga menyebabkan udara luar masuk ke dalam rongga tersebut.

Katak secara teratur juga menekan udara pernapasan dari rongga mulut masuk ke dalam paru-paru. Gerakan udara itu disebut gerakan menelan udara. Udara masuk melalui lubang hidung menuju rongga mulut. Dari rongga mulut udara ditekan (ditelan) masuk ke paru-paru. Pada saat menelan udara, lubang hidung menutup. Setelah terjadi

pertukaran oksigen dan karbon dioksida dalam paru-paru, udara yang kaya karbon dioksida dikeluarkan. Ekspirasi pada katak terjadi secara pasif.



(1) (2) (3) (4)

Gambar 7.10 Sistem pernapasan pada katak. Sumber: *Modern Biology, 1993*

3. Sistem Pernapasan pada Reptilia

Alat pernapasan reptilia meliputi *hidung*, *batang tenggorok*, dan *paru-paru*. Pertukaran oksigen dengan karbon dioksida terjadi dalam paru-paru. Bunglon memiliki pembesaran paru-paru ke arah perut yang menyebabkan tubuh bunglon membesar. Paru-paru pada ular hanya sebelah kanan yang berkembang, disebabkan tubuh ular yang kecil tidak memungkinkan untuk perkembangan paru-paru kanan dan kiri. Reptilia air, misalnya penyu, memiliki paru-paru yang mereduksi sehingga volume paru-parunya sangat kecil.

Udara masuk ke lubang hidung melewati batang tenggorok dan masuk ke dalam paru-paru. Di dalam paru-paru terjadi pertukaran oksigen dan karbon dioksida. Proses inspirasi terjadi karena rongga dada bertambah besar, akibat adanya kontraksi otot tulang rusuk. Inspirasi pada reptilia berlangsung secara aktif sedang ekspirasinya secara pasif.

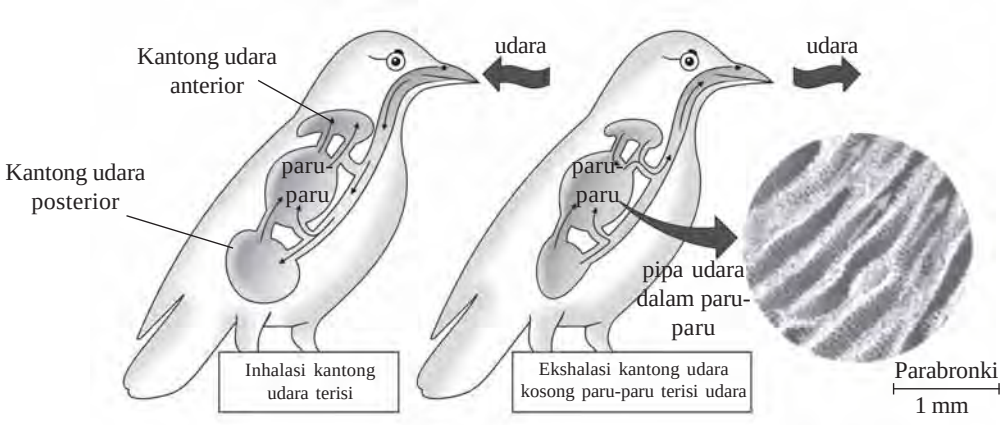
Beberapa jenis reptilia dapat menyelam tanpa mengganggu sistem pernapasannya. Bentuk penyesuaian dari reptilia terhadap lingkungan air ada bermacam-macam. Misalnya, buaya dengan cara menutup batang tenggorok dengan lidahnya dan kura-kura dengan cara menutup lubang hidungnya dengan semacam selaput. Dengan kedua cara tersebut buaya dan kura-kura dapat mencegah air masuk ke dalam paru-paru.

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai sistem pernapasan yang dibahas pada bab ini, kunjungi website http://en.wikipedia.org/wiki/respiratory.

4. Sistem Pernapasan pada Burung

Kelompok unggas atau burung memiliki perangkat alat pernapasan yang lebih baik dibandingkan dengan ketiga hewan kelompok vertebrata yang telah dikemukakan sebelumnya. Ukuran paru-paru burung lebih kecil dibandingkan dengan paru-paru reptil. Keistimewaan kelompok unggas yaitu kebiasaan terbangnya. Hal ini menyebabkan struktur paru-parunya paling berbeda dengan paru-paru vertebrata yang lainnya.



Sumber: *Biologi, 1999*

Gambar 7.11 Sistem pernapasan pada burung.

Kegiatan terbang dan usaha mempertahankan suhu tubuh menyebabkan burung membutuhkan oksigen sangat banyak. Oleh sebab itu, paru-paru burung berkembang membentuk kantong-kantong hawa di sekitar organ-organ lainnya untuk membantu paru-paru memperbanyak perolehan oksigen. Secara anatomis kita perlu mengetahui awal mula perkembangan kantong hawa (pundi-pundi udara) atau sakus pneumatikus ini.

Pada mulanya tenggorokan (bronkus primer) bercabang di daerah paru-paru menjadi mesobronkus. Mesobronkus bercabang-cabang lagi menjadi bronkus sekunder. Bronkus sekunder bercabang-cabang membentuk sejumlah parabronki. Setiap parabronki membentuk kapiler-kapiler udara yang saling beranyaman. Kapiler udara ini mengandung banyak pembuluh darah. Pada kapiler-kapiler udara inilah terjadi proses respirasi atau tukar menukar gas.

Di luar paru-paru, bronkus sekunder meluas membentuk kantong-kantong hawa. Jumlah udara dalam kantong hawa memengaruhi tinggi rendahnya terbang. Kantong hawa juga mengisi beberapa rongga pada tulang. Dengan demikian, akan mengurangi bobot badannya pada saat terbang. Udara dalam kantong hawa dapat mensuplai oksigen ke paru-paru, baik dalam keadaan ekspirasi ataupun dalam keadaan inspirasi.

Rangkuman

Secara sederhana pernapasan dapat diartikan sebagai pertukaran gas antara organisme dan lingkungannya. Pernapasan terjadi di luar sel (respirasi eksternal) pada sistem organ dan di dalam sel (respirasi internal). Pernapasan memungkinkan terjadinya respirasi yang merupakan reaksi pemecahan glukosa dengan bantuan enzim-enzim guna menghasilkan energi. Selain menghasilkan energi, pernapasan pun menghasilkan zat sampah berupa gas karbon dioksida.

Alat pernapasan utama pada manusia adalah paru-paru. Jalur pernapasan pada manusia adalah: udara melalui rongga hidung - faring - laring - trakea - bronkus - brokiolus - alveolus. Difusi oksigen dan karbon dioksida pada paru-paru terjadi di bagian alveolus.

Proses bernapas melibatkan dua proses, yaitu menarik napas (inspirasi) dan mengeluarkan napas (ekspirasi). Melihat dari organ yang dilibatkannya, pernapasan dibagi menjadi dua cara, yaitu pernapasan dada dan pernapasan perut.

Dalam keadaan normal, volume udara pernapasan adalah antara 500 sampai 3.500 ml, yang terdiri dari 500 ml volume tidal, 1.500 ml udara komplementer, dan 1.500 ml udara suplementer. Kapasitas vital paru-paru ditambah udara residu disebut kapasitas total.

Oksigen sebelum diangkut ke seluruh tubuh harus berikatan dengan hemoglobin. Karbon dioksida diangkut dalam bentuk asam karbonat (5%), senyawa karbomin (30%), dan dalam bentuk ion HCO_3^- (65%).

Alat-alat pernapasan pada golongan hewan-hewan vertebrata juga berbeda-beda, bergantung pada golongannya. Pada amfibi, misalnya katak, alat pernapasan dilakukan dengan paru-paru, insang, dan kulit. Pada aves, misalnya burung, alat pernapasan berupa paru-paru (pulmonum). Burung memiliki perluasan paru-paru yang disebut kantong udara. Kantong udara berfungsi menyimpan cadangan udara untuk terbang. Pisces (ikan) alat pernapasannya adalah insang.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Alasan utama katak dewasa selalu membutuhkan air adalah . . . .
   A. secara evolusioner katak mengawali hidupnya di air
   B. kulit basah melarutkan oksigen untuk diserap ke dalam tubuhnya
   C. ada bagian tubuh katak yang tidak sesuai dengan lingkungan terestrial
   D. masih tersisa insang yang tumbuh semasa berudu
   E. kulit katak sangat tipis dan banyak pembuluh darahnya
2. Untuk mengatasi kebutuhan oksigen waktu terbang, burung memiliki pelengkap pernapasan, yaitu . . . .
   A. labirin
   B. mioglobin
   C. kantong hawa
   D. paru-paru
   E. parabronki
3. Rongga hidung meneruskan udara ke dalam paru-paru melewati . . . .
   A. esofagus
   B. alveolus
   C. laring
   D. diafragma
   E. pleura
4. Di bawah ini merupakan hal-hal positif ketika udara melewati rongga hidung, *kecuali* . . . .
   A. mendapatkan penyesuaian suhu dengan suhu tubuh
   B. membersihkan dari partikel debu
   C. melakukan pertukaran gas dengan kapiler
   D. memperoleh kelembapan
   E. membebaskan udara dari serangga kecil

5. Berikut ini hal-hal yang berkaitan dengan proses bernapas:
   (1) tulang rusuk terangkat ke atas dari depan
   (2) otot diafragma berkontraksi
   (3) otot-otot antar tulang rusuk melakukan relaksasi
   (4) rongga dada membesar
   (5) tekanan intrapleura menurun

   Urutan fase inhalasi adalah nomor . . . .
   A. 1 - 2 - 3 - 4 C. 1 - 3 - 4 - 5 E. 1 - 2 - 3 - 5
   B. 1 - 2 - 4 - 5 D. 1 - 2 - 4 - 5
6. Seorang perokok memiliki risiko gangguan pada saluran pernapasan seperti berikut ini, *kecuali* . . . .
   A. emfisema D. kanker paru-paru
   B. emboli parul E. asma
   C. laringitis
7. Tahapan pernapasan eksternal adalah pertukaran gas . . . .
   A. dari atmosfer ke alveolus D. dari darah ke sel/jaringan
   B. dari alveolus ke darah E. dari atmosfer ke dalam darah
   C. dari darah ke alveolus
8. Yang dimaksud dengan respirasi adalah . . . .
   A. pertukaran gas oksigen di paru-paru
   B. pertukaran gas oksigen di jaringan
   C. pertukaran gas oksigen di paru-paru dan jaringan
   D. pertukaran gas oksigen dari atmosfer ke paru-paru
   E. pertukaran oksigen dan karbon dioksida
9. Udara pernapasan ialah . . . .
   A. udara yang keluar dari paru-paru waktu bernapas
   B. udara yang masuk ke paru-paru saat bernapas
   C. udara yang masih dapat dihirup setelah inspirasi normal
   D. udara yang masih dapat diembuskan setelah ekspirasi normal
   E. udara yang keluar masuk paru-paru sebagai aktivitas pernapasan
10. Gangguan pada alveolus diiringi dengan menurunnya kemampuan difusi gas disebut . . . .
   A. radang sinusitas D. radang rinitis
   B. radang pleuritis E. radang pneumonia
   C. radang tonsil

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Bagaimana mekanisme respirasi pada katak dan burung? Jelaskan!
2. Mengapa udara yang masuk ke rongga hidung harus diberi kelembapan?
3. Mengapa ikan-ikan yang hidup di air keruh atau lumpur harus dilengkapi dengan alat yang dinamakan labirin? Jelaskan!
4. Sebutkan tiga gangguan yang bisa terjadi pada pernapasan, dan jelaskan bagaimana cara penanggulangannya!
5. Mengapa manusia dan hewan perlu melakukan pernapasan?

* * *

Uji Kemampuan Blok Bab 4 sampai Bab 7

1. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang paling tepat!

1. Enzim ptialin yang terdapat dalam air liur berfungsi untuk . . . .
   A. merombak peptida menjadi asam amino
   B. memecahkan protein menjadi peptida
   C. menghidrolisis polisakarida menjadi maltosa
   D. menguraikan lemak menjadi asam lemak dan gliserol
   E. memecahkan protein menjadi asam amino
2. Pencernaan secara kimiawi adalah . . . .
   A. pemecahan zat-zat makanan hingga dapat diserap
   B. penyerapan makanan oleh epitel usus
   C. proses pencernaan makanan berupa gerak memijat-mijat
   D. penggunaan enzim pencernaan untuk memecah zat-zat makanan
   E. gerakan peristaltik dalam kerongkongan
3. Di antara zat makanan berikut yang menghasilkan energi paling tinggi dengan berat yang sama adalah . . . .
   A. karbohidrat C. vitamin E. serat
   B. protein D. lemak
4. Empedu dalam sistem pencernaan berfungsi untuk . . . .
   A. mengatur kadar glukosa darah agar tetap stabil
   B. mengemulsikan lemak dan memengaruhi penyerapan vitamin K
   C. mengatur penyebaran makanan dan memengaruhi penyerapan vitamin B
   D. membunuh kuman yang masuk melalui makanan yang masuk
   E. mengatur suhu tubuh dan kelancaran penyerapan vitamin K
5. Fungsi kontraksi tubuh dimiliki oleh jaringan ikat . . . .
   A. tulang rawan C. otot E. tulang sejati
   B. saraf D. epitel
6. Jenis otot yang terdapat pada organ lambung adalah . . . .
   A. otot polos C. otot jantung E. otot memanjang
   B. otot lurik D. otot melingkar
7. Urutan organisasi dalam tubuh jika diurutkan dari sederhana sampai kompleks adalah sebagai berikut . . . .
   A. sistem organ – organ – sel – jaringan
   B. jaringan – organ – sel – sistem organ
   C. sel – jaringan – organ – sistem organ
   D. sel – organ – jaringan – sistem organ
   E. organ – jaringan – sel – sistem organ

8. Sendi yang memungkinkan gerak ke segala arah disebut sendi . . . .
   A. engsel C. peluru E. mati
   B. pelana D. putar
9. Bentuk tulang punggung yang membengkokkan ke samping merupakan suatu kelainan yang biasa disebut . . . .
   A. kifosis C. skoliosis E. diartosis
   B. lordosis D. sinartrosis
10. Otot yang melekat pada tulang yang berkontraksi dinamakan . . . .
   A. artikulasi C. origo E. osifikasi
   B. insersi D. tendon
11. Zat kimia yang menyebabkan rasa lelah pada otot adalah . . . .
   A. asam laktat C. glukosa E. asam amino
   B. glikogen D. asam lemak
12. Leukemia adalah suatu penyakit yang disebabkan terlalu banyaknya . . . dalam tubuh.
   A. trombosit C. limfosit E. plasma darah
   B. leukosit D. eritrosit
13. Zat yang berfungsi mengubah fibrinogen menjadi benang-benang fibrin pada proses pembekuan darah adalah . . . .
   A. fibrinogen C. trombokinase E. tromboplastin
   B. antihemofili D. trombin
14. Vitamin yang berperan dalam proses pembekuan darah adalah . . . .
   A. vitamin A C. vitamin C E. vitamin K
   B. vitamin B D. vitamin D
15. Orang yang disebut sebagai resepien universal bergolongan darah . . . .
   A. A C. O E. A dan B
   B. B D. AB

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Apa saja lima kelainan pada sistem pernapasan dan penyebabnya? Sebutkan!
2. Bagaimana karakteristik yang dimiliki otot polos? Jelaskan!
3. Apakah yang dimaksud dengan artikulasi? Sebutkan macamnya!
4. Ada berapa macam sel darah putih? Sebutkan!
5. Apa saja kelainan dan penyakit pada sistem peredaran darah? Sebutkan contohnya!

* * *

Bab 8

Sistem Ekskresi



Sumber: *http://www.cheongieon.net, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- mendeskripsikan struktur dan fungsi organ-organ pada sistem ekskresi;
- menjelaskan peranan penting sistem ekskresi dalam menunjang sistem organ lainnya;
- mendeskripsikan mekanisme pembentukan urin;
- membandingkan struktur, fungsi, dan proses sistem ekskresi pada manusia, belalang dan cacing tanah;
- mengidentifikasi kelainan yang terjadi pada sistem ekskresi;
- memberi contoh teknologi penanggulangan akibat kelainan yang terjadi pada sistem ekskresi.

A. Pendahuluan

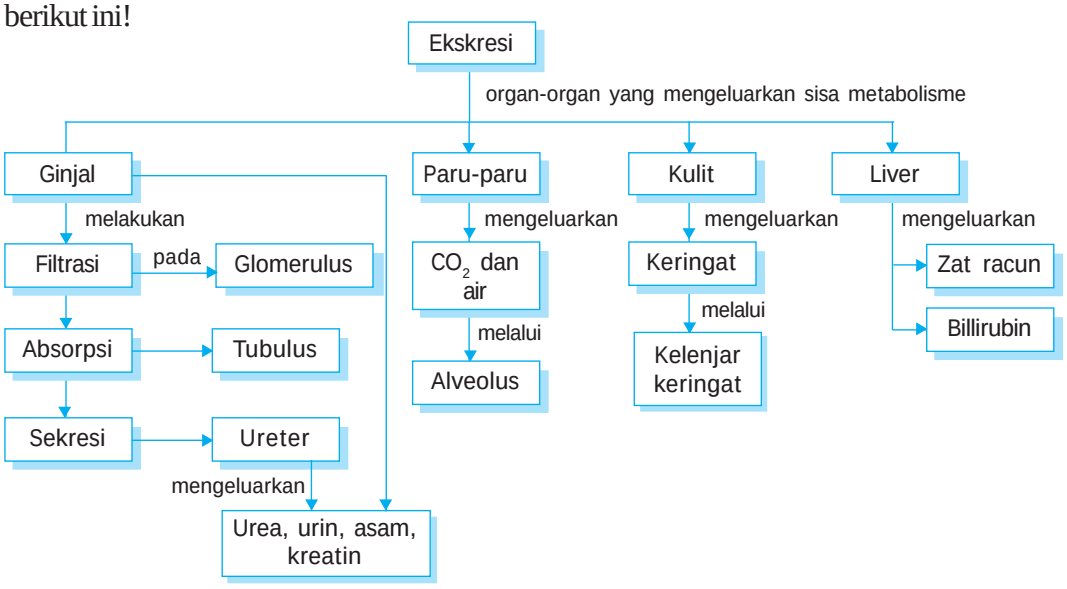
Telah anda ketahui bahwa semua makhluk hidup melakukan metabolisme untuk kelangsungan hidupnya. Kata metabolisme berasal dari bahasa Yunani, yaitu *metabellin* yang artinya mengubah. Proses metabolisme sendiri merupakan suatu proses di dalam sel tubuh makhluk hidup yang mengubah molekul kompleks yang kaya energi menjadi molekul sederhana yang miskin dengan menghasilkan energi.

Salah satu contoh proses metabolisme yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup, yaitu proses pembakaran bahan makanan untuk menghasilkan energi. Di samping dihasilkan energi, pada proses metabolisme juga dihasilkan zat sisa yang tidak diperlukan lagi oleh tubuh.

Seorang pemain bulutangkis pada gambar di awal bab ini tampak kelelahan mengembalikan kok dari lawannya. Aktivitas pemain ini menyebabkan tubuhnya mengeluarkan keringat. Zat-zat sisa hasil sampingan dari proses metabolisme, seperti keringat harus dikeluarkan dari dalam tubuh, karena jika tidak dikeluarkan akan terakumulasi menjadi racun. Hal ini tentu merugikan kelangsungan hidup makhluk hidup itu sendiri. Zat-zat sisa itu kemudian diangkut oleh darah menuju alat-alat pengeluaran (ekskresi).

Tahukah anda bagaimana proses keluarnya keringat pada manusia? Organ-organ apa saja yang berperan pada proses tersebut?

Agar anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut ini!



B. Sistem Ekskresi pada Manusia

Alat-alat ekskresi atau pengeluaran yang terdapat pada manusia dan hewan vertebrata pada umumnya terdiri dari ginjal, kulit, paru-paru, hati, dan anus. Melalui

alat-alat tersebut, zat-zat sisa hasil metabolisme yang tidak dimanfaatkan lagi di dalam tubuh akan dikeluarkan. Setiap organ atau alat pengeluaran tersebut memiliki fungsi tersendiri. Jenis-jenis zat sisa yang dikeluarkan akan disesuaikan dengan alat pengeluaran yang digunakan untuk mengeluarkannya.

Kata Kunci

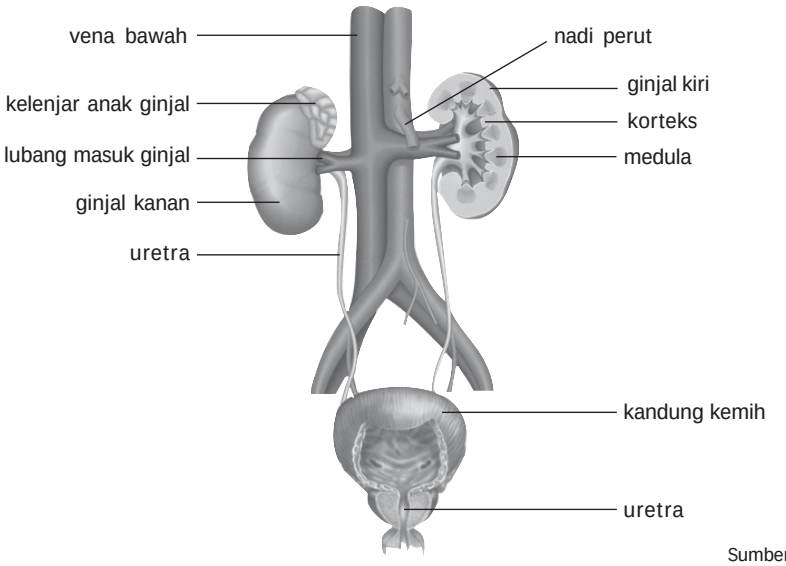
- *Absorpsi*
- *Billirubin*
- *Detroksifikasi*
- *Difusi*
- *Empedu*
- *Epidermis*
- *Eskresi*
- *Feses*
- *Filtrasi*
- *Ginjal*
- *Hepan*
- *Kapsula bowman*
- *Lengkung benda*
- *Nefron*
- *Tubulus distal*
- *Tubulus maximal*
- *Ureter*
- *Urin*
- *Reabsorpsi*

1. Ginjal

Mamalia memiliki ginjal tipe metanefros. Limbah nitrogennya adalah urea. Urea dibuang dalam bentuk cair. Oleh karena itu, urin membutuhkan air sebagai pelarut limbah.

a. Bagian-Bagian Ginjal

Ginjal mamalia berbentuk biji buah kacang dan terdapat pada rongga perut bagian belakang. Ginjal terdiri dari dua lapisan. Bagian luar disebut *korteks*, bagian dalam disebut *medula*. Lekukan di salah satu sisi ginjal disebut *hilus*. Melalui hilus ini lalu lintas terjadi, mulai dari piala ginjal (pelvis) ke ureter dan ke kantong kemih membawa urin, serabut saraf juga masuk melalui hilus. Demikian pula pembuluh darah dan pembuluh limfa.



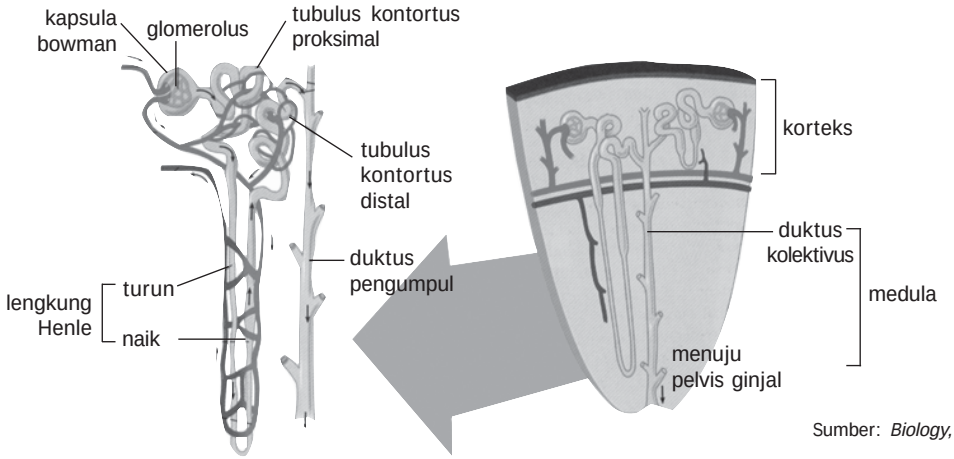
Sumber: *Kamus Visual, 2004*

Gambar 8.1 Ginjal dan bagian-bagiannya pada manusia.

Pembuluh darah pada ginjal, terutama pada glomerulus sangat halus dan berpori. Hal ini untuk memudahkan keluar masuknya molekul-molekul zat pada proses reabsorpsi. Di dalam ginjal kurang lebih ada sejuta pembuluh halus (arteriolus).

Pelvis atau piala ginjal bercabang-cabang menjadi *kaliks mayor*. Kaliks mayor bercabang-cabang lagi menjadi kaliks minor. Kaliks minor adalah tempat pertama bermuaranya urin yang nantinya memasuki kaliks mayor, akhirnya ke pelvis untuk disimpan sementara sebelum dialirkan ke kantung kemih melalui *ureter*.

Di bagian korteks dan medula terdapat struktur yang disebut nefron. Sekitar satu sampai empat juta nefron terdapat dalam sebuah ginjal. Nefron inilah yang berfungsi membuat urin. Jadi, proses filtrasi dan absorpsi terjadi di nefron.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 8.2 Sebuah nefron dengan pembuluh-pembuluh darah yang mengitarinya.

Tokoh

Kapsul-Kapsul dan Lengkung-Lengkung

William Bowman adalah ahli bedah perintis di bidang saluran kemih dan mata. Ia mengidentifikasi kapsul yang kemudian memakai namanya pada tahun 1842. Ahli anatomi Jerman, Jacob Henle (1809-1885) mendeskripsikan lengkung berbentuk U itu 20 tahun kemudian yang masih memakai namanya hingga hari ini.

Di dalam Kapsul Bowman

Penelitian mikroskopik oleh Bowman, menunjukkan bahwa bulatan-bulatan pembuluh darah kapiler di dalam glomerulus dikelilingi oleh kapsul yang berlapis dua. Ruang antara kedua lapisan tersebut terbuka ke arah bagian berikutnya dari nefron, yaitu tubulus proksimal. Air dan kotoran-kotoran seperti ureum, garam-garam, dan mineral-mineral mengalir melalui dinding pembuluh darah kapiler dan kulit kapsul masuk ke pipa. Seluruh unit kapsul hanya bergaris tengah lebih kurang 0,2 mm.



Sumber: *Jendela IPTEK Tubuh Manusia, 2000*

Nefron berukuran hampir mikroskopis. Pada pembesaran tertentu dapat kita lihat bahwa nefron terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut.

1) Kapsul Bowman, berbentuk piala yang sebetulnya merupakan percabangan tubulus, yang menyelimuti glomerulus. Bentuk kapsul memungkinkan penyaringan filtrat dari glomerulusa ke tubulus semakin efektif.
2) Saluran nefron atau tubulus yang terdiri atas tubulus kontortus proksimal, lengkung henle, dan tubulus kontortus distal.
3) Saluran pengumpul atau tubulus kolekta (pengumpul), merupakan muara dari puluhan tubulus distal. Tubulus kolekta akan bermuara pada kaliks minor.

a. Mekanisme Terbentuknya Urin

Seperti yang telah anda ketahui bahwa zat sisa metabolisme yang dikeluarkan ginjal adalah urin. Bagaimanakah terbentuknya urin? Proses pembentukan urin dalam ginjal berlangsung melalui empat tahap, yaitu *filtrasi, absorpsi aktif, absorpsi pasif,* dan *sekresi*. Istilah cuci darah oleh ginjal kiranya cukup tepat. Melalui ginjal, darah yang membawa berbagai zat dan molekul yang masuk melalui pencernaan dan sisa metabolisme sel akan disaring. Zat yang harus dibuang akan melaju ke tubula kolekta, dan zat yang masih terpakai akan kembali ke dalam darah untuk beredar ke seluruh tubuh.

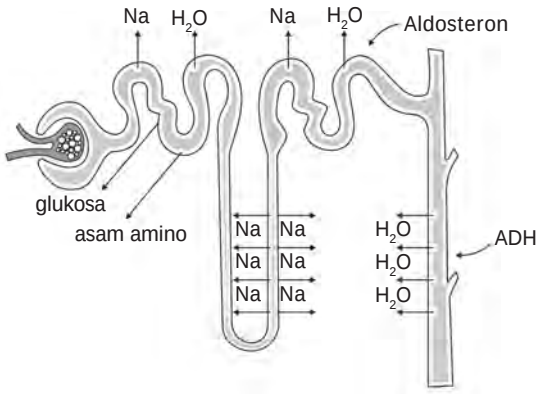
1) Filtrasi

Setiap 5 menit, darah yang mengalir di dalam tubuh disaring dalam glomerulus. Pembuluh darah di glomerulus yang sangat halus dan berpori menyebabkan lolosnya cairan, sejumlah zat makanan, garam-garam, dan zat lain yang tidak dibutuhkan. Hal ini terjadi dengan adanya bantuan dari tekanan aliran darah di glomerulus. Di antara yang lolos dari pembuluh glomerulus, hampir tidak ada protein karena molekulnya terlalu besar dibandingkan pori-pori glomerulus. Filtrat yang keluar dari glomerulus mirip dengan susunan plasma darah.

2) Absorpsi aktif dan absorpsi pasif

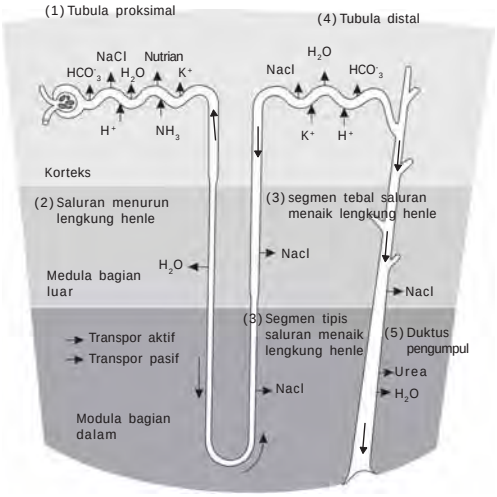
Filtrat dari glomerulus akan memasuki tubulus. Di tubulus inilah pembentukan urin dimulai. Bagian pertama tubulus adalah tubulus kontorti proksimal. Di sini sebagian besar filtrat yang memang masih mengandung zat makanan akan diserap kembali. Tubulus kontorti proksimal memiliki permukaan yang penuh dengan mikrovili, suatu lipatan-lipatan epitel untuk memperluas permukaan tubulus, agar penyerapan dapat dilakukan lebih banyak dan cepat.

Adanya mikrovili menyebabkan luas tubulus menjadi ± 6 m^2. Mikrovili melakukan absorpsi aktif terhadap semua glukosa dan ion-ion Na,Cl, Ca, K,



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 8.3 Zat-zat dan ion-ion yang direabsorpsi oleh tubulus kembali ke dalam darah.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 8.4 Perjalanan limbah hasil metabolisme di dalam tubuh.

HCO_3, SO_4 yang terdapat dalam filtrat. Absorpsi pasif dilakukan terhadap air yang akan berdifusi berdasarkan tekanan osmotik. Asam amino jenis albumin yang turut dalam filtrat akan direabsorpsi di seluruh bagian tubulus. Semua bahan yang direabsorpsi dikembalikan ke dalam darah. Sekarang sisa filtrat adalah limbah nitrogen dan sejumlah garam yang terus menuju ke lengkung Henle.

Pada lengkung Henle terjadi reabsorpsi natrium ke dalam darah. Dengan berkurangnya garam-garam, larutan urin yang terus melaju menuju ke tubulus kontortus distal bersifat hipotonis (encer) karena di lengkung Henle tidak ada penyerapan air.

Selanjutnya, di tubulus distal urin masih direabsorpsi garamnya di tempat-tempat tertentu. Demikian pula air dalam urin direabsorpsi ke dalam jaringan.

Melalui tubula kolekta, urin sudah benar-benar murni seperti urin yang sehari-hari kita lihat. Beberapa kalangan kedokteran menyebut urin hasil pengolahan lengkung Henle sebagai urin sekunder, sedangkan urin yang masih di daerah tubulus proksimal disebut urin primer.

3) Sekresi

Sekresi di sini merupakan proses dikeluarkannya urin dari turbula kolekta ke kaliks minor. Setiap hari ginjal menghasilkan kurang lebih 2 liter urin yang secara berkala dikeluarkan setelah disimpan sementara di kantong kemih.

Perlu Anda ketahui bahwa selain dilalui oleh filtrat dari glomerulus, tubulus proksimal sampai tubulus distal juga melakukan sekresi zat-zat tertentu ke dalam urin. Zat-zat tersebut adalah ion hidrogen (H^+) yang dibuang oleh darah karena pH darah terlalu asam. Jika pH darah mulai naik, sekresi ion H^+ dari darah ke tubulus adalah amoniak (NH_3), ion K^+, dan kreatinin, untuk bersatu dengan

urin. Pembuangan amoniak hanya membantu jalan utama yang biasanya melalui glomerulus. Zat pewarna makanan atau obat juga disekresi melalui tubulus.

Pengaturan konsentrasi air dalam darah dan di dalam tubulus ginjal diatur oleh hormon anti diuretik atau ADH (Anti Diuretik Hormon). Apabila air di dalam darah berkurang maka akan terdeteksi oleh reseptor dalam otak dan merangsang kelenjar pituitary untuk memproduksi ADH. ADH akan menyebabkan air dalam tubulus ginjal terserap ke dalam darah dan menyebabkan urin menjadi pekat, tetapi darah agak encer.

Jika darah sedang encer, misalnya setelah minum banyak air, ADH tidak diproduksi. Maka urin pekat yang hipertonis akan menyebabkan air di dalam darah terserap ke dalam tubulus bersatu dengan urin, dan disalurkan ke kantong kemih untuk dibuang. Kita sering merasakan, apabila banyak minum akan menyebabkan sering buang air kecil.

2. Kulit

Kulit merupakan organ terluar tubuh yang memiliki struktur yang cukup kompleks dan memiliki berbagai fungsi yang vital. Kulit mempunyai peranan untuk memelihara suhu tubuh, dan melindungi jaringan yang ada di bawahnya dari gangguan fisik berupa gesekan, penyinaran, panas, kuman, dan zat kimia.

Selain itu, kulit juga berfungsi sebagai alat ekskresi dengan cara mengeluarkan keringat. Banyaknya keringat yang dikeluarkan oleh seseorang dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya aktivitas tubuh, suhu lingkungan, makanan, keadaan emosi, dan keadaan kesehatan.

Kulit terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar (epidermis) dan lapisan dalam (dermis).

a. Epidermis

Epidermis adalah bagian luar kulit yang agak tipis berupa jaringan epitel. Epidermis dikenal juga dengan nama kulit ari yang terdiri dari beberapa lapisan.

