Praktis Belajar Biologi untuk Kelas XI SMA/MA Program Ilmu Pengetahuan Alam Fictor Ferdinand P. dan Moekti Ariebowo

BUKU SEKOLAH ELEKTRONIK bse

Praktis Belajar

Biologi

untuk Kelas XI
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah
Program Ilmu Pengetahuan Alam

Fictor Ferdinand P.
Moekti Ariebowo

2

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Praktis Belajar

Biologi

untuk Kelas XI
Sekolah Menengah Atas/Madrasah Aliyah

Fictor Ferdinand P.
Moekti Ariebowo

2

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

Praktis Belajar Biologi 2

untuk SMA/MA Kelas XI

Penulis : Fictor Ferdinand P.
Moekti Ariebowo
Editor : Dadan Ahmad Sobardan
Desain kulit : Dasiman
Desain Isi : Ade Sutisna
Ilustrator : Yudiana

Ukuran Buku : 21,0 x 29,7 cm

574.07
FIC FICTOR Ferdinand P
p Praktis Belajar Biologi 2 : untuk Kelas XI Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Fictor Ferdinand P, Moekti Ariebowo ; penyunting Dadan Ahmad Sobardan ; illustrator, Yudiana. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009
viii, 250 hlm, : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 249-250
Indeks : hlm. 245
ISBN 978-979-068-823-0 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-825-4

1. Biologi-Studi dan Pengajaran I. Judul
II. Moekti Ariebowo III. Dadan Ahmad Sobardan

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional dari penerbit Visindo Media Persada

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009.

Diperbanyak oleh . . .

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, 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 27 Tahun 2007 Tanggal 25 Juli 2007.

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

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen 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 bahwa 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 sumber belajar ini.

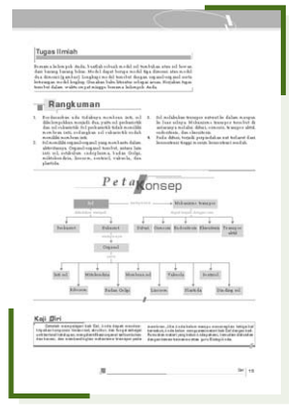
Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

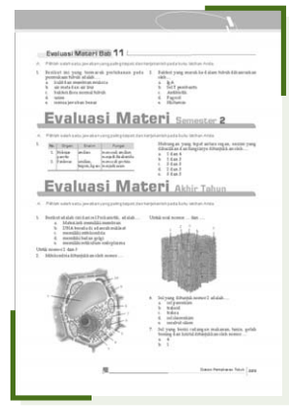
Jakarta, Juni 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Petunjuk Penggunaan Buku

Buku **Praktis Belajar Biologi** untuk Kelas XI ini terdiri atas sebelas bab, yaitu Sel, Struktur Tumbuhan, Struktur Hewan, Sistem Gerak, Sistem Peredaran Darah, Sistem Pencernaan, Sistem Pernapasan, Sistem Ekskresi, Sistem Regulasi, Sistem Reproduksi, dan Sistem Pertahanan Tubuh. Berikut penyajian materi dan pengayaan yang terdapat dalam buku ini.

1. *Advance organizer* menyajikan contoh penerapan/manfaat dari materi yang akan dipelajari, bersifat dialogis dan terkini.
2. **Soal Pramateri** merupakan uji awal pengetahuan umum Anda yang mengacu kepada materi bab tersebut.
3. **Gambar dan ilustrasi** ditampilkan dengan memadukan gambar dan ilustrasi yang bersesuaian dengan materi.
4. **Tugas Ilmiah** merupakan tugas yang diberikan kepada Anda berkaitan dengan materi yang akan dipelajari. Tugas ini mengajak Anda untuk berpikir kritis, kreatif, dan inovatif.
5. **Kegiatan** merupakan sarana untuk memperkuat dan memperdalam konsep yang Anda kuasai.
6. **Kegiatan Semester** merupakan tugas semester yang dikerjakan secara berkelompok.
7. **Soal Penguasaan Materi** berisi tentang pertanyaan yang terdapat di setiap akhir subbab.
8. **Peta Konsep** berguna sebagai acuan untuk Anda dalam mempermudah mempelajari materi dalam bab.
9. **Evaluasi Materi Bab** merupakan sarana evaluasi dalam memahami materi pelajaran dalam satu bab.
10. **Evaluasi Materi Semester** merupakan sarana evaluasi dalam memahami materi pelajaran dalam satu semester.
11. **Evaluasi Materi Akhir Tahun** merupakan sarana evaluasi dalam memahami materi pelajaran dalam satu tahun.
12. **Wawasan Biologi** berisi informasi menarik dan terkini yang berkaitan dengan materi bab.
13. **Tokoh Biologi** memuat ilmuwan Biologi yang berjasa di bidangnya.
14. **Kata Kunci** merupakan kunci dari suatu konsep dalam materi yang akan memudahkan Anda untuk mengingat konsep tersebut.
15. **Apendiks** merupakan lampiran yang berisi kunci jawaban, gambar sistem organ tubuh manusia, dan kata dasar bahasa Latin dan Yunani.
16. **Kamus Biologi** merupakan kamus kecil kata-kata penting dalam materi pada akhir buku. Anda dapat melihat penjelasan beberapa istilah di kamus kecil ini.
17. **Indeks** berisi rujukan kata-kata dalam bab yang memudahkan Anda dalam pencarian kata-kata penting.





Kata Pengantar

Biologi merupakan ilmu yang sangat berkaitan dengan kehidupan. Makhluk hidup yang mencakup manusia, hewan, tumbuhan, dan mikroorganisme beserta lingkungannya dipelajari dalam Biologi. Dengan mempelajari Biologi Anda dapat memahami fakta-fakta kehidupan di lingkungan sekitar.

Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan kualitas pendidikan Biologi di sekolah agar membentuk siswa yang memiliki daya nalar dan daya pikir yang baik, kreatif, cerdas dalam memecahkan masalah, serta mampu mengomunikasikan gagasan-gagasannya.

Atas dasar inilah kami menerbitkan buku **Praktis Belajar Biologi** ke hadapan pembaca. Buku ini menghadirkan aspek kontekstual bagi siswa dengan mengutamakan pemecahan masalah sebagai bagian dari pembelajaran untuk memberikan kesempatan kepada siswa membangun pengetahuan dan mengembangkan potensi mereka sendiri.

Materi dalam buku ini diharapkan dapat membawa Anda untuk memperoleh pemahaman tentang ilmu Biologi sebagai proses dan produk. Materi pelajaran Biologi yang disajikan bertujuan membekali Anda dengan pengetahuan, pemahaman, dan sejumlah kemampuan untuk memasuki jenjang yang lebih tinggi, serta mengembangkan ilmu Biologi dalam kehidupan sehari-hari.

Oleh karena itu, mendudukkan Biologi hanya sebatas teori di dalam kelas, tidak saja akan membuat siswa kurang memahaminya, tetapi juga menghambat tercapainya tujuan pembelajaran. Melalui buku **Praktis Belajar Biologi** ini, Anda diharapkan dapat menyenangi pelajaran Biologi.

Materi-materi bab di dalam buku ini disesuaikan dengan perkembangan ilmu dan teknologi terkini. Selain itu, buku ini disajikan dengan bahasa yang mudah dimengerti dan komunikatif sehingga seolah-olah berdialog langsung dengan penulisnya.

Kami menyadari bahwa penerbitan buku ini tidak akan terlaksana dengan baik tanpa dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dengan hati yang tulus, kami ucapkan terima kasih atas dukungan dan bantuan yang diberikan. Semoga buku ini dapat memberi kontribusi bagi perkembangan dan kemajuan pendidikan di Indonesia.

Jakarta, Juni 2007

Penerbit

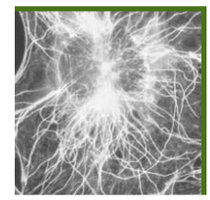
Daftar Isi

Kata Sambutan • iii
Petunjuk Penggunaan Buku v
Kata Pengantar • vi

Semester 1

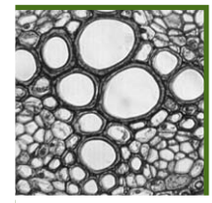
Bab 1 Sel 1

A. Struktur Sel 2
B. Organel-Organel Sel 5
C. Mekanisme Transpor pada Sel 9
Rangkuman 14
Peta Konsep 15
Evaluasi Materi Bab 1 16



Bab 2 Struktur Tumbuhan 29

A. Jaringan pada Tumbuhan 10
B. Sistem Jaringan pada Tumbuhan 25
C. Organ pada Tumbuhan 27
D. Kultur Jaringan Tumbuhan 32
Rangkuman 35
Peta Konsep 35
Evaluasi Materi Bab 2 36



Bab 3 Struktur Hewan 39

A. Jaringan pada Hewan 40
B. Organ pada Hewan 46
C. Sistem Organ pada Hewan 47
Rangkuman 50
Peta Konsep 50
Evaluasi Materi Bab 3 51

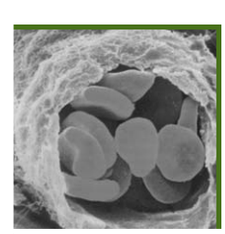
Bab 4 Sistem Gerak 53

A. Tulang 54
B. Hubungan Antartulang 58
C. Otot 62
D. Kelainan dan Gangguan pada Sistem Gerak 67
Rangkuman 70
Peta Konsep 71
Evaluasi Materi Bab 4 72
Kegiatan Semester 1 74

Bab 5 Sistem Peredaran Darah 75

A. Sistem Peredaran Darah pada Manusia 76
B. Organ-Organ Peredaran Darah pada Manusia 81
C. Gangguan pada Sistem Peredaran Darah Manusia dan Pengembangan Teknologi Jantung 86
D. Sistem Peredaran Darah pada Hewan 88
Rangkuman 92
Peta Konsep 93
Evaluasi Materi Bab 5 94
Evaluasi Materi Semester 1 96

Semester 2

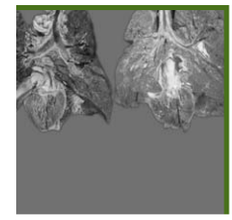


Bab 6 Sistem Pencernaan 99

A. Zat-Zat Makanan 100
B. Sistem Pencernaan pada Manusia 105
C. Gangguan pada Sistem Pencernaan Manusia 112
D. Sistem Pencernaan pada Hewan 114
Rangkuman 116
Peta Konsep 116
Evaluasi Materi Bab 6 117

Bab 7 Sistem Pernapasan 119

A. Sistem Pernapasan pada Manusia 120
B. Kelainan dan Gangguan pada Sistem Pernapasan Manusia 125
C. Sistem Pernapasan pada Hewan 127
Rangkuman 132
Peta Konsep 132
Evaluasi Materi Bab 7 133

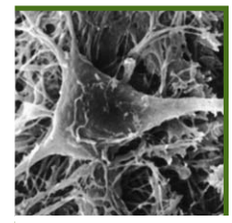


Bab 8 Sistem Ekskresi 135

A. Sistem Ekskresi pada Manusia 136
B. Gangguan pada Sistem Ekskresi 141
C. Sistem Ekskresi pada Hewan 142
Rangkuman 147
Peta Konsep 148
Evaluasi Materi Bab 8 149

Bab 9 Sistem Regulasi 151

A. Sistem Saraf 152
B. Sistem Hormon 163
C. Sistem Indra 169
D. Gangguan pada Sistem Regulasi 175
Rangkuman 179
Peta Konsep 180
Evaluasi Materi Bab 9 181

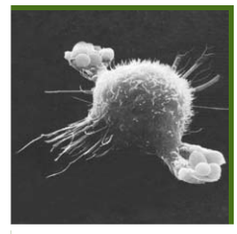


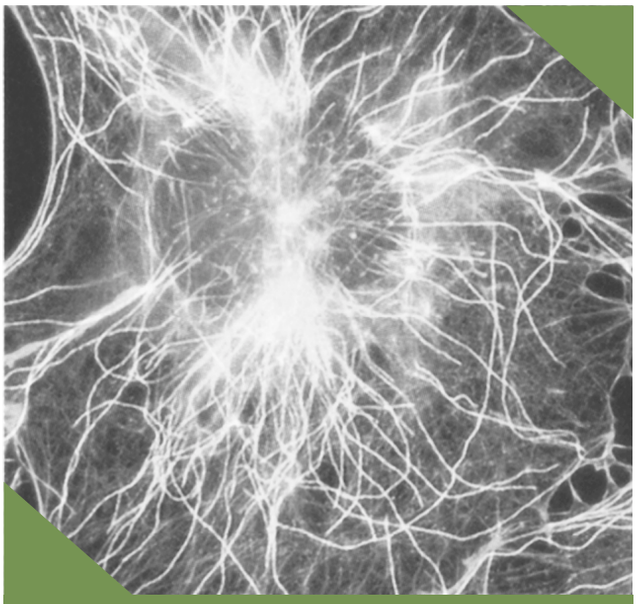
Bab 10 Sistem Reproduksi 183

A. Sistem Reproduksi Pria 184
B. Sistem Reproduksi Wanita 187
C. Penyakit pada Sistem Reproduksi dan Teknologi Reproduksi 195
Rangkuman 197
Peta Konsep 198
Evaluasi Materi Bab 10 199
Kegiatan Semester 2 202

Bab 11 Sistem Pertahanan Tubuh 203

A. Pertahanan Tubuh Nonspesifik 204
B. Pertahanan Tubuh Spesifik 207
C. Struktur Sistem Kekebalan Tubuh 211
D. Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh 214
E. Kelainan Sistem Kekebalan Tubuh 216
Rangkuman 219
Peta Konsep 220
Evaluasi Materi Bab 11 221
Evaluasi Materi Semester 2 223
Evaluasi Materi Akhir Tahun 226
Apendiks 1 232
Apendiks 2 240
Apendiks 3 241
Kamus Biologi 242
Indeks 245
Daftar Pustaka 249





Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Bab 1
Sel

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami seluk-beluk sel. Untuk itu, Anda harus mampu menjelaskan secara lengkap komponen dan bagian sel, serta mampu membedakan antara organel sel tumbuhan dan hewan. Selain itu, Anda harus mampu membandingkan mekanisme transpor pada membran sel.

Sel adalah unit fungsional dan struktural terkecil dari makhluk hidup. Hal yang menakjubkan adalah sel tersusun atas bagian-bagian yang tidak hidup. Bersama-sama dalam satu kesatuan, bagian-bagian sel membentuk sel utuh yang hidup dan memiliki ciri-ciri kehidupan, misalnya memperbanyak diri dengan cara membelah, menanggapi rangsang, dan melakukan metabolisme.

Istilah "sel" disebutkan kali pertama oleh Robert Hooke pada tahun 1665. Istilah tersebut muncul ketika ia melihat struktur ruang-ruang kecil yang menyusun sebuah gabus kayu dengan menggunakan mikroskop sederhana yang dibuatnya.

Bagian-bagian apakah yang menyusun sel? Apakah fungsi dari setiap bagian yang menyusun sel tersebut? Apakah setiap sel makhluk hidup memiliki struktur yang sama? Apakah ada perbedaan antara sel pada tumbuhan dan sel pada hewan? Pertanyaan-pertanyaan tersebut akan dapat Anda temukan jawabannya setelah mempelajari bab berikut.

A. Struktur Sel
B. Organel-Organel Sel
C. Mekanisme Transpor pada Sel

Soal *Prameteri*

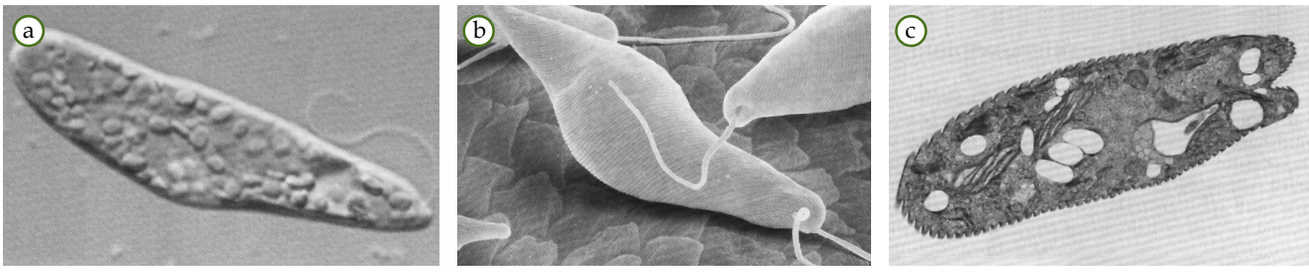
1. Apakah sel itu?
2. Apakah sel tumbuhan dan sel hewan berbeda?

A Struktur Sel

Dari tahun 1665, ketika **Robert Hooke** mengamati sel, hingga pertengahan abad 20, ilmuwan biologi hanya memiliki mikroskop cahaya untuk mengamati sel. Meskipun demikian, mereka banyak menemukan hal-hal penting, seperti makhluk hidup satu sel, sel-sel penyusun hewan dan tumbuhan, serta struktur sel. Hasil yang mereka dapat pada akhirnya menghasilkan suatu teori yang disebut teori sel, yaitu sebagai berikut.

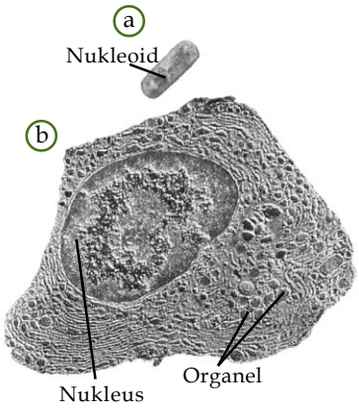
1. Sel merupakan dasar penyusun makhluk hidup. Oleh karena itu, semua makhluk hidup tersusun atas sel.
2. Sel merupakan dasar penyusun fungsional dari makhluk hidup.
3. Semua sel berasal dari sel melalui proses pembelahan sel.

Pengetahuan mengenai struktur sel mengalami kemajuan yang pesat ketika para ilmuwan mulai menggunakan mikroskop elektron. Semua pengamatan sel menggunakan mikroskop elektron semakin memperkuat teori sel.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 1.1
Hasil pengamatan *Euglena* sp. menggunakan (a) mikroskop cahaya, (b) *Scanning Electron Microscope*, dan (c)*Transmission Electron Microscope*.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 1.2
(a) Sel prokariotik dan (b) sel eukariotik. Bandingkan ukuran sel prokariotik dan sel eukariotik.