1) Stratum korneum

Stratum korneum atau disebut juga lapisan zat tanduk merupakan lapisan sel mati yang selalu mengelupas dan tersusun atas berlapis-lapis jaringan sel pipih. Stratum korneum berfungsi untuk melindungi sel-sel dan mencegah masuknya bibit penyakit.

2) Stratum lusidum

Stratum lusidum merupakan lapisan sel mati yang jernih dan tidak berinti. Lapisan ini berfungsi untuk mengganti sel-sel yang terdapat pada lapisan stratum korneum dan hanya ditemukan pada kulit tebal, seperti kulit telapak tangan.

3) Stratum granulosum

Stratum granulosum merupakan lapisan yang disusun oleh sel-sel pipih berisi granula berwarna gelap mengandung keratohialin. Lapisan ini memiliki fungsi yang sama dengan stratum lusidium, yaitu mengganti sel-sel yang terdapat pada lapisan stratum korneum.

4) Stratum spinosum

Stratum spinosum merupakan lapisan sel-sel bentuknya polihedral dan tersusun rapat, serta permukaannya menampakkan bentukan seperti duri.

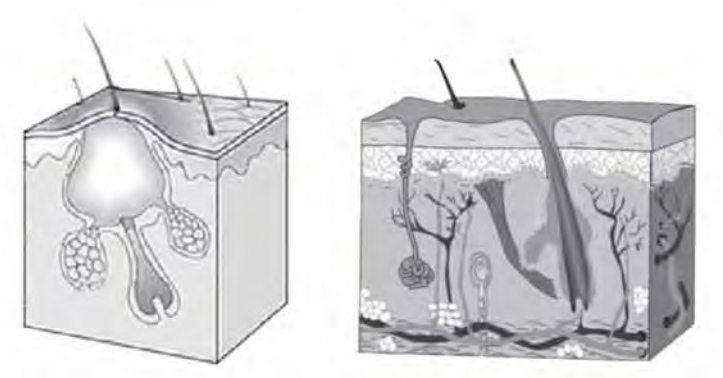
5) Stratum germinativum

Stratum germinativum merupakan lapisan yang tersusun atas selapis sel kubus. Lapisan ini aktif melakukan pembelahan dan berfungsi membentuk lapisan sel baru.

b. Dermis

Lapisan dermis terletak di bawah lapisan epidermis dan terdiri atas jaringan ikat yang mengandung serat-serat elastis dan kolagen. Pada lapisan dermis terdapat pembuluh darah, akar rambut, ujung saraf, kelenjar keringat (*glandula sundorifera*), serta kelenjar minyak (*glandula sebassea*) yang letaknya dekat akar rambut.

Kelenjar keringat berfungsi untuk mengeluarkan keringat yang mengandung zat sisa metabolisme. Kelenjar ini berbentuk seperti pipa terpilin yang memanjang. Pangkal kelenjar ini berhubungan dengan kapiler darah serta serabut saraf simpatik. Dari kapiler darah tersebut, kelenjar keringat akan menyerap air dengan larutan garam dan sedikit urea.



Sumber: *www.glycemicindex.com, 2006*

Gambar 8.5 Keadaan kulit pada saat cuaca panas.

Pengaturan kerja kelenjar keringat berada di bawah pengaruh pusat pengaturan suhu badan (hipotalamus) dan enzim brandikinin yang kerjanya dirangsang oleh perubahan suhu tubuh. Pada orang yang memiliki aktivitas yang cukup tinggi dalam kesehariannya, pengeluaran keringat akan lebih banyak dari kondisi normal sehingga air dan garam banyak yang terbuang. Hal ini akan mengakibatkan orang tersebut mengalami dehidrasi.

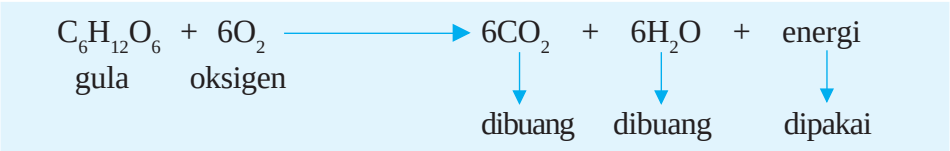
Pada saat lingkungan sedang panas kelenjar keringat aktif dan pembuluh kapiler di kulit melebar. Melebarnya kapiler menyebabkan merembesnya air dan sisa metabolisme menjadi keringat. Aktifnya kelenjar keringat mengakibatkan keluarnya keringat ke permukaan kulit dengan cara penguapan. Penguapan menyebabkan suhu di permukaan kulit turun sehingga kita tidak merasakan panas lagi.

Berkeringat merupakan cara kulit menjaga keseimbangan suhu tubuh dengan lingkungannya. Ketika cuaca sedang buruk atau suhu lingkungan dingin, kelenjar keringat menghentikan aktivitasnya, kemudian kapiler darah di kulit menyempit. Pada keadaan ini darah tidak dapat membuang air dan sisa metabolisme. Dengan demikian, suhu tubuh tetap seperti semula, dan tidak berkurang suhunya. Penguapan sangat jarang terjadi agar tubuh tidak kedinginan.

3. Paru-Paru

Selain bekerja dalam proses pernapasan, paru-paru berperan ganda dalam proses pengeluaran. Satu-satunya alat yang dapat membuang sisa metabolisme dalam bentuk gas adalah paru-paru. Ekskresi paru-paru bersamaan dengan respirasi. Fase ekshalasi atau ekspirasi pada proses bernapas sebetulnya juga merupakan proses ekskresi.

Karbon dioksida dan uap air adalah sisa respirasi dalam setiap sel tubuh, khususnya dilakukan oleh mitokondria dalam rangka perolehan energi melalui oksidasi makanan. Secara kimiawi, proses tersebut dapat ditulis sebagai berikut.



Sisa respirasi berupa gas karbon dioksida dan uap air ini yang diembuskan keluar pada fase ekshalasi. Awalnya, karbon dioksida dan uap air dari sel didifusikan ke darah dalam vena, kemudian dialirkan ke paru-paru untuk diekskresikan.

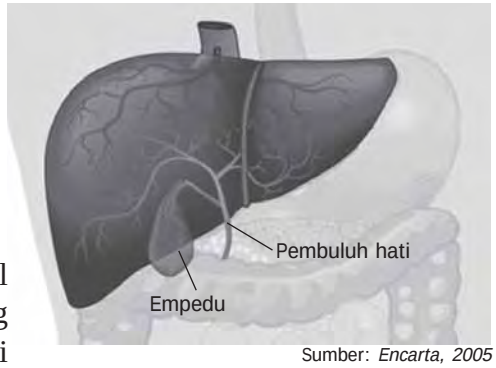
4. Hati

Hati merupakan kelenjar terbesar dalam tubuh. Peran utamanya membantu proses pencernaan makanan. Di dekat hati terdapat sebuah kantong kecil dengan warna

kontras, yaitu kantong empedu. Dari hati dikeluarkan cairan empedu yang mengandung zat-zat pengemulsi lemak, juga mengandung pigmen.

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai sistem ekskresi yang dibahas pada bab ini, kunjungi website: http://www.emc.maricopa.edu



Sumber: *Encarta, 2005*

Gambar 8.6 Hati.

Pigmen empedu merupakan hasil penghancuran sel-sel darah merah yang sudah tua dan ditumpuk di hati. Hati mengubah dan menghancurkan sampah tersebut. Hemoglobin tua diubah menjadi pigmen empedu. Saat cairan empedu memasuki usus, pigmen tidak turut dicernakan, hanya dilewatkan dan bersatu dengan tinja. Warna kuning tinja merupakan bukti adanya pigmen empedu. Jadi, sampah hemoglobin dibuang melalui tinja. Selain itu, aktivitas bakteri dari usus besar menyebabkan pigmen terserap ke dalam darah. Warna kuning pada plasma darah dan urin berasal dari pigmen empedu juga.

Hati juga mensintesis sejumlah protein menjadi senyawa penetral racun, dan dapat menghancurkan bakteri dalam darah. Proses penetralan racun disebut detoksifikasi. Hati juga akan mengakumulasi racun yang sulit diuraikan dan disimpan di dalam hati agar tidak meracuni seluruh tubuh.

C. Gangguan pada Sistem Ekskresi

Mengingat fungsi ginjal yang amat penting bagi kelangsungan hidup organisme maka semaksimal mungkin segala gangguan terhadap ginjal harus dihindarkan. Akan tetapi, ini merupakan pekerjaan berat. Banyak kelainan dan gangguan pada fungsi ginjal, di antaranya akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Diabetes

Penyebab diabetes ada dua macam. *Pertama* diabetes insipidus, terjadi akibat ketidakmampuan si penderita untuk memproduksi hormon ADH. Ketiadaan ADH menyebabkan penderita selalu ingin kencing, hampir sebanyak 20 kali sehari. Akibatnya penderita selalu merasa haus sekali.

Kedua, yaitu diabetes mellitus. Diabetes mellitus adalah penyakit yang diakibatkan kegagalan pankreas memproduksi insulin. Insulin adalah hormon yang mengatur kadar gula darah agar tidak melebihi normal. Berlebihnya gula dalam darah tidak mampu

diserap kembali seluruhnya oleh tubulus proksimal sehingga gula tersebut terkandung dalam urin penderita.

2. Nefritis

Nefritis adalah peradangan di ginjal terutama pada glomerulus. Penyebabnya adalah bakteri *Streptococcus* yang masuk melalui saluran pernapasan, kemudian dibawa oleh darah dan selanjutnya ke ginjal. Peradangan menyebabkan glomerulus semakin berlubang-lubang melebihi pori-pori yang sudah ada. Akibatnya, sel-sel darah dan protein masuk ke tubulus bersama filtrat glomerulus. Sel darah dan protein tidak dapat direabsorpsi dan keluar bersama urin. Urin akan tampak merah atau keruh. Pemberian antibiotik dan istirahat total biasanya akan menyembuhkan nefritis.

3. Uremia

Uremia merupakan kegagalan ginjal membuang limbah metabolisme secara normal. Ini dapat disebabkan beberapa faktor, misalnya nefritis, kerusakan saluran kencing, infeksi bakteri, overdosis vitamin D, *shock* berat, terbakar, keracunan, reaksi karena tranfusi darah, diabetes, dan benturan fisik tubuh. Gejalanya sakit kepala dan keinginan kencing yang tiba-tiba dan tidak tertahankan. Pada uremia yang parah biasanya dilakukan hemodialisa (cuci darah) atau transplantasi ginjal baru.

4. Anuria

Anuria merupakan kegagalan ginjal tidak dapat membuat urin sedikit pun. Ini juga karena adanya kerusakan glomerulus. Filtrasi tidak dapat dilakukan sehingga tidak ada urin yang terbentuk. Tekanan darah yang rendah juga menghambat masuknya filtrat glomerulus ke tubulus sehingga menyebabkan anuria juga.

5. Kencing Batu atau Batu Ginjal

Batu ginjal bisa berukuran sangat kecil atau mendekati ukuran bola tenis meja. Batu terbentuk dari senyawa kalsium dan penumpukan asam urat. Pembentukan batu ginjal kurang diketahui penyebabnya dan sulit dicegah maupun diobati. Dengan diet, pembentukan batu ginjal bisa dikurangi.

6. Sistitis (Cystitis)

Sistitis merupakan radang selaput mukosa kantong kemih, disebabkan infeksi bakteri atau karena zat-zat kimia, atau kerusakan fisik. Lebih banyak terjadi pada wanita karena saluran kemihnya (uretranya) lebih pendek, memudahkan masuknya bakteri dari luar.

Horizon Biologi

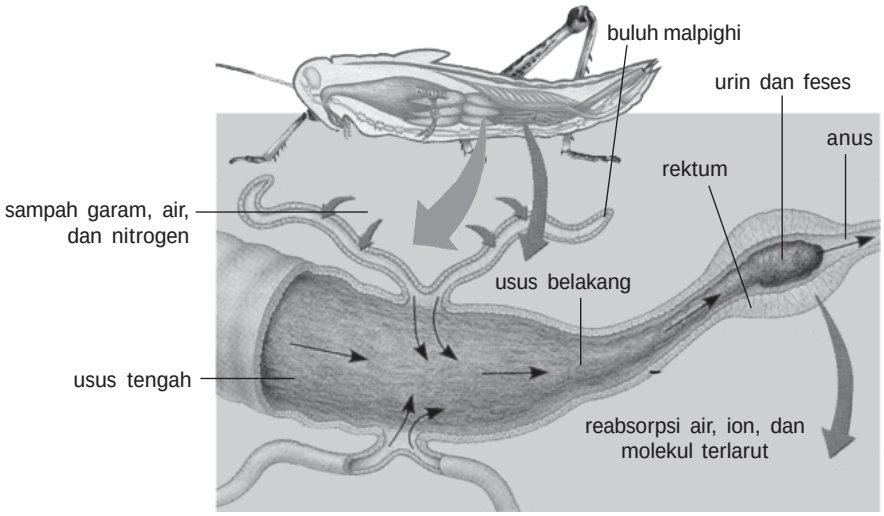
Teknologi baru untuk pengobatan batu ginjal telah ditemukan. Teknologi ini ditemukan secara tidak sengaja oleh para pembuat pesawat angkasa luar. Penemuan ini lalu diterapkan dalam dunia kedokteran, terutama dalam memecah batu ginjal tanpa pembedahan. Berawal dari tertabraknya pesawat luar angkasa milik Jerman oleh sebuah meteor. Anehnya, benda-benda di dalamnya hancur tetapi bagian luar pesawat hanya penyok.

Setelah diteliti, akhirnya disimpulkan bahwa gelombang kejut yang berasal dari fragmen-fragmen kecil yang melintasi atmosfer dapat menghancurkan benda yang sangat keras. Penemuan ini kemudian dikembangkan lebih lanjut dalam dunia kedokteran, untuk memecah batu di dalam ginjal.

D. Sistem Ekskresi pada Hewan

1. Alat Ekskresi pada Insekta

Golongan hewan insekta atau serangga memiliki alat ekskresi yang disebut buluh *malpighi*. Buluh malpighi ini berbentuk buluh-buluh halus berwarna kekuning-kuningan yang disebut tubulus malpighi. Sekelompok buluh malpighi terikat pada ujung anterior usus belakang. Seperti diperlihatkan pada gambar berikut.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 8.7 Alat ekskresi belalang yang berupa buluh malpighi.

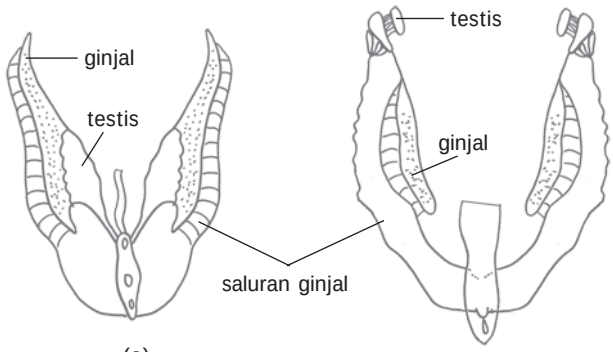
Cara kerja buluh malpighi atau tubulus malpighi adalah dengan cara menyerap zat-zat yang terlarut dalam darah melalui dinding tubulus. Di dalam tubulus, cairan yang masuk diseleksi, zat yang bermanfaat diserap untuk dikembalikan ke darah termasuk air hingga tersisa limbah yang berbentuk padat, yaitu asam urat.

Tubulus malpighi tidak memiliki saluran keluaran. Oleh sebab itu, asam urat disalurkan ke usus belakang. Dengan cara seperti ini, zat sisa metabolisme akan dibuang bersama feses. Dengan demikian, dapat mencegah belalang untuk kehilangan air dari dalam tubuhnya. Bentuk ekskresi ini tidak terdapat pada ekskresi hewan lain.

2. Sistem Ekskresi pada Ikan

Berdasarkan lingkungan tempat hidupnya terdapat dua jenis ikan, yaitu ikan laut dan ikan air tawar. Perbedaan salinitas lingkungan tempat hidup ikan itu menyebabkan perbedaan pada kerja ginjal dari masing-masing ikan.

Pada ikan air tawar, lingkungan hipotonik menyebabkan air masuk terus-menerus ke dalam tubuh. Agar terhindar dari pengenceran cairan tubuh, ginjal ikan harus bekerja keras mengeluarkan air ini dalam bentuk urin. Darah yang membawa air dan garam-garam akan memasuki kapsula Bowman melalui glomerulus. Pada kapsul bowman akan terjadi filtrasi. Zat-zat yang masih dibutuhkan diserap kembali oleh arteri oeritubuler yang mengelilingi tubulus.



Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 8.8 Organ utama pada sistem ekskresi (a) ikan air tawar (b) ikan air laut.

Horizon Biologi

Osmoregulasi

Pada ikan, eksresi tidak hanya berfungsi untuk mengeluarkan zat sisa, tetapi untuk mengatur juga keseimbangan cairan tubuh atau osmoregulasi. Osmoregulasi ikan air tawar berbeda dengan ikan air laut. Ikan air tawar hidup di lingkungan hipotonis (konsentrasi air di dalam tubuh lebih rendah daripada konsentrasi air di luar tubuh). Oleh sebab itu, ikan air tawar banyak mengekskresikan urin. Sebaliknya, ikan air laut hidup di lingkungan hipertonis (konsentrasi air di dalam tubuh lebih tinggi daripada konsentrasi air di luar tubuh). Oleh sebab itu, ikan laut sedikit mengekspresikan urin.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar, jilid 3, 2003*

Setelah penyerapan garam-garam tubuh selesai, terbentuklah urin yang pada kenyataannya tidak lebih daripada air saja, sebab sebagian besar limbah nitrogen dibuang secara difusi melalui insang. Dapat dikatakan bahwa bagi ikan air tawar, ginjal merupakan alat keseimbangan air, selain sebagai alat ekskresi.

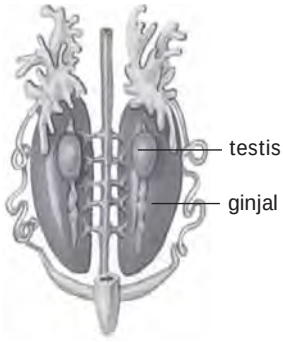
Dari ginjal, urin akan dialirkan ke saluran urin menuju kloaka atau bahkan langsung ke luar melalui pori/lubang urinaria, bersebelahan dengan lubang kotorannya. Pada beberapa jenis ikan, terutama ikan jantan, saluran urin bersatu dengan saluran reproduksi. Kantongnya disebut sinus urogenitalis.

Ikan laut menghadapi masalah yang berbeda. Justru salinitas yang tinggi menyebabkan cairan tubuhnya tersedot ke luar terus-menerus. Oleh karena itu, cara ekskresinya berbeda. Pada ikan bertulang rawan, seperti ikan hiu, ginjalnya lebih banyak menyerap urea kembali ke dalam darahnya. Ini dilakukan agar tekanan osmosis darah sama dengan tekanan osmosis air laut. Keadaan isotonis ini dapat mencegah mengalirnya cairan tubuh ke luar.

Kadar urea dalam darah hiu hampir 80 kali lipat kadar urea pada vertebrata lainnya. Fungsi ginjal ikan laut sama dengan ginjal vertebrata darat, yaitu menyaring limbah nitrogen, garam-garam, dan sedikit sekali air. Pebedaan hanya terdapat pada kadar ureanya.

Ikan laut yang bertulang keras seperti bandeng contohnya mengatasi kehilangan air dengan meminum air secara terus-menerus, sedangkan garam yang ikut tertelan akan dikembalikan ke laut melalui transpor aktif oleh insang. Sementara itu, ginjal akan sesedikit mungkin membentuk urin. Agar pembentukan urin tidak terlalu banyak, ikan laut memiliki glomerulus yang sangat kecil. Namun, ada beberapa jenis ikan laut yang tidak memiliki glomerulus. Garam-garam dan limbah nitrogen dikeluarkan melalui tubulus dan sistem portal renal yang baik.

3. Sistem Ekskresi pada Katak



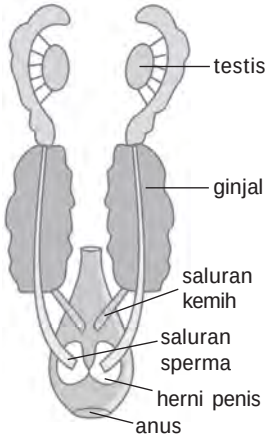
Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 8.9 Organ utama pada sistem eksresi katak jantan (ginjal).

Amfibi memiliki ginjal tipe opistonefros. Sama halnya dengan ikan air tawar, ginjal juga berfungsi untuk keseimbangan air di dalam tubuh. Ginjal katak juga harus bekerja menyesuaikan diri dengan cara hidup katak yang sewaktu-waktu di air dan sewaktu-waktu di darat.

Pada saat di darat, aliran darah pada glomerulus terbatas. Oleh karena itu, zat-zat buangnya akan diserap oleh tubulus melalui sistem portal renal. Selain itu, katak memiliki kantong kemih. Pada saat kekurangan air, air dalam kantong kemih diserap kembali ke dalam darah.

4. Sistem Ekskresi pada Reptilia



Sumber: *Modern Biology, 1993*

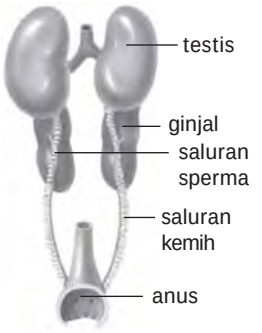
Gambar 8.10 Organ utama pada sistem ekskresi pada reptilia (ginjal).

Ginjal reptilia bertipe metanefros, bentuk ginjalnya berbeda-beda. Pada ular dan kadal ginjalnya panjang dan sempit. Posisi kedua ginjal bukan lagi berdampingan di kiri dan kanan tubuh, namun ginjal yang satu terletak di bagian belakang ginjal yang lainnya.

Ular, buaya, dan biawak tidak memiliki kantong kemih. Untuk beradaptasi dengan lingkungan yang kering, ketiga anggota reptil tersebut mengubah urinnya menjadi asam urat dan membuangnya dalam bentuk kering seperti pasta putih. Mungkin anda pernah melihat kotoran tokek atau cicak di rumah yang warnanya separuh hitam dan ujungnya putih. Bagian hitam merupakan feses (tinja) dan yang putih asam urat. Jadi, sebagian besar anggota reptilia membuang limbah nitrogen tanpa kehilangan air. Hal ini penting karena lingkungan mereka yang sangat kering dan kulitnya tertutup sisik tebal.

Pada kadal dan kura-kura, ginjal meneruskan urin ke vesika urinaria (kantong kemih) melalui ureter yang pendek. Kantong kemih meneruskan lagi ke kloaka. Kura-kura tertentu memiliki dua kantong tambahan pada kantong kemihnya sebagai alat bantu respirasi. Pada kura-kura betina, kedua kantong tambahan itu terkadang berisi air untuk membasahi tanah di tempatnya bertelur agar lunak saat digali.

5. Sistem Ekskresi pada Burung (Aves)



Sumber: *Modern Biology, 1998*

Gambar 8.11 Organ utama pada sistem ekskresi ginjal burung.

Oleh karena kebiasaan terbangnya maka menyebabkan burung efektif mengatur bobot tubuhnya. Agar tidak menjadi beban, burung tidak memiliki kantong kemih. Urea dibuang dalam bentuk asam urat. Hanya burung unta (ostrich) yang memiliki kantong kemih.

Asam urat yang dikeluarkan bersama feses warnanya putih dan seperti pasta. Dalam ginjal burung tidak ada sistem portal renal, seluruh absorpsi limbah dilakukan oleh glomerulus. Jadi, meskipun glomerulus kecil, namun aktivitasnya tinggi karena tidak ada bantuan dari sistem portal renal.

Rangkuman

Alat ekskresi pada manusia dan hewan vertebrata pada umumnya terdiri dari ginjal, kulit, paru-paru, hati, dan anus. Setiap alat organ pengeluaran tersebut memiliki fungsi tersendiri dan jenis zat sisa yang dikeluarkan pun disesuaikan dengan alat pengeluaran masing-masing.

Zat sisa metabolisme yang dikeluarkan oleh ginjal adalah urin. Proses pembentukan urin pada ginjal berlangsung melalui empat tahap, yaitu *filtrasi*, *absorpsi aktif*, *absorpsi pasif*, dan *sekresi*. Kulit memiliki peranan untuk memelihara suhu tubuh dan melindungi jaringan yang ada di bawahnya. Selain itu, kulit juga berfungsi sebagai alat ekskresi dengan cara mengeluarkan keringat.

Kulit terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar (epidermis) yang terdiri dari lapisan *stratum korneum*, *stratum lusidum*, *stratum granulosum*, *stratum spinosum*, dan, *stratum germinativum* serta lapisan dalam (dermis) yang terletak di bawah lapisan epidermis dan terdiri atas jaringan ikat yang mengandung serat-serat elastis dan kalogen.

Selain bekerja dalam proses pernapasan, paru-paru juga berperan ganda dalam proses pengeluaran. Zat sisa yang dikeluarkan oleh paru-paru berupa gas. Proses ekskresi pada paru-paru berlangsung pada saat respirasi.

Selain memiliki peran pada proses pencernaan makanan, hati juga merupakan alat ekskresi. Dari hati dikeluarkan cairan empedu yang mengandung zat-zat pengemulsi lemak yang mengandung pigmen. Pada ginjal sering ditemukan kelainan-kelainan atau gangguan, seperti diabetes, nefritis, uremia, anuria, kencing atau batu ginjal, dan sistitis.

Selain pada manusia, ekskresi juga terjadi pada hewan, seperti insekta, ikan, katak, ular, kadal, dan burung. Pada insekta alat ekskresinya adalah buluh malpighi, sedangkan alat ekskresi pada ikan adalah ginjal. Pada ikan, ginjal selain berfungsi sebagai alat ekskresi juga berfungsi sebagai alar kesinambungan air. Sistem ekskresi pada katak sama seperti ikan, yaitu ginjal. Pada katak ginjal selain berfungsi sebagai alat ekskresi juga berfungsi untuk keseimbangan air dalam tubuh.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Cacing tanah melakukan pembuangan sisa metabolisme melalui alat utama yang disebut . . . .
   A. *flame cell*
   B. nefron
   C. nefridia
   D. tubulus malpighi
   E. ginjal

2. Di bawah ini adalah hewan yang mengeluarkan zat sisa metabolisme dalam bentuk asam urat, *kecuali* . . . .
   A. tokek
   B. merpati
   C. ayam
   D. tikus
   E. ular

3. Hewan yang hemat air karena lingkungan yang kering akan membuang limbahnya dalam bentuk . . . .
   A. asam urat
   B. amoniak
   C. urea
   D. hidroksida
   E. urin

4. Alasan unggas membuang limbah nitrogen dalam bentuk asam urat adalah . . . .
   A. unggas memiliki penutup tubuh yang cukup tebal
   B. unggas sulit memperoleh air dalam kebutuhan hidupnya
   C. unggas tidak memiliki kantong kemih untuk menambah ringan tubuhnya
   D. unggas terlalu aktif dalam melakukan metabolismenya
   E. suhu tubuh unggas yang sangat tinggi

5. Urin yang terkumpul di piala uretra merupakan urin sekunder yang komposisinya . . . .
   A. air – glukosa – amoniak – garam
   B. air – protein
   C. air – amoniak – garam
   D. air – protein – garam
   E. air – glukosa – amoniak

6. Amoniak juga terdapat di dalam ekskret dari . . . .
   A. paru-paru
   B. kulit
   C. usus
   D. empedu
   E. hidung

7. Jika kita menelan kapsul obat berwarna hijau maka warna hijau akan dikeluarkan lagi oleh . . . .
   A. paru-paru
   B. hati
   C. ginjal
   D. empedu
   E. usus

8. Kelainan ginjal yang ada kaitannya dengan sistem pernapasan adalah . . . .
   A. diabetes
   B. uremia
   C. nefritis
   D. anuria
   E. sistitis

9. Adanya hormon anti diuretik dalam darah menyebabkan . . . .
   A. kadar air dalam darah meningkat
   B. kadar air dalam tubulus meningkat
   C. kadar gula dalam darah meningkat
   D. kadar air dalam darah dan tubulus meningkat
   E. kadar gula dalam darah menurun

10. Feses berwarna kuning karena . . . .
   A. adanya bakteri penguning
   B. proses pembusukan
   C. warna cairan lambung
   D. warna empedu
   E. warna sisa makanan

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Bagaimana mekanisme pengeluaran sisa pada belalang? Jelaskan!
2. Bagaimanakah perbedaan ekskresi pada hiu dan ikan mas? Jelaskan!
3. Bagaimana urutan tahap pembentukan urin pada manusia? Jelaskan!
4. Gambarlah sebuah nefron dari ginjal manusia, dan beri keterangan secara lengkap!
5. Apakah perbedaan antara ginjal kadal dengan ginjal ikan?

* * *

Bab 9

Sistem Koordinasi



Sumber: *Encarta Encyclopedia, 2004*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

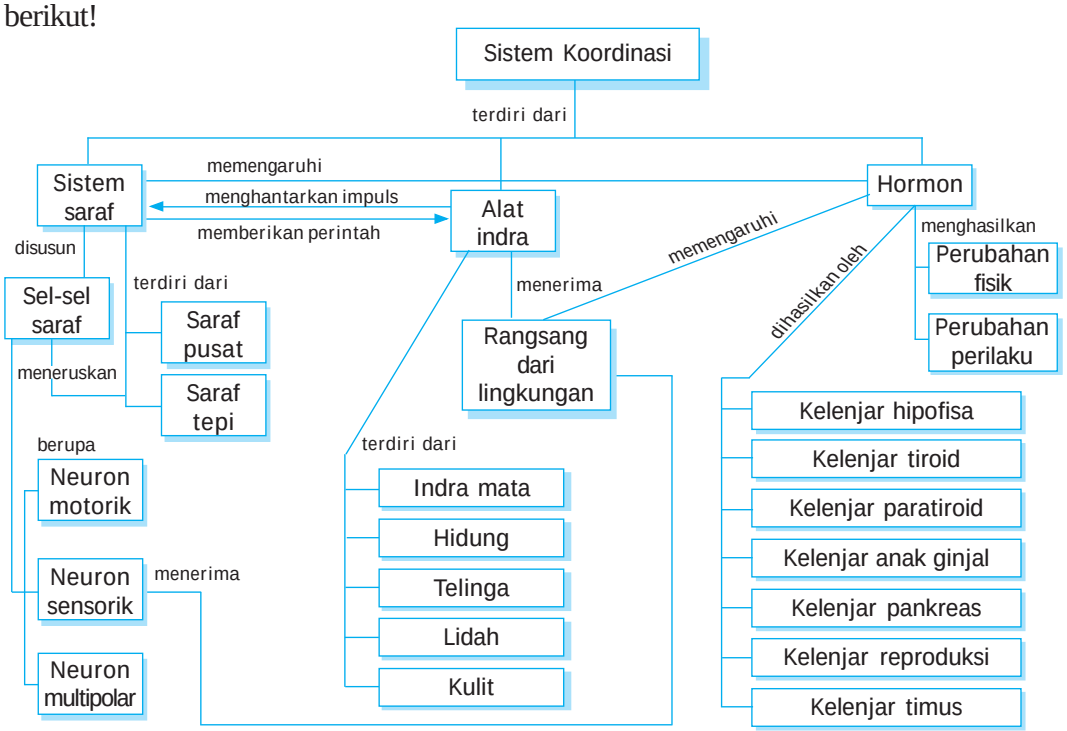
- mendeskripsikan struktur dan fungsi jaringan saraf dan otak;
- mendeskripsikan mekanisme kerja sistem saraf;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi alat-alat indra pada manusia;
- mendeskripsikan penggolongan dan peranan berbagai jenis hormon pada manusia;
- menjelaskan koordinasi antara sistem saraf, alat indra, dan sistem hormon dengan aktivitas dan pertumbuhan dan perkembangan manusia;
- mengidentifikasi berbagai gangguan dan kelainan pada sistem koordinasi cara penanganannya beserta teknologi yang berkaitan.

A. Pendahuluan

Seperti telah anda ketahui, di dalam tubuh manusia terdapat beberapa sistem organ. Agar seluruh sistem organ itu dapat bekerja dengan baik dan saling mendukung satu sama lain, tentunya harus ada sistem lain yang berfungsi untuk mengatur seluruh proses kerja sistem organ tersebut. Sistem yang dimaksud adalah *sistem koordinasi.* Sesuai dengan namanya, sistem ini berfungsi untuk mengatur sistem organ tubuh yang lain agar dapat menjalankan fungsinya dan bekerja sama secara serasi dan efisien.

Dalam tubuh kita, dibedakan menjadi dua sistem koordinasi berdasarkan sifat kerjanya, yaitu sistem koordinasi yang dilakukan oleh *sistem saraf* dan yang dilakukan oleh *sistem endokrin* (hormonal). Di antara keduanya terdapat perbedaan. Koordinasi oleh sistem saraf berlangsung cepat untuk menanggapi adanya perubahan lingkungan yang memerlukan tanggapan segera, sedangkan pengaturan oleh sistem hormon berlangsung jauh lebih lambat, namun lebih teratur. Sebagai contoh, cara kerja sistem koordinasi, ketika seseorang melakukan aktivitas lari, otak akan memantau perubahan kadar oksigen dan karbon dioksida dalam darah. Apabila telah diketahui apa yang terdeteksi, otak melalui sistem saraf akan mengirimkan impuls-impuls saraf ke diafragma, otot, jantung, dan paru-paru untuk memberikan tanggapan terhadap impuls-impuls saraf yang telah dikirimkan otak. Dalam hal ini, sistem koordinasi dilakukan oleh sistem saraf. Bagaimana kedua sistem koordinasi bekerja untuk menjalankan fungsinya?

Agar Anda lebih mudah memahami materi pada bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut!



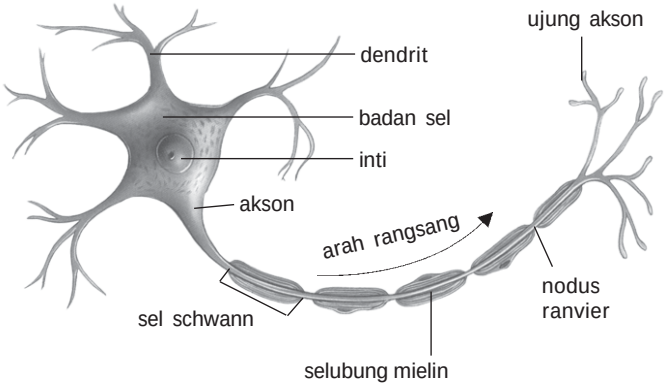
B. Sistem Saraf

Sistem saraf dibangun oleh sel-sel saraf yang disebut *neuron*. Bentuk neuron bervariasi bergantung pada letak dan fungsinya. Gambar 9.1 memperlihatkan tipe dari neuron.

Kata Kunci

- *Akson*
- *Badan alia*
- *Badan sel*
- *Bintik buta*
- *Cerebellum*
- *Dendrit*
- *Efiktor*
- *Gonadtropia*
- *Hifotalamus*
- *Hormon*
- *Insulin*
- *Indra*
- *Koordinasi*
- *Medula ablongata*
- *Neuron motorik*
- *Neuron sensorik*
- *Papila*
- *Resistor*
- *Saluran eutachius*

1) *Neuron motorik* membawa impuls dari sistem saraf pusat ke efektor (otot dan atau kelenjar).
2) *Neuron sensorik* membawa impuls dari reseptor (penerima rangsang) ke sistem saraf pusat (otak dan atau sumsum tulang belakang).
3) *Neuron multipolar* terdapat di dalam otak dan sumsum tulang belakang, menghubungkan neuron-neuron lainnya di dalam sistem saraf pusat.



Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 9.1 Bagian-bagian neuron.

Masing-masing neuron memiliki *badan sel*, terdiri atas inti (nukleus) yang dikelilingi oleh sitoplasma. Badan sel dilengkapi pula oleh uluran-uluran pendek sitoplasma yang disebut *dendrit* dan satu uluran panjang sitoplasma yang disebut *neurit* atau *akson*. Dendrit, neurit, dan soma (badan sel) dapat berhubungan dengan neuron-neuron lainnya. Neurit ditutupi oleh selubung mielin dan schwann.

Terdapat tiga fungsi sistem saraf, antara lain:

1) menerima dan meneruskan rangsang (baik luar maupun dalam),

2) menafsirkan (interpretasi) rangsang tersebut, dan
3) memberi respon terhadap rangsang dalam bentuk sekresi kelenjar atau kontraksi otot.

Melalui ketiga fungsi di atas, sistem saraf melaksanakan peranannya mengatur dan mengoordinasikan segala aktivitas tubuh. Secara anatomi, sistem saraf terdiri atas dua bagian, yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi.

1. Sistem Saraf Pusat

Sistem saraf pusat terdiri atas otak (ensefalon) dan sumsum tulang belakang (medula spinalis).

a. *Otak*

Otak terletak di dalam rongga kepala terlindung oleh *tulang tengkorak* (kranium), *selaput otak* (meninges), dan *cairan otak* (cairan serebrospinal). Permukaannya tidak merata karena adanya belahan-belahan otak (lobus), gelang-gelang otak (girus), dan alur-alur otak (fisura). Otak dibedakan atas tiga bagian utama, yaitu otak besar (serebrum), otak kecil (serebelum), dan batang otak (medula oblongata).

1) Otak besar

Serebrum merupakan bagian terbesar dari otak manusia, terdiri atas dua hemisfer serebral yang dipisahkan oleh fisura longitudinal. Kedua hemisfer ini dihubungkan oleh sejumlah badan serabut saraf yang disebut korpus kalosum. Melalui badan inilah impuls-impuls diteruskan dari satu hemisfer ke hemisfer lainnya.

Hemisfer terbagi menjadi lobus-lobus, dipisahkan oleh celah yang disebut sukus. Setiap hemisfer terdiri atas 4 lobus, antara lain:

Tokoh



PUSAT BICARA

Pierre Paul Broca (1824-1880) adalah seorang ahli bedah, anatomi, dan antropologi. Ia lulus dari kedokteran dan menjadi profesor ilmu bedah di Paris, dan ia juga tertarik pada matematika tingkat tinggi. Ia menemukan sebuah daerah sempit pada lapisan luar serebrum yang bertanggung jawab untuk mengoordinasikan otot-otot di dalam pangkal tenggorok dan leher yang menghasilkan bicara. Daerah ini sekarang dikenal sebagai daerah Broca, atau pusat motorik bicara. Broca juga mempelajari kanker dan mengembangkan alat-alat untuk mengukur otak dan tengkorak.

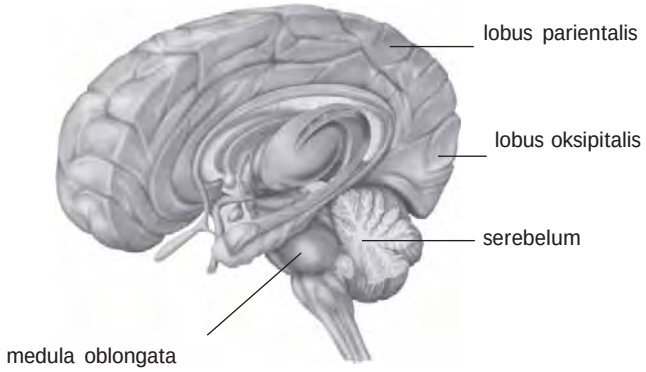
Sumber: *Jendela Iptek Tubuh Manusia, 2001*

a) Lobus frontalis, merupakan bagian depan serebrum sampai dengan sulkus tengah. Fungsinya mengendalikan aktivitas mental dan gerakan otot.

b) Lobus parientalis, terletak di antara lobus frontalis dan lobus oksipitalis, fungsinya sebagai pusat sensasi dan bicara.

c) Lobus oksipitalis, merupakan bagian belakang serebrum yang berfungsi sebagai pusat penglihatan.

d) Lobus temporalis, terletak di tepi bawah lobus parientalis dan frontalis yang berfungsi sebagai pusat saraf pendengaran.



Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2002*

Gambar 9.2 Bagian-bagian otak manusia.

2) Otak kecil (Serebelum)

Otak kecil (serebelum) terletak di bawah dari lobus oksipitalis serebrum. Bagian otak ini terbagi dua kiri-kanan oleh fisura yang dangkal. Otak kecil merupakan pusat pengaturan gerak dan keseimbangan tubuh. Pada serebelum depan terdapat penerus impuls dari otot-otot bagian kanan dan kiri tubuh, disebut *jembatan varol*. Jembatan varol menghubungkan otak besar dan otak kecil.

3) Batang otak (*Medula Oblongata*)

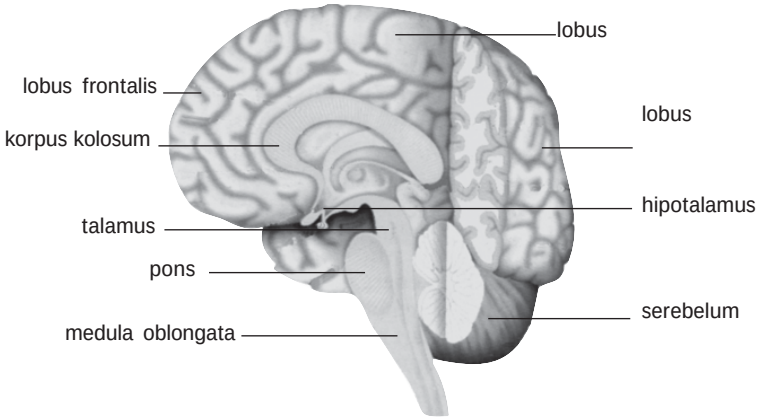
Medula oblongata terletak di antara serebrum dan medula spinalis (sumsum tulang belakang). Medula ini berperan sebagai pusat pengatur pernapasan, dengan cara meneruskan impuls-impuls saraf yang merangsang otot-otot antarusuk (muskulus interkostalis) dan diafragma. Selain itu, medula oblongata berperan juga sebagai pusat pengaturan gerak refleks detak jantung, suhu tubuh, dan vaso dilatasi atau vaso konstriksi (pelebaran atau penyempitan) pembuluh darah.

Batang otak memiliki bagian-bagian:

a) Talamus, terletak di bagian anterior dari medula oblongata dan terdiri atas dua tonjolan sisi.

b) Hipotalamus, terletak tepat di bawah talamus dan berperan dalam pemeliharaan keseimbangan dinamis tubuh dengan pengendalian tertentu, misalnya nafsu makan, tidur, suhu tubuh, dan keseimbangan cairan tubuh.

c) Otak tengah, merupakan daerah sempit antara talamus dan pons varoli, terlibat dalam refleks-refleks visual tertentu.



Sumber: *The Ultimate Visual Dictionary of Science, 1998*

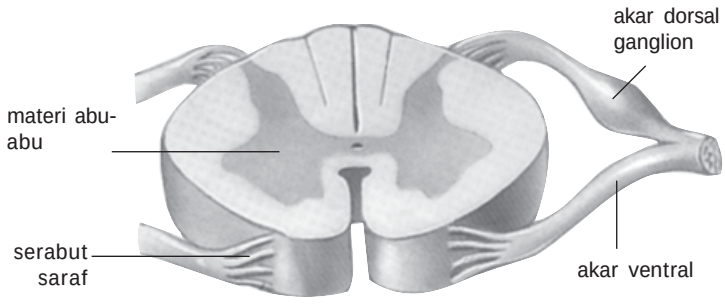
Gambar 9.3 Potongan midsagital otak manusia.

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai otak, kunjungi website http:/biology.about.com// library/organs/brain.

b. Sumsum Tulang Belakang (Medula Spinalis)

Sumsum tulang belakang terletak di dalam saluran ruas-ruas tulang belakang (kolumna vertebralis), terdiri atas ribuan neuron (sel saraf), dan diselubungi oleh selaput pembungkus (meninges).



Sumber: *Modern Biology, 1993*

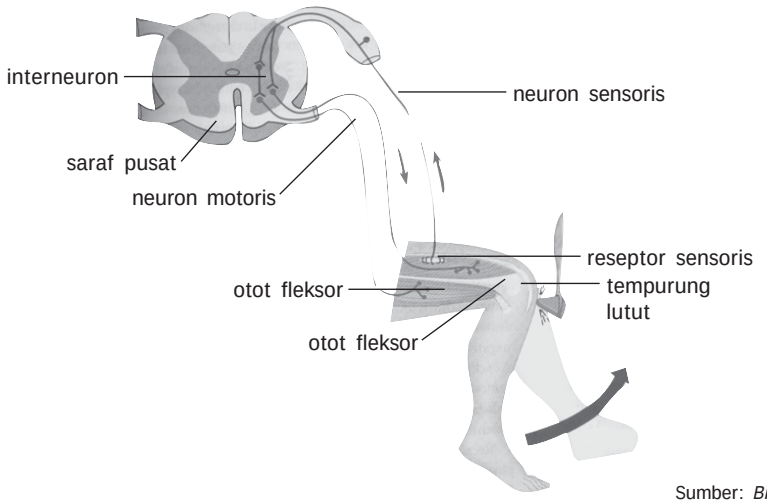
Gambar 9.4 Struktur sumsum tulang belakang.

Sumsum tulang belakang terdiri atas dua bagian, yaitu bagian abu-abu di tengah dan bagian putih di pinggir. Bagian abu-abu berbentuk huruf H, terdiri dari akar dorsal yang mengandung saraf sensorik, akar ventral yang mengandung saraf motorik eferen, dan kanal sentral suatu saluran yang mengandung cairan serebrospinal yang berhubungan dengan rongga ventrikel dalam otak.

Bagian putih, mengelilingi bagian abu-abu, berisi serabut-serabut saraf spiral yang datang dari bagian abu-abu, dan serabut saraf sepanjang sumsum tulang belakang yang menghubungkan saraf spinal dengan otak.

Fungsi sumsum tulang belakang adalah sebagai penghubung impuls dari atau ke otak dan memberi kemungkinan jalan terpendek pada gerak refleks. Gerak *refleks* adalah respons tidak sadar terhadap rangsang tertentu. Refleks ini merupakan mekanisme penting untuk memelihara kenormalan fungsi tubuh. Misalnya, batuk dan bersin adalah refleks pemeliharaan dari gangguan sistem pernapasan.

Refleks-refleks yang sederhana hanya memerlukan paling banyak tiga buah sel saraf (neuron) untuk menghasilkan aksi terhadap sebuah rangsang yaitu neuron sensoris interneuron-neuron motoris. Refleks dapat diselesaikan melalui lengkung refleks, yaitu jalan terpendek yang ditempuh suatu gerak refleks, seperti refleks sentakan lutut, pada Gambar 9.5.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 9.5 Refleks sentakan lutut lengkung refleks merupakan unit fungsional dari sistem saraf yang dibangun oleh reseptor, neuron sensorik, sumsum tulang belakang, neuron motorik, dan efektor (otot atau kelenjar).

2. Sistem Saraf Tepi

Sistem saraf tepi dibagi dalam dua sistem, yaitu *sistem saraf kraniospinal dan sistem saraf otonom.*

Horizon Biologi



KIRI DAN KANAN

Pada saraf tulang belakang dan dasar otak, saraf-saraf menyeberang dari kiri ke kanan. Ini berarti sisi kiri otak menerima rangsangan dalam bentuk sinyal-sinyal dari sisi kanan tubuh, dan mengirim sinyal motorik ke sisi kanan tubuh juga, dan demikian sebaliknya sisi kanan otak. Salah satu sisi otak biasanya lebih dominan, dan ini berhubungan dengan keterampilan tangan seseorang. Sisi kiri otak dominan pada mereka yang tangan kanannya aktif, di mana terdapat daerah Broca. Bagi mereka yang kidal, daerah Broca biasanya terdapat di hemister kanan otak besar. Orang-orang kidal sering lebih menonjol dalam seni visual, musik, atau kreatif seperti pemain gitar musik rock Jimmy Hendrix (1942-1970), yang memegang gitar dengan terbalik.

Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*

a. Sistem Saraf Kraniospinal

Sistem saraf kraniospinal terdiri atas sistem saraf kranial dan sistem saraf spinal. *Sistem saraf kranial* dibangun oleh 12 pasang saraf yang keluar dari otak, sedangkan *sistem saraf spinal* dibangun oleh 31 pasang saraf yang keluar dari sumsum tulang belakang. Saraf kranial terutama berhubungan dengan reseptor dan efektor untuk daerah kepala, sedangkan saraf spinal melayani reseptor dan efektor lainnya yang berada dalam tubuh. Untuk lebih memudahkan Anda mengingatnya, perhatikanlah Tabel 9.1 berikut!

Tabel 9.1 Jenis dan Fungsi Saraf Kranial

No.	Nama Neuron	Jenis Neuron	Fungsi
1.	Olfaktorius	Sensorik	Mencium
2.	Optikus	Sensorik	Melihat
3.	Okulomotorius	Motorik	Mengerling
4.	Trokearis	Motorik	Menggerakkan bola mata
5.	Trigeninus	Motorik Sensorik	Mengunyah Sakit, tekanan, pedas, dan suhu
6.	Abdusen	Motorik	Menggerakkan bola mata
7.	Fasialis	Motorik Sensorik	Mimik muka Mengecap
8.	Vestibuloakustikus	Sensorik	Keseimbangan dan mendengar

9.	Glosofaringus	Motorik Sensorik	Menelan Mengecap
10.	Vegus	Motorik Sensorik	Menelan dan sekresi getah lambung Sakit dan lapar
11.	Asesorius	Motorik	Bicara dan menggerakkan kepala
12.	Hipoglosus	Motorik	Bicara, mengunyah, dan menelan

b. Sistem Saraf Otonom

Sistem saraf otonom mengendalikan berbagai aktivitas tubuh yang bekerja di luar kesadaran, seperti denyut jantung, pencernaan, dan pengeluaran keringat. Sistem saraf otonom dibagi menjadi dua bagian, yaitu *saraf simpatetik* dan *saraf parasimpatetik.*

Tabel 9.2 Perbedaan Fungsi Saraf Simpatetik dan Parasimpatetik

Bagian Tubuh yang Terpengaruh	Pengaruh dari sistem saraf	
	Simpatetik	Parasimpatetik
Arteri	Memperkecil diameter (konstriksi)	Memperbesar diameter (dilatasi)
Bronkiolus	Dilatasi	Konstriksi
Iris (Pupil)	Dilatasi	Konstriksi
Jantung	Mempercepat detak	Memperlambat detak
Kantong seni	Kontraksi	Relaksasi
Kelenjar air mata	–	Merangsang pengeluaran air mata
Kelenjar air ludah	–	Sekresi air ludah
Lambung	Mempercepat peristaltik	Memperlambat peristaltik
Penis	Merangsang ereksi	Menghambat ereksi

C. Alat Indra

Alat indra terdiri dari bagian-bagian bentuk saraf yang berguna untuk menerima rangsang dari lingkungan sekitarnya. Bagian-bagian yang bertugas menerima rangsang dari sistem saraf itu disebut *reseptor.* Reseptor merupakan sel saraf sensorik (penerima rangsang) yang tersebar di seluruh permukaan tubuh dan menjadi satu membentuk

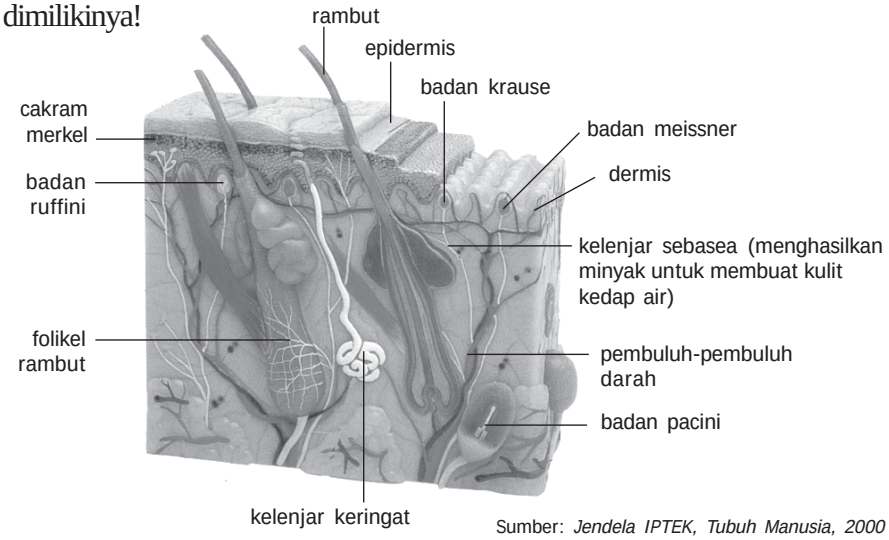
alat indra. Alat indra yang kita kenal, yaitu mata, telinga, lidah, dan hidung. Setiap reseptor yang membentuk alat indra hanya menerima salah satu jenis perubahan yang terdeteksi dari lingkungannya. Itulah sebabnya, kumpulan reseptor yang membentuk alat indra, diberi nama berdasarkan jenis stimulus yang diterimanya. Beberapa reseptor (sel saraf sensorik) yang membentuk alat indra itu, antara lain berikut ini.

1) Fotoreseptor, sel saraf sensorik penerima rangsang cahaya.
2) Kemoreseptor, sel saraf sensorik penerima rangsang zat kimia.
3) Thermoreseptor, sel saraf sensorik penerima rangsang suhu.
4) Mekanoreseptor, penerima rangsang fisik berupa tekanan, sentuhan, dan getaran.

Di samping itu, reseptor dibagi menjadi dua bagian berdasarkan asal stimulus yang diterimanya. Reseptor yang menerima dan mendeteksi stimulus yang datangnya dari luar lingkungannya disebut *eksteroseptor.* Kelompok reseptor yang termasuk eksteroseptor ini, yaitu sel-sel saraf sensorik yang terdapat pada *mata, telinga, kulit, lidah,* dan *hidung,* sedangkan kelompok reseptor yang menerima stimulus (rangsang) dari dalam lingkungannya disebut *interoseptor.* Kelompok reseptor yang termasuk interoseptor adalah sel-sel saraf yang menerima *rangsang tekanan darah* dan *rasa lapar.* Setelah Anda mengenal pembagian reseptor-reseptor yang diuraikan di atas, dengan mudah Anda dapat mengikuti uraian selanjutnya mengenai alat-alat indra berikut.

1. Kulit sebagai Indra Perasa

Pada kulit manusia terdapat lima macam sel saraf sensoris yang berfungsi sebagai reseptor, yaitu penerima rangsang atau penerima informasi dari luar, antara lain reseptor untuk merasakan sentuhan, gerakan, tekanan, rasa sakit, dan suhu (panas dan dingin). Perhatikan Gambar 9.6 yang memperlihatkan penampang dengan reseptor-reseptor yang dimilikinya!



Sumber: *Jendela IPTEK, Tubuh Manusia, 2000*

Gambar 9.6 Kulit dan reseptor-reseptornya.

a. Reseptor Sentuhan

Tampak pada Gambar 9.6 reseptor sentuhan, yang disebut *korpuskulus/badan meisner,* terletak di bagian bawah lapisan epidermis. Letak reseptor ini tidak sama seperti yang ditemukan pada lidah atau ujung jari. Reseptor sentuhan dapat merasakan rangsang berupa tekanan ringan pada kulit sehingga impuls yang disampaikan ke otak akan diterjemahkan berupa pesan untuk membedakan rasa halus, kasar, lunak, dan keras. Reseptor lain pada kulit, juga ditemukan pada pangkal rambut. Pesan yang ditangkap oleh ujung saraf ini berupa pesan arah gerakan rambut yang disebabkan tiupan angin atau akibat adanya sentuhan. Reseptor sentuhan tersebar tidak merata pada kulit sehingga ada bagian yang sangat peka terhadap rangsang sentuhan, ada pula bagian yang kurang begitu peka. Reseptor sentuhan banyak terdapat pada bagian ujung jari tangan dan kaki, serta pada bagian telapak tangan dan kaki.

b. Reseptor Tekanan

Reseptor tekanan terdiri dari *korpuskulus vater* dan *badan pacini.* Reseptor tekanan merupakan ujung saraf yang letaknya di sebelah bagian dalam kulit yang disebut dermis. Ujung sel saraf reseptor ini hanya dapat terangsang apabila terjadi tekanan dan getaran yang cukup kuat.

c. Reseptor Rasa Sakit

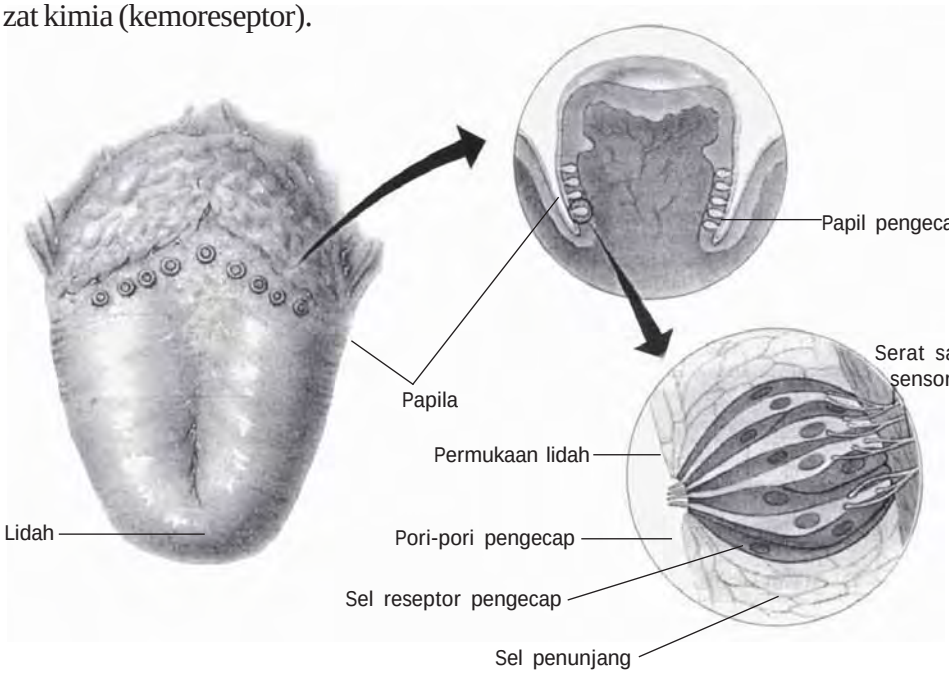
Reseptor yang berfungsi untuk menerima rangsangan rasa sakit terdapat pada lapisan epidermis dan dermis. Reseptor ini tersebar tidak merata pada bagian kulit tubuh manusia sehingga ada bagian kulit yang kurang peka terhadap rasa sakit. Reseptor ini sangat berguna untuk sistem pertahanan tubuh, karena dapat memberikan pesan apabila terjadi rangsangan berupa rasa sakit yang merusak organ tubuh.

d. Reseptor Suhu

Pada kulit tubuh manusia juga ditemukan reseptor untuk menerima pesan berupa rasa panas dan dingin. Reseptor ini disebut juga *termoreseptor.* Kemampuan termoreseptor untuk menerima rangsang bersifat kualitatif sehingga anda tidak mungkin membedakan secara pasti suhu yang dirasakan. Reseptor ini terdiri atas *korspukulus badan ruffini* yang merasakan rasa panas dan *ujung saraf krause* yang merasakan suhu dingin. Kemampuan cepat dan lambatnya reseptor juga sangat dipengaruhi ketika menerima atau melepaskan panas. Suasana panas baru dapat dirasakan apabila reseptor berpindah dari kondisi dingin, sedangkan suasana dingin baru dapat dirasakan apabila baru berpindah dari kondisi yang panas.

2. Lidah (Indra Pengecap)

Pada lidah manusia terdapat berbagai reseptor yang fungsinya berbeda-beda, seperti reseptor yang peka terhadap rasa sakit, sentuhan, dan mengecap berbagai rasa. Reseptor untuk menerima berbagai rasa pada lidah merupakan reseptor yang bersifat khusus. Pada lidah, reseptor-reseptor rasa itu disebut kuncup rasa yang merupakan reseptor yang sangat peka terhadap adanya rangsang yang berupa zat-zat kimia (kemoreseptor).



Sumber: *Fisiologi Manusia, 2001*

Gambar 9.7 Penampang lidah dan bagian-bagiannya.

Kuncup pengecap yang terdapat pada celah-celah tonjolan lidah disebut papila. Jika anda ingin membuktikan hal ini, anda dapat melihat permukaan lidah teman anda dengan menggunakan kaca pembesar. Papila lidah dapat anda rasakan sebagai tonjolan-tonjolan yang tidak teratur pada permukaan lidah. Setiap kuncup pengecap lidah memiliki kepekaan yang berbeda-beda terhadap rasa. Seperti tampak pada Gambar 9.7, kuncup pengecap yang terdapat pada permukaan ujung lidah merasakan manis dan asin. Bagian pangkal lidah merasakan pahit, sedangkan pada bagian samping permukaan lidah (kiri dan kanan) merasakan asam.

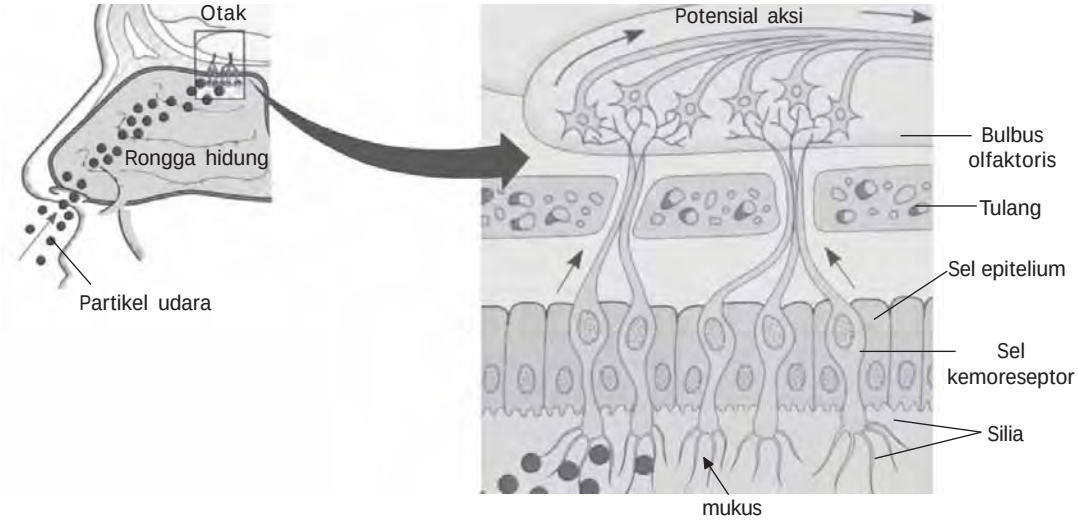
3. Hidung (Indra Pencium)

Di dalam rongga hidung bagian atas terdapat ujung-ujung sel saraf pembau. Ujung-ujung sel saraf pembau ini dilengkapi dengan rambut-rambut halus pada bagian ujungnya dan diliputi lapisan lendir sebagai pelembab.

Ujung-ujung sel saraf pembau di dalam rongga hidung dilapisi cairan tipis. Rangsangan berupa bau dapat diterima apabila telah larut dalam cairan tersebut. Di samping itu, ujung-ujung sel saraf pembau di dalam rongga hidung sangat peka terhadap rangsangan zat-zat kimia yang berupa gas atau uap (kemoreseptor).

Proses terjadinya bau, mula-mula zat kimia terbawa oleh udara masuk ke dalam rongga hidung. Setelah larut dalam selaput lendir kemudian diterima dan dibawa oleh saraf pembau ke otak untuk diterjemahkan. Dengan demikian, gas yang masuk tadi dapat terdeteksi.

Indra pembau pada manusia peka terhadap berbagai macam bau, seperti bau anyir, wangi, busuk, dan bau yang lainnya. Kepekaan indra pada beberapa hewan seperti serigala, anjing, atau harimau lebih kuat dibandingkan dengan manusia. Hewan-hewan tersebut memiliki kepekaan indra penciuman yang sangat tajam sehingga dapat mendeteksi bau yang berada pada jarak yang cukup jauh bahkan dapat mencapai puluhan meter.



Sumber: *Biology, 1999*

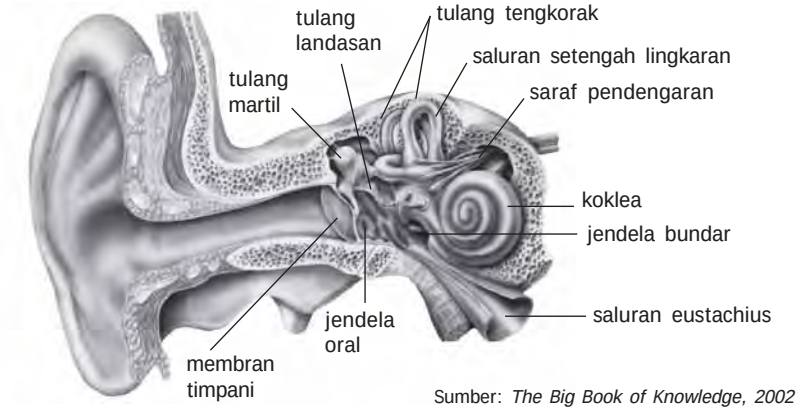
Gambar 9.8 Indra pembau.

4. Telinga (Indra Pendengar)

Sebenarnya apa yang kita sebut mendengar tidak lain adalah kemampuan sel saraf reseptor pada telinga untuk mendeteksi getaran yang biasa kita sebut suara. Getaran dapat ditangkap reseptor oleh telinga melalui udara.

Telinga terbagi menjadi tiga bagian, yaitu telinga luar, tengah, dan dalam. Seperti diperlihatkan pada Gambar 9.9. Telinga bagian luar terdiri atas daun telinga dan liang telinga yang berfungsi untuk membantu menangkap rangsang berupa getaran gelombang suara yang terbawa bersama udara di sekitarnya. Pada telinga bagian tengah terisi oleh udara, dan telinga bagian dalam terisi oleh cairan limfa. Untuk

mengetahui lebih jelas setiap bagian telinga, akan diuraikan bersama pembahasan mengenai mekanisme terjadinya suara.



Sumber: *The Big Book of Knowledge, 2002*

Gambar 9.9 Bagian-bagian telinga.

a. Telinga Bagian Luar

Telinga bagian luar berfungsi menampung getaran dan meneruskannya ke telinga bagian tengah. Telinga bagian luar terdiri atas beberapa bagian, yaitu daun telinga (pinnae), saluran telinga luar (liang telinga), dan gendang telinga.

1) Daun telinga

Daun telinga atau pinnae merupakan bagian tipis pada telinga yang bentuknya mirip corong. Daun telinga tersusun oleh tulang-tulang rawan yang bersifat lentur.

2) Lubang dan saluran telinga luar

Telinga bagian ini merupakan saluran pendek. Pada permukaannya dilengkapi oleh rambut-rambut. Sepanjang saluran ini menghasilkan semacam zat lilin yang berfungsi untuk mencegah masuknya benda asing, seperti debu atau hewan. Zat lilin itu dapat menjadi racun bagi hewan-hewan yang mencoba masuk ke dalam telinga.

3) Gendang telinga

Gendang telinga adalah bagian telinga luar yang berupa membran atau selaput tipis. Gendang telinga terletak di bagian ujung dalam saluran telinga luar berbatasan dengan telinga bagian tengah.

b. Telinga Bagian Tengah

Getaran yang berasal dari gendang telinga, disalurkan melalui telinga bagian tengah. Selain itu, telinga tengah juga berfungsi sebagai alat pengatur keseimbangan tubuh, seperti mengatur keseimbangan tekanan udara luar dan tekanan udara yang terdapat di dalam telinga.

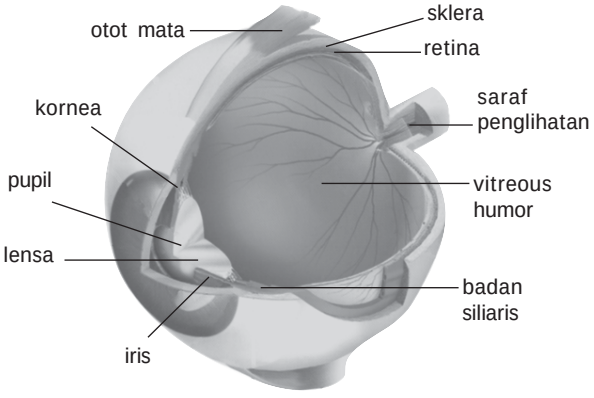
Penerus getaran pada telinga bagian tengah adalah tulang-tulang pendengaran yang terdiri atas tulang martil (malleus), tulang landasan (incus), dan tulang sanggurdi (stapes). Getaran akan diteruskan oleh tulang sanggurdi ke telinga bagian dalam yang disebut jendela oval. Di samping ketiga macam tulang yang disebutkan tadi, di dalam telinga bagian tengah terdapat saluran berisi udara yang berfungsi untuk menghubungkan telinga dengan rongga mulut. Saluran penghubung ini disebut saluran *eustachius.* Dengan adanya saluran eustachius ini, keadaan tekanan udara di dalam telinga dan tekanan udara luar dapat disetarakan.

c. Telinga Bagian Dalam

Pada telinga bagian dalam terdapat sederetan ruang dan saluran yang berisi cairan. Telinga bagian dalam ini terbagi menjadi dua bagian dengan fungsi yang berbeda. Pada bagian atas telinga dalam terdapat tiga saluran setengah lingkaran yang berfungsi untuk alat keseimbangan, sedangkan di bagian bawah telinga dalam terdapat saluran berupa rumah siput (koklea). Di dalam koklea terdapat sel-sel saraf sensoris yang dihubungkan ke otak oleh saraf pendengaran.