Berdasarkan ada-tidaknya membran inti sel, sel dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu sel *prokariotik* dan sel *eukariotik*. Sel prokariotik hanya ditemukan pada kingdom Monera, yaitu bakteri. Sementara itu, empat kingdom lainnya (Protista, Fungi, Plantae, dan Animalia) memiliki sel eukariotik.

Apakah Anda masih ingat perbedaan prokariotik dan eukariotik? Istilah prokariotik berasal dari bahasa Yunani. *Pro* artinya sebelum dan *karyon* artinya biji atau inti, dalam hal ini mengacu pada membran inti. Sel prokariotik memiliki materi genetik (DNA) yang terkonsentrasi di daerah yang disebut *nukleoid*. Namun, daerah tersebut tidak memiliki membran pemisah dengan bagian dalam sel lainnya.

Istilah eukariotik berasal dari bahasa Yunani, *eu* artinya nyata dan *karyon* artinya inti. Sel eukariotik memiliki inti sel (nukleus) nyata yang dibatasi oleh membran inti.

Secara umum, sel eukariotik lebih kompleks dan lebih besar dibandingkan sel prokariotik (**Gambar 1.2**). Berikut ini tabel perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik.

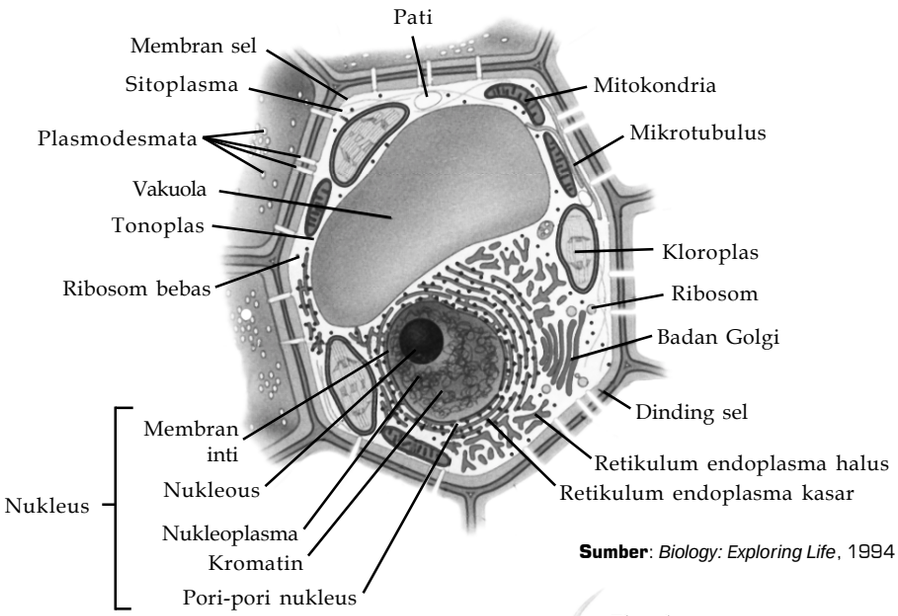
Tabel 1.1 Perbandingan Sel Prokariotik dan Sel Eukariotik

No.	Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
1	Materi inti tidak memiliki membran	Materi inti memiliki membran
2	DNA berada di daerah nukleoid	DNA berada di dalam nukleolus
3	Tidak memiliki organel, seperti mitokondria, badan Golgi, dan retikulum endoplasma	Memiliki organel, seperti mitokondria, badan Golgi, dan retikulum endoplasma

Bagian dalam sel secara umum disebut **protoplasma**. Protoplasma pada dasarnya merupakan larutan yang mengandung banyak materi organik dan anorganik. Jika melihat sebuah sel di bawah mikroskop, akan terlihat bahwa protoplasma sel terdiri atas dua bagian, yaitu **nukleus** dan **sitoplasma**. Sitoplasma merupakan bagian terbesar dari sel. Pada sitoplasma terjadi berbagai reaksi penting, seperti sintesis (pembentukan) protein, respirasi, dan ekskresi.

Di dalam sitoplasma terdapat **organel-organel** dan matriks semi-cairan yang disebut **sitosol**. Organel (organ kecil) merupakan komponen sel yang memiliki struktur dan fungsi yang berbeda-beda. Fungsi organel ini sangat spesifik dan menunjang aktivitas sel. Contoh organel, antara lain mitokondria, badan Golgi, retikulum endoplasma, dan ribosom.

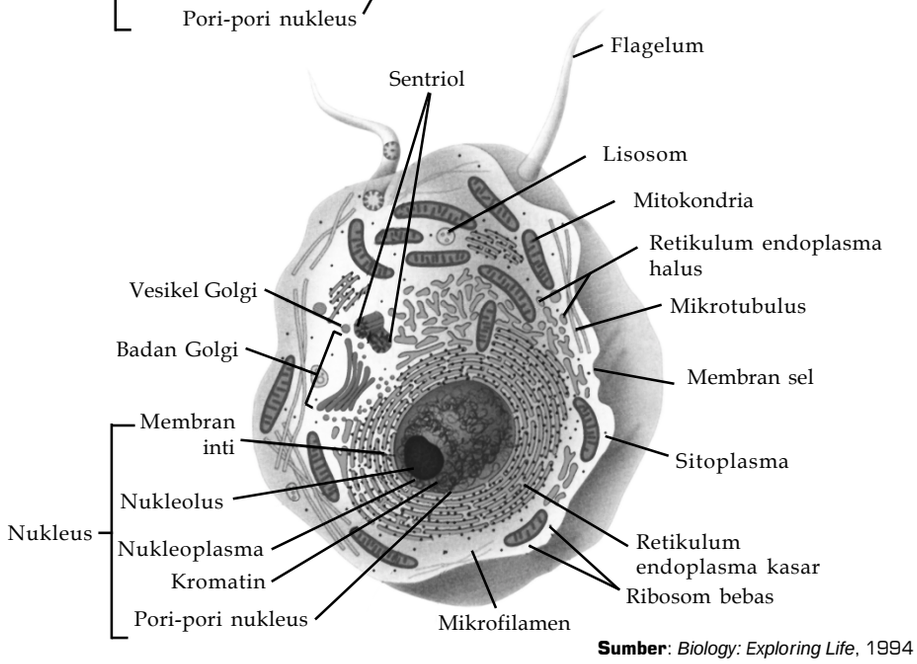
Sel eukariotik memiliki organel yang lebih kompleks dibandingkan sel prokariotik. Oleh karena itu, buku ini hanya membahas organel pada sel eukariotik. Sel eukariotik pada sel tumbuhan dan sel hewan berbeda. Perhatikan **Gambar 1.3** dan **Gambar 1.4**.



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 1.3

Organel-organel yang terdapat pada sel tumbuhan.



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 1.4

Organel-organel yang terdapat pada sel hewan.

Dapatkah Anda membedakannya dengan sel tumbuhan?

Tokoh Biologi

Antony van Leeuwenhoek (1632 – 1723)

Pada 1668 sampai dengan 1677, Antony van Leeuwenhoek menggunakan mikroskop yang lebih baik daripada mikroskop Robert Hooke. Oleh karena itu, Leeuwenhoek dapat mendeskripsikan berbagai hal, dari kapiler darah, protozoa yang ia temukan di kolam, sampai spermatozoa pada serangga dan manusia.

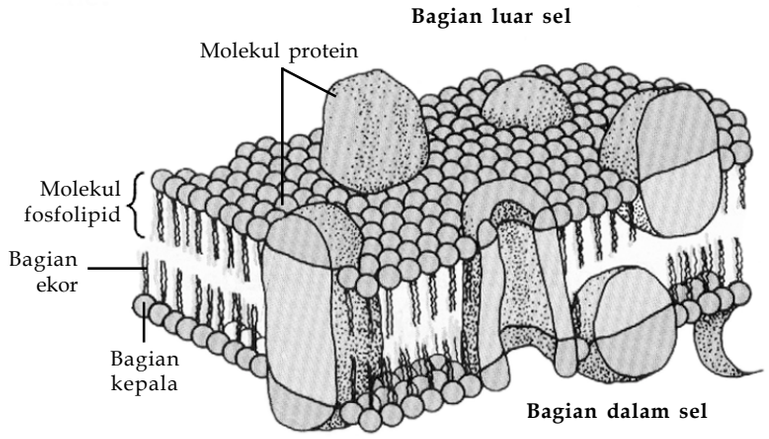
Sumber: *Jendela Iptek: Kehidupan*, 1997

Kata Kunci

- Hidrofilik
- Hidrofobik

Di luar inti dan sitoplasma, terdapat **membran sel**. Membran sel menjadi sangat penting karena membranlah yang membatasi sel dengan lingkungan luar, menjaga aktivitas sel tetap berlangsung, dan menyeleksi benda atau zat yang dapat masuk ke dalam sel.

Membran sel atau plasma membran adalah bagian sel yang membatasi sitoplasma. Membran sel tidak dapat dilihat menggunakan mikroskop biasa. Membran sel sangat tipis dan hanya terdiri atas dua lapis fosfolipid. Bagian kepala (fosfat) yang bersifat **hidrofilik** (senang air) berada di bagian luar membran sel. Adapun bagian ekor (lipid) berada di bagian dalam membran sel dan bersifat **hidrofobik** (tidak senang air). Jadi, satu sisi menghadap ke bagian luar sel, sedangkan sisi lainnya menghadap ke bagian dalam sel. Hal tersebut mencegah sitoplasma larut dengan lingkungan sekitarnya dan mencegah zat-zat asing di sekitar sel masuk ke dalam sel (**Gambar 1.5**).



Gambar 1.5
Ilustrasi penampang membran sel.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Di antara molekul-molekul fosfolipid terdapat molekul-molekul protein yang berperan dalam pengenalan dan pemindahan zat-zat yang dibutuhkan dari lingkungan ke dalam sel. Lapisan membran sel tidak hanya menutupi bagian luar sel, tetapi juga berlekuk-lekuk dan melipat ke dalam sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah sistem membran di dalam sitoplasma.

Fungsi sel sangat berhubungan dengan fungsi dasar sel sebagai makhluk hidup. Sel menjadi individu yang melakukan semua kegiatan sebagai makhluk hidup utuh pada makhluk hidup satu sel (**uniseluler**). Selain itu, sel juga dapat menjadi bagian dari organisasi sel yang terspesialisasi dan saling melengkapi dalam makhluk hidup banyak sel (**multiseluler**). Masih ingatkah Anda dengan organisme uniseluler dan multiseluler? Sel yang terspesialisasi pada makhluk hidup banyak sel, memiliki jenis dan banyak organel yang bergantung pada fungsi sel.

Tokoh Biologi

Jakob Schleiden (1804-1881)

Schleiden adalah seorang ahli botani yang menemukan bahwa suatu individu tersusun atas unit-unit kecil yang disebut sel. Schleiden mengamatinya melalui mikroskop untuk melihat struktur tumbuhan.

Sumber: *Concise Encylopedia Nature*, 1994

Tugas Ilmiah 1.1

Bersama kelompok Anda, buatlah sebuah model sel tumbuhan atau sel hewan dari barang barang bekas. Model dapat berupa model tiga dimensi atau model dua dimensi (gambar). Lengkapi model tersebut dengan organel-organel serta keterangan lengkap. Gunakan buku literatur sebagai acuan. Kerjakan tugas tersebut dalam waktu empat minggu bersama kelompok Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 1.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

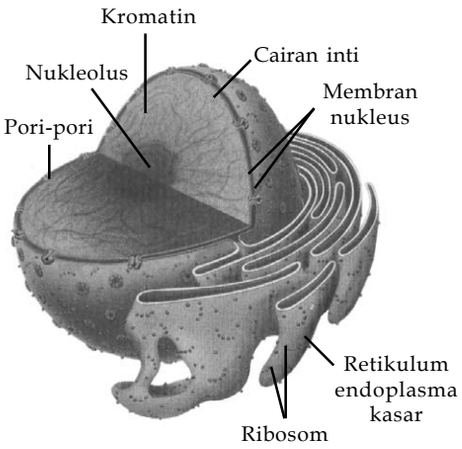
1. Jelaskan perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik.
2. Apa perbedaan protoplasma, sitoplasma, dan sitosol?
3. Jelaskan penyusun dari membran sel.

B Organel-Organel Sel

Sebagian besar organel sel diselubungi oleh lapisan membran dengan struktur yang sama dengan lapisan membran sel. Di dalam sel terdapat banyak struktur kecil yang disebut organel. Masih ingatkah Anda organel-organel sel yang terdapat pada sel hewan atau sel tumbuhan? Tidak semua sel memiliki semua organel, bukan? Fungsi dari sel bergantung pada jumlah dan jenis organel yang dimiliki.

1. Nukleus (Inti Sel)

Inti sel merupakan bagian yang penting dari sel. Inti sel terdiri atas beberapa bagian, yaitu membran, kromatin, anak inti (nukleolus), dan cairan inti (*nuclear sap*) (**Gambar 1.6**). Cairan inti merupakan cairan yang di dalamnya terdapat nukleolus dan kromatin. Kromatin mengandung materi genetik berupa DNA serta protein. Ketika sel membelah, kromosom dapat terlihat sebagai bentuk tebal dan memanjang. Kromosom adalah cetak-biru (*blue print*) sel. Kromosom mengatur kapan dan bagaimana sel membelah diri, menghasilkan protein-protein tertentu, serta berdiferensiasi.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 1.6
Sebuah inti sel. Terdapat sistem membran inti sel yang bersatu dengan membran retikulum endoplasma.

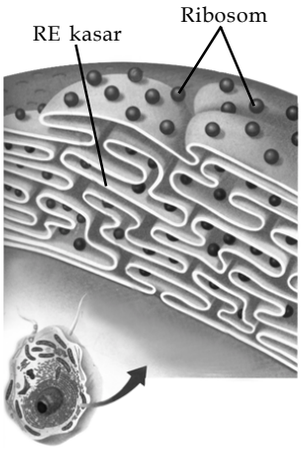
Nukleus merupakan struktur yang jelas terlihat pada saat sel belum membelah diri. Nukleus terlibat dalam pembentukan ribosom–suatu organel sel yang berperan dalam pembentukan protein. Nukleus mengatur sintesis protein dalam sitoplasma dengan mengirimkan pesan genetik dalam bentuk *ribonucleic acid* (RNA). RNA ini disebut *messenger* RNA (mRNA). Pembentukan mRNA terjadi di nukleus berdasarkan instruksi yang diberikan DNA. Setelah itu, mRNA membawa pesan genetik ke sitoplasma melalui pori membran inti untuk diterjemahkan di ribosom menjadi protein. Protein ini akan digunakan untuk menggantikan protein yang hilang, membentuk enzim, atau mengirimkan sinyal pada bagian sel yang lain.

Membran inti memiliki struktur yang sama dengan struktur membran sel. Di membran inti, terdapat pori atau lubang-lubang yang memungkinkan keluar-masuknya benda atau zat tertentu. Dengan kata lain, melalui lubang-lubang tersebut, inti sel 'berkomunikasi' dengan bagian-bagian sel serta sel yang lain.

Kata Kunci
- Kromosom
- *Ribonucleic acid*

2. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma, sering disingkat RE merupakan sebuah sistem membran yang berlipat-lipat. Dilihat secara tiga dimensi, sistem membran pada retikulum endoplasma bersatu dengan membran sel dan membran inti. Retikulum endoplasma ada yang tampak kasar (RE kasar) dan ada pula yang tampak halus (RE halus). Pada permukaan membran RE kasar terdapat ribosom yang menempel. Ribosom yang menempel membuat RE terlihat



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.7
RE beserta ribosom. Ribosom menempel pada retikulum endoplasma.

kasar (**Gambar 1.7**). RE kasar berperan dalam pembentukan membran dan protein. Adapun RE halus berperan dalam pembentukan lemak, menetralisir racun, dan penyimpanan kalsium yang berguna pada kontraksi sel otot.

3. Ribosom

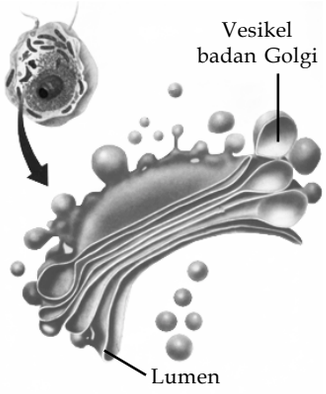
Pada permukaan dalam membran retikulum endoplasma sel eukariotik tersebar organel-organel. Salah satu organel tersebut adalah ribosom. Ribosom berperan penting dalam proses pembentukan protein. Pada sel yang aktif, terdapat ribosom dalam yang banyak. Selain di RE, ribosom banyak terdapat juga di anak inti (nukleolus). Perhatikan **Gambar 1.7**.

4. Badan Golgi

Badan Golgi disebut juga aparatus Golgi. Badan Golgi berbentuk seperti kantung yang pipih, dibatasi oleh membran. Beberapa badan Golgi sering terlihat berdekatan dan membentuk kantung-kantung yang bertumpuk.

Badan Golgi diduga sebagai salah satu bentuk dari sistem membran pada RE. Badan Golgi kadang terlihat berada berdekatan dengan RE.

Fungsi badan Golgi terutama dalam pengolahan protein yang baru disintesis. Badan Golgi memotong protein berukuran besar yang dihasilkan ribosom menjadi protein-protein berukuran kecil seperti hormon dan **neurotransmiter** (bahan penerus informasi pada sistem saraf). Badan Golgi juga berfungsi menambahkan molekul glukosa ketika proses sintesis glikoprotein. Pada sel-sel kelenjar, jumlah badan Golgi lebih melimpah dibandingkan sel-sel lain. Hal ini berhubungan dengan pembentukan sekresi mukus berupa mukopolisakarida yang melibatkan badan Golgi.



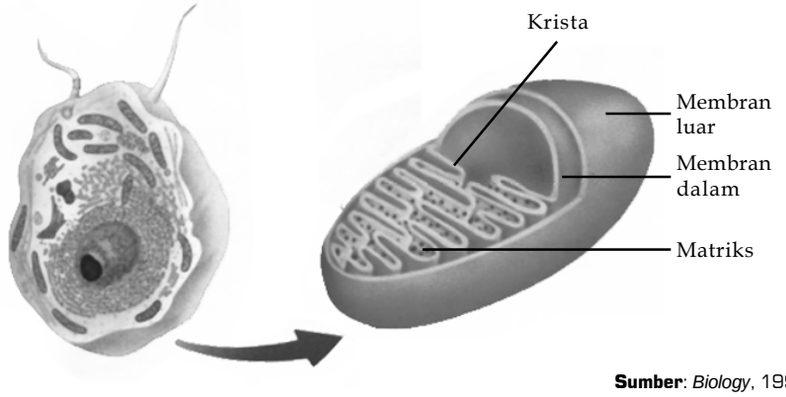
Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.8
Sebuah badan Golgi.

5. Mitokondria

Mitokondria adalah organel berbentuk lonjong yang berada di sitoplasma. Mitokondria memiliki dua lapis membran yang terpisah dengan membran inti, membran sel, dan RE. Membran bagian dalam membentuk lipatan-lipatan. Struktur ini disebut **krista** (**Gambar 1.9**). Pada krista, terdapat berbagai enzim yang berperan dalam respirasi aerobik.

Mitokondria berperan dalam proses respirasi aerobik. Banyaknya jumlah mitokondria dalam sel, bergantung pada seberapa aktif sel-sel tersebut. Misalnya, pada sel otot, memiliki mitokondria lebih banyak dibandingkan sel yang pasif. Semakin banyak mitokondria, semakin tinggi frekuensi proses respirasi.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.9
Struktur mitokondria pada sel.

Organel-organel yang telah diuraikan sebelumnya adalah organel-organel yang dimiliki oleh sel hewan dan sel tumbuhan. Beberapa organel berikutnya, hanya ditemukan pada sel hewan atau sel tumbuhan saja.

6. Lisosom

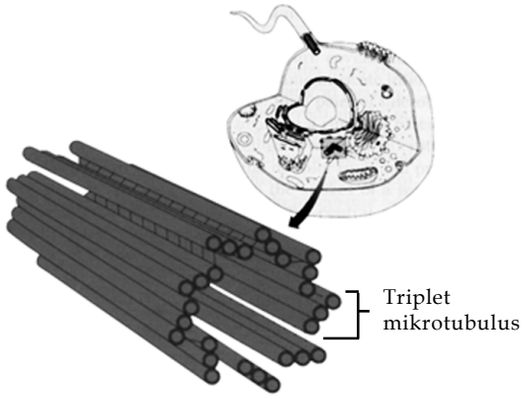
Lisosom adalah organel yang hanya ditemukan pada sel-sel hewan. Lisosom berbentuk kantung yang dibatasi oleh membran. Di dalam lisosom terdapat enzim yang berperan dalam dekomposisi atau penguraian sebagian besar sel. Lisosom digunakan oleh sel untuk mencerna molekul-molekul besar. Pada makhluk hidup satu sel, seperti *Amoeba*, vakuola makanan bersama lisosom bersatu. Kemudian, enzim yang terdapat dalam lisosom mencerna makanan tersebut. Pada saat sel mati, membran yang menutupi kantung lisosom akan terdegradasi sehingga enzimnya akan keluar dan menguraikan bagian-bagian sel. Oleh karena itu, lisosom juga sering disebut sebagai "kantung bunuh diri" (*suicide pack*).

Kata Kunci

- Grana
- Kloroplas
- Kromoplas
- Leukoplas
- Neurotransmiter
- Respirasi aerobik
- Stroma
- Tilakoid

7. Sentriol

Sentriol terdapat pada sel hewan dan jamur. Sel-sel tumbuhan tinggi tidak memiliki sentriol. Sentriol adalah dua buah organel yang berperan dalam pembelahan sel. Setiap sentriol terdiri atas sembilan triplet mikrotubulus yang susunannya membentuk cincin (**Gambar 1.10**). Mikrotubulus merupakan serabut berbentuk silindris yang berperan dalam pembelahan sel, pergerakan kromosom, dan pergerakan organel. Sentriol mulai terlihat pada tahap profase (salah satu tahap pada pembelahan sel). Sentriol bergerak ke arah kutub-kutub yang berlawanan, kemudian dua anak sel akan terbentuk.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

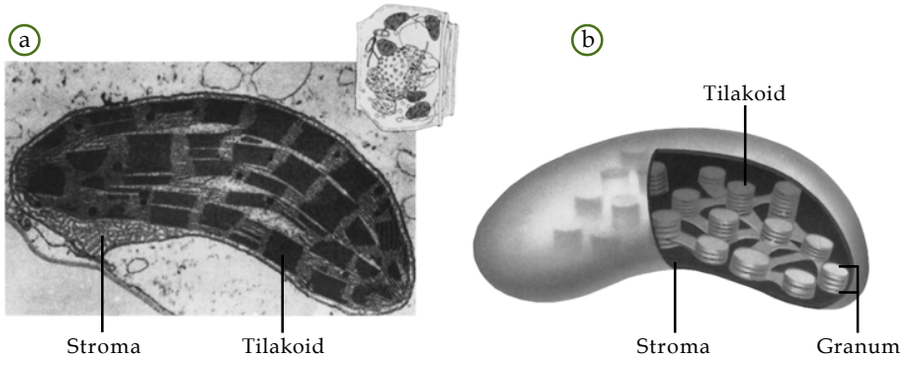
Gambar 1.10
Sentriol terdiri atas sembilan triplet mikrotubulus.

8. Plastida

Salah satu organel yang khas pada tumbuhan adalah **plastida**. Plastida merupakan organel menyerupai kantung yang dibatasi oleh dua lapis membran. Plastida terdapat beberapa macam, yaitu **kloroplas**, **kromoplas**, dan **leukoplas**. Ketiganya dibedakan berdasarkan pigmen yang dikandungnya.

Kloroplas memiliki pigmen-pigmen fotosintesis, di antaranya klorofil (zat hijau daun) dan karotenoid (zat warna kuning atau oranye). Pigmen-pigmen tersebut berperan penting dalam proses fotosintesis, yaitu sebagai penangkap gelombang cahaya.

Klorofil beserta enzim-enzim yang berperan dalam reaksi terang (satu dari dua reaksi pada fotosintesis) berada di dalam struktur membran yang disebut **grana** (tunggal: granum). Granum terbentuk dari tilakoid, yang merupakan kantung-kantung pipih yang bertumpuk. Sementara itu, **stroma** adalah matriks cairan di bagian luar sistem membran grana. Pada stroma terdapat enzim-enzim yang berperan dalam reaksi gelap pada fotosintesis (**Gambar 1.11**). Masih ingatkah Anda tentang proses fotosintesis?



Sumber:*Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 1.11
(a) Kloroplas dilihat dengan mikroskop elektron dan (b) diagram tiga dimensi kloroplas.

Kromoplas merupakan plastida yang mengandung pigmen warna selain hijau. Biasanya kromoplas berwarna kuning, merah, oranye, atau cokelat. Sejauh ini, belum ditemukan fungsi yang pasti dari kromoplas, terutama pada tanaman tinggi. Diperkirakan, kromoplas yang banyak terdapat di bunga dapat menarik serangga untuk mendatangi bunga dan menyerbukinya. Sementara itu pada tumbuhan rendah, seperti alga, pigmen pada kromoplas berfungsi sebagai pigmen fotosintetik.

Leukoplas merupakan plastida yang tidak memiliki zat warna. Berbeda dengan dua tipe plastida yang lain, leukoplas tidak menyimpan pigmen, tetapi menyimpan bahan-bahan makanan cadangan. Umumnya, berupa pati (karbohidrat) atau minyak. Leukoplas banyak terdapat di bagian tumbuhan yang tidak terkena cahaya, seperti akar dan umbi.

Kegiatan 1.1

Sel Tumbuhan dan Sel Hewan

Tujuan

Menunjukkan perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan

Alat dan Bahan

Tusuk gigi, pisau *cutter*, kaca objek dan kaca penutup, mikroskop cahaya, air suling, dan daun jagung (*Zea mays*)

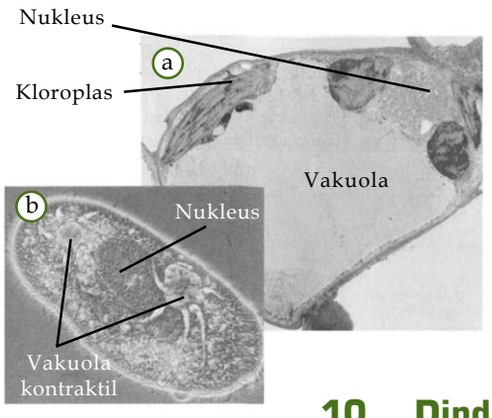
Langkah Kerja

1. Irislah setipis mungkin permukaan daun jagung. Letakkan di atas kaca objek. Tetesi dengan air suling dan tutup dengan kaca penutup.
2. Amati dengan menggunakan mikroskop cahaya. Gambar hasil pengamatan Anda dalam buku latihan. Jika ada, Anda dapat menggunakan preparat awetan secara langsung.
3. Koreklah kulit pipi bagian dalam mulut Anda dengan tusuk gigi, oleskan di atas kaca objek. Tetesi dengan air suling dan tutup dengan kaca penutup.
4. Amati dengan menggunakan mikroskop cahaya. Gambar hasil pengamatan dalam buku latihan.
5. Bandingkan kedua hasil pengamatan Anda. Kemudian, diskusikan hasilnya dalam suatu diskusi kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Dapatkan Anda melihat perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan? Mintalah bantuan guru Anda dalam proses pengamatan dengan mikroskop.
2. Organel apa saja yang dimiliki oleh sel tumbuhan dan sel hewan?

9. Vakuola



Gambar 1.12
(a) Vakuola pada sel tumbuhan dan (b) vakuola kontraktil pada protozoa (*Paramaecium*).

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Vakuola merupakan organel yang terdapat di tumbuhan. Vakuola berisi air yang terlarut di dalamnya berbagai mineral, gula, asam-asam organik dan bahan-bahan lain. Sel-sel muda memiliki beberapa vakuola yang berukuran kecil. Namun, pada sel dewasa satu vakuola yang berukuran besar terkadang mendominasi sel.

Pada umumnya, sel-sel hewan tidak memiliki vakuola. Akan tetapi, protozoa dapat membentuk vakuola makanan, tempat makanan diperoleh dan dicerna. Sisa makanan ditampung dalam vakuola kontraktil untuk dibuang (**Gambar 1.12**).

10. Dinding Sel

Salah satu struktur lagi yang hanya dimiliki oleh sel tumbuhan adalah dinding sel. Dinding sel berada di bagian luar membran sel. Ketika sel menyerap air, dinding sel berfungsi mencegah sel menggembung melewati

batas maksimum. Dinding sel biasanya terbuat dari selulosa. Tidak seperti membran sel, dinding sel memiliki pori yang dapat melewatkan hampir berbagai jenis zat. Pada beberapa jenis tumbuhan dewasa, selnya membentuk dinding sekunder.

Soal Penguasaan *Materi* 1.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan organel yang terdapat di sel tumbuhan juga terdapat di sel hewan.
2. Jelaskan fungsi dari inti sel.
3. Organel apa saja yang hanya terdapat pada sel tumbuhan?
4. Ada berapa jeniskah plastida pada sel tumbuhan? Sebutkan.

C Mekanisme Transpor pada Sel

Membran sel berfungsi membatasi sel dan lingkungan sekitar. Namun demikian, tidak berarti sel menjadi satu sistem tertutup yang tidak dipengaruhi oleh lingkungan sekitar.

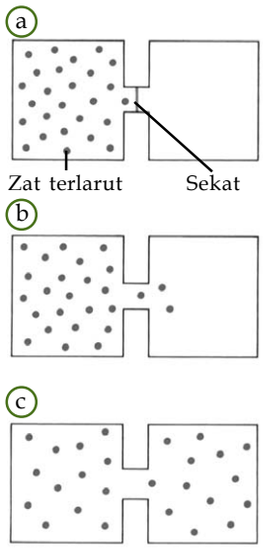
Tidak ada organisme yang mampu hidup terpisah dari lingkungan sekitarnya. Begitu pula halnya dengan sel. Sel memperoleh bahan-bahan yang dibutuhkan untuk berbagai proses metabolismenya dari lingkungan di luar sel.

Beberapa mekanisme sel dalam memperoleh bahan-bahan yang dibutuhkan, antara lain **difusi**, **osmosis**, **transpor aktif**, **endositosis**, dan **eksositosis**. Simaklah penjelasan berikut ini.

1. Difusi

Difusi merupakan proses perpindahan suatu zat yang terjadi secara spontan ketika ada perbedaan tekanan difusi, dari tekanan yang tinggi ke arah tekanan yang lebih rendah. Tekanan difusi berkorelasi positif dengan konsentrasi zat tersebut. Artinya, semakin tinggi konsentrasinya, semakin tinggi pula tekanan difusi zat tersebut. Perhatikan **Gambar 1.13**.

Ada beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan difusi, di antaranya suhu dan zat yang berdifusi. Dengan naiknya suhu, energi kinetik yang dimiliki molekul suatu zat menjadi lebih tinggi sehingga pergerakan molekul zat menjadi lebih cepat. Untuk menambah pemahaman Anda mengenai difusi, lakukanlah kegiatan berikut.



Sumber:*Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 1.13
Mekanisme difusi. (a) Dua ruang dengan konsentrasi zat yang berbeda. (b) Terjadi perpindahan zat setelah sekat dibuka. (c) Konsentrasi zat telah seimbang, tidak ada perpindahan zat.

Kegiatan 1.2

Difusi

Tujuan
Menjelaskan proses difusi serta faktor yang memengaruhinya

Alat dan Bahan
Air panas, air dingin, *stopwatch*/jam tangan, dua buah gelas, dua bungkus teh celup, dan parfum

Langkah Kerja

Kegiatan 1

1. Masukkan sebungkus teh celup ke dalam segelas air panas dan air dingin.
2. Ukur waktu yang dibutuhkan sampai seluruh air berwarna merah.
3. Diskusikan hasilnya dengan teman Anda.

Kegiatan 2

1. Semprotkan parfum di salah satu sudut kelas Anda.
2. Jika Anda berada di sudut kelas yang berlawanan, dapatkah Anda mencium baunya?
3. Diskusikan hasilnya dengan teman Anda.

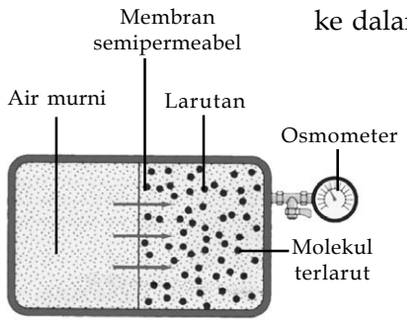
Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Pada **Kegiatan 1**, gelas manakah yang paling cepat berwarna merah? Mengapa?
2. Pada **Kegiatan 2**, mengapa wangi parfum dapat tercium dari sudut kelas yang lain?
3. Jika pada **Kegiatan 2** semua pintu dan jendela terbuka, menurut Anda, dapatkah wanginya tercium hingga ke luar kelas? Jelaskan jawaban Anda.

Zat yang memiliki berat molekul kecil akan lebih cepat berdifusi dibandingkan zat dengan berat molekul besar. Oleh karena itu, zat yang paling mudah berdifusi adalah gas. Cairan relatif lebih lambat berdifusi dibandingkan dengan gas.

Tidak seluruh molekul dapat berdifusi masuk ke dalam sel. Membran sel terdiri atas molekul-molekul fosfolipid dengan pori-pori ultramikroskopik yang dapat melewatkan molekul-molekul berukuran kecil dan ion. Molekul-molekul yang dapat melewati membran sel di antaranya adalah oksigen, karbon dioksida, air, dan beberapa mineral yang larut dalam air. Molekul berukuran sedang, seperti molekul gula dan asam amino, tidak dapat berdifusi melewati membran sel. Pertukaran O_2 dan CO_2 pada proses respirasi hewan merupakan salah satu contoh difusi.

Pada prinsipnya, pada difusi membran sel bersifat pasif. Membran sel tidak mengeluarkan energi untuk memindahkan molekul ke luar maupun ke dalam sel.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.14
Sebuah osmometer. Osmometer sederhana dapat mengukur tekanan osmotik. Osmosis akan bergerak dari air murni ke larutan hingga tekanan osmotiknya seimbang.

2. Osmosis

Secara luas, proses osmosis diartikan sebagai proses perpindahan pelarut melewati sebuah membran semipermeabel. Secara sederhana, osmosis dapat diartikan sebagai proses difusi air sebagai pelarut, melewati sebuah membran semipermeabel. Masuknya air ini dapat menyebabkan tekanan air yang disebut **tekanan osmotik**. Pada sel tanaman disebut **tekanan turgor**.

Terdapat tiga sifat larutan yang dapat menentukan pergerakan air pada osmosis, yaitu **hipertonik**, **hipotonik**, dan **isotonik**. Suatu larutan dikatakan hipertonik jika memiliki konsentrasi zat terlarut lebih tinggi dibandingkan larutan pembandingnya. Dalam hal ini, larutan pembanding akan bersifat hipotonik karena memiliki konsentrasi zat terlarut lebih kecil. Larutan isotonik, memiliki konsentrasi zat terlarut yang sama dengan larutan pembanding.