5. Mata (Indra Penglihatan)

Mata berfungsi sebagai alat pengenal warna maupun bentuk. Hal ini dimungkinkan dengan reseptor khusus cahaya yang disebut *fotoreseptor.* Setiap mata mempunyai suatu lapisan reseptor, yaitu lensa untuk memfokuskan cahaya pada reseptor cahaya, dan sel-sel saraf untuk menghantarkan impuls dari reseptor ke otak. Perhatikanlah bagian-bagian mata pada Gambar 9.10 dan fungsinya pada tabel 9.3!



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 9.10 Mata dan bagian-bagiannya.

Retina mata tersusun oleh kurang lebih 125 juta *sel batang* (sel basilus) yang mampu menerima rangsang cahaya yang tidak berwarna, dan kurang lebih 6,5 juta *sel kerucut* (sel konus) yang mampu menerima rangsang sinar yang berwarna.

Tabel 9.3 Bagian-bagian Mata dan Fungsinya

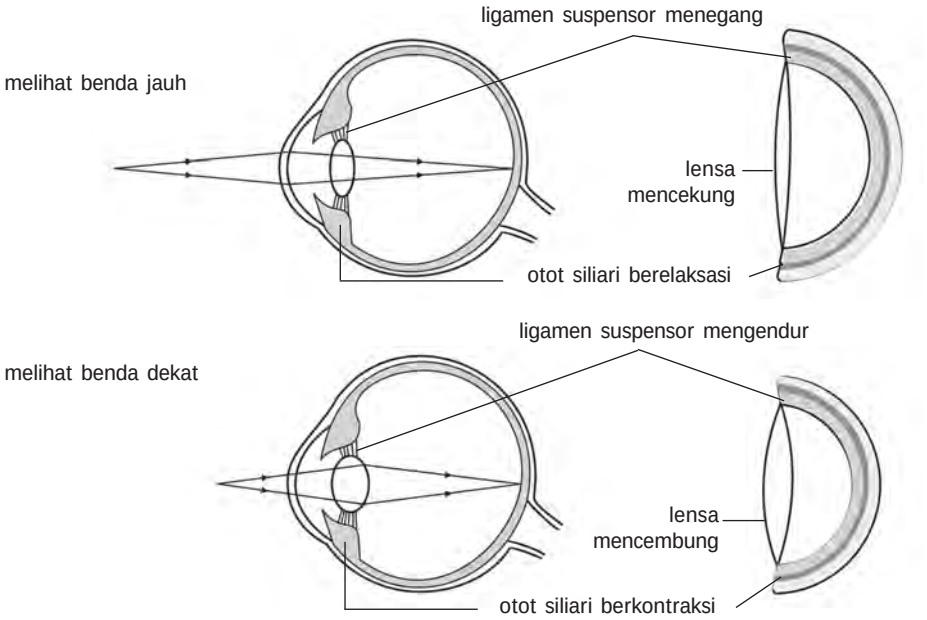
Nama Bagian Mata	Fungsi
Bintik buta	Daerah tempat saraf optik meninggalkan bagian dalam bola mata, tidak mengandung sel konus dan batang
Badan siliaris	Penyokong lensa, mengandung otot yang memungkinkan lensa berubah bentuk dan mensekresikan aqueous humor
Aqueous humor	Menyangga bentuk kantong depan bola (cairan bola mata) mata
Kornea (bintik kuning)	Bagian retina yang mengandung sel kerucut
Pupil	Pengendali ukuran pupil, sedangkan pigmennya mengurangi lewatnya cahaya
Konjungtiva	Pelindung kornea dari gesekan
Kornea	Memungkinkan lewatnya cahaya dan merefleksikan cahaya
Koroid	Mengandung pembuluh darah, penyuplai retina dan melindungi refleksi cahaya dalam mata
Lensa	Untuk memfokuskan, dapat berubah-ubah bentuk (mencembung atau mencekung)
Retina	Mengandung sel batang dan kerucut
Sklera	Melindungi bola mata dari kerusakan mekanis dan memungkinkan melekatnya otot
Vitreous humor	Penyokong lensa dan menolong dalam menjaga bentuk bola mata

Pada sel batang terdapat pigmen yang peka terhadap rangsang cahaya, disebut *rodopsin,* yaitu bentuk persenyawaan antara vitamin A dengan suatu protein. Rodopsin akan tetapi jika terkena sinar terang, sedangkan dalam keadaan yang gelap rodopsin akan terbentuk kembali. Pada proses terbentuknya rodopsin dibutuhkan waktu adaptasi rodopsin. Pada saat adaptasi, mata kurang dapat melihat dengan jelas.

Pada sel kerucut juga terdapat pigmen yang disebut *iodopsin* yaitu sejenis pigmen yang terbentuk dari persenyawaan retinin dan opsin. Terdapat tiga macam sel kerucut yang masing-masing peka terhadap rangsang warna merah, hijau, dan biru. Dari kombinasi ketiga warna itu, kita dapat menerima spektrum warna ungu hingga merah. Apabila sel kerucut mengalami kerusakan orang yang mengalaminya akan menderita buta warna.

Ada dua macam jenis buta warna, yaitu *dikromat* dan *monokromat.* Buta warna dikromat hanya mempunyai dua sel kerucut dan penderitanya disebut menderita *buta warna sebagian.* Karena hanya dapat melihat kombinasi spektrum dua warna saja, sedangkan buta warna monokromat adalah orang yang hanya dapat membedakan warna hitam dan putih atau bayangan kelabu.

Bagaimanakah mekanisme melihat suatu benda? Apabila mata kita melihat suatu benda yang jaraknya dekat, otot siliaris mata kita akan berkontraksi. Lensa akan menebal untuk dapat menangkap cahaya yang masuk ke dalam mata sehingga objek yang dekat dapat difokuskan pada retina. Berbeda halnya ketika mata kita melihat objek benda yang jaraknya jauh, otot siliaris mata justru akan berelaksasi. Lensa mata menjadi pipih dan objek akan difokuskan pada retina, seperti diperlihatkan pada gambar.



Gambar 9.11 Bentuk mata saat melihat benda.

Mencembung dan mencekungnya lensa mata dapat mengalami perubahan. Proses mencembung dan mencekungnya mata disebabkan kontraksi dan relaksasi otot-otot ligamen (badan siliaris) yang melekat pada bola mata. Dengan kemampuan lensa mata untuk mencembung dan mencekung maka fokus lensa mata dengan sendirinya dapat berubah-ubah. Kemampuan mata seperti itu disebut *daya akomodasi* lensa mata.

Mata dikatakan normal apabila dapat memfokuskan sinar-sinar sejajar yang masuk ke mata. Sinar-sinar sejajar itu akan membentuk bayangan benda di retina (bintik kuning) sehingga benda yang dilihat akan terlihat jelas. Keadaan seperti itu disebut dengan istilah *emetrop*.

Sementara itu, mata manusia dapat mengalami beberapa kelainan yang diakibatkan oleh suatu sebab tertentu. Kelainan pada mata dapat menimbulkan gangguan pada penglihatan. Terdapat beberapa kelainan yang terjadi pada mata antara lain sebagai berikut.

1) Mata Tua (Presbiopi)

Presbiopi adalah kelainan mata yang terjadi sebagai akibat tidak lenturnya lensa mata. Hal itu menyebabkan daya akomodasi lensa mata sangat sulit menangkap objek yang jauh maupun dekat sehingga bayangan benda yang dibentuk tidak jatuh tepat pada retina. Kelainan mata presbiopi dapat dibantu menggunakan *kacamata berlensa mata rangkap dua.*

2) Rabun Dekat (Hipermetropi)

Pada gangguan mata hipermetropi keadaan retinanya lebih pendek dari jarak normalnya. Hal tersebut menyebabkan bayangan benda yang dibentuk lensa mata tidak terfokus jatuh tepat pada retina, tetapi jatuh di belakang retina. Gangguan mata hipermetropi dapat dibantu dengan *kacamata lensa cembung* atau lensa positif.

3) Miopi (Rabun Jauh)

Penyebab kelainan mata miopi karena bola mata berbentuk lonjong dan lebih panjang dari keadaan normalnya sehingga dengan keadaan seperti itu, jarak antara lensa mata dan retina menjadi lebih jauh. Hal ini mengakibatkan bayangan yang dibentuk jatuh di depan retina. Gangguan mata miopi dapat dibantu dengan menggunakan *kacamata berlensa cekung atau lensa negatif.*

4) Astigmatisma

Astigmatisma terjadi karena bentuk lengkungan pada permukaan kornea tidak merata. Garis-garis vertikal dan horizontal tidak dapat difokuskan secara simultans. Kelainan mata astigmatisma dapat dibantu dengan menggunakan *kacamata berlensa silindris.*

D. Sistem Endokrin

Sistem endokrin pada manusia dibangun oleh sejumlah kelenjar endokrin (kelenjar buntu) yang tersebar di tempat-tempat tertentu dalam tubuh. Kelenjar ini menghasilkan satu atau beberapa hormon yang bermuara langsung ke dalam pembuluh darah.

Hormon adalah senyawa organik yang dibuat di dalam tubuh oleh sel-sel tertentu, dibebaskan oleh kelenjar endokrin, diperlukan dalam jumlah yang sangat kecil, tetapi memiliki kemampuan kerja yang besar untuk memelihara fungsi normal tubuh (seperti homeostatis, reproduksi, metabolisme, dan tingkah laku). Hormon berasal dari kata *homein* yang artinya memacu. Umumnya hormon bekerja pada bagian tubuh tertentu yang disebut organ sasaran.

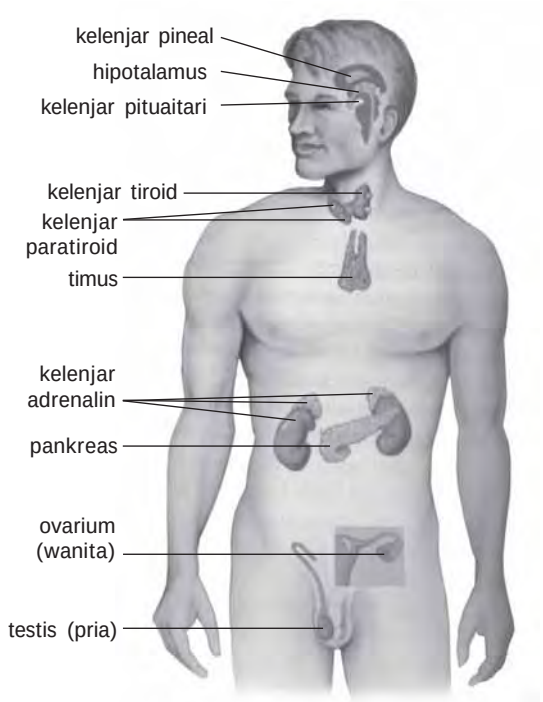
1. Macam-Macam Sistem Endokrin pada Manusia

Di dalam tubuh manusia terdapat beberapa kelenjar endokrin, yaitu kelenjar hipotalamus, kelenjar hipofisis (hypofisis gland), kelenjar gondok (tiroid), kelenjar

anak gondok (paratiroid), dan kelenjar anak ginjal (adrenal atau suprarenal). Selain itu, terdapat pula kelenjar pankreas (kelenjar langerhans), kelenjar kacangan (kelenjar timus), kelenjar endokrin pada usus dan lambung, serta kelenjar kelamin.

a. Kelenjar Hipotalamus

Hipotalamus selain berfungsi sebagai pengatur dalam sistem saraf, juga memiliki peran sebagai kelenjar endokrin dengan men-sekresikan berbagai hormon yang memiliki pengaruh pada hipofisis. Beberapa hormon yang dihasilkan oleh hipotalamus dan disekresikan oleh hipofisis, yaitu ADH, TrH, dan oksitosin.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 9.12 Sistem endokrin pada manusia.

b. Kelenjar Hipofisis (Kelenjar Pituitari)

Kelenjar hipofisis ini bekerja mengendalikan kelenjar buntu lainnya sehingga sering disebut kelenjar utama (*master gland*). Kelenjar hipofisis terletak di bawah otak besar dan merupakan suatu tonjolan sebesar butir kacang tanah. Hipofisis bekerja di bawah pengaruh zat kimia yang dihasilkan oleh bagian hipotalamus. Kelenjar hipofisis menghasilkan hormon-hormon yang digunakan untuk fungsi yang berbeda. Hormon tersebut memengaruhi kelenjar endokrin lainnya. Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis adalah hormon somatorofin (STH), hormon prolaktin, hormon tirotrofin, hormon adenotrofin, dan hormon gonadotrofin.

1) Hormon Somatotrofin (STH)

Hormon somatotrofin disebut hormon pertumbuhan atau *growth hormon*. Kekurangan hormon ini akan menyebabkan kekerdilan (*dwarfisme*). Sebaliknya, kelebihan hormon ini pada usia yang masih muda akan mengakibatkan pertumbuhan raksasa (*gigantisme*). Jika kelebihan hormon pada usia dewasa, akan mengakibatkan *akromegali*, yaitu terjadinya penebalan pada tulang wajah, tengkorak, jari tangan, dan kaki.



Akromegali Normal

Sumber: *Biologi, Telapak Indonesia Sakti*

Gambar 9.13 Pengaruh hormon pertumbuhan pada manusia.

2) Hormon Prolaktin

Hormon ini berfungsi untuk merangsang sekresi air susu dari kelenjar susu atau mamae. Hormon prolaktin yang disuntikkan pada burung yang tidak bertelur akan memperlihatkan perilaku masa bertelur.

3) Hormon Tirotrofin

Hormon tirotrofin berfungsi merangsang sekresi kelenjar tiroid.

4) Hormon Adenotrofin

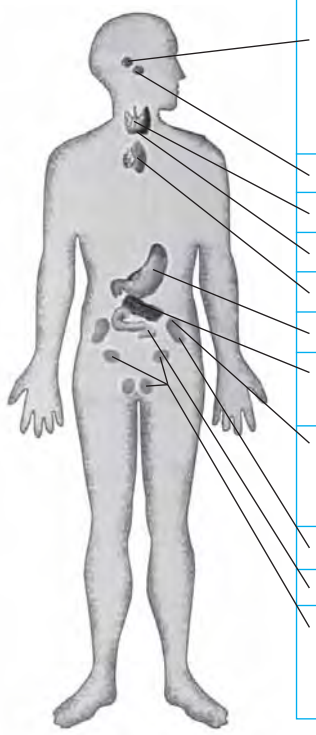
Hormon ini berfungsi untuk mengendalikan sekresi kelenjar anak ginjal.

5) Hormon Gonadotrofin

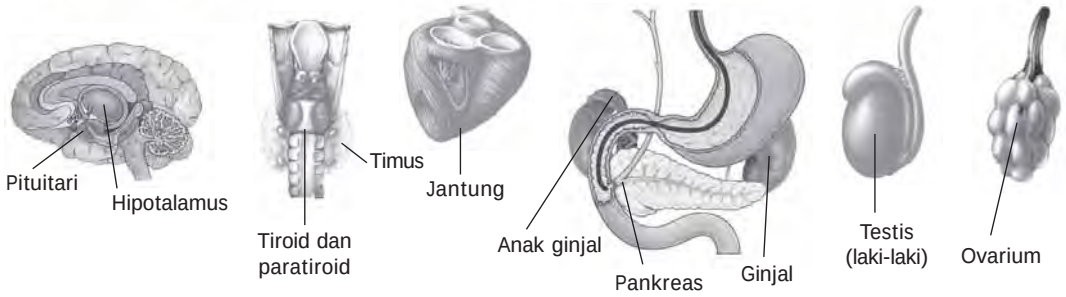
Hormon gonadotrofin dapat berupa FSH atau *folicle stimulating hormone*. Selain itu, dapat berupa hormon *Luteinzing LH*, hormon ADH atau *anti diuretik hormone*, dan oksitosin.

Pada individu betina, FSH berfungsi untuk merangsang pertumbuhan folikel dalam ovarium dan memengaruhi serangkaian kejadian dalam siklus menstruasi. Sebaliknya, pada individu jantan, FSH digunakan untuk memengaruhi testis sehingga menghasilkan sperma.

Pada individu betina, LH berfungsi untuk merangsang folikel ovarium dan ovulasi serta memengaruhi peristiwa menstruasi. Sementara itu, pada individu jantan, LH mengakibatkan penampakan kelamin sekunder . Adapun hormon ADH memengaruhi daya serap (absorpsi) air dari dan ke dalam darah. Oksitosin memengaruhi kontraksi dini rahim pada saat bayi akan dilahirkan.



Kelenjar Endokrin	Hormon
Piluitari Lobus anterior Lobus tengah Lobus pasterior	Hormon pertumbuhan, ACTH Tirotropin, Gonadotropin Prolatin, LH, FSH Intermedin Vasopresin, Oksitosin
Pineal	Melatonin
Tiroid	Tiroksin, Kalsitonin
Paratiroid	Hormon paratiroid
Timus	Timosin
Lambung	Gastrin
Pankreas Pulau-pulau Langerhans	Insulin, Glukagon
Adrenal Korteks Medula	Berbagai kortikosteroid Adrenalin, Noradrenalin
Ginjal	Hipertensin
Usus halus	Sekretin
Kelenjar-kelenjar kelamin Ovarium (wanita) atau testis (pria)	Berbagai hormon kelamin



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 9.14 Kelenjar endokrin pada manusia.

c. Kelenjar Gondok (Tiroid)

Kelenjar ini berjumlah sepasang dan terletak pada bagian leher di sebelah kiri dan kanan trakea bagian atas (pangkal tenggorok). Kelenjar tiroid menghasilkan hormon tiroksin. Hormon ini berfungsi untuk memengaruhi perkembangan tubuh, pengaturan proses kimiawi dalam tubuh, dan perkembangan mental.

Kelebihan hormon tiroksin akan mengakibatkan proses dalam tubuh yang berlebihan (hipermetabolisme) yang dikenal dengan istilah *morbus basedon.* Gejalanya berupa meningkatnya denyut jantung, terjadinya kegugupan, gelisah lebih cepat dan



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 9.15 Penyakit gondok kekurangan yodium.

tidak teratur, mulut ternganga, dan mata melotot. Kelebihan hormon tiroksin pada usia pertumbuhan mengakibatkan pertumbuhan raksasa.

Kekurangan hormon tiroksin akan menyebabkan terhentinya pertumbuhan. Kekurangan hormon tiroksin pada anak-anak akan menyebabkan pertumbuhan kecil (kretinisme) dan kemunduran mental. Sebaliknya, kekurangan hormon tiroksin pada usia dewasa menyebabkan menurunkan proses kimiawi tubuh, aktivitas peredaran darah menurun, serta otot menjadi lembek dan lelah.

Yodium merupakan bahan penting untuk hormon tiroksin. Yodium masuk ke tubuh kita melalui makanan. Kekurangan yodium menyebabkan pembentukan hormon tiroksin terganggu dan pada akhirnya menimbulkan penyakit gondok.

d. Kelenjar Anak Gondok (Paratiroid)

Kelenjar ini terletak di dekat kelenjar tiroid bagian bawah. Hormon yang dihasilkan adalah parathormon yang berfungsi mengatur kadar kalsium dan fosfat di dalam darah. Kekurangan hormon ini dapat menyebabkan gejala kejang-kejang otot. Jika kadar parathormon berlebihan, dapat mengakibatkan tumor paratiroid.

e. Kelenjar Anak Ginjal (Adrenal/Suprarenal)



Sumber: *Pertumbuhan, live, 1981*

Gambar 9.16 Penampakan rasa takut.

Kelenjar ini terletak di bagian atas ginjal dan banyaknya sepasang. Kelenjar adrenal terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian luar (korteks) dan bagian dalam (medula).

Bagian korteks ginjal menghasilkan hormon tiroksin. Kekurangan hormon ini dapat menyebabkan penyakit *Addison* dengan gejala kulit menjadi merah dan dapat menimbulkan kematian.

Bagian medula menghasilkan hormon adrenalin. Adapun fungsi hormon adrenalin ini di antaranya menyempitkan pembuluh darah sehingga meningkatkan tekanan darah. Akibatnya, aktivitas jantung dipacu. Selain itu, mengubah gula otot atau glikogen menjadi gula darah atau glukosa, serta mengendurkan otot bronkiolus sehingga melegakan pernapasan.

Rasa takut atau terkejut dapat pula menimbulkan rangsangan pada bagian medula ini sehingga menghasilkan adrenalin yang lebih banyak. Hal ini ditandai dengan denyut jantung yang cepat. Di samping itu, mata membelalak dan bulu kuduk atau bulu roma menegak.

f. Kelenjar Pankreas (Kelenjar Langerhans)

Pankreas terletak di bagian bawah lambung. Kelenjar pankreas merupakan kelenjar endokrin yang menghasilkan hormon, sekaligus merupakan kelenjar *eksokrin* karena menghasilkan enzim pencernaan.

Kelenjar pankreas menghasilkan hormon insulin. Hormon ini berfungsi untuk mengubah gula darah menjadi gula otot. Kerja hormon insulin berlawanan (antagonis) dengan hormon adrenalin. Dengan demikian, hormon insulin bersama-sama hormon adrenalin mengatur kadar gula darah agar tetap seimbang.

g. Kelenjar Kacangan (Glandula Timus)



Sumber: *Pertumbuhan, 1981*

Gambar 9.17 Kedua orang ini menunjukkan hasil ekstrem pertumbuhan akibat terlalu sedikit dan terlalu banyaknya keluaran hormon pertumbuhan pada pitulari.

Kelenjar kacangan terletak dalam rongga dada dan melekat di belakang tulang dada. Kelenjar ini membuat hormon somatotropin yang berguna untuk pertumbuhan. Jika kekurangan hormon ini pada waktu muda, akan menghentikan proses pertumbuhan badan, kemudian menunjukkan gejala kretinisme (kekerdilan). Sebaliknya, jika waktu muda kelebihan hormon ini, akan menunjukkan gejala gigantisme (tumbuh raksasa). Apabila hormon ini berfungsi pada orang dewasa akan menimbulkan akromegali, yaitu pertumbuhan ujung-ujung tulang pipa ke arah samping.

h. Kelenjar Endokrin pada Usus dan Lambung

Usus 12 jari (duodenum) menghasilkan hormon sekretin dan kolesitokinin. Hormon sekretin merangsang sekresi karbohidrat (HCO_3) oleh saluran empedu dan mengurangi sekresi getah lambung. Kolesitokinin merangsang pankreas untuk menghasilkan getah pankreas.

Kelenjar lambung dapat menghasilkan hormon gastrin yang berfungsi untuk memacu sekresi getah lambung dan memperkuat kontraksi otot-otot lambung.

i. Hormon Kelamin

Pematangan fungsi dari alat-alat kelamin baru terbentuk pada masa pubertas (akil balig) ditandai dengan ovarium atau testis yang mulai menghasilkan ovum atau sperma yang matang. Pubertas pada laki-laki umumnya dimulai pada usia 11 tahun. ICSH (*Intersistiel Cell Stimulating Hormone*), salah satu hormon yang dihasilkan

oleh kelenjar pituitari berperan dalam pendewasaan tersebut. ICSH merangsang testis (buah zakar) untuk menggetahkan androgen atau testosteron. Hormon ini berperan merangsang pematangan sel-sel kelamin laki-laki (sperma), dan perkembangan ciri-ciri kelamin sekunder, seperti pertumbuhan rambut (kelamin, kumis, jenggot), suara membesar, dan pelebaran bahu.

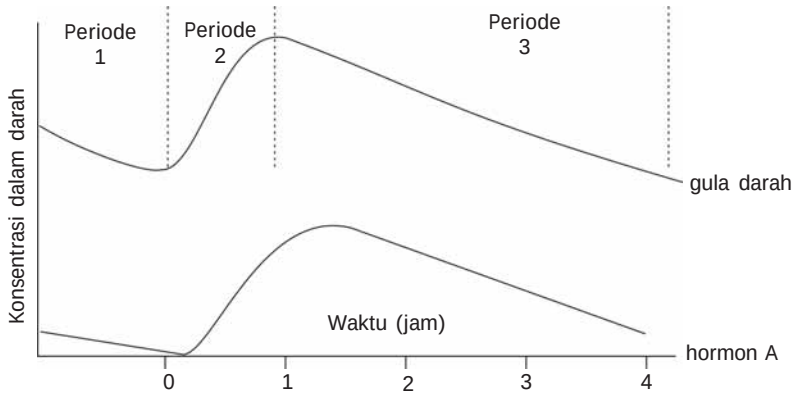
Pubertas pada wanita umumnya terjadi lebih awal dibandingkan dengan pada laki-laki, yaitu sekitar usia 10 tahun. Masa pubertas dipicu oleh hormon yang dihasilkan kelenjar pituitari, yaitu FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) dan LH (*Luteinizing Hormone*). Keduanya merangsang folikel dan badan kuning di dalam kandung telur (ovarium) untuk mengeluarkan hormon estrogen dan progesteron. Estrogen bertanggung jawab dalam memelihara fungsi organ kelamin dan merangsang perkembangan endometrium serta memacu pertumbuhan ciri-ciri kelamin sekunder wanita, seperti pertumbuhan rambut pada kelamin, pembesaran payudara (kelenjar susu), penumpukan lemak di bagian tertentu (bahu, pinggul, paha) sehingga memberi kesan penampakan bentuk tubuh yang khas.

Hormon progesteron dihasilkan oleh badan kuning (*korpus luteum*) berperan dalam pembentukan dan pemeliharaan plasenta, produksi air susu dan secara umum menyiapkan serta memelihara kondisi kehamilan.

Pada wanita peranan hormon dalam perkembangan kelamin ini lebih kompleks, misalnya dalam daur menstruasi, kehamilan, dan persalinan. Hal ini akan dibahas bersamaan dengan pembahasan mengenai alat kontrasepsi secara lebih rinci pada bab selanjutnya mengenai sistem produksi.

Tugas

Perhatikanlah grafik berikut ini! Grafik ini menunjukkan konsentrasi gula darah dan konsentrasi hormon tertentu dalam darah yang berubah setiap 5 jam.



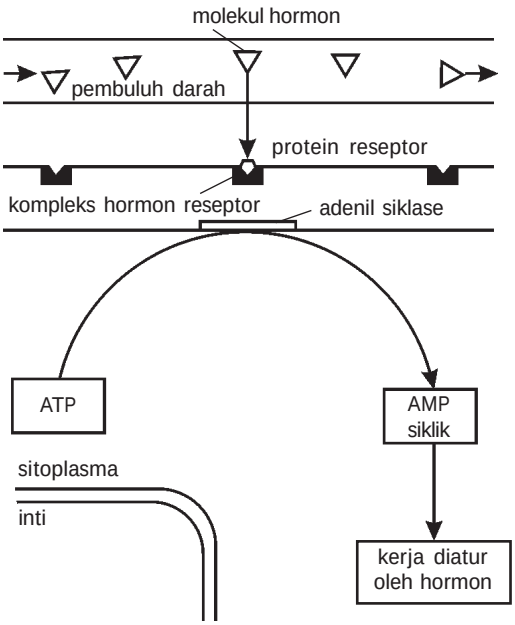
Dari grafik tersebut, apa yang menurut Anda dapat memengaruhi perubahan konsentrasi gula darah?
Periode 1:
Periode 2:
Periode 3:

1. Apa yang dapat Anda simpulkan tentang hormon A?
2. Seorang anak menderita kekurangan hormon A, ada suatu usulan anak tersebut harus disuntikkan hormon A melalui pembuluh darahnya. Mengapa hal tersebut perlu dilakukan? Apa yang terjadi apabila hormon yang disuntikkan tersebut kebanyakan? Apa yang terjadi apabila hormon yang disuntikkan tersebut terlalu sedikit? Apa kesimpulan Anda?

2. Mekanisme Kerja Hormon

Hormon dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit, namun memiliki kemampuan kerja yang besar. Umumnya hormon bekerja pada organ tubuh tertentu, yang disebut organ sasaran. Dikenal dua macam mekanisme kerja hormon, yaitu *AMP siklik* (duta kedua) dan *pengaktifan* gen.

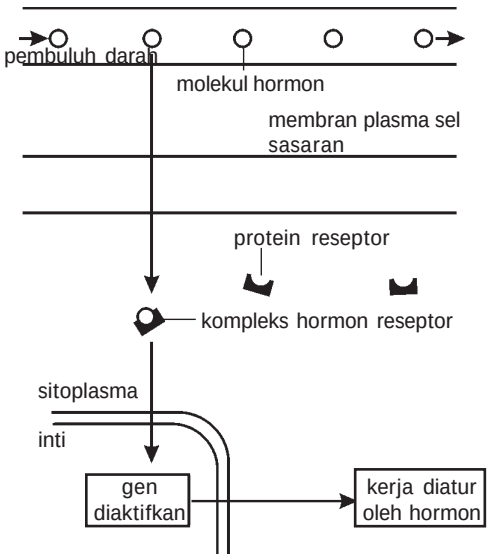
a. AMP Siklik (Duta Kedua)



Gambar 9.18 AMP siklik.

Setiap membran sel organ sasaran berisi protein reseptor yang dapat bersenyawa dengan hormon tertentu. Hormon bertindak sebagai duta pertama. Kompleks hormon reseptor yang terbentuk, selanjutnya akan memicu aktivitas suatu enzim. Enzim ini akan mengubah ATP menjadi AMP siklik yang bertindak sebagai duta kedua atau duta intraseluler. Duta kedua bergabung dengan enzim khas untuk menghentikan aktivitas enzim lainnya. Sebagai contoh, pada sel-sel hati dan otot, AMP siklik dipicu oleh adrenalin menghambat enzim yang dibutuhkan untuk pembentukan glikogen dan mengaktifkan enzim yang diperlukan untuk memecah glikogen.

b. Pengaktifan Gen



Gambar 9.19 Pengaktifan gen.

Hormon-hormon lainnya bekerja pada organ sasaran dengan cara yang berbeda. Molekul-molekul hormon menembus membran sel dan bersenyawa dengan molekul-molekul protein reseptor tertentu di dalam sitoplasma. Kompleks hormon reseptor yang dibentuk memasuki nukleus dan langsung bereaksi dengan DNA, kemudian memicu transkripsi RNA dari gen tertentu. Sel sasaran membuat protein khas yang merespons hormon tertentu. Jenis hormon yang termasuk ke dalam kelompok ini adalah hormon-hormon steroid.

Rangkuman

Sistem koordinasi berfungsi untuk mengatur sistem-sistem organ tubuh yang lain agar dapat menjalankan fungsinya dan bekerja sama secara serasi dan efisien. Dalam tubuh, kita dibedakan dua sistem koordinasi berdasarkan sifat kerjanya, yaitu sistem koordinasi yang dilakukan oleh sistem saraf dan sistem endokrin (hormonal).

Bagian-bagian yang bertugas menerima rangsang dari sistem saraf itu disebut reseptor. Reseptor tubuh dapat berupa alat indra. Alat indra yang kita kenal, yaitu mata, telinga, lidah, kulit, dan hidung. Reseptor yang menerima dan mendeteksi stimulus dari luar lingkungannya disebut eksteroseptor. Kelompok reseptor yang termasuk eksteroseptor ini, yaitu sel-sel saraf sensorik yang terdapat pada mata, telinga, kulit, lidah, dan hidung. Reseptor yang menerima stimulus dari dalam disebut interoseptor. Kelompok reseptor yang termasuk interoseptor adalah sel-sel saraf yang menerima rangsang tekanan darah dan rasa lapar.

Letak reseptor ini tidak sama seperti yang ditemukan pada lidah atau ujung jari. Reseptor sentuhan banyak terdapat pada bagian ujung jari tangan dan kaki, serta pada bagian telapak tangan dan kaki.

Reseptor merupakan ujung saraf yang letaknya di sebelah bagian dalam kulit yang disebut dermis. Ujung sel saraf reseptor ini hanya dapat terangsang apabila terjadi tekanan dan getaran yang cukup kuat.

Reseptor yang berfungsi untuk menerima rangsangan rasa sakit, yaitu ujung-ujung saraf pada lapisan kulit di bagian epidermis dan dermis sehingga ada bagian kulit yang kurang peka. Reseptor ini terdiri atas korpuskulus ruffini yang dapat merasakan rasa panas dan ujung saraf krause yang dapat merasakan suhu dingin. Kuncup pengecap yang terdapat pada bagian permukaan ujung lidah berguna untuk indra perasa.

Pada telinga bagian dalam terdapat sederetan ruang dan saluran yang berisi cairan. Telinga bagian dalam ini terbagi menjadi dua dengan fungsi yang berbeda. Pada bagian atas telinga dalam terdapat tiga saluran setengah lingkaran yang berfungsi untuk alat keseimbangan. Di dalam koklea terdapat sel-sel saraf sensoris yang dihubungkan ke otak oleh saraf pendengaran.

Retina mata tersusun oleh kurang lebih 125 juta sel batang (sel basilus) yang mampu menerima rangsang cahaya yang tidak berwarna, dan kurang lebih 6,5 juta sel kerucut (sel konsus) yang mampu menerima rangsang sinar yang berwarna.

Pada sel kerucut juga terdapat pigmen yang disebut iodopsin. Iodopsin adalah sejenis pigmen yang terbentuk dari persenyawaan retinin dan opsin. Lensa akan menebal untuk dapat menangkap cahaya yang masuk ke dalam mata sehingga objek yang dekat dapat difokuskan pada retina. Proses mencembung dan mencekungnya mata disebabkan kontraksi dan relaksasi otot-otot ligamen (badan siliarisi) yang melekat pada bola mata dinamakan daya akomodasi mata.

Kelenjar endokrin menghasilkan satu atau beberapa hormon yang bermuara langsung ke dalam pembuluh darah. Hormon adalah senyawa organik yang dibuat di dalam tubuh oleh sel-sel tertentu, dibebaskan oleh kelenjar endokrin dan diperlukan (dalam jumlah yang sangat kecil, tetapi memiliki kemampuan kerja yang besar) untuk memelihara fungsi normal tubuh, seperti homeostatis, reproduksi, metabolisme, dan tingkah laku. Umumnya hormon bekerja pada bagian tubuh tertentu yang disebut organ sasaran.