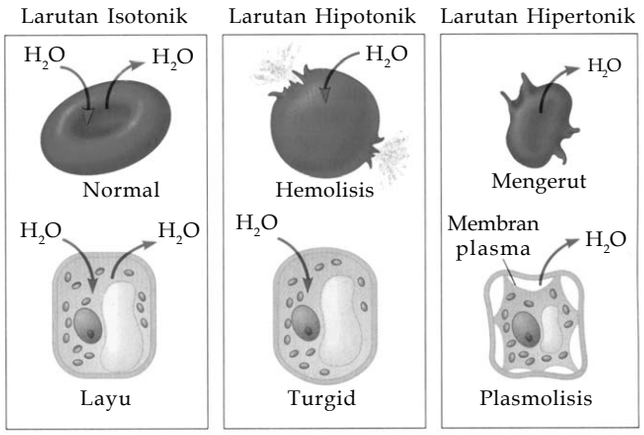
Pergerakan molekul air melalui membran semipermeabel selalu dari larutan hipotonis menuju ke larutan hipertonis sehingga perbandingan konsentrasi zat terlarut kedua larutan seimbang (isotonik). Misalnya, sebuah sel diletakkan di dalam air murni. Konsentrasi zat terlarut di dalam sel lebih besar (hipertonik) karena adanya garam mineral, asam-asam organik, dan berbagai zat lain yang dikandung sel. Dengan demikian, air akan terus mengalir ke dalam sel sehingga konsentrasi larutan di dalam sel dan di luar sel sama. Namun, membran sel memiliki kemampuan yang terbatas untuk mengembang sehingga sel tersebut tidak pecah. Pada sel darah merah, peristiwa ini disebut **hemolisis** (**Gambar 1.15**). Pada sel tumbuhan, peristiwa ini dapat teratasi karena sel tumbuhan memiliki dinding sel yang menahan sel mengembang lebih lanjut. Pada sel tumbuhan keadaan ini disebut **turgid**. Keadaan sel turgid membuat tanaman kokoh dan tidak layu.

Di alam, air jarang ditemukan dalam keadaan murni, air selalu mengandung garam-garam dan mineral-mineral tertentu. Dengan demikian, air aktif keluar atau masuk sel. Hal tersebut berkaitan dengan konsentrasi

Kata Kunci

- Hipertonik
- Hipotonik
- Isotonik
- Tekanan osmosis
- Tekanan turgor

zat terlarut pada sitoplasma. Pada saat air di dalam sitoplasma maksimum, sel akan mengurangi kandungan mineral garam dan zat-zat yang terdapat di dalam sitoplasma. Hal ini membuat konsentrasi zat terlarut di luar sel sama besar dibandingkan konsentrasi air di dalam sel.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 1.15
Reaksi sel terhadap beberapa sifat larutan.
Bagaimanakah bentuk sel jika dimasukkan ke dalam larutan hipertonik?

Jika sel dimasukkan ke dalam larutan hipertonik, air akan terus-menerus keluar dari sel. Sel akan mengerut, mengalami dehidrasi, dan bahkan dapat mati. Pada sel tumbuhan, hal ini menyebabkan sitoplasma mengerut dan terlepas dari dinding sel. Peristiwa ini disebut **plasmolisis**. Dengan demikian, pada saat tertentu, sel perlu meningkatkan kembali kandungan zat-zat dalam sitoplasma untuk menaikkan tekanan osmotik di dalam sel. Cara sel mempertahankan tekanan osmotiknya ini disebut **osmoregulasi** (Campbell, *et al*, 2006 : 83).

Kata Kunci
- Osmoregulasi
- Plasmolisis

Demikian seterusnya, sel selalu aktif dan hal tersebut dilakukan untuk mempertahankan kondisi setimbang antara sel dan lingkungannya. Proses metabolisme membutuhkan air dan mineral atau garam dan berbagai zat yang terkandung dalam sitoplasma. Akibatnya, tekanan osmotik dan konsentrasi molekul-molekul lain berubah sehingga terjadi aliran difusi dan osmosis yang terus-menerus dari sel ke luar atau dari luar ke dalam sel. Agar Anda dapat memahami proses plasmolisis, lakukanlah **Kegiatan 1.3** berikut.

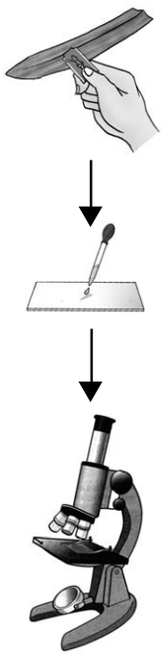
Kegiatan 1.3

Plasmolisis pada Sel Tumbuhan

Tujuan
Memahami dan menunjukkan peristiwa plasmolisis pada sel tumbuhan

Alat dan Bahan
Pisau silet, kaca objek, kaca penutup, mikroskop, daun *Rhoeo discolor* atau daun jagung (*Zea mays*), air garam, dan air murni (dapat diganti dengan air mineral)

Langkah Kerja
1. Bersama kelompok Anda, buatlah sayatan datar dan setipis mungkin dari bawah daun *Rhoeo discolor*. Mengapa sayatan yang dibuat harus setipis mungkin?
2. Simpan sayatan pada kaca objek, tetesi air, lalu tutup dengan kaca penutup.
3. Amati dengan mikroskop dengan pembesaran 200×. Perhatikan keadaan sitoplasma. Gambarkan hasil pengamatan Anda dalam buku latihan.
4. Tetesi sediaan dengan air garam sedikit demi sedikit. Isap kelebihan air menggunakan kertas isap.
5. Amati kembali bentuk sel-sel daun tersebut. Apa yang terjadi? Gambarkan hasil pengamatan Anda. Bandingkan hasilnya dengan pengamatan pertama.
6. Tetesi kembali sediaan dengan air murni dan amati. Apa yang terjadi?
7. Presentasikan dan diskusikan hasil pengamatan Anda di depan kelas.



Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Perubahan apa yang terjadi setelah sediaan ditetesi air garam?
2. Jelaskan peristiwa osmosis yang terjadi pada sel daun setelah ditetesi air garam.
3. Apa yang terjadi pada sel yang ditetesi air murni kembali?

3. Transpor Aktif

Perbedaan utama antara transpor aktif, osmosis, dan difusi adalah energi yang dikeluarkan sel. Pada osmosis dan difusi, sel tidak mengeluarkan energi apapun untuk memindahkan zat melewati membran sel karena zat berpindah sesuai dengan gradien konsentrasi. Dengan kata lain, difusi dan osmosis terjadi secara spontan.

Transpor aktif merupakan mekanisme pemindahan molekul atau zat tertentu melalui membran sel, berlawanan arah dengan gradien konsentrasi. Oleh karena itu, harus ada energi tambahan dari sel yang digunakan untuk membantu perpindahan tersebut.

Energi tambahan yang digunakan dalam proses transpor aktif berasal dari ATP yang dihasilkan oleh mitokondria melalui proses respirasi. Selain itu, pada membran sel terdapat lapisan protein. Salah satu jenis protein yang terdapat di membran sel tersebut adalah protein transpor. Protein transpor mengenali zat tertentu yang masuk atau keluar sel.

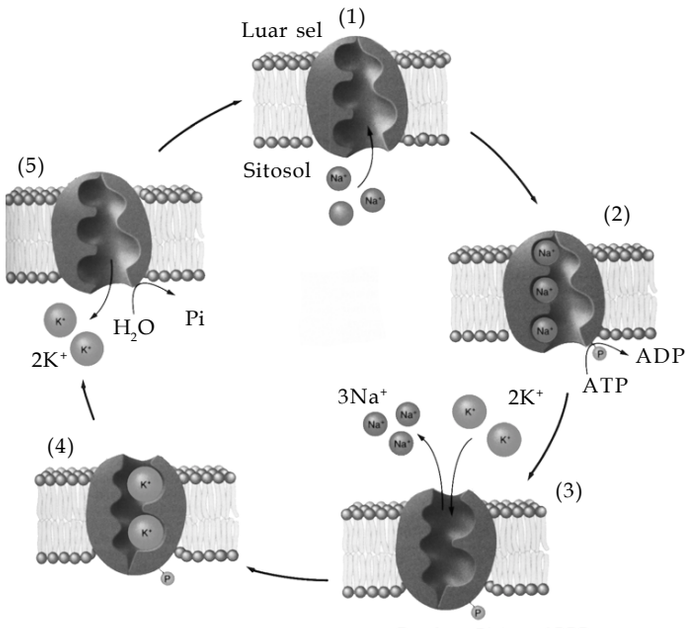
Wawasan Biologi

Sel tidak memiliki kontrol yang sempurna terhadap zat yang boleh masuk dan keluar. Racun, seperti karbon monoksida dan sianida, dapat dengan mudah memasuki sel dan membunuhnya.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Zat yang dipindahkan dengan cara transpor aktif pada umumnya adalah zat yang memiliki ukuran molekul cukup besar sehingga tidak mampu melewati membran sel. Sel mengimbangi tekanan osmosis lingkungannya dengan cara menyerap atau mengeluarkan molekul-molekul tertentu. Dengan demikian, terjadi aliran air masuk atau keluar sel. Kemampuan mengimbangi tekanan osmosis dengan transpor aktif menjadi sangat penting untuk bertahan hidup.

Pompa natrium kalium merupakan contoh transpor aktif yang banyak ditemukan pada membran sel. Perpindahan molekul ini menggunakan energi ATP untuk mengeluarkan natrium (Na^+) keluar sel dan bersama dengan itu memasukkan kalium (K^+) ke dalam sel. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.16
Proses transpor aktif Na^+ dan K^+.

Ion Na^+ dan K^+ dengan transpor aktif dapat melewati membran sel. (1) Ion Na^+ terikat pada suatu tempat di protein membran. (2) Ion Na^+ tersusun dengan formasi tertentu untuk dilepaskan ke luar sel. (3) Ion K^+ dari luar diikat. (4) Hal ini merangsang membran sel untuk kembali ke bentuk semula. (5) Ion K^+ dilepaskan protein membran dan masuk ke dalam sel.

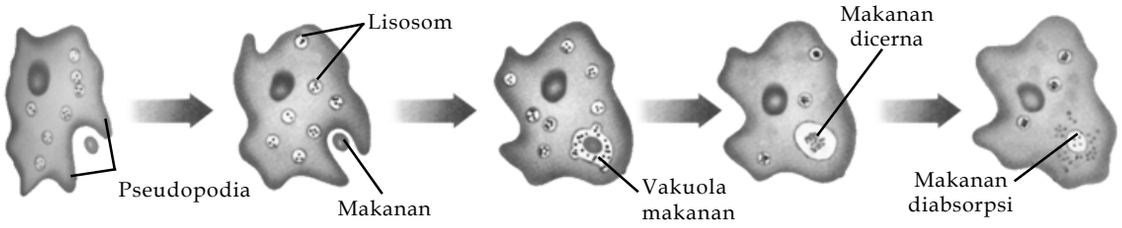
Kata Kunci

- Eksositosis
- Endositosis
- Fagositosis
- Pinositosis
- Pompa natrium kalium

4. Endositosis

Endositosis merupakan mekanisme pemindahan benda dari luar ke dalam sel. Istilah endositosis berasal dari bahasa Yunani, *endo* artinya ke dalam dan *cytos* artinya sel. Membran sel membentuk pelipatan ke dalam (invaginasi) dan "memakan" benda yang akan dipindahkan ke dalam sel. Di dalam sel, benda tersebut dilapisi oleh sebagian membran sel yang terlepas membentuk selubung.

Proses makan pada *Amoeba* adalah contoh mudah untuk menggambarkan proses endositosis. Endositosis membran sel pada *Amoeba*, akan membentuk vakuola (**Gambar 1.17**). Pada vakuola ini, tempat makanan dicerna, diserap, dan dikeluarkan sisa-sisa. Bagaimanakah tahapan endositos pada *Amoeba* itu?

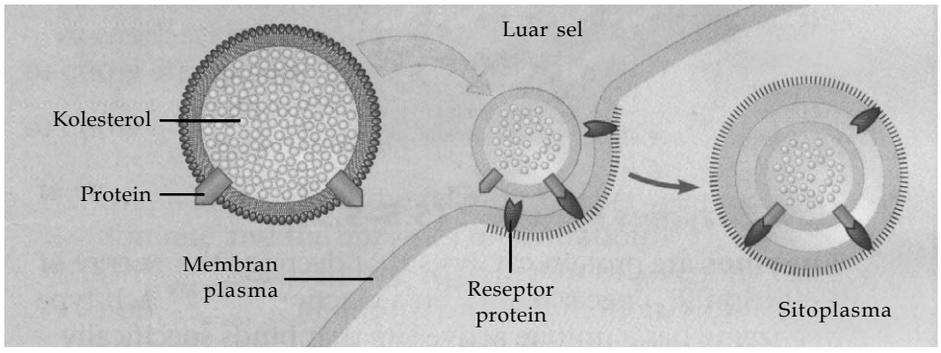


Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 1.17
Proses fagositosis pada *Amoeba*.
Apa fungsi pseudopodia?

Terdapat tiga bentuk endositosis, yaitu **fagositosis**, **pinositosis**, dan **endositosis dengan bantuan reseptor**. Proses makan pada *Amoeba* merupakan contoh fagositosis. Pada proses fagositosis, benda yang dimasukkan ke dalam sel berupa zat atau molekul padat. Adapun pada pinositosis berupa zat cair.

Berbeda dengan fagositosis dan pinositosis, pada endositosis dengan bantuan reseptor hanya menerima molekul yang sangat spesifik. Di dalam lekukan membran plasma terdapat reseptor protein yang akan berikatan dengan protein molekul yang akan diterima sel (**Gambar 1.18**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

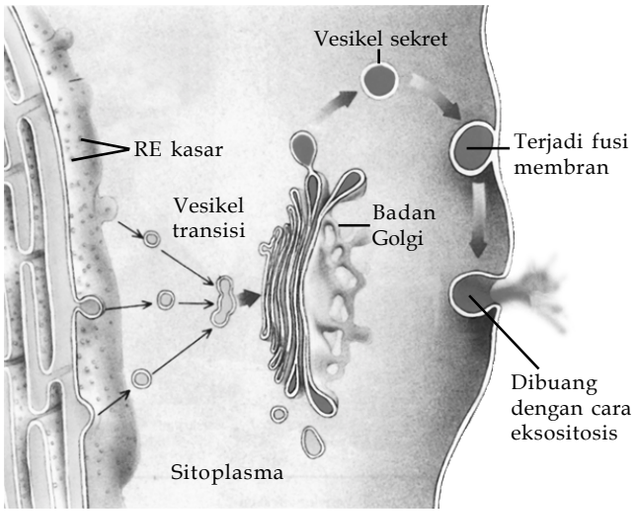
Gambar 1.18
Proses endositosis dengan bantuan reseptor. Pada proses ini, kolesterol dikenali dan dimasukkan ke dalam sel dengan bantuan reseptor protein.

5. Eksositosis

Proses *Amoeba* mengeluarkan sisa-sisa makanan melalui vakuolanya adalah satu contoh eksositosis. Istilah eksositosis berasal dari bahasa Yunani, *exo* artinya keluar dan *cytos* artinya sel. Vakuola atau selubung membran melingkupi sisa

zat makanan yang sudah dicerna. Kemudian, bergabung kembali dengan membran sel dan sisa zat makanan untuk di buang keluar sel.

Jadi, eksositosis adalah proses mengeluarkan benda dari dalam sel ke luar sel. Membran yang menyelubungi sel tersebut akan bersatu atau berfusi dengan membran sel. Cara ini adalah salah satu mekanisme yang digunakan sel-sel kelenjar untuk menyekresikan hasil metabolisme. Misalnya, sel-sel kelenjar di pankreas yang mengeluarkan enzim ke saluran pankreas yang bermuara di usus halus. Sel-sel tersebut mengeluarkan enzim dari dalam sel menggunakan mekanisme eksositosis (**Gambar 1.19**).



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 1.19
Proses pengeluaran sekret dapat dilakukan dengan cara eksositosis.

Organel sel apa yang berperan dalam eksositosis?

Pada umumnya, eksosistosis dan endositosis digunakan untuk memindahkan benda-benda yang berukuran besar. Kedua proses tersebut, saling menyeimbangkan luas permukaan plasma membran sehingga volume sel tidak harus menjadi lebih kecil dari semula.

Soal Penguasaan *Materi* 1.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

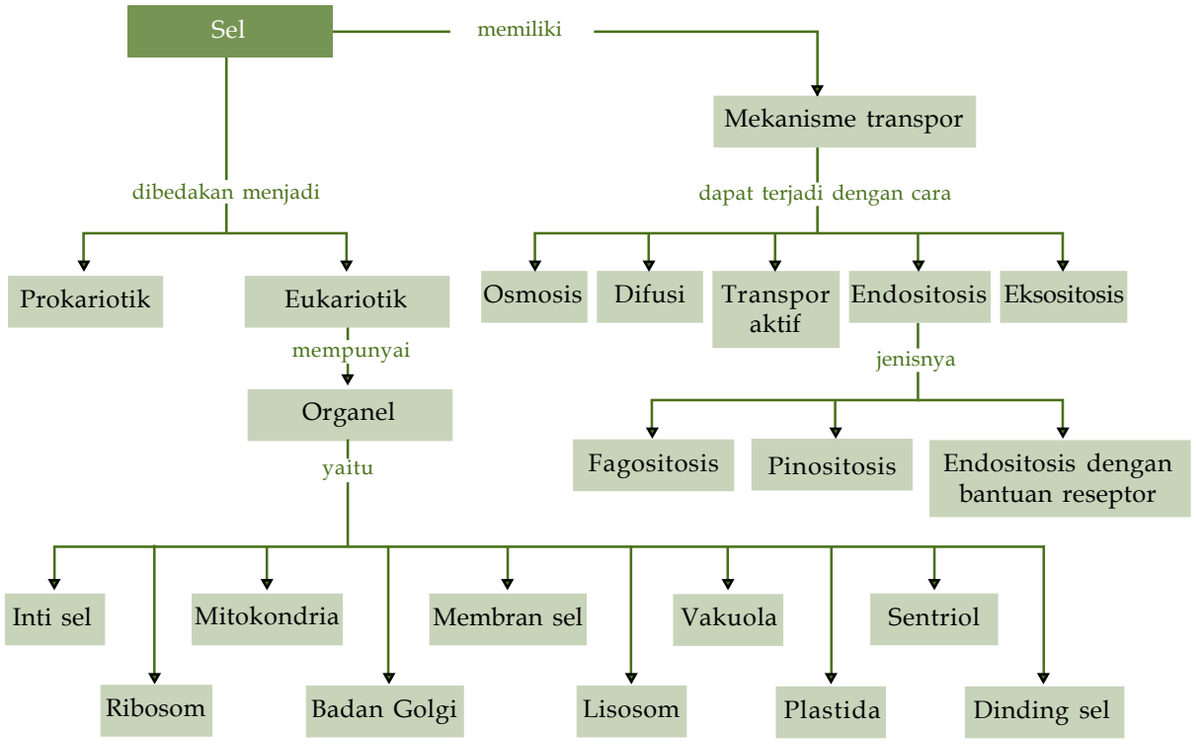
1. Jelaskan perbedaan difusi, osmosis, dan transpor aktif.
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan endositosis dan eksositosis.
3. Mengapa sangat penting bagi makhluk hidup untuk mempertahankan keseimbangan cairan tubuhnya?

Rangkuman

1. Berdasarkan ada tidaknya membran inti, sel dikelompokkan menjadi dua, yaitu sel prokariotik dan sel eukariotik. Sel prokariotik tidak memiliki membran inti, sedangkan sel eukariotik sudah memiliki membran inti.
2. Sel memiliki organel-organel yang membantu dalam aktivitasnya. Organel-organel tersebut, antara lain inti sel, retikulum endoplasma, badan Golgi, mitokondria, lisosom, sentriol, vakuola, dan plastida.
3. Sel melakukan transpor zat-zat ke dalam maupun ke luar selnya. Mekanisme transpor tersebut di antaranya melalui difusi, osmosis, transpor aktif, endositosis, dan eksositosis.
4. Pada difusi, terjadi perpindahan zat terlarut dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi rendah.
5. Osmosis adalah proses difusi air sebagai pelarut, melewati sebuah membran semipermeabel.
6. Peristiwa mengerutnya sitoplasma dan terlepas dari dinding sel tumbuhan disebut plasmolisis.

7. Cara sel mempertahankan tekanan osmotiknya disebut osmoregulasi.
8. Perpindahan zat pada sel yang melawan gradien konsentrasi dan menggunakan energi disebut transpor aktif.
9. Endositosis berupa masuknya zat atau benda ke dalam sel dengan membentuk pelipatan dan membentuk seludang (vakuola). Endositosis dapat dibedakan menjadi fagositosis, pinositosis, dan endositosis dengan bantuan reseptor.
10. Eksositosis berupa pengeluaran zat atau benda dari sel menggunakan vakuola. Mekanisme ekositosis digunakan untuk sekresi hasil metabolisme.

Peta Konsep



Kaji Diri

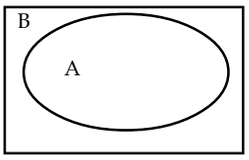
Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi sel? Ternyata, banyak misteri kehidupan yang dapat Anda ungkap dari sebuah benda kecil yang disebut sel. Sel merupakan unit struktural dan fungsional terkecil dari makhluk hidup.

Setelah mempelajari bab Sel, Anda harus dapat mendeskripsikan komponen kimiawi sel, struktur, dan fungsi sel sebagai unit terkecil kehidupan; mengidentifikasi organel sel tumbuhan dan hewan; dan membandingkan mekanisme transpor pada membran. Jika Anda belum mampu menguasai ketiga hal tersebut, belajarlah lagi dengan lebih baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

Evaluasi Materi Bab 1

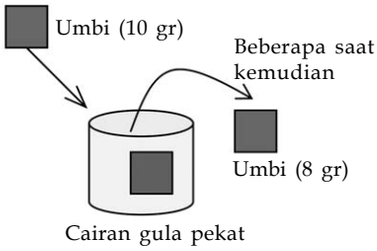
A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Perbedaan sel prokariotik dan sel eukariotik terutama terletak pada ....
   a. membran inti sel
   b. DNA
   c. besar sel
   d. tempat hidup sel
   e. membran sel
2. Berikut yang merupakan contoh sel prokariotik adalah ....
   a. Cyanobacteria dan bakteri
   b. Cyanobacteria dan jamur
   c. jamur dan bakteri
   d. bakteri dan lumut
   e. protozoa dan lumut
3. Materi genetik sebuah sel eukariotik tersimpan di ....
   a. badan Golgi
   b. nukleus
   c. kloroplas
   d. ribosom
   e. mitokondria
4. Sebagian besar ATP dihasilkan di organ ....
   a. badan Golgi
   b. nukleus
   c. kloroplas
   d. ribosom
   e. mitokondria
5. Organel yang memilih, memodifikasi, dan membungkus protein yang baru disintesis adalah ....
   a. badan Golgi
   b. nukleus
   c. kloroplas
   d. ribosom
   e. mitokondria
6. Organel yang dibatasi membran dan berisi enzim percernaan disebut ....
   a. lisosom
   b. RE halus
   c. silia
   d. badan Golgi
   e. mitokondria
7. Saluran yang berlipat-lipat dan tertutup membran dengan ribosom pada permukaan membrannya disebut ....
   a. lisosom
   b. RE halus
   c. RE kasar
   d. badan Golgi
   e. mitokondria
8. Organel berikut merupakan organel yang berperan dalam hal fotosintesis, adalah ....
   a. mitokondria
   b. kloroplas
   c. vakuola kontraktil
   d. badan Golgi
   e. anak inti (nukleolus)
9. Organel-organel yang berperan dalam sintesis enzim yang dibutuhkan untuk mencerna makanan di dalam usus halus adalah ....
   a. retikulum endoplasma
   b. badan Golgi
   c. mitokondria
   d. ribosom
   e. membran inti sel
10. Pada tahap pembentukan organ, sel-sel yang berada di antara jari tangan mengalami kematian sehingga embrio memiliki jari-jari. Organel yang berperan dalam proses kematian sel tersebut adalah ....
    a. mitokondria
    b. inti sel
    c. lisosom
    d. mikrofilamen
    e. sentriol
11. Perhatikan gambar berikut.



Misalkan, sebuah sel (A) ditempatkan di dalam wadah (B) yang berisi cairan gula pekat. Hal yang akan terjadi adalah ....
   a. air akan mengalir dari B ke A dan sel akan mengalami lisis
   b. gula akan masuk ke dalam sel dan sel akan mengalami lisis
   c. gula akan tetap berada di B dan air mengalir keluar dari dalam sel A
   d. tidak terjadi aliran pergerakan molekul gula dan air
   e. terjadi pergerakan air yang konstan antara A dan B

12. Mengerutnya sitoplasma dan terlepas dari dinding sel pada tumbuhan disebut ....
    a. endositosis
    b. osmoregulasi
    c. lisis
    d. eksositosis
    e. plasmolisis
13. Naik turunnya tekanan turgor dari sel bergantung dari ....
    a. banyak-sedikitnya air di dalam sel
    b. tebal dan tipisnya dinding sel
    c. kepekatan isi sel
    d. macam sel
    e. banyak-sedikitnya zat
14. Larutan gula 10% dalam kantung semipermeabel dimasukkan dalam bejana berisi larutan gula 30%. Pernyataan yang benar adalah ....
    a. larutan dalam kantung semipermeabel hipertonik
    b. larutan dalam bejana isotonik
    c. larutan dalam bejana hipertonik
    d. larutan dalam kantung semipermeabel isotonik
    e. larutan dalam bejana hipotonik
15. *Amoeba* mendapatkan mangsa dengan cara ...
    a. pinositosis
    b. difusi
    c. fagositosis
    d. osmosis
    e. transpor aktif
16. Peristiwa difusi terjadi pada hal-hal berikut, *kecuali* ....
    a. potongan umbi kentang dalam air
    b. parfum yang disemprotkan dalam ruangan
    c. tinta yang diteteskan dalam air
    d. teh celup dalam air panas
    e. asap rokok dalam ruangan
17. Eksositosis dilakukan sel untuk ....
    a. mencari makan
    b. mencerna makanan
    c. sintesis protein
    d. menyimpan makanan cadangan
    e. mengeluarkan zat sisa
18. Perhatikan skema berikut.



    Keadaan ini terjadi karena air berpindah dari larutan ....
    a. hipertonis ke hipotonis
    b. hipotonis ke hipertonis
    c. hipertonis ke isotonis
    d. isotonis ke hipertonis
    e. hipotonis ke isotonis
19. Tekanan osmosis sel tumbuhan ditentukan oleh konsentrasi air dan zat-zat terlarut. Persyaratan sifat kimia agar air atau zat lain dalam tanah dapat masuk ke dalam sel akar adalah ....
    a. konsentrasi zat terlarut dalam sel lebih tinggi dari konsentrasi zat terlarut di luar sel
    b. konsentrasi zat terlarut dalam sel lebih rendah dari konsentrasi zat terlarut di luar sel
    c. konsentrasi zat terlarut dalam sel sama dengan konsentrasi zat terlarut di luar sel
    d. konsentrasi air dalam sel lebih tinggi dari konsentrasi air di luar sel
    e. konsentrasi air dalam sel sama dengan konsentrasi air di luar sel
20. Pada eksperimen osmosis sel tumbuhan, disiapkan tiga potongan kentang berbentuk silinder dengan ukuran dan berat yang sama. Kentang A direndam dalam larutan gula 5%, kentang B dalam larutan gula 10%, dan kentang C dalam larutan gula 15%. Lama perendaman 30 menit.

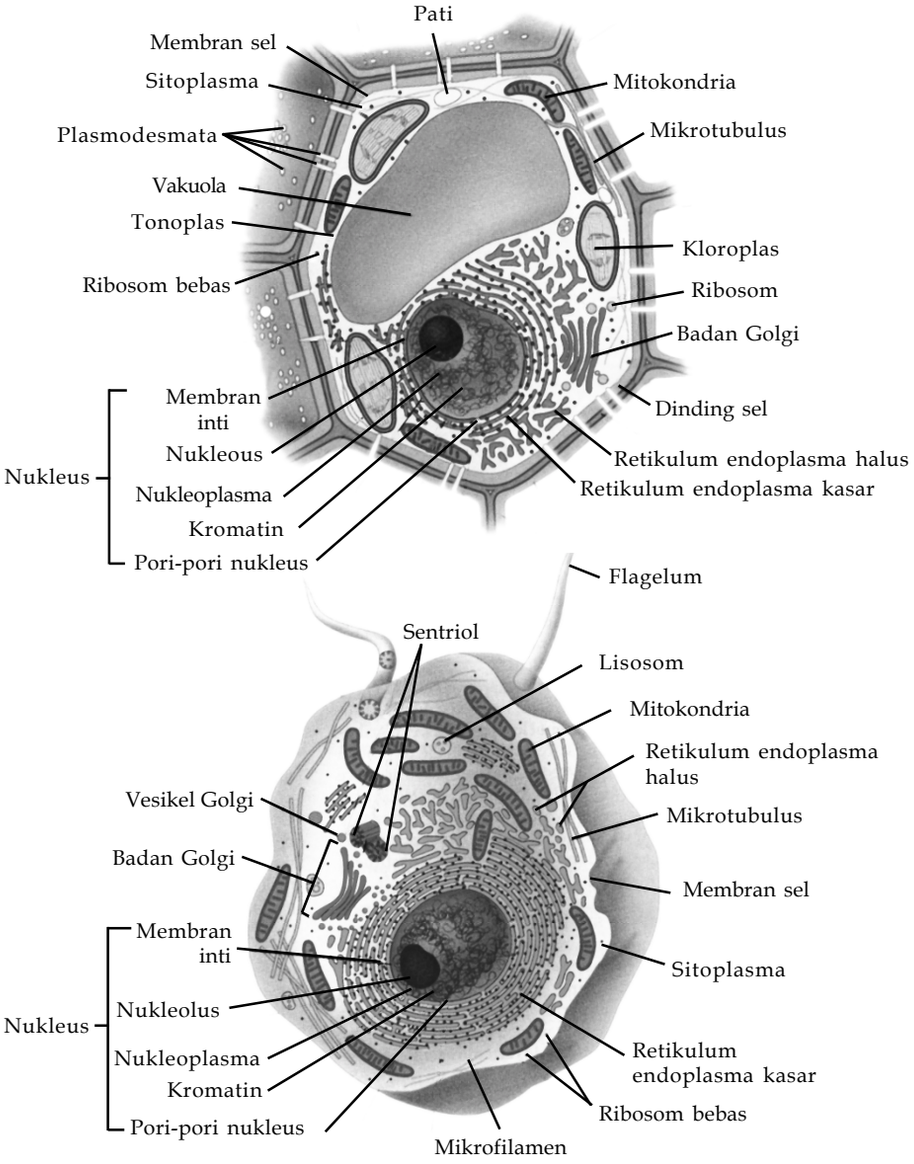
    Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Kentang	Gula	Hilang berat
A	5%	0,3 g
B	10%	0,7 g
C	15%	1,8 g

    Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa hilangnya berat kentang disebabkan oleh ....
    a. cairan sel hipertonis terhadap larutan gula
    b. cairan gula hipertonis terhadap larutan sel
    c. larutan gula hipertonis terhadap cairan sel
    d. larutan gula dan cairan sel isotonis
    e. larutan gula dan cairan sel osmosis

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Perhatikan gambar sel tumbuhan dan sel hewan berikut.

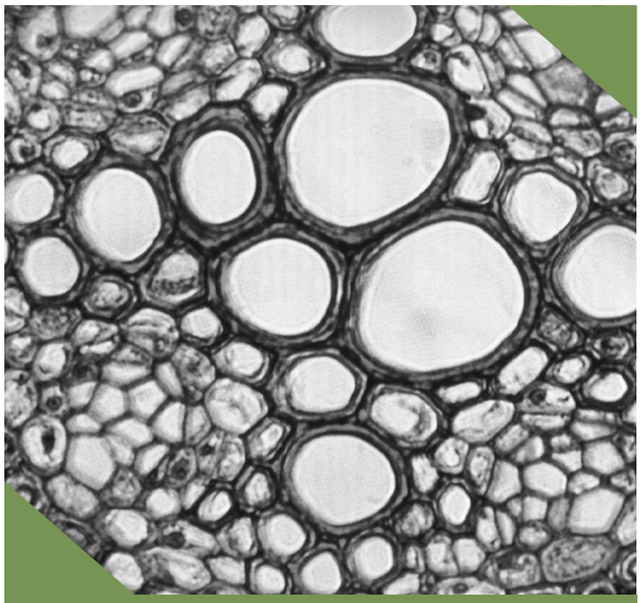


Berdasarkan gambar tersebut, apakah perbedaan antara sel hewan dan sel tumbuhan?

2. Seorang ilmuwan melakukan percobaan dengan membandingkan jumlah mitokondria dari dua buah sel. Sel yang pertama diambil dari otot betis seorang pelari marathon, sedangkan sel yang kedua diambil dari otot seorang programer komputer yang jarang berolahraga. Dapatkah Anda menarik hipotesis, sel mana yang paling banyak memiliki mitokondria? Jelaskan
3. Apakah perbedaan antara difusi, osmosis, dan transpor aktif?
4. Sebutkan organel sel yang hanya terdapat pada sel tumbuhan dan jelaskan fungsinya.
5. Mekanisme transpor pada membran dapat melalui beberapa proses. Sebutkan oleh Anda proses tersebut.

Soal Tantangan

Suatu virus berukuran kecil menginfeksi sel-sel tumbuhan dengan cara menembus dinding sel dan membran sel tumbuhan tersebut. Ketika sudah berada di dalam sel tumbuhan, virus tersebut dapat secara cepat menyebar ke sel-sel lainnya tanpa harus menembus membran sel tumbuhan lagi. Mengapa hal itu dapat terjadi?



Sumber: *Botany*, 1995

Bab 2
Struktur Tumbuhan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami hubungan antara bentuk dan fungsi jaringan pada tumbuhan. Oleh karena itu, Anda harus mampu menjelaskan struktur dan fungsi jaringan tumbuhan serta kaitannya. Selain itu, Anda harus mampu menjelaskan prinsip dasar dari kultur jaringan tumbuhan.

Pengetahuan tentang struktur tumbuhan sangat berguna bagi manusia. Seperti yang telah dipahami sebelumnya, tumbuhan adalah produsen bagi kehidupan yang ada di Bumi. Oleh karena itu, hampir semua makhluk hidup bergantung pada tumbuhan.

Pada bab sebelumnya, Anda telah mempelajari seluk-beluk sel. Telah Anda ketahui pula bahwa makhluk hidup tersusun atas sel-sel. Namun, tahukah Anda bahwa sel-sel di dalam tubuh makhluk hidup tersebut saling berhubungan? Sel-sel akan saling berhubungan membentuk suatu kumpulan sel yang disebut jaringan.

Ada berapa jenis jaringan yang menyusun tubuh tumbuhan? Apakah jaringan-jaringan tersebut akan membentuk organ? Organ apa saja yang terdapat pada tumbuhan? Semua pertanyaan tersebut dapat Anda temukan jawabannya jika Anda memahami bab berikut. Pelajarilah bab berikut sehingga Anda dapat mengerti dan memanfaatkan tumbuhan sebaik mungkin.

A. Jaringan pada Tumbuhan
B. Sistem Jaringan pada Tumbuhan
C. Organ pada Tumbuhan
D. Kultur Jaringan Tumbuhan

Soal *Prameteri*

1. Apakah yang dimaksud dengan jaringan?
2. Organ apa saja yang dimiliki tumbuhan?

A Jaringan pada Tumbuhan

Masih ingatkah Anda apa yang dimaksud dengan sel? Sel terdapat pada makhluk uniseluler dan multiseluler. Pada semua makhluk hidup multiseluler, kumpulan sel bekerja bersama-sama membentuk jaringan. Berdasarkan proses perkembangannya, jaringan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu **jaringan muda** (meristem) dan **jaringan dewasa**. Pada jaringan muda, sel-selnya belum terspesialisasi dan belum dapat dibedakan fungsinya, sedangkan pada jaringan dewasa sel-selnya sudah memiliki fungsi serta struktur yang khusus.

1. Jaringan Meristem

Jaringan meristem merupakan kumpulan sel yang selalu aktif membelah. Sel meristem membelah secara mitosis untuk menghasilkan sel baru bagi pertumbuhan dan perkembangan. Sel meristem memiliki dinding sel yang tipis dan sitoplasma yang besar.