Pada setiap membran sel dari sel-sel penyusun organ sasaran berisi protein reseptor yang dapat bersenyawa dengan hormon tertentu. Sebagai contoh, pada sel-sel hati dan otot AMP siklik dipicu oleh adrenalin menghambat enzim yang dibutuhkan untuk pembentukan glikogen dan mengaktifkan enzim yang diperlukan untuk pemecahan glikogen.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Sistem koordinasi meliputi kerja sama antara ....
   A. sistem saraf dan sistem hormon
   B. sistem saraf dan sistem indra
   C. sistem indra dan sistem hormon
   D. sistem saraf dan sistem sirkulasi
   E. sistem sirkulasi dan sistem hormon
2. Terdapat tiga jenis sel saraf pada tubuh manusia, jalur responnya yaitu ....
   A. neuron reseptor – neuron konektor – neuron motorik
   B. neuron ajustor – neuron sensorik – neuron konektor
   C. neuron ajustor – neuron reseptor – neuron sensorik
   D. neuron ajustor – neuron sensorik – neuron motorik
   E. neuron sensorik – neuron konektor – neuron ajustor

3. Salah satu reseptor yang terdapat pada kulit adalah *corpus krause*, reseptor ini untuk merasakan . . . .
   A. panas
   B. nyeri
   C. dingin
   D. kasar
   E. halus
4. Jika kita berjalan di malam hari, bagian retina mata yang paling berperan, yaitu . . . .
   A. sel batang
   B. sel kerucut
   C. bintik kuning
   D. koroid
   E. vitreus humor
5. Bagian berpigmen pada mata adalah . . . .
   A. sklera
   B. konjunctiva
   C. iris
   D. koroid
   E. bintik kuning
6. Ciri-ciri mata yang mengalami gangguan miopi adalah sebagai berikut, *kecuali* . . . .
   A. jika melihat benda yang jauh terlihat kabur
   B. lensa pada mata terlalu pipih
   C. bayangan benda jatuh di dekat retina
   D. dapat dikoreksi dengan kacamata minus
   E. benda yang dekat, bayangannya jatuh pada retina
7. Telinga kita terdiri dari telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Telinga dalam memiliki bagian-bagian sebagai berikut, *kecuali* . . . .
   A. tulang martil
   B. koklea
   C. organ korti
   D. labirin
   E. tingkap oval
8. Urutan yang benar bagian telinga yang dilewati oleh suara adalah . . . .
   A. martil – labirin – koklea – organ korti
   B. sanggurdi – koklea – organ korti – labirin
   C. martil – sanggurdi – organ korti – koklea
   D. gendang telinga – koklea – tingkap oval
   E. martil – gendang telinga – koklea – organ korti
9. Dalam sistem hormon kita mengenal adanya *master gland* sebutan itu ditujukan pada kelenjar . . . .
   A. pituitari
   B. hipofisa
   C. talamus
   D. hipotalamus
   E. tiroid
10. Hormon-hormon yang bekerja antagonis terjadi pada . . . .
   A. insulin dan tiroksin
   B. FSH dan LH
   C. insulin dan adrenalin
   D. progesteron dan prolaktin
   E. adrenalin dan tiroksin

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Dikenal dua macam mekanisme kerja hormon, yaitu AMP siklik dan pengaktifan gen, jelaskanlah dengan singkat mekanisme kerja hormon secara AMP siklik!
2. Apakah yang menjadi perbedaan sistem endokrin dan sistem saraf, dan apa pula persamaannya?
3. Apakah yang dimaksud dengan saraf simpatetik dan parasimpatetik? Berikan masing-masing 4 contoh pengaruhnya pada organ-organ tertentu!
4. Mengapa kekurangan vitamin A dapat menyebabkan buta senja?
5. Bagaimana sistem koordinasi yang dilaksanakan oleh sistem saraf? Jelaskan!

Bab 10

Sistem Reproduksi Organisme



Sumber: *http://bima.ipb.ac.id, 2006*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- menjelaskan peranan penting sistem reproduksi untuk menjaga kelangsungan hidup manusia;
- mendeskripsikan struktur dan fungsi bagian-bagian organ reproduksi;
- menjelaskan proses pembentukan sperma dan ovum;
- menjelaskan fertilisasi dan perkembangan selama kehamilan;
- menjelaskan pentingnya pemberian ASI kepada bayi;
- menjelaskan penggunaan kontrasepsi dan pencegahan dan pengobatan penyakit pada organ reproduksi.

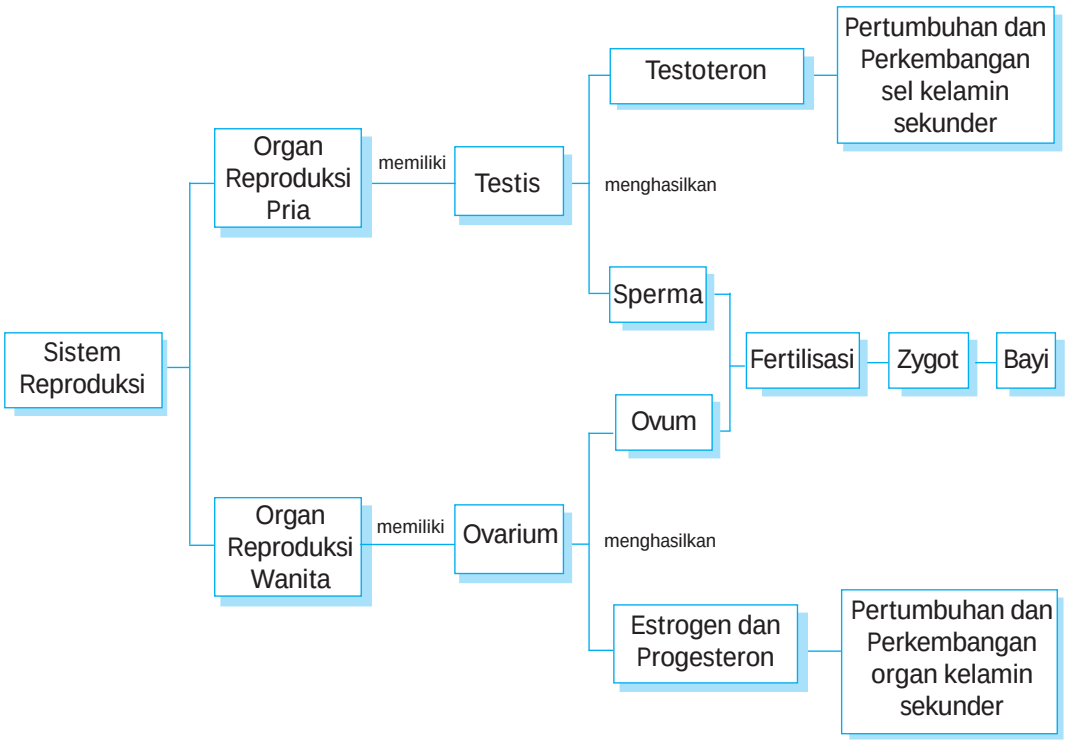
A. Pendahuluan

Sebagai makhluk yang diciptakan Tuhan dengan penuh kesempurnaan, manusia diberikan kelebihan dibandingkan dengan makhluk-makhluk lainnya. Begitu agungnya Sang Pencipta manusia. Manusia menapaki kehidupannya di alam dunia melalui pertemuan dua zat terpisah, yaitu sel sperma yang terdapat di dalam tubuh lelaki dan sel ovum yang terdapat di dalam tubuh perempuan yang diciptakan saling terpisah namun begitu selaras. Pertemuan dua sel tersebut merupakan awal proses bagaimana nantinya seorang bayi akan lahir.

Pada gambar di awal bab ini, seorang ayah dan bayinya tampak begitu bahagia. Proses lahirnya bayi mungil tersebut dari awal hingga akhirnya lahir merupakan rangkaian yang sangat kompleks.

Tahukah Anda bagaimana proses tersebut berlangsung dan bagaimana tahapan-tahapan yang harus dilalui sampai akhirnya seorang bayi mungil yang ada di pelukan ayahnya itu lahir?

Agar Anda lebih mudah memahami materi yang disajikan pada bab ini, perhatikanlah peta konsep berikut ini!



B. Sistem Reproduksi Manusia

Sistem reproduksi pada manusia (mamalia) terdiri atas sistem reproduksi pria dan sistem reproduksi wanita yang keduanya dibangun oleh alat-alat reproduksi. Untuk lebih jelasnya, berikut akan dijelaskan masing-masing dari kedua sistem reproduksi tersebut.

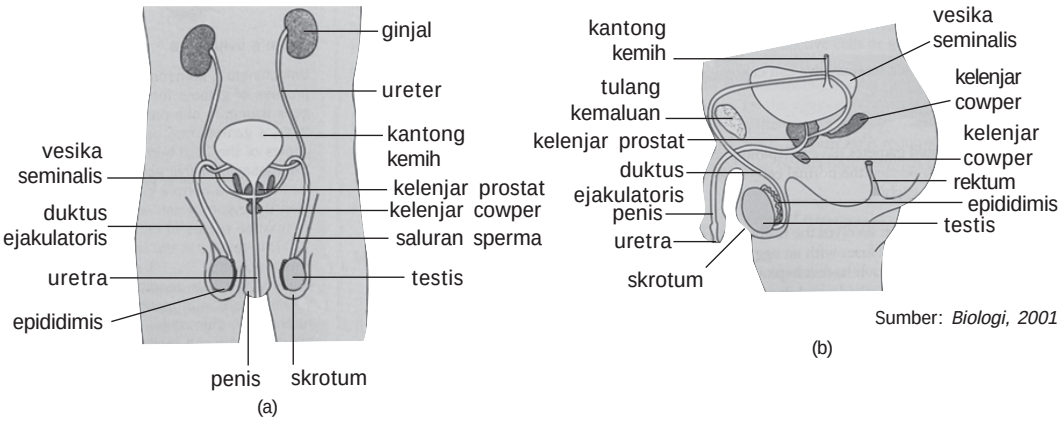
Kata Kunci

- *ASI*
- *Epididimis*
- *Estrogen*
- *Fertilisasi*
- *Kontrasepsi*
- *Ovarium*
- *Ovidasi*
- *Oviduk*
- *Ovum*
- *Progesteron*
- *Sperma*
- *Testosteron*
- *Testis*
- *Tuba falopi*
- *Uterus*
- *Vas deferens*
- *Zigot*

1. Alat Reproduksi Pria

Alat kelamin atau alat reproduksi pada pria memiliki dua fungsi yaitu untuk menghasilkan sel-sel kelamin dan menyalurkan sel-sel kelamin tersebut ke saluran kelamin wanita. Alat reproduksi pria dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu alat kelamin bagian dalam dan alat kelamin bagian luar. Alat kelamin bagian dalam terdiri atas testis, saluran reproduksi, dan kelenjar-kelenjar kelamin, sedangkan alat kelamin bagian luar hanya terdiri dari satu bagian, yaitu *penis*.

Berikut ini akan diuraikan masing-masing bagian tersebut.



Sumber: *Biologi, 2001*

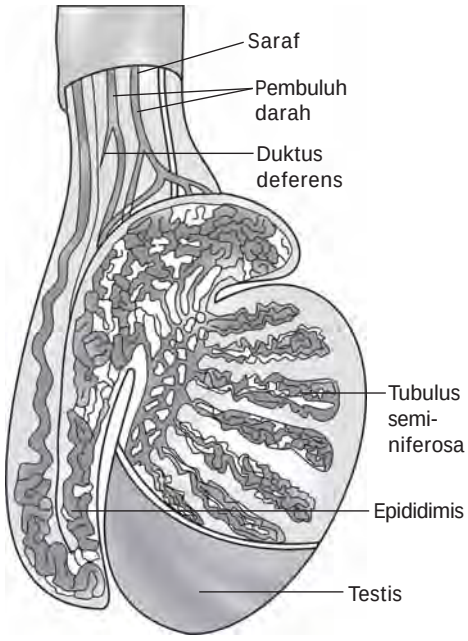
Gambar 10.1 Struktur alat reproduksi pria (a) tampak depan (b) tampak samping.

a. Alat Reproduksi Bagian Dalam

Alat kelamin bagian dalam terdiri atas sepasang testis, saluran reproduksi, dan beberapa kelenjar kelamin.

1) Testis

Testis atau yang lazim dikenal dengan sebutan buah zakar merupakan suatu alat dengan fungsi ganda, selain sebagai penghasil sel kelamin jantan



Sumber: *Fisiologi Manusia, 2001*

Gambar 10.2 Bagian-bagian testis.

(spermatozoa) juga merupakan organ hormon endokrin. Hormon yang dihasilkan testis adalah hormon *testosteron,* yaitu hormon kelamin jantan yang utama. Disebut demikian, karena hormon inilah yang suatu saat bertanggung jawab memperlihatkan ciri-ciri kelamin sekunder pada pria. Ciri-ciri kelamin sekunder, tersebut antara lain adanya janggut, suara membesar, dan bentuk badan yang akan tampak pada saat seorang pria yang mencapai masa pubertas (masa kematangan seksual).

Testis berbentuk bulat telur yang jumlahnya sepasang dan terdapat pada suatu kantong pelindung disebut *skortum.* Setiap testis dilengkapi dengan saluran-saluran halus yang disebut *tubulus seminiferus.* Tubulus seminiferus ini apabila direntangkan dari ujung yang satu ke ujung yang lain berukuran lebih dari 200 m. Pada dinding-dinding tubulus seminiferus terdapat bakal sperma yang disebut *spermatogonia* dengan jumlah kromosom diploid. Spermatogonia ini suatu saat akan berubah menjadi spermatozoa. Proses perubahan spermatogonium menjadi sperma (spermatozoa) terjadi melalui dua proses pembelahan sel yang berlangsung secara meosis. Dengan demikian, setiap spermatogonium suatu saat akan menghasilkan empat sel sperma.

Di samping spermatogonia, pada tubulus seminiferus terdapat pula sel-sel berukuran besar yang disebut sel sertoli. Sel sertoli inilah yang berperan sebagai penyedia makanan bagi spermatozoa-spermatozoa tersebut.

2) Saluran reproduksi

Saluran reproduksi pada pria terdiri atas duktus epididimis, duktus deferens (saluran sperma), vesikula seminalis (kantung sperma), dan duktus ejakulatorius (saluran pemancaran). Saluran-saluran tersebut saling berhubungan satu sama lain membentuk satu kesatuan saluran reproduksi.

Duktus epididimis berjumlah sepasang terdapat bersama-sama testis di dalam skrotum yang merupakan tempat terjadinya proses pematangan sperma. Saluran ini terletak di sebelah belakang atas dari testis dan tampak berkelok-kelok. Saluran lanjutan dari epididimis, dikenal sebagai vas deferens, jumlahnya sepasang, berupa saluran lurus untuk mengangkut spermatozoa dari duktus epididimis ke kantong sperma yang dikenal sebagai vesika seminalis. Vesika seminalis ini berupa sepasang kantong yang dinding-dindingnya menghasilkan

suatu cairan untuk makanan bagi spermatozoa. Letak vesika seminalis, yaitu di belakang vesika urinaria (kantong kemih).

Vas deferens yang arahnya ke atas, kemudian melingkar dan salah satu ujungnya berakhir di kelenjar prostat. Di belakang kandung kemih vas deferens ini bersatu membentuk suatu saluran yang dikenal sebagai duktus ejakulatorius. Duktus ejakulatorius ini berjumlah sepasang yang fungsinya untuk memancarkan semen (mani) dan vesika seminalis. Uretra dan duktus ejakulatorius bersama-sama berakhir di ujung penis.

3) Kelenjar kelamin

Saluran-saluran kelamin dilengkapi oleh tiga macam kelenjar kelamin yang fungsinya menghasilkan sekret. Kelenjar-kelenjar yang melengkapi saluran kelamin itu terdiri atas vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar boulbouretral yang lebih dikenal sebagai kelenjar cowper. Ketiga kelenjar tersebut memiliki peranan yang berbeda-beda.

Vesikula seminalis merupakan kelenjar yang jumlahnya sepasang terletak di bagian atas dan bawah kandung kemih. Kelenjar ini sebagai penghasil semen yang terbesar, yaitu sekitar 60% dari volume total semen. Cairan yang dihasilkan kelenjar ini berwarna jernih, kental karena mengandung lendir, asam amino, dan fruktosa. Cairan ini berperan sebagai makanan bagi sperma. Selain cairan tersebut, kelenjar ini mengekskresikan prostaglandin yang berguna untuk merangsang otot uterin berkontraksi sehingga semen dapat terdorong mencapai uterus.

Kelenjar boulbouretral yang disebut juga sebagai kelenjar cowper, merupakan kelenjar yang menghasilkan lendir pelindung pada saat ejakulasi terjadi. Kelenjar ini bermuara di pangkal uretra dan jumlahnya sepasang.

Kelenjar prostat memiliki ukuran yang lebih besar jika dibandingkan dengan ukuran kedua kelenjar kelamin lainnya. Sekret yang dihasilkan oleh kelenjar prostat ini berupa cairan encer yang menyerupai susu dan bersifat alkalis, sehingga dapat berperan sebagai penyeimbang (buffer) bagi keasaman residu urin di uretra dan derajat keasaman vagina. Cairan ini suatu saat akan berkumpul di uretra melalui saluran-saluran kecil.

b. Alat Kelamin Luar

Alat kelamin luar hanya terdiri dari satu bagian saja, yaitu dikenal dengan nama penis. Penis ini berfungsi sebagai alat kopulasi atau organ persetubuhan, yaitu organ atau alat untuk memasukkan cairan semen ke dalam alat kelamin wanita.

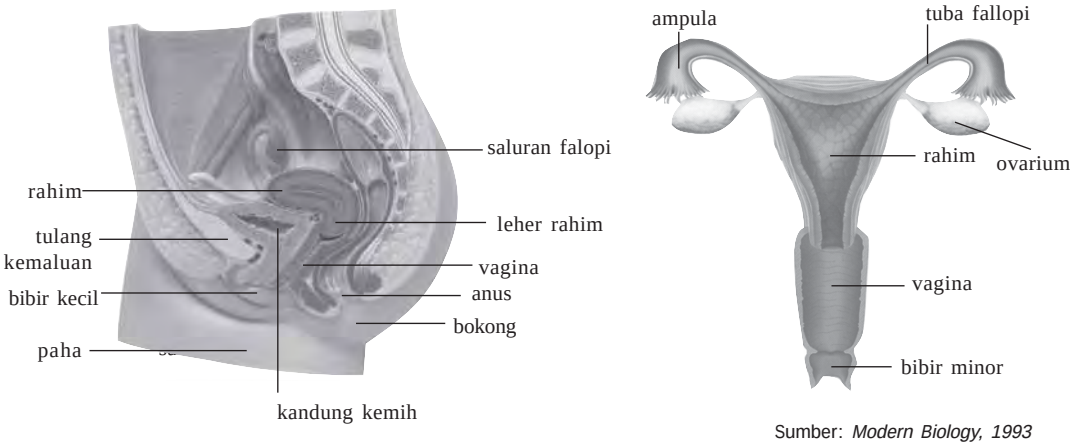
Di dalam penis terdapat uretra yang merupakan muara bagi saluran kencing dan saluran kelamin. Di samping itu, di dalam penis juga terdapat korpus kavernosum atau badan rongga, yaitu dua korpus kavernosum penis di sisi uretra dan satu korpus

kavernosum penis di bawah uretra. Apabila terjadi rangsangan rongga ini akan terisi darah, sehingga dapat menyebabkan penis membesar dan memanjang serta menegang yang dikenal sebagai proses *ereksi*.

Selain itu, pada penis terdapat bagian yang disebut kepala penis (glans penis). Bagian ini merupakan ujung penis tempat terdapatnya lubang uretra (urifisium uretra) dan ujung-ujung saraf perasa. Pada kepala penis terdapat kulit penutup yang dapat melipat disebut *kulup* (preputium).

2. Alat Reproduksi pada Wanita

Seperti halnya alat reproduksi pada pria, alat reproduksi pada wanita juga terbagi menjadi alat reproduksi bagian dalam dan bagian luar. Untuk lebih jelasnya, berikut ini akan dijelaskan lebih rinci.



Sumber: *Modern Biology, 1993*

Gambar 10.3 Struktur alat reproduksi wanita.

a. Alat Reproduksi Bagian Dalam

Alat reproduksi bagian dalam wanita terdiri atas ovarium (kandung telur), tuba fallopi atau oviduk (saluran telur), dan vagina (saluran kelamin).

1) Ovarium

Ovarium berjumlah sepasang yang terdapat di rongga perut, yaitu tepatnya di sebelah kiri dan kanan daerah pinggang. Fungsi ovarium ini untuk menghasilkan sel telur atau ovum dan hormon-hormon kelamin wanita, seperti progesteron dan estrogen. Ovarium dilindungi oleh suatu kapsul pelindung yang mengandung folikel-folikel. Setiap folikel berisi sebuah sel telur yang diselubungi satu atau

lebih lapisan sel-sel folikel. Folikel merupakan suatu struktur yang berbentuk bulatan-bulatan dan terdapat di sekeliling oosit, berguna sebagai penyedia makanan dan pelindung bagi sel telur yang sedang mengalami pematangan.

2) Tuba Fallopi

Tuba fallopi yang lazim disebut sebagai oviduk berjumlah sepasang. Tuba fallopi ini merupakan suatu saluran yang menghubungkan ovarium dengan rahim (uterus). Tuba fallopi terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *ismus* yang merupakan bagian tuba fallopi yang terletak dekat uterus atau rahim, *ampula,* yaitu daerah yang berbentuk lengkungan yang terletak di atas ovarium, dan *infudibulum,* yaitu daerah pangkal tuba fallopi yang berbentuk corong (fimbria).

Pangkal tuba fallopi yang berbentuk corong disebut pula infudibulum. Infudibulum mengandung tonjolan-tonjolan seperti kaki cumi-cumi yang berjumbai-jumbai disebut fimbriae. Fimbriae ini berperan untuk menangkap ovum. Ovum yang telah ditangkap fimbriae, kemudian diangkat oleh tuba fallopi. Dengan adanya gerak peristaltik serta dinding tuba fallopi yang bersilia, ovum kemudian diangkat menuju rahim.

Dengan demikian, tuba fallopi memiliki beberapa fungsi, yaitu untuk menyalurkan ovum menuju uterus dan menyediakan lingkungan yang cocok bagi proses pembuahan dan perkembangan telur sebelum fertilisasi terjadi.

3) Uterus

Uterus lazim disebut rahim, pada manusia hanya terdiri dari satu ruang yang disebut simpleks. Uterus ini berbentuk seperti buah pear dan berotot cukup tebal. Pada wanita-wanita yang belum pernah melahirkan, ukuran panjang rahimnya adalah 7 cm dengan lebar antara 4 cm sampai 5 cm.

Pada rahim bagian bawah bentuknya mengecil dan dinamakan serviks uterus, sedangkan bagian yang lebih besar disebut badan rahim atau corpus uterus. Rahim pada manusia dan mamalia tersusun atas tiga lapisan, yaitu *perimetrium, meiometrium,* dan *endometrium.* Pada lapisan endometrium dihasilkan banyak lendir, serta terdapat banyak pembuluh darah. Lapisan endometrium ini mengalami proses penebalan dan akan mengelupas setiap bulannya apabila tidak terdapat zigot yang terimplantasi (tertanam). Uterus ini merupakan tempat untuk pertumbuhan dan perkembangan janin.

Di samping itu, rahim juga terbagi atas tiga bagian, yaitu *fundus*, bagian paling atas yang berdekatan dengan saluran telur, *ismus* bagian tengah rahim, dan *serviks* yang sering kali disebut sebagai leher rahim adalah bagian paling bawah dan tersempit, yang memanjang sampai vagina.

4) Vagina

Vagina merupakan bagian dalam kelamin wanita yang berbentuk seperti tabung dilapisi dengan otot yang arahnya membujur ke arah bagian belakang dan atas. Bagian dinding vagina lebih tipis dibandingkan dengan dinding rahim dan terdapat banyak lipatan-lipatan. Lipatan-lipatan tersebut berguna untuk mempermudah jalannya proses kelahiran bayi. Di samping itu, pada vagina juga terdapat lendir yang dikeluarkan oleh dinding vagina dan sepasang kelenjar yang dikenal sebagai *kelenjar bartholi*. Vagina ini merupakan organ persetubuhan (kopulasi) pada wanita.

b. Alat Reproduksi Bagian Luar

Alat reproduksi bagian luar pada wanita disebut vulva, terdiri atas labia mayora, mons pubis, labia minora, organ klitoris, orificium uretra, dan himen (selaput dara).

Labia mayora adalah bibir bagian luar dari vagina yang tebal dan berlapiskan lemak, sedangkan mons pubis merupakan bagian tempat bertemunya dua bibir vagina dengan bagian atas yang terlihat membukit. Labia minora atau bibir kecil, yaitu sepasang lipatan kulit pada vagina yang halus dan tipis serta tidak mengandung lapisan lemak.

Organ klitoris, merupakan bagian vagina yang berbentuk tonjolan kecil yang sering kali disebut klentit. Adapun orificium uretra adalah muara saluran kencing yang letaknya tepat di bawah organ klitoris. Di bagian bawah saluran kencing yang mengelilingi tempat masuk ke vagina, terdapat himen yang dikenal dengan nama selaput dara.

3. Hormon dan Pengaruhnya terhadap Perkembangan Alat Kelamin

Meskipun jenis kelamin suatu organisme sudah dapat ditentukan pada saat fertilisasi, namun alat-alat reproduksi baru terbentuk setelah mencapai usia dua bulan dari proses kehamilan. Proses pematangan fungsi alat-alat kelamin baru terjadi pada masa yang dikenal sebagai masa pubertas.

Masa pubertas, yaitu masa suatu gonad (kelenjar kelamin) mulai dapat menghasilkan sel-sel kelamin matang atau gamet, yang Anda kenal sebagai spermatozoa pada pria dan ovum pada wanita. Pria mengalami masa pubertas pada usia 14 - 16 tahun, sedangkan wanita mengalami masa pubertas lebih awal, yaitu pada usia 11 - 14 tahun.

Masa pubertas dicirikan oleh terlihatnya ciri-ciri kelamin sekunder yang mulai tampak. Ciri-ciri kelamin sekunder pada pria, yaitu terjadinya perubahan suara, tumbuhnya dada yang bidang, mulai tumbuhnya kumis, jenggot, jambang, atau rambut-rambut di sekitar alat kelamin, sedangkan pada wanita, kelamin sekunder dicirikan dengan suara yang melengking atau tinggi dan halus, terbentuknya payudara, membesarnya pinggul, dan juga tumbuhnya rambut di sekitar alat kelamin.

Pada pria tanda-tanda pubertas terlihat dengan keluarnya sperma untuk pertama kalinya, sedangkan pada wanita tanda-tanda pubertas ditandai dengan terjadinya menstruasi atau haid yang pertama.

Tanda-tanda pubertas tersebut ternyata sangat dipengaruhi oleh hormon-hormon kelamin tertentu. Hormon-hormon kelamin yang berperan terhadap perkembangan organ-organ kelamin, yaitu FSH (Follicle Stimulating Hormone), LH (Luteinizing Hormone), testoteron, estrogen, progesteron, oksitosin, relaksin, dan laktogen (prolaktin). Masing-masing hormon tersebut memiliki pengaruh yang berbeda-beda, untuk lebih jelasnya berikut ini akan diuraikan lebih rinci.

1) FSH (Follicle Stimulating Hormone), yaitu hormon yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis. Hormon FSH ini berfungsi dalam proses pembentukan dan pematangan spermatozoa yang dikenal sebagai spermatogenesis dan ovum yang dikenal sebagai oogenesis. Di samping itu, FSH juga merangsang produksi hormon testoseron pada pria dan estrogen pada wanita.
2) LH (Luteinizing Hormone). Hormon ini juga dihasilkan oleh kelenjar hipofisis. Hormon ini dapat merangsang proses pembentukan badan kuning atau korpus luteum di dalam ovarium, setelah terjadi poses ovulasi (pelepasan sel telur).
3) Testoseron, yaitu hormon yang dihasilkan testis dan berperan dalam spermatogenesis dan penampakan ciri-ciri kelamin sekunder pada pria.
4) Estrogen. Hormon ini dihasilkan oleh folikel graaf di dalam ovarium. Hormon ini berperan alam oogenesis dan penampakan ciri-ciri kelamin sekunder pada wanita. Di samping itu, hormon ini juga berperan untuk merangsang produksi LH dan menghambat produksi FSH.
5) Progesteron. Hormon ini dihasilkan oleh badan kuning atau korpus luteum di dalam ovarium. Berperan dalam proses pembentukan lapisan endometrium pada dinding rahim untuk menerima ovum yang telah dibuahi. Pada saat terjadi kehamilan, progesteron bersama-sama dengan hormon estrogen menjaga agar endometrium tetap mengalami pertumbuhan, membentuk plasenta, menahan agar otot uterus tidak berkontraksi, dan merangsang kelenjar susu memproduksi ASI.
6) Oksitosin. Hormon ini dihasilkan oleh hipofisis. Peranannya, yaitu pada proses kelahiran, untuk merangsang kontraksi awal dari otot uterus.
7) Relaksin. Hormon ini dihasilkan oleh plasenta, berperan untuk merangsang relaksasi ligamen pelvis pada proses kelahiran.
8) Laktogen, dihasilkan oleh kelenjar hipofisis yang bersama-sama dengan progesteron merangsang pembentukan air susu.

C. Proses Pembentukan Gamet

Berbeda seperti yang terjadi pada tumbuhan, proses pembentukan gamet pada hewan tidak mengalami generasi haploid dan diploid secara bergantian.

Fertilisasi atau bertemunya sel kelamin jantan (spermatozoa) dengan sel kelamin betina (ovum) selalu didahului oleh proses pembentukan gamet jantan dan betina secara meiosis.

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami materi mengenai sistem reproduksi yang dibahas pada bab ini, kunjungilah http://www.nush.nl/system/index.htm

Seperti telah anda ketahui pada penjelasan sebelumnya, gamet jantan dibuat di testis yang terdapat pada suatu kantung pelindung yang disebut skrotum. Proses pembentukan gamet jantan ini lazim disebut *spermatogenesis*, sedangkan pada betina pembentukan gamet, yaitu ovum terjadi di ovarium dan prosesnya disebut *oogenesis*.

Dari kedua proses pembentukan gamet tersebut hanya terdapat sedikit perbedaan. Untuk lebih jelasnya perhatikanlah pembentukan gamet berikut ini!

1. Pembentukan Gamet Jantan (Spermatogenesis)

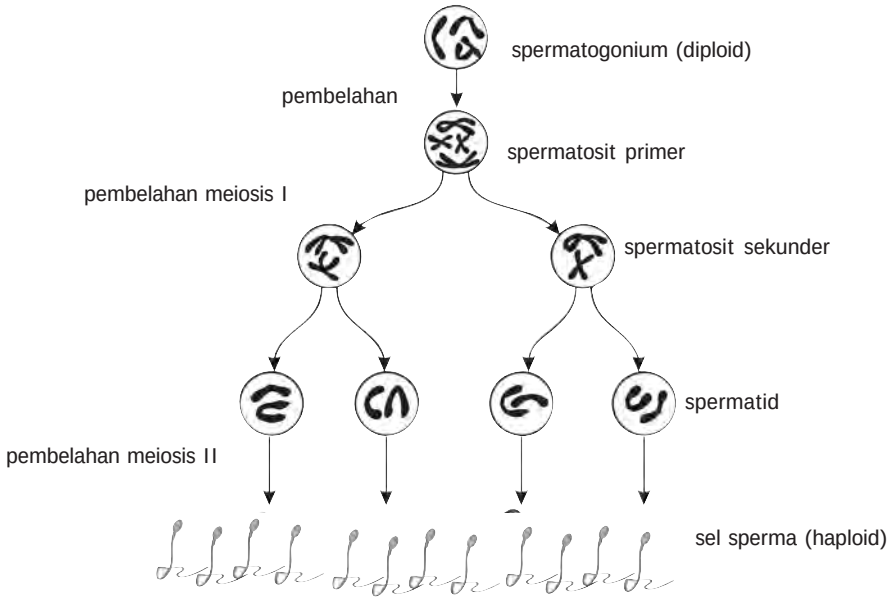
Spermatogenesis baru dapat dimulai pada saat seseorang telah mencapai masa pubernya (dewasa secara seksual) dan berlangsung secara terus-menerus seumur hidup. Proses spermatogenesis ini berlangsung di dalam testis, yaitu di tubulus semineferus. Sebenarnya, pada dinding tubulus seminiferus sudah terdapat bakal spermatozoa yang disebut spermatogonia. Jumlah bakal sperma ini banyaknya ribuan. Spermatogonia ini kemudian menjalani proses pembelahan sel secara mitosis untuk membentuk spermatosit primer. Spermatosit primer inilah yang mengalami proses pembelahan sel secara meiosis. Pembelahan meiosis pertama dari spermatosit primer menghasilkan dua spermatosit sekunder, dan setiap spermatosit sekunder akan membelah lagi secara meiosis menghasilkan dua spermatid yang keadaan kromosomnya berjumlah haploid.

Dari keseluruhan hasil proses pembelahan spermatogonia tersebut, dihasilkan empat spermatid. Keempat spermatid yang terbentuk selanjutnya berkembang menjadi sperma masak (spermatozoa) yang haploid. Sperma-sperma yang matang akan bergerak menuju duktus epididimis.

Secara keseluruhan waktu yang dibutuhkan dalam proses pembentukan gamet jantan (spermatogenesis), yaitu 65 sampai 75 hari. Untuk memperjelas penjelasan di atas Anda dapat melihat Gambar 10.4.

Sebuah sperma terdiri atas bagian-bagian kepala, leher, bagian tengah, dan ekor. Pada bagian kepala sperma yang tebal terdapat inti haploid dan terlindung oleh tudung penutup yang disebut akrosom. Akrosom ini mengandung banyak enzim yang membantu sperma untuk menembus sel telur pada saat proses fertilisasi terjadi.

Untuk bergerak, sperma tentunya membutuhkan energi. Energi yang dibutuhkan sperma diperoleh dari mitokondria spiral yang terdapat pada bagian tengah sperma. Energi tersebut dibutuhkan untuk menggerakkan ekor sperma. Sperma yang dihasilkan oleh pria dewasa sekitar 400 juta sel.



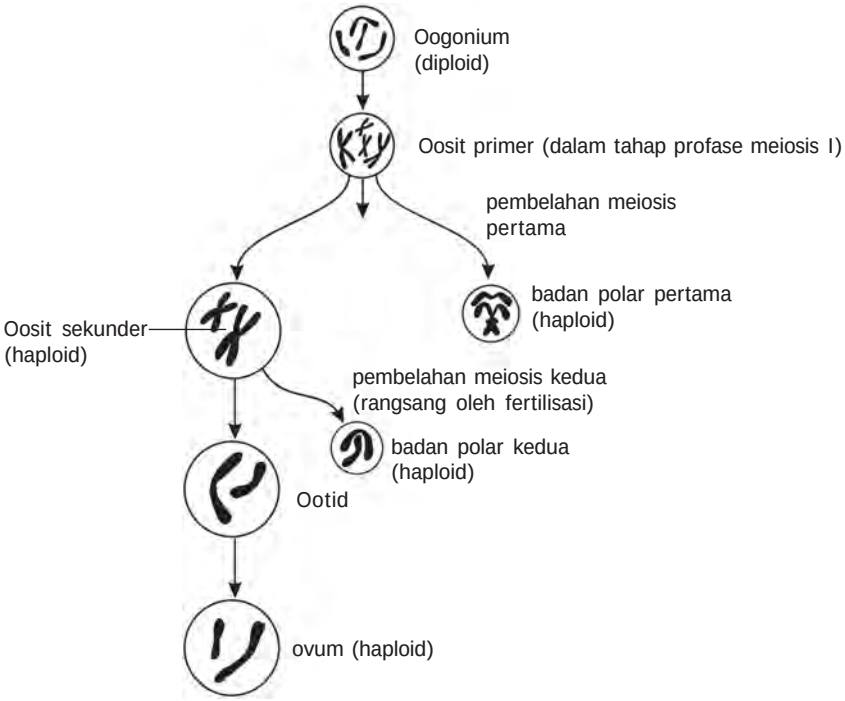
Gambar 10.4 Tahapan spermatogenesis.