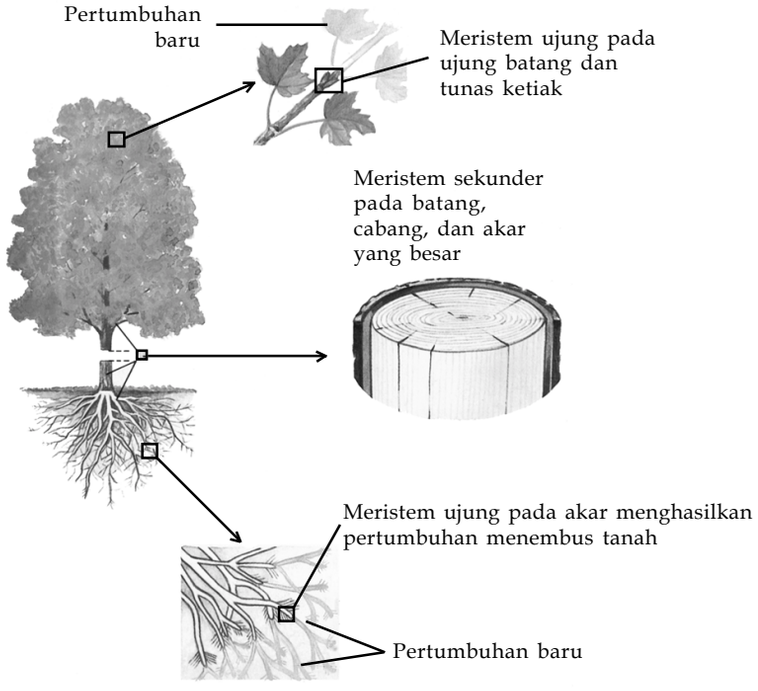
Jaringan meristem dapat ditemukan pada ujung (*apex*) akar atau batang. Jaringan tersebut disebut juga *apical meristem* (**meristem ujung**). Meristem pada ujung akar disebut **meristem ujung akar**, sedangkan di ujung batang disebut **meristem pucuk**. Semua pertumbuhan yang berasal dari meristem ujung disebut **pertumbuhan primer**. Hal tersebut meliputi sel dan jaringan yang dibentuknya. Aktivitas meristem ujung akan menyebabkan pemanjangan pada akar dan batang, pembentukan cabang batang dan akar, serta pembentukan organ reproduksi (bunga). Meristem ujung ini disebut juga **meristem primer**.

Tokoh **Biologi**

Karl Nageli
(1817 – 1891)

Karl Nageli adalah seorang ahli botani yang berasal dari negara Swiss. Ia melakukan penelitian mengenai perkembangan tumbuhan, jaringan, dan pembelahan sel.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994



Gambar 2.1
Letak beberapa jaringan meristem pada tumbuhan.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Lapisan jaringan meristem juga dapat ditemukan pada batang. Meristem ini disebut *lateral meristem* (**meristem lateral**) dan merupakan **meristem sekunder**. Karena jaringan meristem lateral ini merupakan sel kambium yang membentuk pembuluh batang, terkadang disebut juga *vascular cambium* (**kambium**

pembuluh). Kambium merupakan lapisan sel bersifat meristematis (terus membelah) yang berperan memperbesar batang. Meristem lateral umumnya terdapat pada tumbuhan dikotil, seperti pohon jati, mangga, dan rambutan. Aktivitas meristem lateral ini akan menyebabkan batang dan akar bertambah diameternya. Hal ini disebut **pertumbuhan sekunder**. Tumbuhan monokotil tidak memiliki kambium pembuluh sehingga tidak terjadi pelebaran diameter batang. Sekarang diskusikan peristiwa berikut. Seorang anak menancapkan sebuah paku pada sebuah pohon kelapa dengan jarak 20 cm dari tanah. Setelah satu tahun, di manakah kira-kira letak paku tersebut?

Kata Kunci

- Meristem primer
- Meristem sekunder
- Pertumbuhan primer
- Pertumbuhan sekunder

2. Jaringan Dewasa

Seperti yang telah Anda pelajari di Bab 1, sel tumbuhan memiliki struktur sel yang khas. Terdapat tiga struktur khas sel tumbuhan yang membedakannya dengan sel hewan, yaitu plastida, vakuola, dan dinding sel. Struktur sel tumbuhan dan dinding selnya memiliki hubungan dengan fungsi utama sel atau jaringan tersebut.

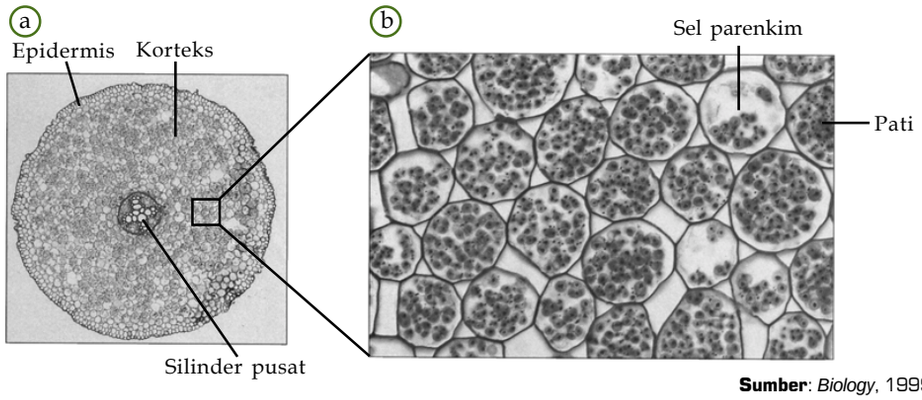
Sel-sel pada jaringan dewasa telah memiliki struktur yang khas. Terdapat lima jenis sel atau jaringan utama penyusun tumbuhan, yaitu **jaringan parenkim**, **jaringan kolenkim**, **jaringan sklerenkim**, **jaringan xilem**, dan **jaringan floem**.

a. Jaringan Parenkim

Jaringan parenkim merupakan jaringan yang banyak terdapat ruang antarsel sehingga sel-selnya tersusun longgar. Sel-sel parenkim memiliki organel sel yang lengkap. Dengan demikian, sel-sel jaringan parenkim ini masih dapat berkembang karena masih bersifat meristematik. Ketika organ terluka, jaringan parenkim menyembuhkan dan membentuk jaringan penggantinya.

Sel-sel parenkim yang ada di daun memiliki kloroplas sehingga dapat melakukan fotosintesis. Pada beberapa jenis tumbuhan, sel-sel parenkim yang berada di akar dan batang memiliki plastida yang berfungsi sebagai cadangan makanan berupa pati (amilum) dan disebut **amiloplas** (**Gambar 2.2**).

Beberapa jenis tumbuhan, memiliki sel parenkim dengan vakuola yang cukup besar untuk menyimpan damar atau getah. Secara umum, sel parenkim berfungsi dalam fotosintesis, respirasi, sekresi, serta penyimpanan makanan cadangan dan air.



Sumber: *Biology*, 1999

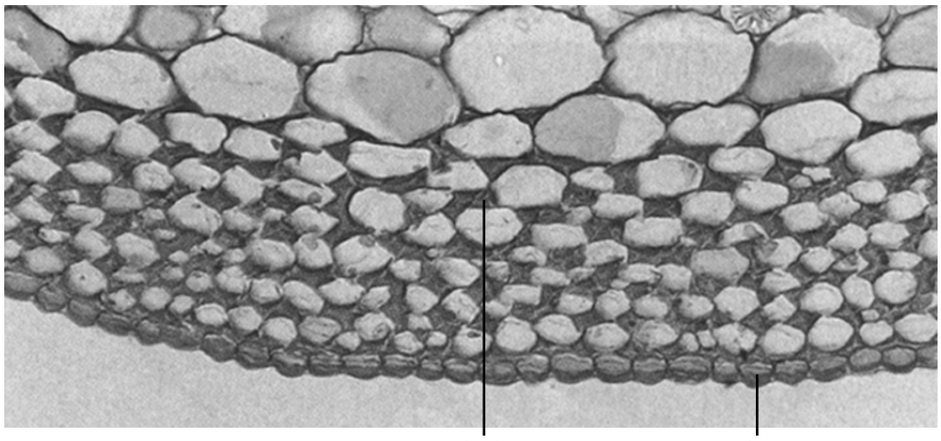
Gambar 2.2

(a) Irisan melintang akar *Ranunculus*. (b) Di korteks terdapat sel-sel parenkim yang memiliki amiloplas, tempat pati disimpan.

Bagaimana struktur jaringan parenkim?

b. Jaringan Kolenkim

Jaringan kolenkim terdiri atas sel-sel yang mengalami penebalan selulosa di bagian sudut dinding selnya. Sel-sel pada jaringan kolenkim pada umumnya tidak memiliki protoplas dan dinding sel sekunder. Akan tetapi, memiliki dinding primer yang lebih tebal dibandingkan dengan dinding sel parenkim (**Gambar 2.3**).



Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 2.3
Jaringan kolenkim berfungsi mendukung bagian tubuh tumbuhan yang masih muda.

Karena tidak memiliki dinding sel sekunder dan hanya memiliki dinding sel primer yang tidak berlignin, jaringan kolenkim dapat menunjang organ-organ muda tanpa menghambat pertumbuhannya. Jadi, fungsi utama jaringan kolenkim adalah sebagai penopang organ-organ muda.

c. Jaringan Sklerenkim

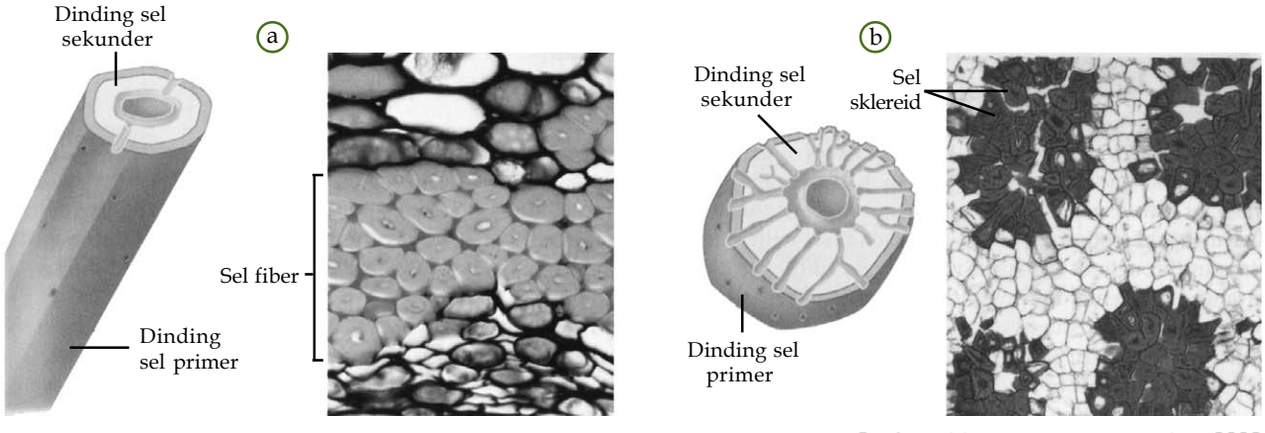
Pada penjelasan sebelumnya jaringan kolenkim berfungsi menunjang organ-organ muda. Adapun jaringan sklerenkim memiliki peran sebagai penyokong organ-organ tua. Ketika pertumbuhan pada organ sudah mulai berkurang, jaringan kolenkim yang dominan, perlahan digantikan perannya oleh jaringan sklerenkim yang jauh lebih kuat.

Jaringan sklerenkim merupakan jaringan sel yang mengalami penebalan di seluruh bagian dinding selnya. Dinding selnya lebih kuat dibandingkan dinding sel jaringan kolenkim. Hal tersebut dikarenakan sel sklerenkim memiliki lignin.

Berdasarkan ukuran selnya, sel sklerenkim dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu sebagai berikut.

1) **Fiber**
   Bentuknya panjang, ramping, dan seperti pita. Sering disebut juga sebagai serat (**Gambar 2.4a**). Karena kekuatannya, serat dapat digunakan untuk rami atau jenis tali lainnya.
2) **Sklereid**
   Bentuknya pendek dan tidak beraturan (**Gambar 2.4b**). Biasanya ditemukan di kulit yang melindungi kacang atau biji.

Gambar 2.4
(a) Sel fiber (serat) dan (b) sel sklereid.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

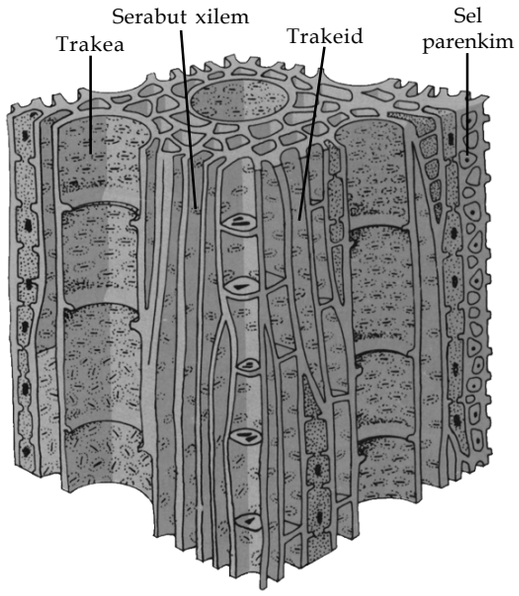
d. Jaringan Xilem

Jaringan xilem adalah jaringan pembuluh yang mengangkut mineral dan air dari dalam tanah ke daun untuk diolah menjadi bahan makanan melalui proses fotosintesis.

Pada tumbuhan, terdapat dua jenis xilem, yaitu **xilem primer** dan **xilem sekunder**. Xilem primer dibentuk pada pertumbuhan awal oleh jaringan meristem primer (prokambium). Sementara itu, xilem sekunder terbentuk dari hasil pertumbuhan kambium (meristem sekunder). Dalam jaringan xilem, terdapat beberapa jenis sel, di antaranya sebagai berikut.

1) Sel-sel yang terdapat di dalam **sistem trakea**.

Sel-sel pada sistem trakea berbentuk tabung yang disebut **sel trakea**. Satu sel tabung dengan sel tabung berikutnya terhubung di bagian ujungnya. Dinding sel di bagian ujung tersebut hilang sehingga keseluruhan sel berbentuk seperti tong (**Gambar 2.5**).



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Kata Kunci

- Sel trakea
- Sel trakeid
- Noktah

Gambar 2.5

Trakeid di xilem mempunyai noktah dan dinding selnya berlignin sehingga strukturnya kuat.

Selain sel trakea, terdapat sel yang lebih pendek dan runcing di ujung-ujungnya yang disebut **sel trakeid**. Dinding sel trakeid berlubang-lubang. Lubang-lubang tersebut disebut **noktah**. Dinding dalam sel-sel sistem trakea memiliki lignin atau zat kayu sehingga strukturnya kokoh.

2) **Serabut xilem**

Serabut xilem merupakan sel-sel panjang dengan ujung yang runcing. Dinding sel serabut xilem juga mengandung lignin dan noktah-noktah yang lebih sempit dibandingkan dengan trakeid.

3) **Parenkim**

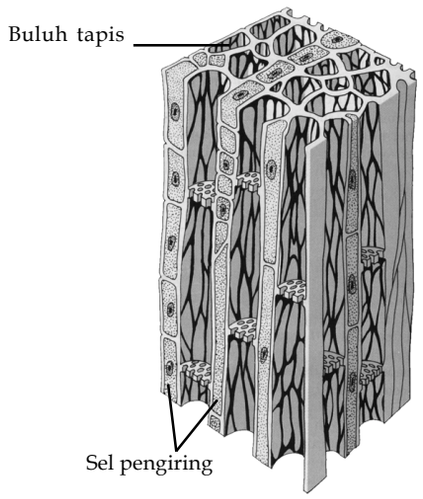
Sel-sel parenkim yang berada di xilem memiliki vakuola yang besar dan berisi makanan cadangan, tanin, getah, dan kristal.

e. Jaringan Floem

Jaringan floem berfungsi mengangkut hasil fotosintesis berupa karbohidrat ke seluruh bagian tumbuhan. Seperti halnya jaringan xilem, terdapat dua jenis floem berdasarkan asal pertumbuhannya yaitu **floem primer** dan **floem sekunder**. Dalam jaringan floem, terdapat beberapa jenis sel, di antaranya sebagai berikut.

1) **Sel buluh tapis**

Sel buluh tipis merupakan adalah sel-sel yang berbentuk tabung dengan bagian ujung-ujung yang bertemu sehingga membentuk sebuah saluran (**Gambar 2.6**). Pada bagian ujung yang bertemu tersebut, terdapat lubang-lubang. Bentuknya yang menyerupai saluran panjang dengan lubang-lubang tersebutlah yang membuat sel-sel ini disebut buluh tapis.



Gambar 2.6
Floem terdiri atas buluh tapis dengan lubang-lubang perforasi di ujung selnya.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

2) **Sel pengiring**

Sel pengiring merupakan sel hidup berbentuk silinder yang berada di dekat buluh tapis. Sel tersebut memiliki protoplas yang pekat. Sel buluh tapis adalah sel hidup yang sudah berdiferensiasi sehingga berspesialisasi menjadi sel pembuluh. Sel buluh tapis hidup tanpa inti sel. Sel pengiring dan sel buluh tapis membentuk satu kesatuan fisiologis sehingga jika sel buluh tapis tidak berfungsi, sel pengiringnya pun akan mati.

3) **Serabut floem**

Seperti pada serabut xilem, serabut floem juga berfungsi menopang floem. Serabut floem terdiri atas sel-sel yang memanjang dan tersusun rapat. Serabut floem memiliki dinding sel yang menebal.

4) **Parenkim**

Parenkim merupakan sel-sel hidup dengan vakuola yang melebar berisi makanan cadangan atau bahan-bahan sekresi.

Agar Anda dapat lebih memahami struktur jaringan pada tumbuhan, lakukanlah kegiatan berikut.

Kegiatan 2.1

Jaringan Tumbuhan

Tujuan

Mengamati dan menunjukkan jaringan penyusun akar dan batang

Alat dan Bahan

Silet, kaca objek dan kaca penutup, mikroskop, akar tumbuhan pacar air (*Impatiens* sp.) atau sediaan awetan sayatan melintang akar, dan batang pacar air atau sediaan sayatan melintang batang.

Langkah Kerja

1. Buatlah sayatan dari akar dan batang pacar air setipis mungkin.
2. Letakkan sayatan tersebut pada kaca objek, tetesi air dan tutup dengan kaca penutup. Amati dengan mikroskop.
3. Jika Anda menggunakan awetan, dapat langsung diamati dengan menggunakan mikroskop.

4. Gambarkan hasil pengamatan Anda di buku latihan. Berilah keterangan jaringan penyusun akar dan batang pada gambar tersebut.
5. Diskusikan bersama kelompok mengenai hasil pengamatan Anda.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Dapatkah Anda mengamati jaringan-jaringan penyusun akar dan batang? Sebutkan jaringan yang Anda amati.
2. Dapatkah Anda mengamati perbedaan setiap jaringan penyusun akar dan batang? Sebutkan.

Soal Penguasaan *Materi* 2.1

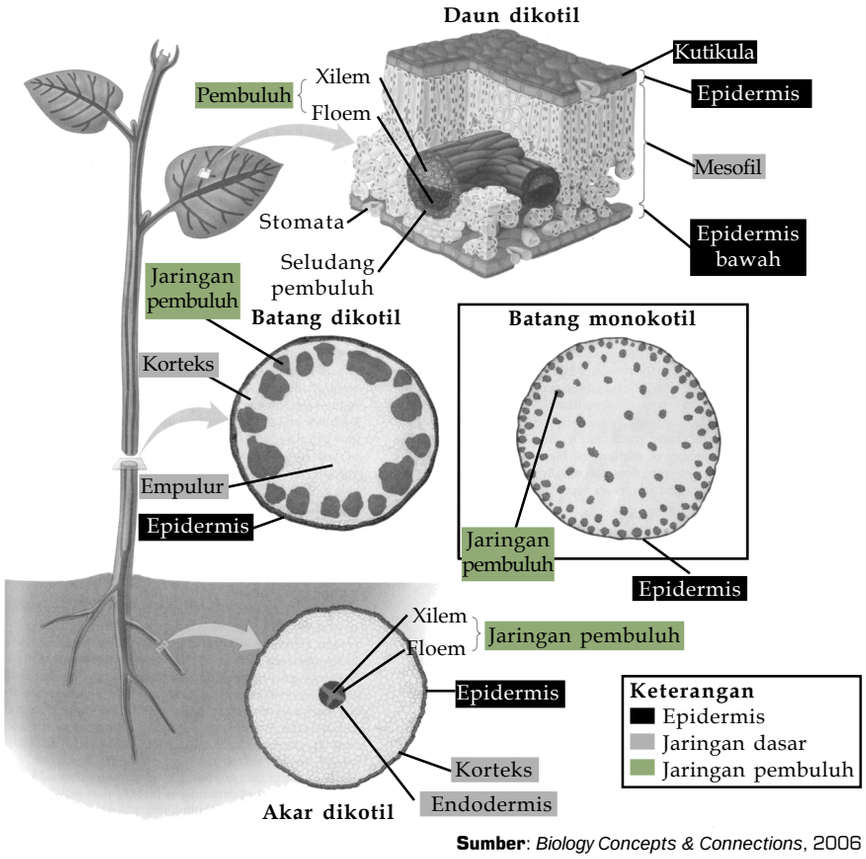
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan antara kolenkim, sklerenkim, dan parenkim.
2. Apa perbedaan jaringan meristem dan jaringan dewasa?
3. Sebutkan jenis-jenis sel yang terdapat di xilem dan floem.

B Sistem Jaringan pada Tumbuhan

Sebuah sistem jaringan pada tumbuhan mengandung satu atau lebih jaringan. Satu unit sistem jaringan tersebut akan tersusun menjadi sebuah unit yang memiliki suatu fungsi. Setiap organ pada tumbuhan terdiri atas tiga sistem jaringan, yaitu **sistem jaringan epidermis** (jaringan pelindung), **sistem jaringan pembuluh**, dan **sistem jaringan dasar** (Campbell, *et al*, 2006: 630).

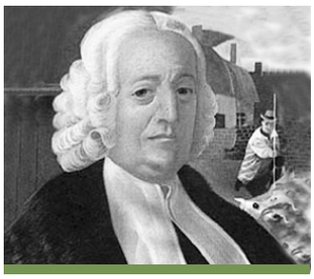
Ketiga sistem jaringan ini saling berhubungan pada setiap organnya. Namun, letak serta ciri khusus sistem jaringan pada setiap organ akan berbeda-beda. Perhatikan **Gambar 2.7**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 2.7
Tiga sistem jaringan tumbuhan. Setiap organ tumbuhan terdiri dari tiga sistem jaringan.

Tokoh **Biologi**



Stephen Hales (1677 – 1761)

Stephen Hales adalah penulis buku *egetable Staticks* yang diterbitkan tahun 1727. Buku tersebut menguraikan tentang struktur dan fungsi bagian-bagian tumbuhan.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

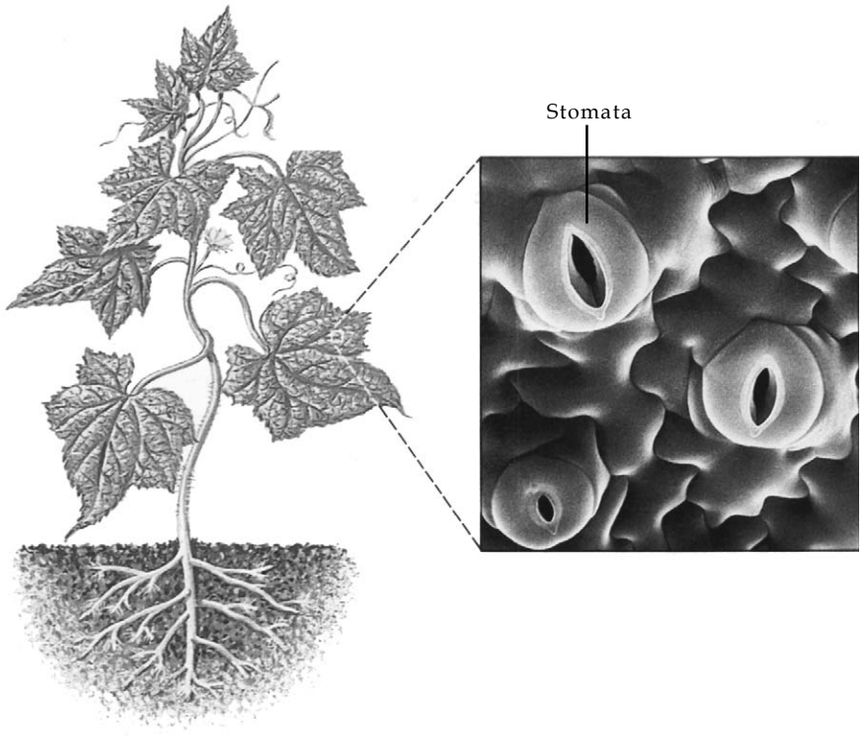
1. Sistem Jaringan Epidermis

Epidermis berasal dari kata *epi* yang artinya luar atau tepi dan *dermis* yang artinya kulit atau lapisan. Epidermis dapat diartikan sebagai kulit terluar. Seperti pada hewan, lapisan epidermis pada tumbuhan berada di bagian luar organ yang dilapisinya.

Lapisan sel epidermis tersusun rapat tanpa ruang antarsel. Pada jenis-jenis tumbuhan tertentu, sel-sel pada epidermis dapat bermodifikasi membentuk rambut, kelenjar, duri, atau serat. Epidermis pada beberapa jenis tumbuhan juga menyekresikan lapisan lilin untuk mencegah penguapan air yang berlebihan. Lapisan lilin tersebut dinamakan **kutikula**.

Fungsi utama jaringan epidermis adalah sebagai pelindung jaringan-jaringan lain yang berada di bawahnya. Namun demikian, ada beberapa bentuk modifikasi sel-sel epidermis yang tidak berkaitan dengan fungsi perlindungan, misalnya sebagai berikut.

1. Modifikasi membentuk **stomata** pada permukaan daun (**Gambar 2.8**). Stomata sangat penting untuk menunjang proses respirasi dan fotosintesis.
2. Modifikasi membentuk **lentisel**, yaitu daerah di lapisan gabus dengan susunan sel yang cukup renggang. Lentisel berperan dalam pertukaran gas di batang.
3. Modifikasi membentuk **rambut akar**. Rambut akar adalah perluasan sel epidermis yang berfungsi mengoptimalkan penyerapan air dan mineral dari dalam tanah.



Gambar 2.8
Stomata pada daun. Stomata merupakan modifikasi epidermis daun.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

2. Sistem Jaringan Pembuluh

Sistem jaringan pembuluh terdiri atas jaringan xilem dan floem. Sistem jaringan ini mengangkut zat-zat ke seluruh bagian tumbuhan. Penjelasan mengenai xilem dan floem telah Anda pelajari sebelumnya. Masih ingatkah Anda fungsi xilem dan floem?

3. Sistem Jaringan Dasar

Jaringan yang tidak termasuk sistem jaringan epidermis dan sistem jaringan pembuluh, membentuk sistem jaringan dasar. Sistem jaringan dasar ini banyak mengisi bagian dalam tumbuhan muda di antara epidermis dan sistem jaringan pembuluh.

Pada batang, sistem jaringan dasar yang berada di bagian dalam jaringan pembuluh disebut **empulur**, sedangkan di bagian luar disebut **korteks**. Namun, pada batang monokotil, sistem jaringan dasar tidak dibedakan atas empulur dan korteks (**Gambar 2.7**).

Pada akar, sistem jaringan pembuluh membentuk silinder pusat yang berisi jaringan pembuluh. Sistem jaringan dasar pada akar, seluruhnya berupa korteks. Bagian paling dalam korteks berupa **endodermis**. Jaringan endodermis membatasi korteks dengan silinder pusat.

Sistem jaringan dasar pada daun disebut **mesofil**. Mesofil berada di antara epidermis atas dan epidermis bawah. Mesofil mengandung sel parenkim dengan banyak kloroplas. Pada daun tumbuhan monokotil maupun dikotil, terdapat sistem jaringan pembuluh berupa pembuluh daun.

Soal Penguasaan *Materi* 2.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tiga sistem jaringan pada tumbuhan.
2. Apa perbedaan jaringan dan sistem jaringan?
3. Terdiri atas jaringan apakah sistem jaringan pada daun?
4. Terdiri atas apakah jaringan dasar pada batang?

C Organ pada Tumbuhan

Organ pada tumbuhan dibangun oleh jaringan-jaringan. Fungsi yang dijalankan oleh organ kadang sangat berbeda dengan fungsi jaringan-jaringan yang menyusunnya. Terdapat tiga organ utama pada tumbuhan, yaitu **batang**, **daun**, dan **akar**. Simaklah uraian berikut ini.

1. Batang

Batang berfungsi sebagai penunjang bagian atas tumbuhan, serta sebagai penghubung antara akar dan daun. Struktur batang sebenarnya tidak jauh berbeda dengan akar. Perbedaan utamanya adalah pada batang tidak terdapat lapisan endodermis. Jika batang dipotong melintang, bagian batang dari luar ke dalam, yaitu **epidermis**, **korteks**, dan **empulur**.

Epidermis tersusun atas lapisan sel yang rapat tanpa ruang antarsel. Setelah dewasa, seperti pada akar, fungsi epidermis digantikan oleh pertumbuhan kambium gabus. Kambium gabus memiliki sel yang mengalami penebalan gabus untuk mencegah penguapan air dari batang. Perlindungan kambium gabus ini sangat rapat sehingga gas pun tidak dapat masuk ke dalam sel. Namun demikian, kambium gabus seringkali membentuk lentisel, struktur yang terdiri atas sel-sel dan tersusun longgar yang berperan dalam pertukaran gas.

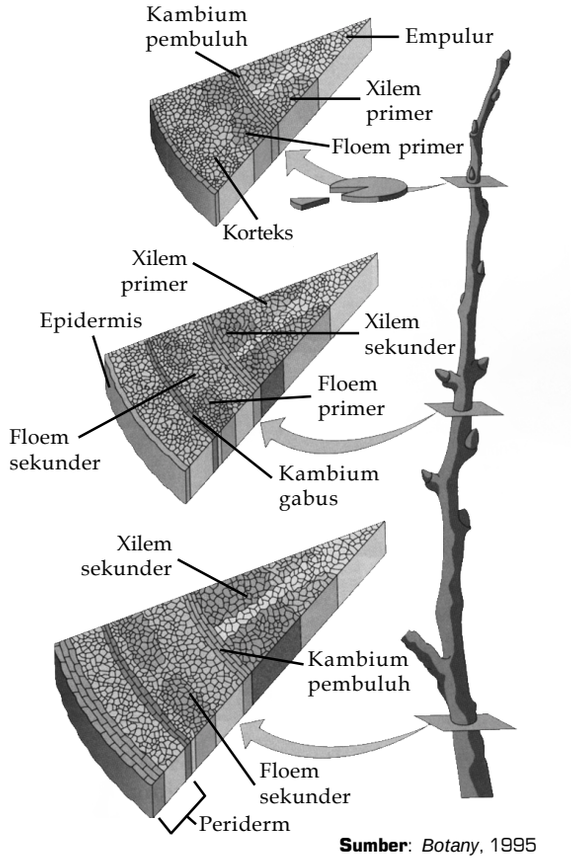
Kata Kunci

- Empulur
- Korteks
- Rambut akar
- Stomata

Korteks pada batang, terdiri atas beberapa jenis jaringan, yaitu jaringan parenkim dan jaringan penyokong yang tersusun atas sklerenkim dan kolenkim. Susunan sel-sel parenkim tidak beraturan sehingga banyak terdapat ruang antarsel. Sel-sel parenkim berdinding tipis dan pada saat batang masih muda, terdapat vakuola yang berisi makanan cadangan berupa amilum.

Jaringan pembuluh pada batang dikotil tersusun dalam lingkaran. Floem di bagian luar lingkaran dan berbatasan langsung dengan korteks. Sementara itu, xilem berbatasan dengan empulur dan terletak berhadapan dengan floem.

Di antara kedua jaringan tersebut, terdapat kambium pembuluh yang bersifat meristematik. Pada kayu yang dewasa, kambium pembuluh telah tumbuh ke arah luar membentuk floem sekunder dan ke arah dalam membentuk xilem sekunder (**Gambar 2.9**).



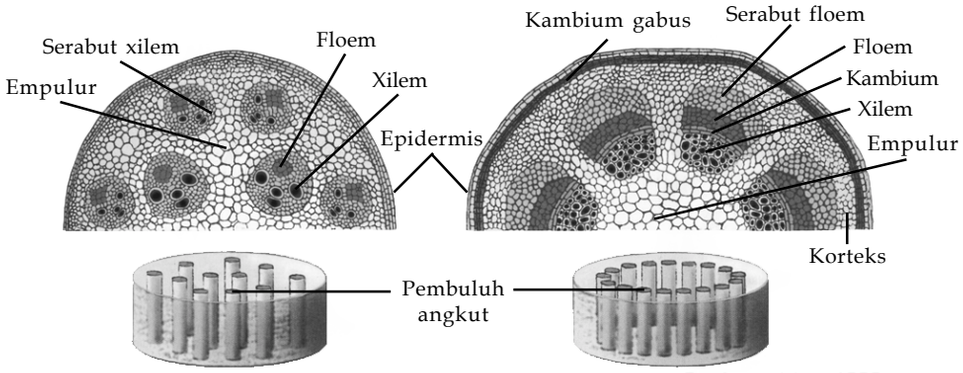
Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 2.9
Kambium pembuluh berdiferensiasi di antara xilem primer dan floem primer.

Empulur yang berada di bagian dalam lingkaran kambium pembuluh, sebenarnya terdiri atas jaringan parenkim yang juga berfungsi sebagai penyimpan makanan cadangan . Pada saat dewasa, beberapa jenis tumbuhan kayunya berlubang di bagian tengah. Hal tersebut disebabkan empulurnya mengalami degenerasi sehingga menciptakan ruang kosong di tengah kayu.

Susunan lapisan pada batang monokotil tidak terlalu berbeda dengan susunan lapisan batang dikotil. Pada batang monokotil, terdapat epidermis, korteks, jaringan pembuluh, dan empulur. Empulur pada monokotil sering pula disebut sebagai **jaringan dasar**. Empulur umumnya terdiri atas jaringan parenkim yang memiliki makanan cadangan.

Perbedaan utama antara batang dikotil dan monokotil adalah susunan jaringan pembuluhnya (**Gambar 2.10**). Pada batang tumbuhan dikotil, susunan jaringan pembuluh berada dalam satu lingkaran. Pada batang tumbuhan monokotil, jaringan pembuluhnya tersebar di empulur. Setiap floem dan xilem tersebut diselubungi oleh lapisan sel yang disebut **seludang berkas pengangkut**.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 2.10

Jaringan pembuluh pada tanaman (a) monokotil dan (b) dikotil.

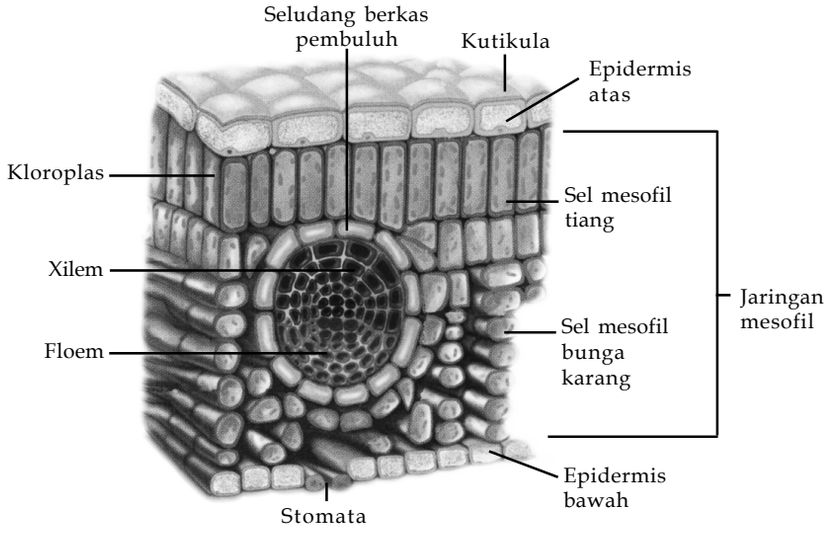
Apa perbedaannya?