2. Pembentukan Ovum (Oogenesis)

Pembentukan ovum pada wanita terjadi di organ yang disebut ovarium. Pada ovarium sendiri sebenarnya bakal sel telur, yaitu oosit telah ada sejak bayi. Oosit terdiri atas oosit primer dan sekunder. Oosit sekunder berasal dari oosit primer yang mengalami proses pembelahan secara meiosis di bawah pengaruh FSH. Di samping oosit sekunder, dalam proses pembelahan oosit primer secara meiosis dihasilkan juga suatu badan yang disebut *badan polar* pertama. Pada oosit sekunder di sekelilingnya terdapat folikel. Folikel-folikel tersebut di bawah pengaruh FSH akan membelah berkali-kali sehingga membentuk folikel yang disebut *folikel de graaf* atau folikel yang telah masak. Di antara folikel de graaf terdapat suatu rongga. Folikel inilah yang kemudian berperan untuk memproduksi estrogen pada wanita.

Hormon estrogen berperan untuk merangsang hipofisis mensekresikan *Luteinizing Hormone* (LH). LH merangsang proses pelepasan sel telur dari ovarium yang dikenal dengan istilah ovulasi. Apabila sewaktu ovulasi terjadi fertilisasi maka oosit sekunder akan mengalami proses pembelahan lebih lanjut sehingga dihasilkan ootid yang bersifat haploid dan juga dihasilkan badan polar yang kedua. Selanjutnya, ootid tersebut akan berdiferensiasi menjadi ovum atau sel telur. Dengan demikian,

pada proses oogenesis dihasilkan oosit sekunder yang nantinya akan bersatu dengan sperma pada saat fertilisasi terjadi. Setelah terjadi pembuahan (fertilisasi), oosit sekunder akan membelah secara meiosis lagi sampai akhirnya dihasilkan ovum. Untuk lebih jelasnya, Anda dapat melihatnya pada gambar di bawah ini.



Gambar 10.5 Tahapan oogenesis.

D. Siklus Menstruasi

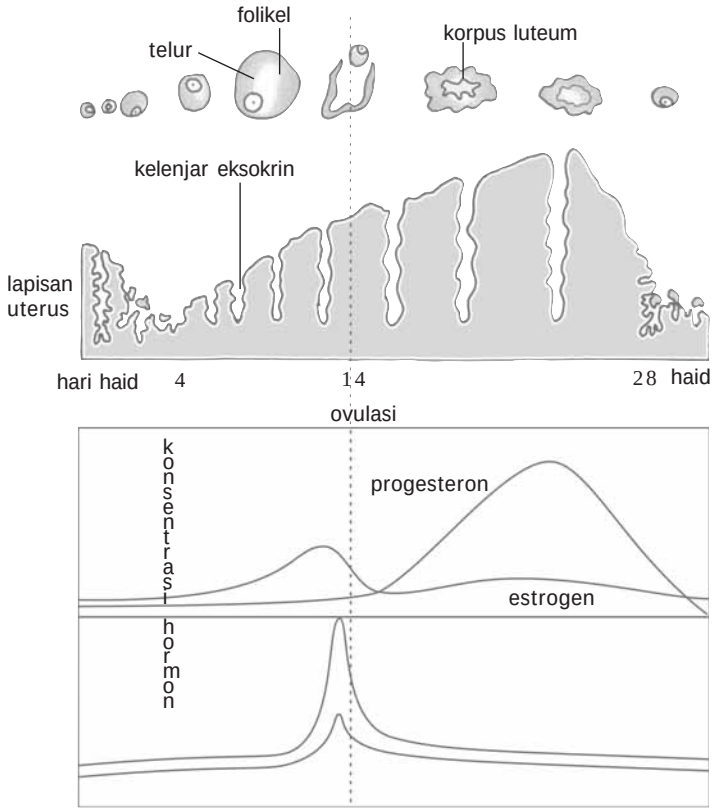
Pada wanita ovulasi terjadi berkaitan dengan siklus yang dikendalikan oleh hormon. Pada manusia dan primata, siklus terjadinya ovulasi dalam suatu proses reproduksi diberi istilah siklus menstruasi, sedangkan pada mamalia lain diberi istilah *siklus estrus.*

Menstruasi, yaitu proses meleburnya ovum yang gagal dibuahi bersama dengan lapisan dinding uterus berlangsung secara periodik. Pada saat terjadi menstruasi, pada wanita sering kali dihasilkan darah yang disertai jaringan-jaringan kecil tetapi bukan darah. Siklus pada saat menstruasi terjadi membutuhkan waktu sekitar 28 hari sampai satu bulan, itulah sebabnya siklus ini diberi nama *mens* yang berasal dari bahasa Yunani yang artinya *satu bulan.*

Terdapat sedikit perbedaan antara siklus menstruasi dan siklus estrus. Siklus estrus, yaitu suatu perilaku seksual yang bersifat agresif dari hewan betina yang terjadi pada saat berlangsungnya ovulasi. Peristiwa siklus reproduksi ini diperlihatkan oleh

sekelompok hewan mamalia selain manusia dan primata. Perbedaan yang mencolok antara siklus estrus dan menstruasi ini, terlihat ketika ovum tidak dibuahi. Pada siklus menstruasi jika tidak terjadi pembuahan maka endometrium akan meluruh dan dikeluarkan melalui saluran kelamin (genital). Pada siklus estrus tidak dikeluarkan karena endometrium diserap kembali oleh uterus. Demikian pula jika kita lihat waktu yang dibutuhkan, kedua siklus tersebut berbeda. Pada siklus menstruasi dibutuhkan waktu rata-rata sekitar 28 hari, sedangkan siklus estrus rata-rata hanya membutuhkan waktu 5 hari sekali, pada tikus dan kelinci, anjing dan beruang satu tahun sekali sedangkan gajah beberapa kali dalam setahun.

Siklus menstruasi terjadi dalam tiga fase, yaitu fase proliferasi (perbanyakan), fase sekresi, dan fase aliran menstruasi. Ketiga fase tersebut sangat dipengaruhi oleh beberapa hormon seperti diperlihatkan skema berikut.



Gambar 10.6 Skema siklus menstruasi dan hormon-hormon yang memengaruhinya.

1. Fase Proliferasi

Fase proliferasi sering kali disebut fase estrogenik. Hal ini disebabkan pada fase ini prosesnya dikendalikan oleh hormon estrogen. Fase ini mulai terjadi pada hari kelima hingga hari keempat belas dari siklus menstruasi.

Setelah haid terjadi bagian hipofisis anterior akan mensekresikan *Follicle Stimulating Hormone* (FSH). FSH memengaruhi proses pertumbuhan dan pemasakan ovum dan folikel graaf memacu pembentukan hormon estrogen. Hormon estrogen kemudian memengaruhi uterus untuk membangun endometrium sehingga rahim mengalami penebalan hingga 5 - 7 cm. Dengan dihasilkannya estrogen, pengeluaran FSH akan dihambat, sedangkan LH dirangsang untuk diproduksi. Dengan pecahnya folikel graaf, ovum akan dilepaskan keluar dan terjadilah ovulasi. Proses ini terjadi pada hari ke-14 setelah siklus menstruasi.

2. Fase Sekresi

Fase ini sering kali disebut fase progesteronik karena dipengaruhi oleh hormon progesteron. Fase sekresi berlangsung pada hari ke-14 sampai ke-28.

Pada fase ini folikel graaf yang pecah pada saat terjadi ovulasi berubah menjadi korpus rubrum. Dengan adanya LH yang memengaruhi, korpus rubrum berubah menjadi korpus luteum atau disebut juga badan kuning. Korpus luteum ini selanjutnya menghasilkan hormon progesteron.

Sewaktu berlangsungnya fase sekresi, endometrium mengalami penebalan, arteri-arteri mengalami pembesaran, dan tumbuhnya kelenjar endometrium. Jika tidak terjadi kehamilan, korpus luteum akan mengalami degenerasi yang menyebabkan berkurangnya kadar hormon progesteron dan estrogen atau bahkan tidak ada sama sekali.

3. Fase Menstruasi

Fase ini dimulai dari saat meluruhnya endometrium yang ditandai dengan keluarnya darah dan berakhir pada hari keempat sampai keenam. Pada fase ini hormon estrogen dan progesteron sudah tidak dihasilkan lagi. Dengan tidak diproduksinya estrogen dan progesteron maka akan terjadi degenerasi endometrium. Darah haid yang mengandung mukus dan sel-sel epitel, kemudian dikeluarkan dari rongga uterus menuju vagina.

E. Kehamilan

Pengertian kehamilan, yaitu berkembangnya embrio di dalam rahim (uterus) yang berlangsung dari sejak terjadinya fertilisasi hingga proses kelahiran. Anda tentunya sudah tahu kehamilan pada manusia umumnya berlangsung sekitar 9 bulan atau sekitar 38 minggu. Kehamilan pada setiap hewan membutuhkan waktu yang tidak sama. Pada tikus atau bangsa rodentia kehamilan berlangsung selama 21 hari, pada anjing selama 60 hari, kerbau 270 hari, dan gajah sekitar 600 hari. Jika Anda perhatikan, semakin besar ukuran tubuh hewan, semakin lama pula kehamilan yang dialaminya.

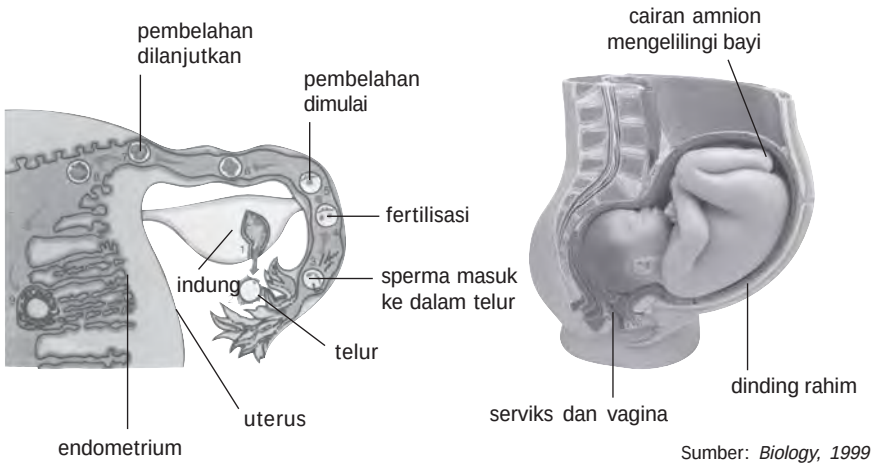
Pada saat kehamilan, terjadi beberapa peristiwa, antara lain perkembangan embrio, pembentukan membran embrio, plasenta, dan tali pusar. Berikut akan dijelaskan lebih rinci dari setiap peristiwa tersebut.

1. Perkembangan Embrio di Dalam Uterus

Perkembangan embrio dimulai pada saat telur berhasil dibuahi oleh sperma yang membentuk zigot. Selanjutnya, zigot yang terbentuk akan digerakkan oleh silia yang terdapat pada oviduk menuju uterus. Setelah mencapai waktu 24 jam, zigot akan melakukan pergerakan pembelahan sel. Zigot dari oviduk menuju uterus, membutuhkan waktu sekitar 3 - 5 hari.

Zigot satu sel telur yang telah dibuahi oleh sperma selanjutnya akan mengalami pembelahan menjadi dua sel, empat sel, delapan sel, enam belas sel sehingga membentuk satu kelompok sel baru yang berbentuk benda bundar menyerupai buah murbai. Terbentuknya bundaran seperti buah murbai ini disebut *stadium morula.* Morula ini menempatkan diri di bawah mukosa rahim dan dibatasi oleh suatu lapisan yang disebut *zona pelusida.*

Pada perkembangan selanjutnya morula akan membentuk bola berongga yang disebut blastosit. Akhirnya, blastosit mengalami diferensiasi menjadi 3 bagian, yaitu menjadi tropoblas (sel-sel bagian yang terluar), embrioblas (sel-sel bagian dalam), dan blastocoel (rongga berisi cairan). Perubahan morula menjadi blastosit disebut juga proses *blastulasi.* Blastosit kemudian bergerak turun ke uterus dan menanamkan diri di bagian endometrium. Proses tertanamnya blastosit pada endometrium ini disebut *implantasi*. Implantasi terjadi disebabkan sel trofoblas mengeluarkan *enzim proteolitik.*



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 10.7 Proses fertilisasi dan perkembangan zigot setelah terjadi fertilisasi dan implantasi zigot.

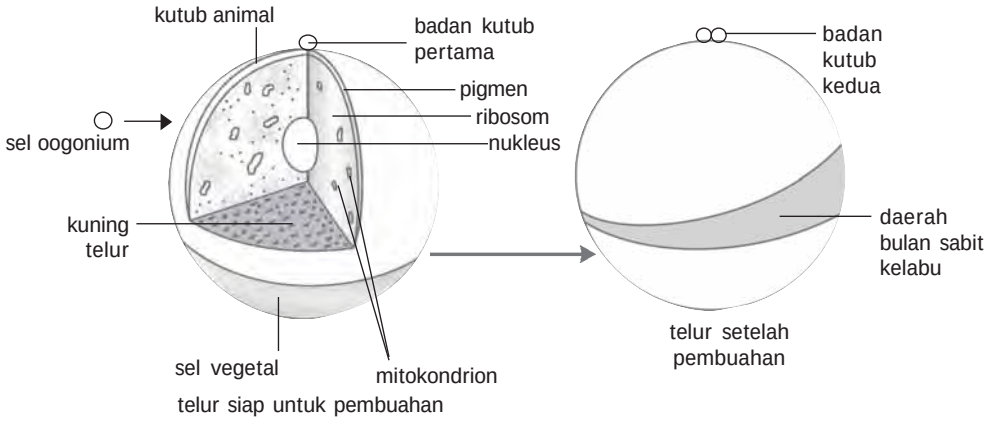
Pada proses selanjutnya, embrioblas yang terjadi akan melakukan pembelahan sehingga membentuk sekelompok sel yang sedikit menonjol disebut bintik benih, sedangkan sel-sel trofoblas akan mengeluarkan suatu cairan, sehingga antara trofoblas dan bintik benih dipisahkan oleh suatu ruang yang berisi cairan. Cairan ini semakin lama akan semakin meluas. Namun demikian, antara bintik benih dan trofoblas masih saling berhubungan pada satu tempat yang disebut selom. Peristiwa ini disebut *stadium blastula.*

Setelah blastula terbentuk, selanjutnya terjadi stadium gastrula (gastrulasi). Keadaan pada stadium ini, yaitu terjadinya pertumbuhan sel yang berbeda-beda pada bintik benih, dan sel-sel itu membelah diri membentuk lapisan sel-sel yang sifatnya berlainan, antara lain membentuk lapisan luar (ektoderm), yaitu lapisan sel yang dekat dengan tropoblas, lapisan dalam (endoderm), yaitu lapisan sel yang sedikit menonjol ke dalam ruangan eksoselom, dan lapisan tengah yang disebut mesoderm.

Pada perkembangan lanjut dari embrio, lapisan endoderm akan berkembang menjadi pembatas antara epitelium gastrointestinum, alat pernapasan, dan sejumlah organ lainnya. Lapisan mesoderma akan membentuk peritoneum, otot, tulang, dan jaringan ikat, sedangkan lapisan ektoderma akan berkembang membentuk bagian kulit dan sistem saraf.

2. Proses Terbentuknya Membran Embrio

Saat periode perkembangan, pada embrio akan terbentuk membran embrio. Membran-membran yang terbentuk di luar embrio berfungsi sebagai pelindung embrio dan menyediakan makanan bagi embrio tersebut. Membran-membran yang terbentuk tersebut terdiri atas kantong kuning telur, amnion, korion, dan alantois. Bentuk-bentuk membran tersebut dapat Anda lihat pada gambar berikut.



Gambar 10.8 Fase-fase pembentukan membran pada embrio

a. Kantong Kuning Telur

Kantong kuning telur, yaitu membran yang dibatasi oleh lapisan endoderm. Pada beberapa jenis hewan, kantong kuning telur memiliki fungsi sebagai penyedia makanan utama bagi embrio. Berbeda pada manusia, kantong ini berfungsi untuk menyedia-kan tempat bagi pembentukan darah. Di samping itu, di dalam kantong kuning telur terdapat sel-sel yang nantinya akan mengalami perkembangan men-jadi spermatogonium atau oogonium setelah bayi menjadi individu dewasa.

b. Amnion

Membran amnion merupakan membran tebal yang berfungsi sebagai pelindung. Pada saat embrio mengalami pertumbuhan, amnion akan menyelubungi embrio untuk membentuk ruang berisi cairan, yang disebut cairan amnion. Cairan amnion ini berguna untuk melindungi embrio dari benturan, gesekan, dan juga membantu di dalam proses pengaturan suhu tubuh embrio.

c. Korion

Korion adalah turunan (derivat) yang berasal dari perkembangan ektoderm dan mesoderma trofoblas. Korion merupakan bagian utama plasenta. Korion tampak menyelubungi amnion dan kantong kuning telur.

d. Alantois

Alantois adalah membran yang berbentuk vasikuler kecil untuk tempat awal mula darah dibentuk. Alantois ini berfungsi untuk proses respirasi, saluran makanan, dan ekskresi.

Horizon Biologi



Sumber: *www.gynekologicka.sk, 2006*

Ultrasonografi medis (sonografi)

adalah sebuah teknik diagnostik *penggambaran* menggunakan *suara ultra* yang digunakan untuk meng-gambarkan organ internal dan otot, ukuran mereka, struktur, dan *"lesion"* patologi, membuat teknik ini berguna untuk mengecek organ. Sonografi obstetrik biasa digunakan ketika masa *kehamilan.*
Pilihan frekuensi menentukan resolusi gambar dan penembusan ke dalam tubuh pasien. Diagnostik sonografi umumnya beroperasi pada frekuensi dari 2 sampai 13 *megahertz*.

3. Terbentuknya Plasenta

Plasenta yang dikenal dengan nama lain ari-ari atau tembuni, terbentuk pada bulan ketiga dari kehamilan. Bentuk plasenta ini pipih berasal dari perkembangan korion dan sebagian endometrium.

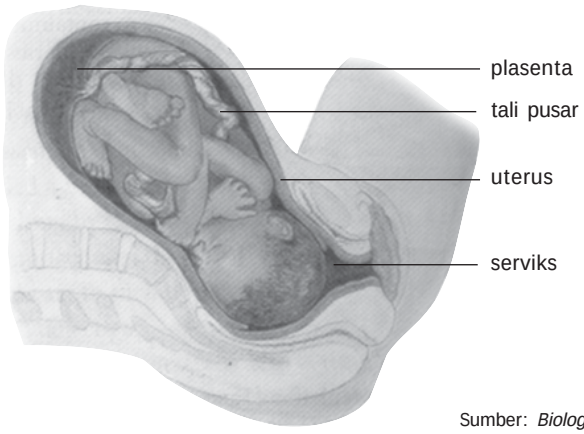
Plasenta memiliki beberapa fungsi utama sebagai berikut:

1) sebagai tempat difusi oksigen dan makanan dari darah ibu ke janin;
2) sebagai tempat berdifusi karbon dioksida dan sisa metabolisme janin ke darah ibu untuk dibuang;
3) untuk melindungi agar tubuh janin tidak dimasuki mikroorganisme;
4) tempat suplai makanan yang berbentuk karbohidrat, protein, kalsium, dan besi dari tubuh ibu ke tubuh janin;
5) penghasil hormon yang diperlukan untuk mengatur proses yang terjadi selama kehamilan.

4. Tali Pusar

Sewaktu embrio mengalami pertumbuhan dan perkembangan, pada bagian korion terjadi pertumbuhan yang strukturnya berbentuk seperti jari-jari. Struktur seperti jari-jari ini dikenal sebagai *vili korion*. Vili korion banyak mengandung pembuluh darah janin yang berasal dari alantois. Vili korion yang terus mengalami pertumbuhan akan terendam pada suatu ruang yang mengandung darah ibu dan disebut ruang intervili. Dengan keadaan seperti ini, darah yang berasal dari ibu akan saling berdekatan dengan darah janin. Namun demikian, darah ibu dan janin tidak bercampur.

Vili korion memiliki fungsi utama sebagai tempat terjadinya pertukaran oksigen dan makanan yang berasal dari darah ibu ke bayi. Selanjutnya, makanan yang berasal dari pembuluh darah vili tersebut disirkulasikan ke vena umbilikus atau pusar, sedangkan sisa-sisa metabolisme yang berasal dari tubuh bayi dikeluarkan melalui arteri umbilukus dan berdifusi ke dalam darah ibu.



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 10.9 Posisi bayi dalam rahim dan kedudukan tali pusar serta plasentanya.

Tali pusar terbentuk dari lapisan terluar amnion yang banyak mengandung arteri umbilikus dan vena umbilikus. Di samping itu, tali pusar juga diperkuat oleh suatu jaringan ikat pipih yang berasal dari alantois.

Pada saat bayi telah dilahirkan, tali pusar masih tetap menempel pada perut bayi sampai beberapa hari lamanya. Setelah tali pusar terlepas, pada perut bayi akan terlihat bekas pusaran.

F. ASI



Sumber: *Indonesian Heritage, Manusia dan Lingkungan, 2002*

Setiap ibu yang baru melahirkan anaknya sangat dianjurkan untuk memberikan ASI (Air Susu Ibu) kepada bayinya. ASI sangat baik untuk memenuhi kebutuhan gizi bayi dan melindungi bayi dari serangan berbagai penyakit. Zat-zat gizi pada ASI merupakan zat gizi yang terbaik, ASI juga sangat kaya akan sari-sari makanan yang membantu pertumbuhan sel-sel otak dan perkembangan sel-sel saraf.

Penelitian menunjukkan bahwa bayi yang diberi ASI terlindung dari serangan penyakit sistem pernapasan dan pencernaan. Hal ini disebabkan zat-zat kekebalan tubuh yang terkandung di dalam ASI memberikan perlindungan langsung untuk melawan serangan penyakit. Selain itu, ASI memberikan lingkungan yang ramah bagi bakteri menguntungkan (flora normal). Keberadaan bakteri ini menghambat perkembangan bakteri, virus dan parasit berbahaya. Telah terbukti bahwa di dalam ASI terdapat unsur-unsur yang dapat membentuk sistem kekebalan melawan penyakit-penyakit menular.

Hal lain yang menyebabkan ASI sangat dibutuhkan bagi perkembangan bayi yang baru lahir adalah kandungan minyak omega-3 asma linoleat alfa. Selain sebagai zat penting bagi otak dan retina manusia, minyak tersebut juga sangat penting bagi bayi yang baru lahir. Omega-3 secara khusus sangat penting selama masa kehamilan dan pada tahap-tahap awal usia bayi yang dengannya otak dan sarafnya berkembang secara normal. Para ilmuwan secara khusus menekankan pentingnya ASI sebagai penyedia alami dan sempurna dari omega-3.

Berikut ini beberapa keunggulan ASI dibandingkan dengan susu formula.

1) Tidak memerlukan biaya yang besar, sehat, dan mudah memberikannya.
2) Mengandung zat yang dapat meningkatkan daya tahan anak terhadap penyakit.
3) Mengandung cukup banyak makanan yang diperlukan oleh bayi.
4) Menyusui berarti menjalin kasih sayang ibu terhadap anak.
5) Menyusui mempercepat ibu menjadi langsing kembali sesudah melahirkan.

G. Mengatur Kelahiran

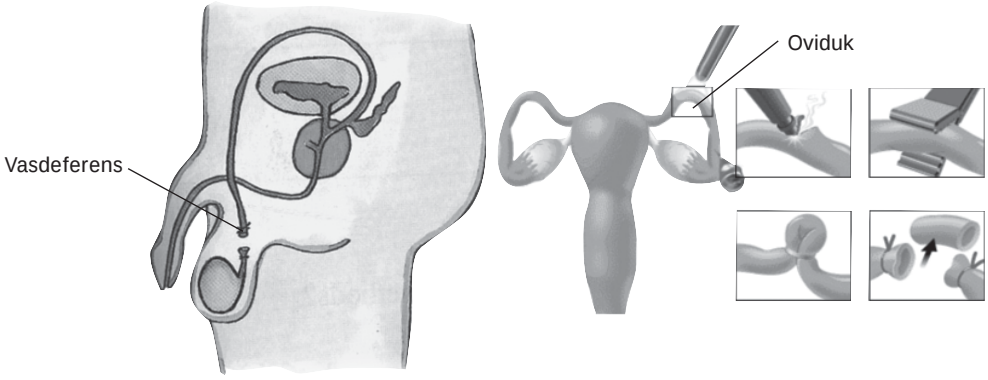
Jika kita perhatikan, penduduk bumi ini semakin lama bukannya semakin berkurang, melainkan semakin bertambah. Hal tersebut menyebabkan permasalahan bagi kesejahteraan hidup manusia. Sementara, jumlah populasi manusia terus bertambah, sedangkan faktor pendukung berupa sandang, pangan, dan papan masih belum dapat diupayakan sesuai dengan jumlah penduduk yang ada.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diupayakan suatu cara untuk mengatur kelahiran, agar jumlah penduduk dapat dikendalikan sehingga kesejahteraan manusia dapat ditingkatkan. Upaya untuk mengatur kelahiran ini kita kenal dengan istilah *kontrasepsi*. Kontrasepsi berasal dari kata *kontra* yang artinya mencegah atau melawan dan *konsepsi* yang artinya pembuahan. Dengan demikian, kontrasepsi dapat diartikan suatu cara untuk mencegah pertemuan antara sel telur (ovum) dan sel sperma (mani) agar tidak terjadi kehamilan. Cara kontrasepsi ini dibedakan menjadi dua cara, yaitu secara permanen dan nonpermanen.

1. Kontrasepsi Permanen

Kontrasepsi permanen yaitu cara mencegah kehamilan yang tidak dapat dikembalikan lagi. Atau dengan kata lain, kehamilan sudah tidak mungkin lagi dialami oleh pengguna cara kontrasepsi permanen ini. Kebanyakan cara kontrasepsi ini dilakukan dengan cara operasi, baik yang dilakukan pada wanita maupun pria. Contohnya, vasektomi dan tubektomi.

Vasektomi adalah cara kontrasepsi permanen yang dilakukan pada pria dengan cara pemotongan vasa deferensianya, dan pada setiap ujung potongan tersebut dilakukan pengikatan, sedangkan tubektomi, yaitu cara kontrasepsi permanen pada wanita dengan cara melakukan pemotongan pada oviduk yang setiap ujung potongannya juga diikat.



Gambar 10.10 (a) vasektomi dan (b) tubektomi.

2. Kontrasepsi Nonpermanen

Metode kontrasepsi ini disebut nonpermanen karena pengguna kontrasepsi ini suatu saat masih mampu hamil atau kemampuan kehamilannya dapat dikembalikan seperti semula sebelum dipasang alat kontrasepsi. Metode ini dapat dilakukan dengan berbagai cara dengan menggunakan alat atau obat.

Pengguna kontrasepsi nonpermanen dengan obat, dengan menggunakan pil, susuk, kondom, suntikan, diafragma, tablet busa, IUD (Intra Uterine Device), atau AKDR (Alat Kontra-sepsi Dalam Rahim).

Pada penggunaan kontrasepsi nonpermanen tanpa obat, biasanya dilakukan dengan cara memperpanjang masa menyusui, sistem kalender, atau dengan senggama terputus (koitus interrupt).

Tokoh



Regnier de Graaf

Ahli anatomi Belanda, Regnier de Graaf (1641-1673) melakukan banyak penelitian-penelitian penting di kota Delft. Sesudah melakukan analisis cairan pankreas, ia menerbitkan hasil kerjanya yang sangat rinci mengenai alat-alat reproduksi laki-laki dan perempuan pada tahun 1668 dan 1672. Ia mengidentifikasi 'gelembung-gelembung' kecil pada permukaan indung telur sebagai ovum atau telur. Di kemudian hari, ditemukan bahwa tiap 'gelembung' adalah folikel yang masak, atau kantong telur dengan telur yang lebih kecil di dalamnya. Lebih kurang 90 tahun kemudian, von Haller, memberi nama folikel-folikel tersebut folikel Graaf untuk menghormati Regnier de Graaf.

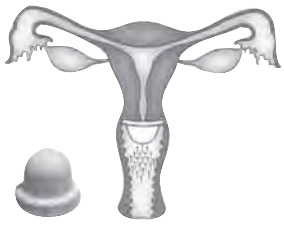
Sumber: *Encarta, 2004*



(a)



(b)



(c)



(d)



Sumber: *Science Discovery 2, 2002*

Gambar 10.11 Macam-macam alat kontrasepsi nonpermanen: (a) kondom; (b) pil ; (c) diafragma; (d) IUD.

H. Penularan dan Pencegahan Penyakit yang Berhubungan dengan Sistem Reproduksi

Banyak sekali kasus penyakit yang disebabkan oleh terserangnya alat reproduksi. Penyakit-penyakit yang menyerang alat reproduksi biasa disebut sebagai penyakit kelamin. Kebanyakan penyakit kelamin disebabkan oleh adanya hubungan seksual yang tidak sehat.

1. Penyakit AIDS

Akhir-akhir ini tentu anda pernah mendengar mengenai penyakit AIDS yang sering dibicarakan orang. Penyakit ini begitu menakutkan bagi manusia, karena sangat berbahaya dan tidak mudah diobati. Kenyataan ini mendorong para ahli untuk menemukan bagaimana cara mengobati penyakit ini secara efektif. Tentu Anda ingin mengetahui apa penyebab adanya penyakit AIDS. AIDS merupakan kepanjangan dari *Acquired Immune Deficinecy Syndrom* yang artinya penurunan sistem kekebalan tubuh. Penyakit ini disebabkan oleh jenis virus yang diberi nama HIV (*Human Immunodeficiency Virus*).

Struktur HIV memiliki dua molekul RNA di dalam intinya. Virus ini awalnya berasal dari virus kera di Afrika yang telah mengalami mutasi. Meskipun penyakit yang ditimbulkan oleh virus HIV ini sangat berbahaya dan mematikan, tetapi dalam proses penularannya tidak semudah penularan virus jenis yang lainnya. Virus HIV tidak menular melalui kontaminasi biasa, seperti berjabat tangan, berpelukan, atau melalui batuk, bersin, peralatan mandi, dan makanan. Melainkan harus dengan media berupa cairan tubuh melalui luka di kulit atau selaput lendir, dengan kata lain harus melalui penetrasi cairan tubuh dari penderita ke orang yang tertular. Beberapa proses penularan penyakit dapat melalui hubungan seksual, penggunaan jarum suntik bekas penderita, atau melalui transfusi darah.

Indikasi awal dari penyakit ini, yaitu penderita akan mengalami pembesaran organ limfa. Penyakit-penyakit yang umum diderita oleh orang yang mengidap penyakit AIDS, yaitu pneumonia, kanker, diare, penurunan berat badan, dan gagal jantung.

Virus HIV banyak terkonsentrasi di dalam darah penderita dan cairan mani. Apabila seseorang telah terinfeksi virus ini, maka seumur hidupnya virus ini akan tetap ada. Mengapa demikian? Karena virus ini tidak mudah untuk diobati, kalau pun sembuh tidak mungkin sembuh total.

2. Penyakit Sabun (Gonorrhoe)

Penyakit sabun atau gonorrhoe merupakan penyakit kelamin yang cukup berbahaya. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri bundar dari jenis *Gonococcus.*

Penyakit ini ditularkan melalui hubungan kelamin. Selain dari hubungan kelamin, seseorang dapat tertular penyakit ini oleh karena memegang celana, handuk, atau benda lain bekas penderita. Bayi yang dilahirkan oleh ibu yang menderita penyakit ini dapat juga tertular.

Penyakit ini menyebabkan sempitnya aliran kandung kencing atau saluran tempat keluarnya spermatozoa dan anak buah pelir. Saluran kandung kencing yang menjadi sempit dapat menyebabkan penderitanya mengalami kesulitan ketika buang air kecil dan dapat menyebabkan penyakit yang cukup parah pada kandung kencing, ginjal, atau bahkan keduanya. Apabila tidak segera diobati, akibat dari tersumbatnya saluran pengeluaran sperma, dapat menyebabkan mandul pada penderitanya. Radang anak buah pelir merupakan penyakit yang amat menyakitkan. Di samping itu, apabila bakteri gonocuccus ini menginfeksi mata dapat menyebabkan radang yang akut, sehingga mata mengeluarkan nanah dan penderitanya dapat mengalami kebutaan.

Apabila seseorang terkena penyakit ini, sebaiknya segera memeriksakan diri ke dokter, karena sangat sulit untuk diobati sendiri. Biasanya dokter memberikan suntikan antibiotika *penicilin*. Dengan beberapa suntikan penicilin, umumnya penderita dapat disembuhkan.

3. Sifilis

Sifilis termasuk penyakit kelamin cukup berbahaya. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri dari jenis *Treponem pallidum.* Bakteri ini dapat tertular dari seorang ibu penderita kepada anaknya yang masih dalam kandungan. Penularan penyakit ini disebabkan oleh hubungan kelamin yang tidak sehat. Penyakit ini baru terlihat pengaruhnya pada seseorang yang tertular setelah 30 hari penularan. Penyakit ini jarang sekali tertular melalui benda-benda bekas penderita.

Pengobatan penyakit ini dapat dilakukan dengan menggunakan antibiotik. Namun demikian, seseorang yang menderita penyakit ini sebaiknya ditangani oleh dokter, tidak mengobati sendiri.

Rangkuman

Alat kelamin jantan pada vertebrata terdiri atas testis dan saluran sperma. Alat kelamin betina terdiri atas ovarium dan saluran telur. Ovarium berfungsi memproduksi sel telur. Pada mamalia jantan, alat kelaminnya terdiri dari testis dan saluran sperma. Alat kelamin mamalia betina berupa ovarium, saluran telur, dan rahim. Rahim merupakan tempat pertumbuhan embrio.

Antara embrio dengan induknya dihubungkan oleh jaringan plasenta. Masa antara penempelan embrio pada dinding rahim hingga saat kelahiran anak disebut masa kehamilan.

Semakin tinggi derajat perkembangan hewan dan semakin besar tubuh hewan, semakin lama masa kehamilannya. Pada umumnya, anak mamalia lahir dalam keadaaan lemah. Oleh sebab itu, induk mamalia senantiasa harus memelihara anaknya.

Untuk melakukan reproduksi secara seksual, baik pada hewan jantan maupun betina dilengkapi dengan alat-alat reproduksi. Alat reproduksi pada hewan jantan terdiri atas saluran-saluran dan kelenjar-kelenjar. Saluran-saluran kelamin pada hewan jantan terdiri atas skrotum, vas deferens, duktus ejakulatoris, dan duktus epididimis, sedangkan penis merupakan alat kelamin bagian terluar dari hewan jantan. Kelenjar-kelenjar kelamin pada hewan jantan terdiri atas vesikula seminalis, kelenjar prostat, kelenjar bulbouretal, dan kelenjar penis. Sperma yang merupakan sel kelamin jantan dihasilkan di skrotum, yaitu tubulus seminiferus.

Alat kelamin pada hewan betina yang melakukan reproduksi secara seksual terdiri atas alat reproduksi bagian luar dan dalam. Alat reproduksi bagian luar terdiri atas bagian-bagian yang disebut labia mayora, labia minora, himen, klitoris, dan mons pubis, sedangkan alat kelamin bagian dalamnya terdiri atas ovarium, oviduk, tuba fallopi, uterus, dan vagina.

Dalam proses reproduksi seksual pada hewan, setelah terjadi pertemuan sperma dan ovum yang dikenal sebagai fertilisasi, akan terjadi pembelahan sel dari zigot yang terbentuk di dalam oviduk. Selanjutnya, zigot akan terus membelah hingga menjadi embrio yang kemudian terimplantasi di dinding rahim. Di dinding rahim embrio melanjutkan perkembangan dengan membentuk membran, yang terdiri atas kuning telur, amnion, korion, dan alantois. Di samping bagian-bagian tersebut, terdapat juga bagian yang disebut plasenta atau ari-ari dan tali pusar. Setelah berkembang selama sembilan bulan, maka terbentuklah bayi yang sempurna dan siap untuk dilahirkan.

Uji Kompetensi

A. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Berikut ini adalah pasangan alat reproduksi dengan kegiatannya yang benar, *kecuali* . . . .
   A. skortum – pelindung testis
   B. tubulus seminiferus – menghasilkan sperma
   C. epididimis – saluran pematangan sperma
   D. sel sertoli – penyedia nutrisi sperma
   E. vas deferens – saluran sperma ke vagina

2. Sel sperma bergerak dari lumen tubulus semiliferus menuju bagian desterian tubuh dengan melewati struktur berikut, *kecuali* . . . .
   A. vesikula seminalis
   B. epididimis
   C. duktus deferens
   D. uretra
   E. duktus ejakulatoris

3. Tahap perkembangan terjadinya implantasi disebut sebagai . . . .
   A. morula
   B. zigot
   C. blastosit
   D. janin
   E. gastrulasi

4. Agar fertilisasi dapat menjadi kehamilan maka fertilisasi sebaiknya terjadi di . . . .
   A. vagina
   B. ovarium
   C. uterus
   D. oviduk
   E. serviks

5. Sistem ekskresi dan sistem reproduksi pada manusia menggunakan bersama . . . .
   A. testis
   B. uretra
   C. ureter
   D. vas deferens
   E. prostat

6. Meiosis pada tubuh laki-laki terjadi di dalam . . . .
   A. testes
   B. kelenjar prostat
   C. tuba falopi
   D. folikel
   E. ovarium

7. Metode kontrasepsi nonpermanen dapat dilakukan dengan berbagai cara, *kecuali* . . . .
   A. coitus interuptus
   B. pil
   C. susuk
   D. suntik
   E. vasektomi

8. Hormon yang berperan dalam pembentukan dan pematangan spermatozoa dan ovum adalah . . . .
   A. FSH
   B. LH
   C. testosteron
   D. estrogen
   E. oksitosin
9. Janin yang berkembang di rahim ibu akan memperoleh makanan melalui . . . .
   A. endometrium
   B. uterus
   C. plasenta
   D. tuba falopi
   E. tali ari
10. Seluruh kegiatan reproduksi manusia diatur oleh bagian otak yang disebut . . . .
   A. pituitary
   B. hipotalamus
   C. hipofisis
   D. talamus
   E. serebelum

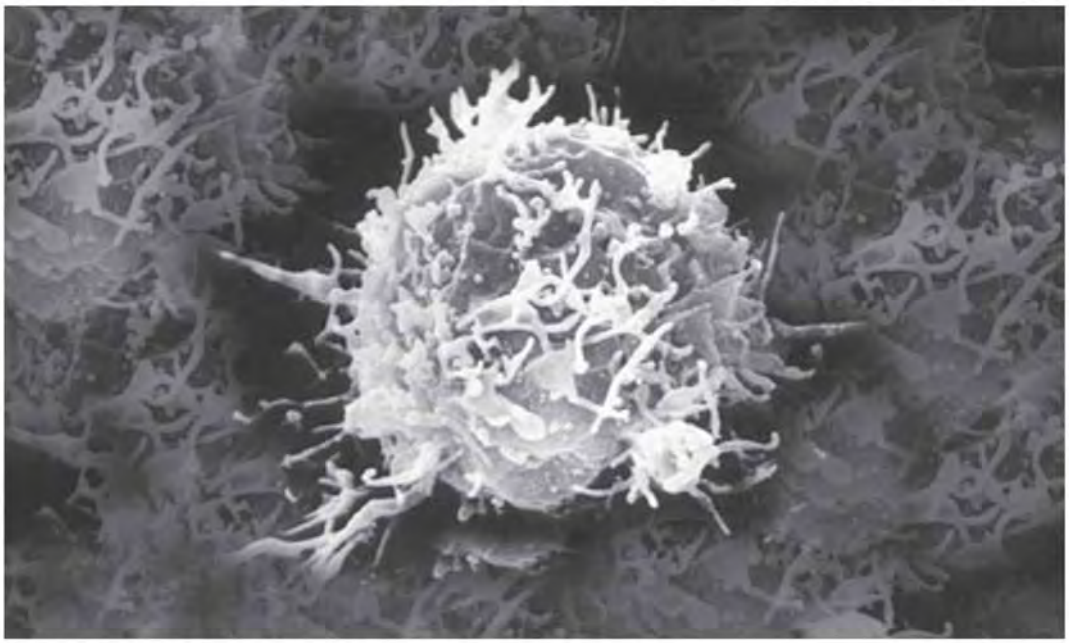
B. Jawablah pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Mengapa setiap organisme hidup memiliki kemampuan reproduksi?
2. Jelaskan fungsi epididimis dan sel sertoli bagi sperma!
3. Jelaskan perbedaan antara siklus menstruasi dengan siklus estrus!
4. Mengapa pada wanita terjadi periode menopause (habis telur), sedangkan pada laki-laki tidak terjadi periode habis sperma?
5. Bagaimana proses terjadinya zigot? Terangkan!

* * *

Bab 11

Sistem Imun



Sumber: *Encarta Encyclopedia, 2004*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan mampu:

- menjelaskan peranan kulit dan membran mukosa sebagai garis pertahanan pertama terhadap mikroba penyerang tubuh;
- menjelaskan peranan sekresi kulit dan membran mukosa dalam menghancurkan mikroba penyerang tubuh;
- menjelaskan mekanisme fagositosis yang dilakukan oleh sel darah putih;
- menjelaskan mekanisme respons peradangan dan protein anti mikroba untuk menghancurkan mikroba penyerang tubuh;
- menjelaskan peranan limfosit dan antibodi sebagai mekanisme pertahanan spesifik;
- menjelaskan pengertian antibodi dan antigen;
- menjelaskan penyebab dan akibat alergi auto imun dan imuno defisiensi.

A. Pendahuluan



Sumber: *Dokumen Penerbit, 2006*

Gambar 11.1 Bersin merupakan salah satu tindakan imunitas.

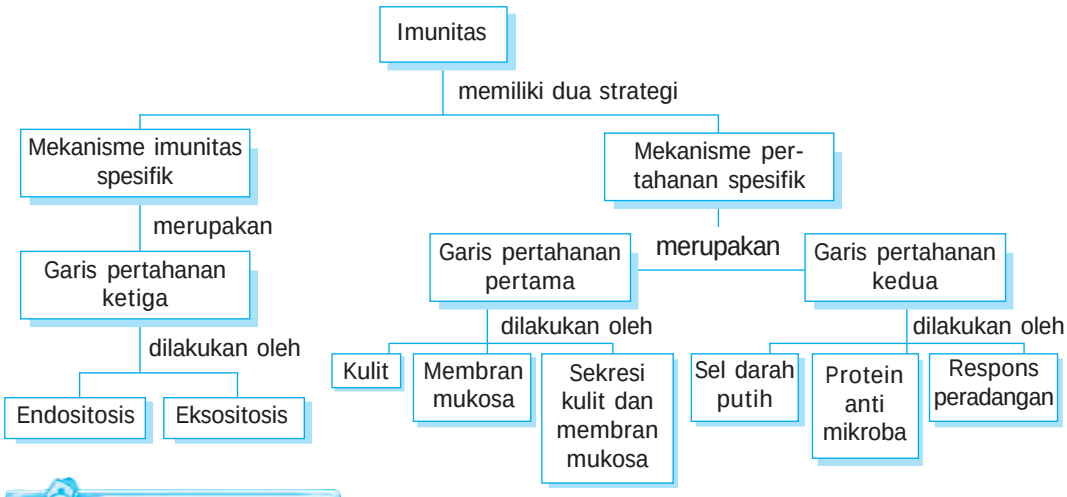
Tubuh manusia merupakan suatu sistem. Kita sudah mempelajari begitu banyak organ di dalam tubuh yang semuanya itu memiliki fungsi khusus dalam mendukung kehidupan. Semua organ saling bekerja sama. Kebutuhan satu organ dipenuhi oleh organ lain, demikian sebaliknya.

Organ tubuh bekerja baik dalam keadaan normal. Artinya setiap organ tubuh akan bekerja dengan baik jika tidak ada gangguan dari luar. Namun, gangguan dari luar setiap saat bisa saja terjadi. Jika gangguan itu datang, bagaimanakah tubuh menghadapinya?

Virus influenza merupakan jenis penyerang tubuh yang paling umum. Virus ini sudah banyak menimbulkan korban sejak ratusan tahun yang lalu, bahkan pada saat sekarang jarang sekali orang yang tidak pernah diserang oleh virus ini. Seorang yang terkena serangan virus influenza sering kali mengalami demam, tubuh menjadi lemah atau batuk.

Di manakah sistem imunitas kita sewaktu terserang flu? Mengapa virus influenza menyebabkan demam? Lalu apakah yang dilakukan oleh tubuh untuk melenyapkan penyerang itu? Pada bab ini kita akan membahas mengenai hal mekanisme pertahanan tubuh.

Sebelum Anda melanjutkan pelajaran ini, perhatikanlah peta konsep berikut!



Kata Kunci

- *Antibodi*
- *Antigen*
- *Fagosit*
- *Fagositosis*
- *Histamin*
- *Imunologi*
- *Imuno humoral*
- *Imuno defesiensi*
- *Imunologi*
- *Interferon*
- *Kekebalan*
- *Limfosit*
- *Membran mukosa*
- *Peradangan*
- *Sel T*
- *Sel B*

B. Mekanisme Pertahanan Nonspesifik

Setiap benda asing yang memasuki tubuh pertama kali akan menghadapi oleh mekanisme pertahanan nonspesifik. Mekanisme ini memiliki dua garis pertahanan yaitu garis pertahanan pertama dan garis pertahanan kedua.

1. Garis Pertahanan Pertama

Garis pertahanan pertama melakukan penyaringan dan pemusnahan terhadap benda-benda asing yang berusaha memasuki tubuh. Penyaringan ini dilakukan oleh kulit, membran mukosa, dan sekresi kulit dan membran.

a. Kulit



Sumber: *Kamus Visual, 2003*

Gambar 11.2 Kulit merintangi mikroba memasuki tubuh.

Kulit ditutupi sel-sel epitel yang sangat rapat. Kulit yang normal tidak dapat ditembus oleh bakteri dan virus. Mikroorganisme hanya dapat masuk melalui kulit jika sudah terluka. Perhatikanlah Gambar 11.2!

Kulit memiliki kondisi sedikit asam dengan pH 5 dan temperatur kurang dari 37°. Kondisi menyulitkan bakteri dan virus untuk dapat tetap hidup di permukaan kulit. Selain itu, lapisan sel-sel yang mati membuat permukaan kulit selalu berganti sehingga bakteri yang berada di permukaan kulit tersebut juga selalu terbuang dengan sel yang mati.

b. Membran mukosa



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 11.3 Lapisan trakea di tenggorokan. Sel epitel ini merupakan garis pertahanan pertama yang menggerakkan silianya mengusir mikroba keluar.

Membran mukosa melapisi saluran pencernaan, saluran respirasi, saluran kelamin dan saluran ekskresi. Sama seperti kulit, membran mukosa tidak dapat ditembus oleh bakteri dan virus karena antara satu membran dan membran lain sangat rapat. Selain itu, membran mukosa juga melawan bakteri dengan pertahanan kimiawi.

Membran mukosa menghasilkan mukus yang merupakan cairan kental untuk mengikat dan menggumpalkan bakteri. Gumpalan ini kemudian akan dibuang oleh tubuh dalam bentuk cairan kental.

c. Sekresi Kulit dan Membran Mukosa

Kulit mampu mensekresikan protein anti mikroba seperti lisosim. Selain itu, kulit dilengkapi saliva pada daerah mulut, air mata di daerah mata dan sekresi mukosa pada bagian-bagian lain. Semua sekresi ini mampu mencuci dan merusak dinding sel bakteri.

2. Garis Pertahanan Kedua



Sumber: *Encarta, 2004*

Gambar 11.4 Sistem limfa. Sel-sel fagositosit dan limfosit dihasilkan di sumsum tulang, sedangkan sel T menjadi dewasa di limfa.

Tidak banyak mikroorganisme yang mampu melewati garis pertahanan pertama. Jika mikroorganisme mampu melewati garis pertahanan pertama ini maka ia akan berhadapan dengan garis pertahanan kedua. Pertahanan kedua dilakukan oleh sel-sel fagositosit, peradangan, dan protein antimikroba.

Sel-sel fagositosit selalu beredar dalam jaringan, pembuluh darah dan sistem limfa. Setelah beredar ke jaringan, sel-sel fagositosit tidak kembali ke pembuluh darah, tetapi ke sistem limfa. Sistem limfa merupakan suatu sistem pembuluh terbuka. Gambar 11.4 di samping memperlihatkan sistem limfa. Pembuluh-pembuluh ini membuat simpul pada beberapa tempat seperti lipatan paha, ketiak, lipatan siku dan leher. Di tempat ini mikroba yang menginfeksi tubuh akan dicerna oleh sel fagositosis.

a. Fagositosis

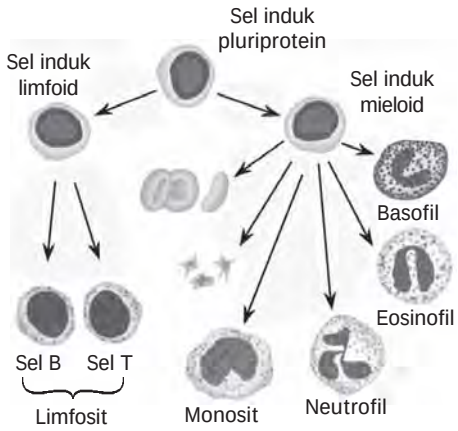


Sumber: *Encarta, 2004*

Gambar 11.5 Fagositosis oleh makrofaga.

Sel-sel fagosistosis menelan dan mencerna (fagositosis) benda asing yang masuk ke dalam tubuh. Fagositosis dilakukan oleh sel darah putih. Jenis-jenis sel darah putih yang dapat melakukan fagositosis adalah neutrofil, monosit, eosinofil, dan sel pembuluh alami (natural killer, NK).

Jika sel telah dirusak oleh mikroba maka sel tersebut akan mengirimkan sinyal kimiawi yang menarik neutrofil untuk datang. Neutrofil akan memasuki jaringan yang terinfeksi lalu menelan dan mencerna semua mikroba yang ada.



Gambar 11.6 Sel fagositosis dan limfosit berasal dari induk yang sama.

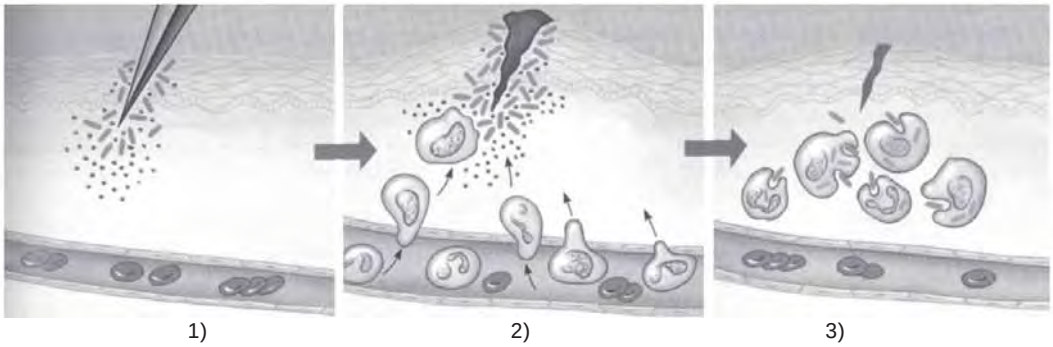
Jenis sel darah putih lain yang dapat melakukan fagositosis adalah sel monosit. Ketika suatu jaringan terinfeksi, sel monosit akan keluar dari saluran darah menuju jaringan tersebut. Sel monosit kemudian berubah menjadi sel makrofaga yaitu sel fagositosis yang besar. Makrofaga melakukan fungsinya dengan menjulurkan kaki pseupodia, mengikat dan menelan mikroba. Di dalam sel makrofaga, mikroba kemudian akan dicerna oleh enzim lisosom.

b. Peradangan

Jika mikroba telah merusak jaringan, sel-sel jaringan yang telah rusak tersebut kemudian akan mengirimkan sinyal. Sinyal pertama adalah histamin yang mengakibatkan peradangan, sedangkan yang kedua adalah interferon yang akan menyiagakan sel-sel lain.

1) Histamin

Sinyal yang diberikan oleh sel terinfeksi akan ditangkap oleh sel darah putih jenis basofil yang kemudian akan melepaskan histamin ke jaringan. Histamin menyebabkan pembuluh darah prakapilker sekitar jaringan membesar, sedangkan pembuluh vena mengecil. Dengan keadaan demikian jaringan mengalami pembengkakan atau peradangan. Mekanisme peradangan dan perbaikan jaringan dapat dilihat pada gambar berikut.

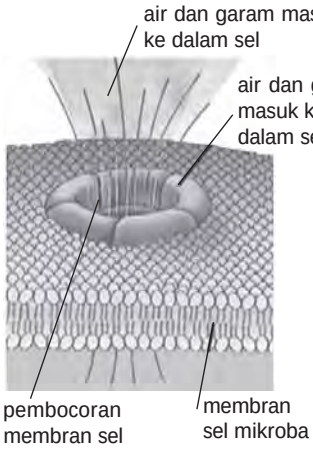


1) 2) 3)

Gambar 11.7 Respons peradangan sebagai suatu sistem imunitas. 1) ketika kulit ditembus, bakteri langsung menyerang jaringan. Sel yang terinfeksi melepaskan histamin. 2) histamin merangsang pembesaran/dibatasi pori prakapiler sehingga fagosit dan cairan keluar menuju jaringan yang diserang. 3) sel-sel fagosit menelan semua bakteri penyerang dan sel-sel yang telah rusak.

Peradangan jaringan meningkatkan permeabilitas kapiler dan meningkatkan migrasi sel-sel fagositosit dari kapiler darah ke jaringan. Jaringan yang meradang juga melepaskan senyawa kemokin yang merupakan sinyal kimiawi untuk merangsang sel fagositosis mendatangi jaringan.

Dengan masuknya sel-sel fagositosis ke jaringan yang meradang maka proses perbaikan dimulai. Sel-sel fagositosis segera akan menelan semua sel mikroba dan juga membersihkan jaringan tersebut dari senyawa yang berbahaya.



Gambar 11.8 Mekanisme perusakan sel mikroba oleh protein komplemen.

Peradangan juga mengakibatkan demam karena sel-sel leukosit melepaskan senyawa pirogen. Senyawa ini akan merangsang tubuh untuk menaikkan suhu dengan demikian meningkatkan pertahanan tubuh, menghambat pertumbuhan beberapa jenis mikroba, memudahkan fagositosis, mempercepat reaksi tubuh, dan mempercepat perbaikan jaringan.

2) Interferon

Interferon adalah suatu bahan kimia spesifik pada setiap spesies yang diproduksi oleh sel yang terkena serangan virus. Interferon mengaktifkan sel-sel yang dekat dengan sel yang telah terkena serangan virus untuk siaga dan bersiap-siap menghadapi serangan. Dengan adanya sinyal interferon ini sel yang telah dihubungi akan melawan semua serangan virus.

2. Protein Antimikroba

Protein mempertahankan tubuh dengan cara menyerang mikroba secara langsung atau menghambat reproduksinya. Contoh protein yang menyerang mikroba secara langsung adalah lisosim. Seperti yang telah dikemukakan di atas, lisosim mengakibatkan sel mikroba menjadi rusak. Selain itu, protein juga digunakan sebagai sinyal kemotaksis untuk menarik fagositosis mendatangi jaringan yang terserang.

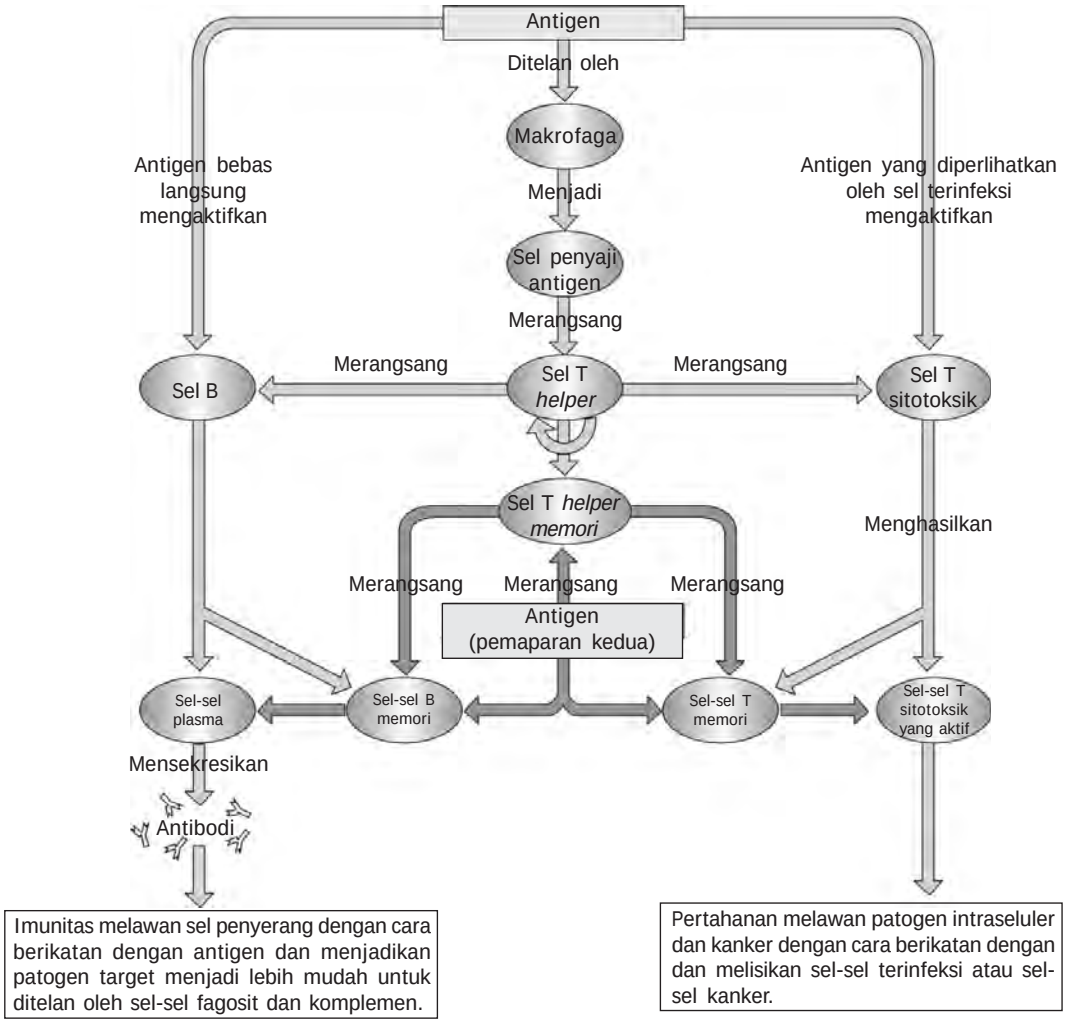
C. Mekanisme Pertahanan Spesifik

Sistem imunitas spesifik lebih efektif dibandingkan dengan sistem kekebalan nonspesifik dan mempunyai suatu komponen memori yang mempercepat waktu tanggapan ketika penyerbu jenis yang sama ditemui lagi.

Imunitas dihasilkan dari produksi antibodi spesifik yang dikhususkan untuk antigen penyerang. Antigen singkatan dari *antibody-generators,* merupakan suatu molekul penanda yang terdapat pada permukaan semua jenis sel. Antibodi mengikat antigen dan mematikan atau menonaktifkan mikroba melalui beberapa cara. Kebanyakan antibodi adalah protein atau suatu campuran antara protein dan polisakarida. Antigen dapat merupakan molekul apa saja yang menyebabkan produksi antibodi.

Imunitas Humoral

Imunitas humoral diatur oleh sel B dan antibodi yang dihasilkannya. Imunitas yang diperantarai sel dikendalikan oleh sel T. Reaksi antibodi yang diperantarai melindungi terhadap serangan virus dan bakteri. Imunitas sel yang diperantarai berhubungan dengan sel di tubuh yang telah terkena infeksi virus dan bakteri, melindungi dari parasit, fungi, dan protozoa, dan juga membunuh sel kanker. Perhatikanlah Gambar 11.9!



Sumber: *Biology, 1999*

Gambar 11.9 Respons sel B dan sel T terhadap antigen penginfeksi.

Langkah-langkah pada imunitas humoral adalah:

1) pendeteksian antigen,
2) pengaktifan sel T penolong, dan
3) produksi antibodi oleh sel B.

a. Pendeteksian Antigen

Setiap benda asing yang memasuki tubuh akan mengeluarkan antigen. Antigen merupakan molekul khas yang dimiliki oleh setiap benda yang memasuki tubuh. Antigen akan dikenali oleh antibodi, yaitu suatu zat yang dikeluarkan oleh sel limfosit untuk mengikat dan menggumpalkan antigen.

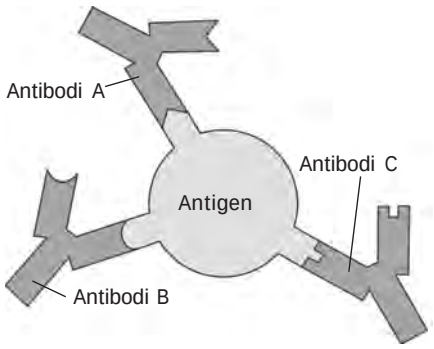
b. Pengaktifan Sel T Penolong

Sel T penolong adalah makrofaga yang diaktifkan ketika menghadapi antigen yang terpapar pada permukaan membran selnya. Ketika kontak antara makrofaga dan antigen penyerang terjadi makrofaga tersebut, kemudian akan mengikat antigen tersebut dan menyajikannya kepada sel T penolong.

Penyajian tersebut merangsang sel T penolong untuk melakukan tiga hal. Pertama yaitu memproduksi klon sel T memori, kedua merangsang sel B untuk menghasilkan sel-sel plasma dan sel-sel B memori dan yang ketiga merangsang sel T sitotoksik untuk menghasilkan sel-sel T sitotoksik dan sel-sel T memori.

c. Produksi Antibodi oleh Sel B

Ketika sel B dirangsang oleh sel T penolong, sel B kemudian membentuk sel plasma dan sel B memori. Sel plasma membuat dan melepaskan 2000 sampai 20.000 antibodi per detik ke dalam darah untuk empat atau lima hari. Sel B memori hidup selama beberapa bulan atau tahun, dan menjadi bagian dari sistem kekebalan.



Gambar 11.10 Hubungan antara antibodi dan antigen. Setiap antigen memiliki antibodi yang spesifik.

1) Antibodi dan Antigen

Molekul antibodi berbentuk Y yang terdiri atas dua polipeptida panjang dan dua polipeptida pendek. Fungsi antibodi adalah untuk pengenalan dan pengikatan antigen. Antibodi adalah protein yang diproduksi oleh limfosit sebagai jawaban atas antigen spesifik.

Antibodi mengikat antigen spesifik dengan cara *lock-and-key* yang membentuk suatu kompleks antigen-antibodi. Antibodi adalah suatu jenis molekul protein yang dikenal sebagai immunoglobulins. Ada lima kelas immunoglobulins: IgG, IgA, IgD, IgE, dan IgM. Ujung Y adalah tempat penggabungan antigen dengan antibodi. Ujung ini berbeda-beda bentuknya dan khas untuk masing-masing antigen.

Antigen adalah zat kimia yang terdapat pada permukaan suatu sel. Semua sel memiliki antigen. Sistem imunitas memeriksa setiap sel dan mengidentifikasinya

sebagai *" diri sendiri"* atau *" bukan diri sendiri"*. Sel yang memilki antigen asing akan dikenali oleh antibodi sebagai *bukan diri sendiri* sehingga akan menyerang sel tersebut, sedangkan sel tubuh mengeluarkan antigen yang sudah dikenali oleh antibodi sebagai *diri sendiri* sehingga tidak diserang.

Limfosit B dan limfosit T menghasilkan antibodi. Limfosit B menjadi sel plasma yang kemudian menghasilkan antibodi. Limfosit T menyerang sel pembawa antigen telah dikenali secara khusus. Mereka juga menjadi perantara tanggapan kekebalan.

D. Sistem Imun dan Memori terhadap Infeksi

Imunitas sekunder merupakan imunitas terhadap penyakit tertentu setelah sekali terkena penyakit tersebut. Kekebalan ini dimungkinkan oleh produksi sel memori B dan sel memori T sewaktu kontak yang pertama terhadap antigen. Suatu kontak yang singkat terhadap antigen yang sama untuk kedua kalinya menghasilkan tanggapan yang lebih cepat dan besar. Tanggapan sekunder merupakan dasar untuk vaksinasi.

1. Vaksinasi

Jelajah Biologi

Untuk lebih memahami peranan sistem imun kliklah:
www.gizi.net
www.depkes.go.id

Vaksin dibuat dari patogen yang telah dibunuh atau yang sudah diperlemah. Vaksin merangsang produksi antibodi dan pembentukan sel memori tanpa menyebabkan penyakit.

Imunitas aktif dikembangkan setelah suatu penyakit atau vaksin mengembangkan antibodi. Imunitas pasif adalah jenis imunitas ketika individu diberi antibodi untuk menyerang suatu penyakit spesifik. Kekebalan pasif berumur pendek.

2. Golongan Darah

Antigen dan antibodi membentuk golongan darah. Pada transfusi, golongan darah resipien dan donor harus disesuaikan. Jika dua golongan darah yang tidak sama digabungkan, sistem imunitas resipien akan menghasilkan antibodi yang menyebabkan penggumpalan darah yang ditransfusikan, menghalangi peredaran melalui kapiler atau bahkan berakibat fatal.

a. Golongan Darah ABO

Golongan darah ABO ditentukan oleh gen I (isoagglutinin). Ada tiga alel gen I yaitu, I^A, I^B dan I^O. Protein yang diproduksi oleh alel A dan B saling antigenik. Penggolongan darah dan mekanisme transfusi darah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11.1 Penggolongan Darah Berdasarkan Antibodi dan Antigen

Golongan	Antibodi	Antigen
A	B	A
B	A	B
AB	–	AB
O	AB	–

Orang dengan golongan darah AB dapat menerima darah semua golongan darah. Mereka yang mempunyai golongan darah O dapat mendonorkan ke semua golongan darah. Jika suatu transfusi antara reseptor dan donor bertentangan, darah penerima akan mengalami penggumpalan darah. Reaksi antigen terhadap sel dan antibodi di dalam plasma akan mengakibatkan penggumpalan pada kapiler, merusak sel, dan melepaskan hemoglobin yang dapat mengkristal di dalam ginjal dan mengakibatkan kegagalan ginjal.

Tokoh



Sumber: *Encarta 2004*

Edward Jenner (1779 – 1823) adalah orang yang pertama kali melakukan vaksinasi. Jenner melakukan vaksinasi untuk penyakit smallpox dan usahanya ini menjadi dasar bagi imunologi. Gambar di atas memperlihatkan Jenner sedang melakukan vaksinasi pada Faheon pada tahun 1796. Jenner mendapatkan ilmu vaksinasi setelah mengamati bahwa orang yang telah sembuh dari penyakit smallpox tidak akan terserang untuk kedua kalinya.

b. Golongan Darah Rh

Golongan darah Rh terdiri dari Rh positif (Rh^+) yang membuat antigen Rh dimana golongan darah Rh negatif (Rh^-) yang tidak bisa. Penyakit hemolitik pada anak baru lahir (HDN) diakibatkan oleh ketidakcocokan antar Rh^- dari ibu dengan Rh^+ dari janin.

Darah Rh^+ dari janin masuk ke sistem imunitas si ibu selama proses kelahiran, menyebabkannya menghasilkan antibodi Rh. Anak pertama pada umumnya tidak terpengaruh, namun janin dengan Rh^+ berikutnya akan menyebabkan reaksi sistem imunitas sekunder yang hebat. Untuk mencegah HDN, ibu dengan Rh^- diberikan antibodi Rh selama kehamilan pertama dengan demikian tidak akan menyerang janin.

3. Alergi dan Kekacauan Sistem Imun

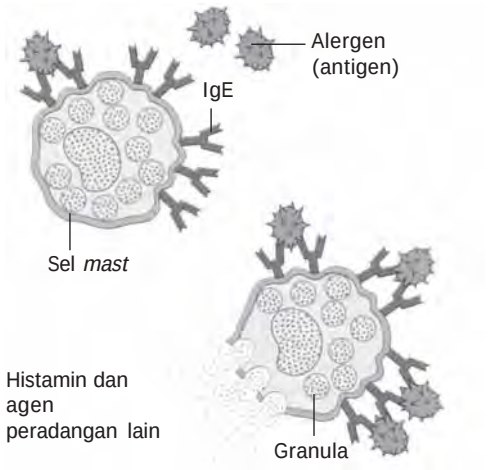
Sistem imunitas dapat bertindak melebihi batas yang menyebabkan alergi atau autoimun. Penyebab alergi adalah unsur yang menyebabkan alergi, meliputi debu, spora, serbuk sari, makanan tertentu, dan beberapa jenis obat.

Salingtemas

Virus flu burung (H5NI) menjadi virus yang menakutkan belakangan ini. Virus H5NI sebenarnya menyerang unggas, namun karena dapat bermutasi maka dapat menyerang manusia juga. Serangan virus ini sangat cepat bahkan fatal dengan gejala seperti demam. Sampai saat ini vaksin H5NI untuk manusia belum ditemukan.
Pertanyaan:
Seperti yang kita ketahui unggas dapat dengan mudah menyebar dan berpindah karena dapat terbang, sehingga virus ini mudah tersebar ke mana-mana. Menurut Anda tindakan pencegahan seperti apa yang sebaiknya dilakukan untuk menghindari serangan virus H5NI?

Setelah kontak dengan penyebab alergi, sistem imun membuat antibodi dari sel B dan sel T memori. Kontak berikutnya terhadap penyebab alergi yang sama menyebabkan tanggapan imunitas sekunder yang besar dengan melepaskan banyak antibodi. Sel-sel kemudian melepaskan histamin, yang memulai tanggapan peradangan.

Sistem imunitas mengingat perbedaan antara sel tubuh dan penyerang asing. Penyakit autoimun terjadi ketika sistem kekebalan menyerang dan menghancurkan sel dan diri sendiri. Penyakit artitis, sclerosis kompleks, lupus erythematosus, dan rheumatoid artistic adalah sebagian penyakit dari autoimun.

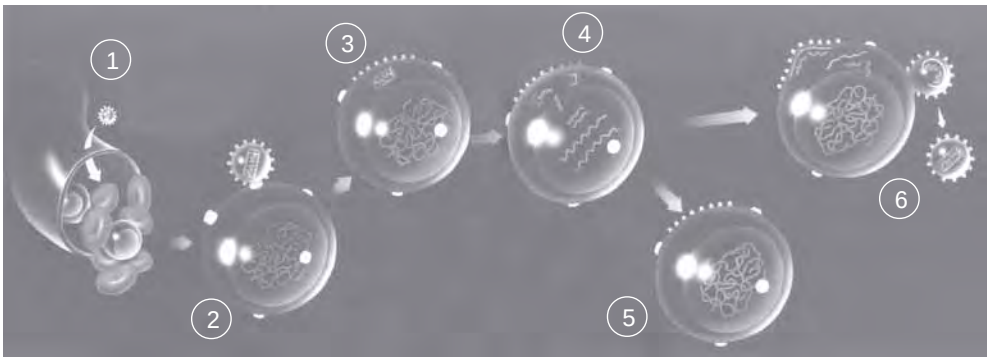


Gambar 11.11 Respon alergi pada kontak pertama antara limfosit dengan penyebab alergen, dibentuk antibodi yang spesifik terhadap antigen dengan kontak kedua kali antibodi langsung memacu limfosit mengeluarkan histamin sehingga mengakibatkan peradangan.

4. Imunodefesiensi

Imunodefesiensi diakibatkan oleh kegagalan atau kekurangan satu atau lebih bagian sistem imunitas. Individu yang menderita imunodefisiensi peka terhadap penyakit yang secara normal tidak akan mengganggu kebanyakan orang-orang. Kelainan genetis, Penyakit Hodgkin's, kemoterapi kanker, dan terapi radiasi dapat menyebabkan penyakit imunodefisiensi.

Sindrom imunodefisiensi dari virus HIV (AIDS) adalah suatu kasus penurunan imunitas akibat pembinasaan T sel oleh virus HIV. HIV secara selektif menginfeksi dan membunuh sel T penolong. RNA sel T diubah menjadi DNA virus HIV oleh enzim kebalikan transcriptase. DNA ini kemudian disatukan ke dalam kromosom manusia selama berbulan-bulan atau tahunan perhatikan Gambar 11.12!



Keterangan:
1. Ketika memasuki tubuh, HIV menyerang sel T (limfosit)
2. HIV memasuki sel T
3. HIV mematahkan sel T
4. Enzim virus mereplikasi RNA menjadi DNA dan bergabung dengan DNA sel T
5. HIV berdiam di dalam sel T selama beberapa saat
6. Ketika sel T diaktifkan, RNA virus berubah menjadi virus aktif lalu membunuh dan keluar dari sel T

Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, 2003*

Gambar 11.12 Infeksi HIV.

Ketika sel T yang terkena infeksi diperlukan untuk menanggapi kekebalan, gen virus diaktifkan dan virus bereplikasi, membunuh sel yang terinfeksi dan mengulang suatu siklus baru pada sel T berikutnya. Secara berangsur-angsur jumlah sel T yang merupakan pemimpin sistem imunitas merosot. Tanggapan sistem imun menjadi berkurang, bahkan kadang tidak berhasil.

Rangkuman

Untuk melindungi tubuh dari serangam penyakit, tubuh telah dilengkapi dengan sistem pertahanan. Garis pertahanan pertama adalah fisik manusia meliputi kulit dan mukosa yang dihasilkan oleh kulit.

Jika mikroba telah menembus garis pertahanan pertama maka dia akan berhadapan dengan garis pertahanan berikutnya. Garis pertahanan kedua meliputi sel-sel fagositosit, respon peradangan, dan protein komplemen.

Sel-sel fagositosis merupakan sel-sel darah putih yang telah terspesialisasi membentuk basofil, neutrofil dan sel eosinofil. Sel fagositosis akan memakan setiap mikroba dan membersihkan jaringan dari sisa-sisa serangan.

Respon terjadi dengan adanya histamin yang dilepaskan oleh sel basofil. Histamin menyebabkan pembuluh darah di sekitar jaringan yang terinfeksi membengkak, sedangkan vena mengecil. Senyawa lain yang dilepaskan oleh sel yang terinfeksi adalah interferon. Senyawa interferon dikenali oleh sel-sel yang berada di sekitar sel yang terinfeksi agar siaga dan mempertahankan diri dari serangan mikroba.

Protein komplemen menyerang langsung sel mikroba dengan membuka membran plasma penyerang. Akibatnya, sel mikroba akan terbuka sehingga air dan garam memasuki sel. Sel mikroba akhirnya menggembung, pecah, dan mati.

Pada imunitas humoral langkah-langkahnya adalah pendeteksian antigen, pengaktifan sel T penolong, dan produksi antibodi oleh sel B. Imunitas yang diperantarai oleh sel dimungkinkan dengan adanya sel T penolong, antigen, dan antibodi.

Sistem imunitas mengenali sel-sel asing sebagai *bukan diri sendiri* karena adanya antigen dan antibodi. Setiap antigen yang pertama kali memasuki tubuh akan direspon oleh sistem imun dengan membentuk antibodi yang spesifik terhadap antigen tersebut.

Sistem imun juga tidak terlepas dari gangguan. Sistem imun dapat mengalami hipersensitifitas atau imunodefisiensi. Hipersensifitas menyebabkan alergi karena respon yang berlebihan terhadap antigen tertentu. Akibatnya, bukan saja antigen tersebut yang diserang tetapi sel-sel tubuh sendiri akan dikenali sebagai sel-sel asing dan diserang.

Autodefisiensi dijumpai pada penyakit AIDS yang disebabkan oleh virus HIV. Virus HIV menyerang sel-sel T, bereplikasi dan berdiam di sana sampai beberapa tahun. Ketika suatu penyakit datang, sel T yang telah terinfeksi tersebut tidak sanggup melawan bahkan dirusak oleh virus HIV. Akibatnya, tubuh tidak mempunyai sistem imunitas lagi.

Uji Kompetensi

I. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di depan jawaban yang benar!

1. Kulit melakukan pertahanan terhadap mikroba dengan cara . . . .
   A. mengeluarkan antibodi
   B. menghalangi masuknya mikroba ke dalam tubuh
   C. menelan dan mencerna mikroba
   D. mengenali antigen mikroba
   E. mengeluarkan protein komplemen
2. Peradangan pada jaringan yang diserang mikroba disebabkan oleh . . . .
   A. histamin
   B. interferon
   C. antibodi
   D. antigen
   E. protein komplemen
3. Di bawah ini merupakan pasangan antara molekul dan sumbernya, *kecuali* . . . .
   A. lisotin – air mata
   B. interferon – sel yang terinfeksi virus
   C. histamine – sel T
   D. antibodi – makrofaga
   E. antigen – sel asing
4. Di bawah ini yang merupakan ciri khas peradangan awal adalah . . . .
   A. demam
   B. serangan oleh sel T sitotoksis
   C. pelebaran arteriola prakapiler
   D. pelepasan histamin
   E. lisis mikroba yang diperantarai oleh antibodi

5. Seorang dengan golongan darah O . . . .
   A. dianggap sebagai donor darah universal
   B. dianggap sebagai resipien darah universal
   C. menghasilkan antibodi A
   D. menghasilkan antibodi B
   E. tidak menghasilkan antibodi
6. Vaksinasi adalah . . . .
   A. memberikan sel T sitotosik
   B. memberikan sel T penolong
   C. memberikan patogen yang sudah dilemahkan
   D. memberikan antigen dan antibodi
   E. memberikan antibiotik
7. Antibodi dan antigen berikatan dengan cara . . . .
   A. antibodi mengenali semua jenis antigen
   B. antibodi menghancurkan antibodi
   C. antibodi spesifik untuk satu jenis antigen dengan ujung komplemen
   D. antibodi dan antigen memiliki struktur yang serupa
   E. antibodi mengikat antigen di dalam limfosit
8. Imunitas humoral dikendalikan oleh . . . .
   A. antibodi C. makrofaga E. sel B
   B. antigen D. sel T penolong
9. Sel T sitotoksik melakukan . . . .
   A. sekresi antibodi
   B. menyajikan antigen
   C. merangsang sel B untuk mensinergikan antibodi
   D. melisis sel asing
   E. melisis sel T penolong
10. Sel T penolong berfungsi untuk . . . .
   A. menyajikan antigen kepada makrofaga
   B. membantu makrofaga membran mengenali virus
   C. merangsang sel T sitotoksik
   D. merangsang sel plasma
   E. membentuk antibodi

II. Jawablah pertanyaan berikut dengan singkat!

1. Bagaimana mekanisme peradangan yang terjadi jika tangan Anda tertusuk duri? Jelaskan!
2. Bagaimana mekanisme pertahanan yang dilakukan oleh sistem imun untuk melawan virus influenza? Jelaskan!
3. Apa fungsi sel T penolong di dalam memfasilitasi kekebalan humoral? Jelaskan!
4. Mengapa seseorang yang pernah menderita cacar air tidak akan terserang untuk kedua kalinya? Jelaskan!
5. Mengapa HIV lebih berbahaya daripada virus pada umumnya? Jelaskan!

* * *

Uji Kemampuan Blok Bab 8 sampai Bab 11

1. Berilah tanda silang (X) pada huruf A, B, C, D, atau E di jawaban yang paling tepat!

1. Hewan yang hidup di daerah kekurangan air seperti di gurun, menghemat air dalam tubuhnya dengan cara membuang limbahnya dalam bentuk . . . .
   A. amoniak C. urea E. hidroksida
   B. asam urat D. urin
2. Peradangan ginjal pada bagian glomerolus disebut . . . .
   A. uremia C. anuria E. batu ginjal
   B. nefritis D. diabetes
3. Warna feses yang berwarna kuning disebabkan karena . . . .
   A. warna cairan lambung
   B. warna empedu
   C. bakteri yang memberi warna kuning
   D. proses pembusukan
   E. warna sisa-sisa makanan
4. Zat yang mudah masuk ke urin dan diserap kembali ke darah adalah . . . .
   A. fibrinogen C. protein E. air dan mineral
   B. albumin D. glukosa
5. Ciri-ciri mata yang mengalami gangguan hipermetropi adalah sebagai berikut, *kecuali* . . . .
   A. lensa matanya terlalu pipih
   B. jika melihat benda yang dekat terlihat kabur
   C. dapat dikoreksi dengan kaca mata minus
   D. benda yang dekat, bayangannya jatuh pada retina
6. Ujung saraf yang menerima rangsang dingin pada kulit adalah . . . .
   A. badan meissner C. badan krause E. badan golgi
   B. badan rufini D. badan vater Pacini
7. Yang membedakan warna mata setiap orang adalah bagian . . . .
   A. konjunctiva C. sklera E. bintik kuning
   B. iris D. koroid
8. Hormon estrogen dihasilkan oleh kelenjar . . . .
   A. ovarium C. anak ginjal E. paratiroid
   B. pankreas D. testis
9. Umbi lapis atau bulbus sering kita temukan pada tanaman . . . .
   A. stroberi C. jahe E. kentang
   B. bunga bakung D. tebu

10. Yang merupakan pasangan antara molekul dan sumbernya adalah sebagai berikut, *kecuali* . . . .
    A. interferon – sel yang terinfeksi virus
    B. lisozim – air mata
    C. histamin – sel T
    D. antibodi – makrofaga
    E. antigen – sel asing
11. Berikut ini yang merupakan ciri khas peradangan awal adalah . . . .
    A. demam
    B. serangan oleh sel T sitotoksik
    C. pelepasan histamin
    D. pelebaran arteriola prakapiler
    E. lisis mikroba yang diperantarai oleh antibodi
12. Untuk melakukan pertahanan terhadap mikroba kulit melakukan cara-cara sebagai berikut . . . .
    A. mengeluarkan protein komplemen
    B. mengenali protein komplemen
    C. menelan dan mencerna mikroba
    D. menghalangi masuknya mikroba ke dalam tubuh
    E. mengeluarkan antibodi
13. Sel saraf yang sifatnya membawa rangsang dari alat-alat indra ke pusat saraf disebut . . . .
    A. sensoris
    B. sensibel
    C. motoris
    D. ganglion
    E. neuron
14. Gerak refleks ialah suatu gerak yang pada umumnya . . . .
    A. tidak melibatkan saraf sensorik
    B. di luar kesadaran dan menurut kehendak kita
    C. di luar kesadaran dan bukan kehendak kita
    D. menurut kehendak dan kita sadari
    E. semua jawaban salah
15. Serabut cabang saraf yang membawa rangsang dari luar ke dalam badan disebut . . . .
    A. dendrit
    B. neurit
    C. selaput Schwan
    D. akson
    E. sinapsis

II. Jawablah pertanyaan berikut dengan singkat!

1. Sebutkan lima kelainan pada sistem pernapasan dan penyebabnya!
2. Apa penyebab penyakit diabetes melitus?
3. Apakah yang terjadi jika seseorang kelebihan hormon pertumbuhan pada masa pertumbuhan?
4. Bagaimana mekanisme pendengaran pada manusia?
5. Sebutkan beberapa metode kontrasepsi!

Daftar Pustaka

Becket, B.S. 1983. *Beginning Science Biologi*. Oxford University Press, Walton street, Oxford OX 26 DP.

Campbell, Reece, and Mithcell. 2003. *Biology.* Fifth edition. USA: Addison Wesley.

De Robertis, E.D.P. & E.M.F. De Robertis, Jr. 1987. *Cell and Molecular Biology*. Eight edition. Philadelphia: Lea & Febiger.

Gunarwan, dkk. (Tim Penerjemah). 2003. *Ilmu Pengetahuan Populer 5, 6, 7, 8.* Jakarta: Widyadara Groiler International Inc.

Jones, C., Anthony J. 1999. *Industry Biology*. New York: John Willey & Sons, Inc.

Karsono. 2000. *Struktur Anatomi Tubuh Manusia*. Bandung: Sarana Panca Karya Nusa.

Kimball, J.W. 1990. *Biology.* Jilid 2. Edisi Kelima. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Kondo, H (editor). 1972. *Groiler's Amazing World of Animals 2, 4, 5, 9.* Milan: Groiler Enterprises Inc.

Kwan, L.P, *et.al*. 2001. *Biology Modern A Course for O' level*. Singapura: Federal Publication.

Levy, K. 1973. *Element of Biology.* London: John Murray (Publisher) Ltd.

Maiklem. *et al*. 1998. *Ultimated Visual Dictionary of Science*. New York: Dorling Kindersley Publishing Inc.

Roberts, M.B.V. 1986. *Biology for Life.* Second Edition. UK: Thomas Nelson and Son Ltd.

Sadler, T.W. 1991. *Embriologi Kedokteran.* (Dialihbahasakan oleh Iwan Susanto). Jakarta: EGC.

Sherwood, L. 2001. *Fisiologi Manusia: dari sel ke sistem.* Jakarta: EGC.

Sloane, E. 2003. *Anatomi dan Fisiologi untuk Pemuda.* EGC: Jakarta.

Smith, John E. 1990. *Prinsip Bioteknologi*. Jakarta: Gramedia.

Strore, T.I, Usinger, R.L. Usinger, R.L. 1955. *General Zoology*. New York: Mc Greve Hill.

Sutoyo, P.S. dan Anas (penerjemah). 1985. *Ensiklopedi Dunia Kita 3, Tumbuh-tumbuhan.* Jakarta: Djambatan.

Syukur, A. dkk. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*. Jakarta: Ichtiar Baru Van Hoeve.

Smith. 2006. *The Human Body*. London: Dorling Kindersley Limited.

Tanner, J.M. dan Taylor, R.G. 1981. *Pertumbuhan*. Jakarta: Tira Pustaka.

Tortora, G. J. & N P. A. 1990. *Principles of Anatomy and Physiology.* Sixth edition. Biological Science Texbooks, Inc. A&P Textbooks, Inc., and Elia Sparta.

Tribowo, Y. 2006. *Bioteknologi Pertanian*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.

Towle, A. 1993. *Modern Biology*. Florida: Holt, Rinehart and Winston, Inc.

Parker, S. 2000. *Jendela IPTEK*. Jakarta: Balai Pustaka.

Wildan Y. 1999. *Kamus Biologi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

Weier, T. E. *et al*. *Botany: an Introduction to Plant Biology.* Fifth edition. Canada: John Whiley & Sons, Inc.

Wiwi, I. 2006. *Fisiologi Hewan*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

Glosarium

- Aerob : membutuhkan O_2 untuk respirasi.
- Aglutinin : protein dalam plasma darah yang dapat menggumpalkan aglutinogen.
- Akson : juluran sitoplasma yang berfungsi membawa rangsangan menjauh dari badan sel saraf.
- Akromegali : penebalan dan pemanjangan jari-jari tangan, serta pembentukan abnormal dari tulang wajah.
- Alveolus : gelembung paru-paru.
- Amilase : enzim yang dapat memecah amilum.
- Anaerob : tidak membutuhkan O_2 untuk respirasi.
- Antibodi : zat pelawan antigen diproduksi dan limfosit.
- Aorta : pembuluh nadi besar yang cabang-cabangnya mengalirkan darah ke seluruh tubuh.
- Apendiks : usus buntu.
- Artikulasi : hubungan antartulang atau antarsegmen.
- Arteri : pembuluh nadi.
- Aseptik : bebas kuman/bebas dari infeksi.
- Autonom : sel yang mampu berdiri sendiri.
- Bronkiolus : cabang bronkus.
- Bronkus : cabang tenggorok.
- Buluh malpighi : alat ekskresi pada insekta.
- Cerebrum : otak besar.
- Cerebellum : otak kecil.
- Citra : rupa; gambar; gambaran.
- Dendrit : juluran sitoplasma pada sel saraf yang dapat menerima rangsangan dari sel saraf lain.
- Dentin : tulang gigi.
- Diastema : ruang kosong di antara gigi geraham dan gigi seri pada hewan ruminansia.
- Diastol : pelanggaran karena pengendoran.
- Difusi : penyebaran zat/molekul dari tempat berkonsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah secara spontan.
- Duodenum : usus duabelas jari.
- Eksoskeleton : rangka luar.

- Ekspirasi : mengembuskan napas, mengeluarkan CO_2 dari dalam tubuh.
- Email : lapisan gigi terluar, keras, berfungsi melindungi gigi.
- Empedal : lambung pengunyah pada bangsa unggas.
- Endoskeleton : rangka dalam.
- Enzim : senyawa kimia organik yang dapat mempercepat reaksi tanpa ikut bereaksi.
- Epitelium transional : epitel yang merupakan peralihan bentuk antara epitelium berlapis pipih tanpa lapisan tanduk dan epitelium berlapis silindris.
- Ekskresi : alat pengeluaran zat-zat yang tidak diperlukan lagi bagi tubuh.
- Fertilisasi eksternal : fertilisasi yang terjadi di luar tubuh.
- Fertilisasi internal : fertilisasi yang terjadi di dalam tubuh.
- Filtrasi : penyaringan.
- Flame Cell : sel api, bagian dari protonefridium berupa sel-sel yang memiliki berkas-berkas silia yang menonjol, gerakannya seperti nyala api.
- Floem : pembuluh tapis, membawa sari makanan ke seluruh tubuh tumbuhan.
- Fundus : bagian lambung yang bentuknya membulat terletak di bagian tengah.
- Fragmentasi : bagian dari sel-sel tubuh yang terputus dan dapat tumbuh menjadi individu baru.
- Gerak peristaltik : gerak meremas-remas pada saluran pencernaan makanan.
- Glomerulus : jaringan kapiler darah.
- Grana : tumpukan kantong-kantong (tilakoid) yang masing-masing berisi pigmen klorofil, karotenoid, juga terdapat protein dan lemak.
- Hemoglobin : zat warna merah pada darah.
- Hepatopankreas : hati dan pankreas.
- Hidrofilik : mampu mengikat molekul air.
- Hidrofobik : menolak molekul air.
- Hipertonis : larutan yang berkonsentrasi tinggi dibandingkan dengan lingkungannya.
- Hipotonis : larutan yang berkonsentrasi rendah dibandingkan dengan lingkungannya.

- Histologi : ilmu tentang jaringan tubuh.
- Hipermetropi : tidak dapat melihat objek yang dekat.
- Ileum : usus penyerapan.
- Inspirasi : menghirup udara, memasukkan O_2 ke dalam tubuh.
- Iritabilitas : sifat khas dari makhluk hidup yang mampu bertindak menghadapi perubahan lingkungan, kepekaan terhadap rangsang.
- Jaringan epitelium : sel-sel penutup yang membatasi permukaan bagian tubuh hewan.
- Jaringan ikat longgar : jaringan ikat yang berciri susunan serat-seratnya longgar, paling banyak substansi dasarnya, dan memiliki tipe sel yang beragam.
- Jejunum : usus kosong.
- Jembatan : menghubungkan antara otak besar dan otak kecil.
- Kardiak : lambung bagian awal, letaknya paling dekat dengan esofagus.
- Kapasitas vital paru-paru : kemampuan paru-paru mengeluarkan udara sekuat-kuatnya dan mengambil udara sebanyak-banyaknya.
- Kanalikuli : suatu saluran yang menghubungkan antara osteosit yang satu dan yang lain pada tulang.
- Katalase : suatu enzim yang dapat menguraikan H_2O_2.
- Kapsula Bowman : ujung tubulus ginjal yang membesar.
- Krista : membran dalam pada mitokondria yang memiliki lipatan-lipatan ke arah dalam untuk memperluas permukaan pada proses respirasi.
- Kromoplas : plastida yang berisi pigmen merah.
- Kontraksi otot : bergeraknya otot karena adanya suatu rangsangan.
- Konjugasi : perkembangbiakan antara spesies yang belum jelas perbedaan jenis kelaminnya.
- Kutikula : lapisan lilin.
- Lakuna : ruang di dalam kondrosit.
- Lentisel : celah pada lapisan gabus pada tumbuhan.
- Lipoprotein : penyusun membran sel berupa senyawa lipida yang mengandung protein.
- Medula spinalis : sumsum tulang belakang.
- Metabolisme : proses dalam tubuh makhluk hidup yang mengubah molekul yang kaya energi menjadi molekul yang miskin energi dan tidak ber-guna lagi bagi tubuh.

- Metanefridia : duktus ekskretorius, saluran halus yang berkelok-kelok pada alat ekskresi cacing tanah.
- Miopi : tidak dapat melihat objek yang jauh.
- Nefridia : alat ekskresi pada cacing tanah.
- Neuron motorik : membawa impuls dari sistem saraf pusat ke efektor.
- Neuron sensorik : membawa impuls dari reseptor (penerima rangsang) ke sistem saraf pusat (otak dan atau sumsum tulang belakang).
- Neuron multipolar : terdapat di dalam otak dan sumsum tulang belakang.
- Nukleoplasma : matriks dalam nukleus.
- Ofisikasi : pembentukan tulang (penulangan).
- Organel : organ kecil yang terdapat dalam sel.
- Osmosis : peristiwa berpindahnya zat dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah melalui membran.
- Operkulum : tutup insang.
- Otot antagonis : kontraksi otot yang berlawanan dengan otot lainnya.
- Otot sinergis : gerak otot yang bila berkontraksi menimbulkan gerak searah.
- Ovarium : indung telur.
- Oviduk : saluran telur pada alat perkembangbiakan wanita.
- Ovipar : hewan yang bertelur.
- Ovovivipar : hewan yang bertelur dan telurnya menetas di dalam tubuh induknya.
- Ovulasi : pembebasan sel telur dari kantung telur.
- Plasenta : tali ari-ari.
- Pleura : selaput yang menyelubung paru-paru.
- Proliferasi : pertumbuhan dan pertambahan sel yang sangat cepat.
- Relaksasi : kebalikan dari kontraksi, sedang tidak berkontraksi.
- Saluran havers : satuan-satuan sel tulang yang mengelilingi pembuluh-pembuluh darah dan sel saraf membentuk suatu sistem.
- Silinder pusat : stele. Pusat suatu batang letaknya di sebelah dalam korteks
- Sistol : keadaan jantung pada waktu menguncup.
- Serat retikuler : serat kolagen yang sangat halus tersusun membentuk penyokong berupa jala-jala atau retikulum.

- Serat kologen : serat padat, misalnya tendon dan ligamen yang mempunyai ciri daya regang sangat tinggi, tetapi elasitasnya rendah.
- Seludang mielin : membran berlemak yang dibentuk oleh sel schwaan.
- Sitoplasma : protoplasma yang tersebar di luar nukleus.
- Sistem koordinasi : sistem yang berfungsi mengatur sistem organ tubuh yang lain agar dapat menjalankan fungsinya untuk bekerja sama secara efisien.
- Spermatid : bentuk akhir proses spermatogenesis sebelum berkembang menjadi sperma; n kromosom.
- Spirakel : stigma, lubang halus di sepanjang sisi tubuh serangga untuk berdifusinya udara dalam sistem pernapasan serangga.
- Tensimeter : alat untuk mengukur tekanan darah.
- Udara suplementer : volume udara yang masih dapat dikeluarkan.
- Udara residu : udara sisa di dalam paru-paru ketika ekspirasi sekuat-kuatnya.
- Udara tidal : volume udara yang dapat keluar masuk.
- Urin : air seni.
- Vasodilatasi : pelebaran pembuluh darah.
- Vena : pembuluh balik.
- Vesika urinaria : kandung kemih, tempat penampungan sementara urin.
- Xilem : pembuluh angkut yang membawa hara mineral dari tanah ke daun.

Kunci Jawaban

Bab 1

1. B
2. D
3. C
4. B
5. B
6. D
7. A
8. B
9. C
10. B

Bab 2

1. C
2. B
3. A
4. D
5. C
6. C
7. A
8. B
9. E
10. B

Bab 3

1. C
2. B
3. B
4. D
5. E
6. A
7. D
8. C
9. B
10. A

Bab 4

1. B
2. C
3. A
4. B
5. A
6. C
7. E
8. A
9. C
10. D

Bab 5

1. B
2. B
3. C
4. A
5. A
6. D
7. D
8. E
9. D
10. A

Bab 6

1. E
2. D
3. A
4. A
5. C
6. D
7. C
8. C
9. B
10. B

Bab 7

1. B
2. E
3. C
4. C
5. C
6. E
7. A
8. C
9. E
10. E

Bab 8

1. C
2. D
3. A
4. C
5. C
6. B
7. B
8. E
9. A
10. D

Bab 9

1. A
2. A
3. C
4. A
5. C
6. A
7. A
8. C
9. D
10. C

Bab 10

1. E
2. A
3. C
4. D
5. C
6. A
7. E
8. A
9. C
10. C

Bab 11

1. B
2. A
3. A
4. D
5. A
6. C
7. C
8. D
9. D
10. A

Kunci Jawaban

Uji Kemampuan Blok Bab 1 sampai 3

I.
1. B
2. A
3. B
4. E
5. D
6. E
7. B
8. B
9. A
10. A
11. C
12. B
13. E
14. C
15. D

Uji Kemampuan Blok Bab 4 sampai 7

I.
1. C
2. D
3. D
4. B
5. C
6. D
7. C
8. D
9. C
10. D
11. A
12. B
13. D
14. E
15. D

Uji Kemampuan Blok Bab 8 sampai 11

I.
1. B
2. C
3. B
4. D
5. B
6. C
7. B
8. A
9. B
10. D
11. D
12. B
13. A
14. C
15. A

Indeks

A

Akar 27, 28
Akson 68, 71, 187
Artikulasi 83,
Abduktor 95
ATP 103
ADP 103
AIDS 234
Alergi 157, 248
Antibodi 119, 245, 246
Antigen 118, 245, 246
Aorta 106, 111
Arteri 106, 114
Agranulosit 108
Anemia 117
Alveolus 150, 162, 168
Asma 109, 157
Absorpsi 53, 117, 139, 168

B

Badan mikro 12
Badan golgi 14, 15
Batang 29, 30
Bunga 36, 37
Benang sari 37, 38
Badan sel 69
Basofil 109, 125
Bronkus 150
Bronkitis 158
Billirubin 108

C

Cella 3
Corolla 36, 37
Cairan sinovial 83
Cranium 89

D

Dinding sel 16
Difusi 19, 115
Daun 34
Dendrit 68, 187
Diafragma 152, 186
Dermis 174, 210
Diabetes melitus 140, 176

E

Endositosis 240
Eksositosis 240
Epidermis 16, 25, 173, 210
Endodermis 26, 27, 28
Elastisitas 92
Eritrosit 106, 107, 108
Embolisme 110
Eosonofil 109
Embolus 110, 116
Enzim 17, 209, 211
Ekskresi 107, 168, 173
Empedu 138, 139
Estrogen 208, 218, 221
Epididimis 215, 216
Endometrium 208

F

Floem 42, 43, 46
Fibroblas 58, 60
Filamen aktin 91
Filamen miosin 91
Fraktura 98
Filtrasi 168, 169, 171
Feses 128, 137, 141
Fotoreseptor 199
Fertilisasi 213, 219, 220, 222
Folikel graaf 226, 233
Fagositosis 20, 21, 242, 243

G

Gerak peristaltik 135, 219
Ginjal 168, 169, 179
Glukagon 139, 140, 205

H

Hidrofilik 7
Histogen 30
Histologi 71, 73
Hemofilia 110
Hipertensi 114, 117
Hemoglobin 107
Hepar 138
Hormon 202, 206
Histamin 243
HIV 234

I

Involunter 93
Insang 149, 159
Indra 151, 187, 194
Insulin 139, 140, 176
Interferon 244
Imunitas humoral 240, 245
Imunodefesiensi 240, 249

J

Jati 47
Jalak bali 50
Jaringan 51
– ikat 51, 57, 60
– epitel 51, 58
– otot 51, 66
– saraf 51, 68
Jantung 111

K

Kloroplas 11, 17, 40, 46
Kaliptra 27
Korteks 25, 28, 169, 206
Kultur jaringan 43, 45
Klon 44, 47
Kelenjar eksokrin 140
Kelenjar endokrin 140
Kolagen 58, 64
Kondrin 64, 79, 102
Kartilago 63, 79, 102
Kifosis 99
Karl Landsteiner 118
Kapsul Bowman 170, 171
Koordinasi 186
Koklea 199, 211
Kelenjar
– hipofisis 202
– tiroid 202, 205
– paratiroid 202, 206
– anak ginjal 202
– pankreas 202, 207
– timus 202, 207
Kemoreseptor 197
Kontrasepsi 208, 213, 232

L

Lisosim 244
Lordosis 99
Limfosit 108, 109
Lambung 140, 142
Laringitis 157
Labirin 160
Lengkung henele 170, 172
Lisosom 1, 2, 5, 10, 15
Limfosit 246, 247
Leukosit 107, 108

M

Mikroskop 4
– cahaya 4
– elektron 4, 5
Membran 6, 151
Mitokondria 5, 10, 15
Mikrotubul 12, 13, 8
Mikrofilamen 5, 12, 13
Mesofil 34, 35
Matriks 11, 58, 102
Mesenkim 57, 102
Makrofag 60, 61
Miofibril 92
Monosit 79, 109
Mesobronkus 162
Medula oblongata 188, 189
Membran mukosa 240, 241

N

Nukleus 6, 8, 187
Nekrosa 100
Neutrofil 108, 109
Nefron 170
Neuron 68, 71
– motorik 71, 187
– sensorik 71, 187
Nodus ranvier 69, 71
Nefritis 177

O

Osmosis 20
Osteosit 65
Osteoblas 65
Otot 49, 66
– polos 68, 78
– lurik 78
– jantung 68, 78
Osteoporosis 81, 99
Osteon 65, 79
Osteomalasi 98
Ovum 207, 213, 223
Oviduk 218, 219, 227
Ovarium 203, 207, 208, 218
Ovulasi 204

P

Pankreas 140, 176
Plastida 17
Palisade 34, 35
Putik 37
Proliferasi 44, 225
Perikardium 111,
Pneumonia 157
Papila 130
Progesteron 208, 218, 221
Peradangan 243

R

Robert Hooke 3, 5
Ribosom 1, 5, 9
Retikulum endoplasma 5
Rangka
– aksial 89
– apendikular 90
– vertebrae 89
Rakhitis 98
Rhesus 119
Reabsorpsi 169
Reseptor 193, 199
Retina 199, 211
Refleks 191

S

Sel 2, 3, 4, 5
Sitoplasma 7
Sitoskeleton 1, 12
Sentrosom 18
Stele 26, 30, 31
Stomata 34
Spons 34, 102
Schleiden 45
Schwann 45
Sel goblet 55
Serat retikuler 59
Sarkolema
Sinaps 71
Skeleton 87
Sistol 113, 114
Stroke 116, 117
Saraf 188
Serebrum 188
Serebelum 188
Saluran eustachius 198, 199
Sel batang 199, 211
Sel kerucut 199, 211
Selubung nuselin
Sperma 208, 213

T

Transpor aktif 20
Tunika korpus 30
Tulang 64, 65
– rawan 64, 79
– keras 79
Trombosit 106, 109, 125
Trakea 146
TBC 159
Testosteron 208, 216, 221
Testis 207, 208, 215, 216
Tuba fallopi 218, 219

U

Usus 136
– halus 136, 138, 142
– besar 137, 142
Udara
– tidal 153
– komplemen 153
– suplementer 153
– residu 153
Ureter 168
Uterus 53, 219, 226, 227

V

Vakuola 17
Velamen 28
Volunter 67, 92, 138
Vitamin 98
Vas deferens 216, 217

W

Wasir 118

X

Xilem 27, 32, 34, 42

Z

Zigot 219, 227

BIOLOGI

untuk SMA dan MA Kelas XI







ISBN 978-979-095-680-3 (no.jil.lengkap)
ISBN 978-979-095-683-4

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui **Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 32 Tahun 2010, tanggal 12 November 2010.**

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp 16.161,00