2. Daun

Daun adalah organ utama tumbuhan yang berperan menghasilkan karbohidrat melalui proses fotosintesis. Amati **Gambar 2.11**. Ada berapa jenis jaringan penyusun daun? Apakah kaitan antara fotosintesis dan jaringan penyusun daun?

Kata Kunci

Mesofil



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 2.11

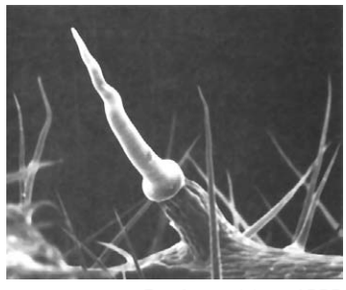
Jaringan pada daun. Proses fotosintesis lebih banyak terjadi di daun.

a. Epidermis Daun

Lapisan pertama pada daun yang melindungi lapisan lainnya adalah **epidermis**. Jaringan epidermis daun hanya terdiri atas satu lapis sel yang terdapat di bagian atas dan bawah daun.

Di epidermis terdapat stomata yang berperan dalam pertukaran gas. Pada umumnya, stomata banyak ditemukan pada bagian bawah daun. Akan tetapi, pada tumbuhan air yang mengapung, seperti teratai, hanya memiliki stomata di permukaan atas daun. Kutikula pada daun dapat dilihat sebagai lapisan bening yang tahan air.

Dengan bantuan mikroskop, pada permukaan daun dapat dilihat trikom dan rambut kelenjar. Trikom terdiri atas beberapa jenis, bentuknya pun amat unik bergantung jenis tumbuhannya (**Gambar 2.12**). Trikom pun merupakan modifikasi dari epidermis daun.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 2.12

Trikom merupakan modifikasi dari epidermis.

b. Mesofil Daun

Mesofil mengisi bagian tengah daun. Pada umumnya, mesofil diisi oleh jaringan parenkim. Berdasarkan susunannya, bagian mesofil ini dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu **mesofil tiang** dan **mesofil bunga karang**.

Mesofil tiang (*palisade*) tersusun atas sel-sel parenkim berbentuk silinder yang tersusun rapat. Sel-sel parenkim tersebut memiliki klorofil. Pada umumnya, mesofil tiang hanya terdapat di bagian atas daun. Namun, beberapa jenis tumbuhan ada yang memiliki mesofil tiang di bagian atas dan bawah daun.

Seperti mesofil tiang, sel-sel mesofil bunga karang (*spons*) juga memiliki klorofil. Mesofil bunga karang terbentuk dari sel-sel parenkim yang bercabang-cabang dengan susunan yang renggang. Dengan demikian, banyak terdapat ruang antarsel di mesofil bunga karang.

Pernahkah Anda memetik sebuah daun dan memerhatikan apa yang terjadi? Beberapa jenis daun mengeluarkan getah, beberapa yang lain mengeluarkan bau menyengat.

Getah memiliki saluran tersendiri yang dibentuk oleh sel-sel yang tersusun menyerupai saluran di antara mesofil bunga karang. Beberapa sel khusus, menyimpan bahan sekresi dalam vakuolanya. Oleh karena itu, ketika selnya terganggu atau rusak ketika dipetik, vakuola akan pecah dan isinya keluar.

Kegiatan 2.2

Struktur Daun

Tujuan

Mengamati dan menunjukkan jaringan penyusun organ daun

Alat dan Bahan

Silet, kaca objek dan kaca penutup, mikroskop, daun tanaman dikotil atau sediaan awetan sayatan melintang daun, dan potongan wortel

Langkah Kerja

1. Kegiatan ini dapat dilakukan secara berkelompok. Potong daun menjadi bagian-bagian kecil. Sisipkan potongan tersebut dalam sayatan empulur wortel. Mintalah bimbingan guru Anda tentang cara membuat sayatan yang benar.
2. Buatlah sayatan melintang wortel beserta daun yang telah disisipkan setipis mungkin.
3. Letakkan sayatan daun di atas kaca objek, tetesi air dan tutup dengan kaca penutup. Amati menggunakan mikroskop. Jika Anda menggunakan sediaan awetan, dapat langsung diamati dengan menggunakan mikroskop.
4. Gambarkan hasil pengamatan Anda dalam buku latihan. Sertakan keterangan jaringan penyusun daun pada gambar Anda.
5. Diskusikanlah hasil pengamatan Anda dalam suatu diskusi kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Dari hasil pengamatan Anda, dapatkah Anda melihat jaringan-jaringan yang membentuk organ daun? Sebutkan.
2. Terdiri atas apakah jaringan pembuluh daun?
3. Mengapa pada sel-sel mesofil daun banyak terdapat kloroplas?
4. Dari hasil pengamatan, dapatkah Anda melihat jaringan-jaringan yang membentuk organ daun?

c. Berkas Pembuluh Angkut pada Daun

Berkas pembuluh angkut pada daun dikelilingi oleh sel-sel parenkim sehingga membentuk selubung. Sel-sel parenkim yang menyelubungi berkas pembuluh tersebut memiliki kloroplas yang jauh lebih sedikit jumlahnya dibandingkan kloroplas pada sel-sel di mesofil.

Sel-sel parenkim memiliki ukuran sel yang besar dengan penebalan di dinding selnya. Di dalam selubung yang dibentuk oleh sel-sel parenkim, terdapat jaringan pengangkut yang terdiri atas xilem dan floem.

3. Akar

Akar adalah organ tumbuhan yang berfungsi menyerap mineral dan air dari dalam tanah. Air dan mineral digunakan oleh tumbuhan untuk tumbuh. Struktur luar akar terdiri atas **tudung akar**, daerah **pertumbuhan akar**, dan **bulu akar**.

Tudung akar (**kaliptra**) membentuk lapisan yang membungkus akar. Bagian tersebut melindungi daerah meristem akar, yaitu daerah pertumbuhan yang berada di belakangnya. Tudung akar juga berfungsi mengurangi gesekan antara akar dan butir tanah.

Bulu akar merupakan perluasan permukaan dari epidermis akar. Perluasan permukaan tersebut untuk mengoptimalkan penyerapan air. Pada umumnya, rambut akar tidak memiliki kutikula. Hal tersebut untuk memudahkan pergerakan air dan mineral dari tanah masuk ke pembuluh. Penyerapan air dan mineral paling utama terjadi melalui bulu akar ini.

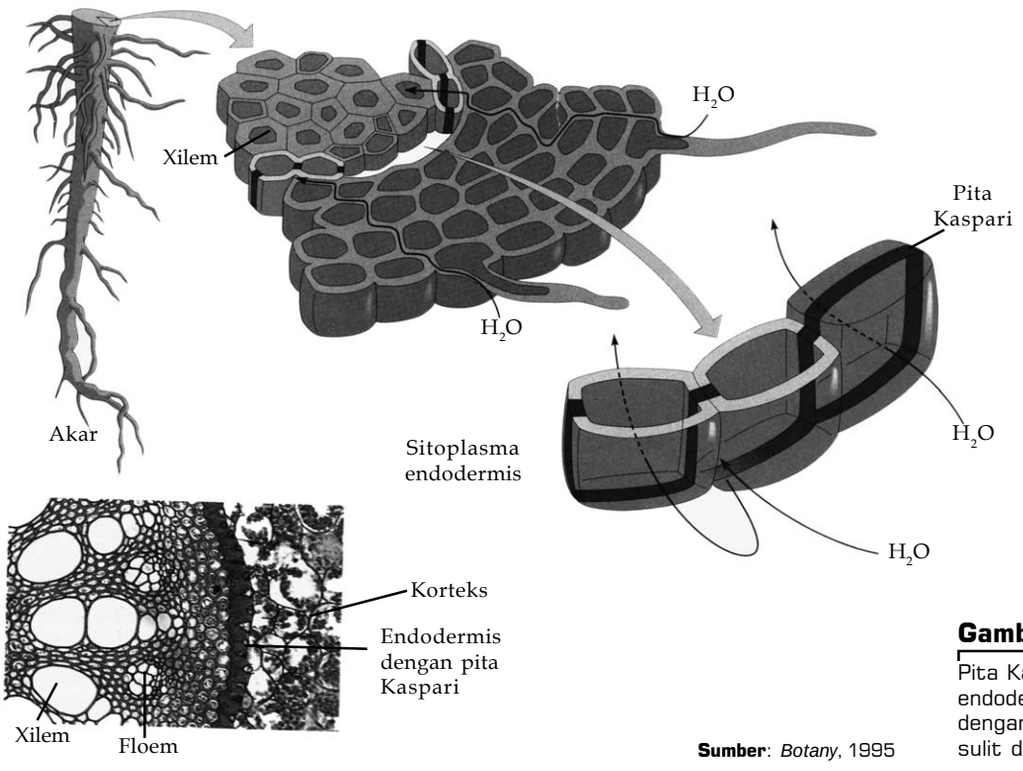
Di belakang epidermis terdapat **korteks**. Korteks tersusun atas beberapa lapis sel yang dibentuk oleh beberapa jaringan. Jaringan tersebut di antaranya jaringan sklerenkim, kolenkim, dan parenkim. Dinding sel pada korteks tipis dan terdapat banyak ruang untuk pertukaran gas.

Lapisan **endodermis** yang membatasi korteks dan bagian silinder pusat adalah sebaris sel yang tersusun rapat. Sel-sel tersebut memiliki penebalan lignin dan suberin sehingga tidak mudah ditembus oleh air. Penebalan tersebut membentuk semacam pita, yang dinamakan **pita Kaspari** (**Gambar 2.13**).

Air memasuki silinder pusat melalui sitoplasma sel endodermis sehingga pergerakan air dan mineral lebih mudah diatur. Di belakang lapisan endodermis, terdapat lapisan sel yang disebut **perisikel.** Pada akar dikotil, perisikel berperan dalam pembentukan cabang akar. Di bagian dalam setelah perisikel, terdapat susunan jaringan pembuluh yang terdiri atas xilem dan floem. Xilem dan floem pada tumbuhan dikotil tersusun radial.

Kata Kunci

- Bulu akar
- Endodermis
- Kambium vasikuler
- Perisikel
- Pita Kaspari
- Tudung akar



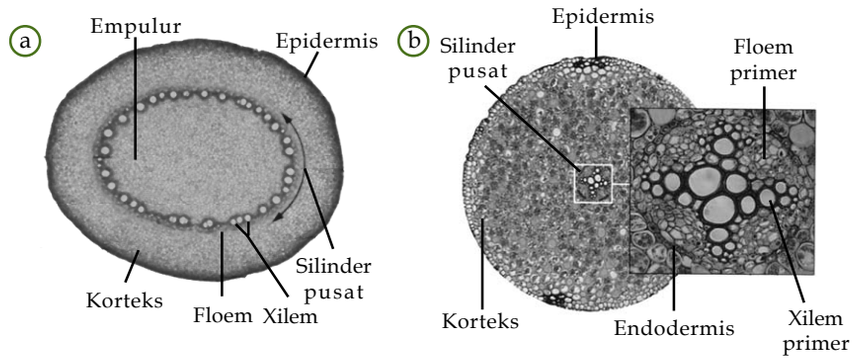
Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 2.13

Pita Kaspari pada sel endodermis. Sel endodermis dengan penebalan gabus ini sulit ditembus oleh air.

Pada tumbuhan dikotil di antara xilem dan floem, terdapat **kambium vasikuler**, sebuah jaringan meristematik. Kambium tumbuh ke arah luar membentuk floem sekunder, sedangkan ke arah dalam membentuk xilem sekunder. Akibat pertumbuhan tersebut, akar akan tumbuh membesar dan melebar di dalam tanah. Permukaan luar akar yang dewasa menebal dengan lapisan kambium kayu berada di bagian luar. Lapisan tersebut menggantikan fungsi epidermis dalam melindungi jaringan di bawahnya. Kambium kayu berasal dari lapisan perisikel.

Perbedaan lain antara akar dikotil dan akar monokil, yaitu akar dikotil tidak memiliki empulur, serta xilemnya terletak di pusat akar, berselang-seling dengan floem (perhatikan **Gambar 2.14**). Adapun pada akar monokotil, empulurnya berada di pusat akar dan bagian tepi sesudah lapisan endodermis. Keadaan xilem dan floem pada akar monokotil tersusun melingkar. Jaringan apakah yang berperan dalam pembesaran akar tumbuhan monokotil?



Gambar 2.14
Penampang akar pada tumbuhan (a) monokotil dan (b) dikotil.
Dapatkah Anda menemukan perbedaanya?

Sumber: *Biology: The nity and Diversity of Life*, 1995

Soal Penguasaan *Materi* 2.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan jaringan-jaringan yang terdapat di daun.
2. Apakah perbedaan batang tumbuhan dikotil dan monokotil?
3. Apakah fungsi pita Kaspari?

D Kultur Jaringan Tumbuhan

Kata Kunci
- Totipotensi sel

Adakah hubungannya antara sel, jaringan, organ, dan kultur jaringan pada tumbuhan? Tentu saja ada, contohnya ketika kita mempelajari sifat-sifat yang terdapat pada suatu jaringan. Pengetahuan tentang sifat jaringan dan sel pada tumbuhan ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam kultur jaringan.

Sel tumbuhan memiliki sifat dasar yang disebut **totipotensi sel**. Sifat totipotensi sel ini merupakan sifat sel yang mampu menjadi individu baru yang utuh jika berada pada lingkungan yang sesuai. Teori ini berdasarkan teori sel yang dikemukakan pertama kali oleh **Jakob Schleiden** dan **Theodor Schwann** (1838-1839). Berdasarkan teori tersebut, jika sebuah sel berada dalam kondisi yang sesuai untuk pertumbuhan dan perkembangan, sel tersebut dapat tumbuh dan berkembang menjadi individu baru.

Sel tumbuhan memiliki sifat totipotensi yang lebih besar dibandingkan sel hewan. Hal ini dikarenakan pada tumbuhan masih terdapat sel atau jaringan yang belum terdiferensiasi, yaitu jaringan yang bersifat meristematik atau jaringan meristem serta jaringan dasar (jaringan parenkim) yang masih bersifat meristematik.

Berdasarkan teori totipotensi sel maka lahirlah suatu teknik reproduksi vegetatif baru yang disebut teknik kultur jaringan. Perkembangan kultur jaringan tumbuhan lebih maju dibandingkan pada hewan. Kultur jaringan di dunia maupun Indonesia saat ini lebih berorientasi untuk produksi tanaman pangan dan industri.

Teknik kultur jaringan ini dalam pelaksanaannya merupakan suatu metode untuk mengisolasi (mengambil) bagian tumbuhan, seperti protoplasma, sel, sekelompok sel, jaringan, dan organ, serta menumbuhkannya dalam kondisi aseptik (bebas hama dan penyakit). Sifat tanaman hasil kultur jaringan akan sama seperti induknya.

1. Jenis Teknik Kultur Jaringan

Perkembangan teknik jaringan telah menghasilkan teknik kutur jaringan baru dengan tujuan yang berbeda-beda. Selain itu, jenis **eksplan** (sel atau jaringan asal) yang digunakan juga berbeda. Berbagai teknik kultur jaringan tersebut di antaranya sebagai berikut (Hendaryono dan Wijayani, 1994: 29).

a) *Meristem culture*, yaitu teknik kultur jaringan dengan menggunakan eksplan (bagian tanaman) dari jaringan muda atau meristem.
b) *Pollen* atau *anther culture*, yaitu teknik kultur jaringan dengan menggunakan eksplan dari serbuk sari atau benang sari.
c) *Protoplast culture*, yaitu teknik kultur jaringan dengan menggunakan eksplan dari protoplasma (sel hidup yang telah dihilangkan dinding selnya).
d) *Chloroplast culture*, yaitu teknik kultur jaringan dengan menggunakan eksplan kloroplas untuk keperluan memperbaiki sifat tanaman dengan membuat varietas baru.
e) *Somatic cross* atau silangan protoplasma, yaitu penyilangan dua macam protoplasma menjadi satu, kemudian dibudidayakan hingga menjadi tanaman yang mempunyai sifat baru.

2. Syarat Kultur Jaringan

Agar berhasil dengan baik ketika akan melakukan kultur jaringan, terdapat beberapa syarat yang harus diperhatikan, antara lain sebagai berkut.

a) Pemilihan eksplan
   Eksplan adalah bagian dari tanaman yang digunakan dalam kulturisasi. Eksplan ini menjadi bahan dasar bagi pembentukan kalus (bentuk awal calon tunas yang kemudian mengalami proses pelengkapan bagian tanaman, seperti daun, batang, dan akar). Sebagian eksplan sebaiknya dipilih pucuk muda tanaman dewasa yang diketahui asal-usul dan varietasnya, tidak terinfeksi penyakit, dan jenisnya unggul.
b) Penggunaan media yang cocok
   Media yang cocok memengaruhi pertumbuhan eksplan yang telah ditanam untuk menjadi **plantlet** (tanaman kecil). Media yang baik, harus memenuhi syarat nutrisi yang diperlukan eksplan untuk tumbuh dan berkembang. Oleh karena itu, di dalam media kultur jaringan ditambahkan berbagai macam mineral, vitamin, sumber karbohidrat, dan zat pengatur tumbuh (hormon)
c) Keadaan yang aseptik dan pengaturan udara yang baik.
   Semua tahapan yang dilakukan dalam kultur jaringan harus dilakukan secara aseptik. Hal ini guna menghindari kontaminasi oleh jamur maupun bakteri. Oleh karena itu, sterilisasi eksplan ke dalam medium dilakukan di dalam *laminar air flow cabinet* (**Gambar 2.15**) untuk mencegah kontaminasi. Penyimpanan kultur juga harus di dalam ruangan dengan suhu, pencahayaan, dan pengaturan udara yang baik.

Sumber: *trc chennai org*

Gambar 2.15
Laminar air flo cabinet. Alat ini dapat menghindarkan kontaminasi pada alat dan bahan yang telah steril.

3. Manfaat dari Kultur Jaringan

Kultur jaringan memiliki manfaat yang besar bagi manusia sesuai fungsinya. Melalui kultur jaringan ini, dapat dibudidayakan tanaman yang memiliki sifat sama dengan induknya. Tentu saja sifat yang diinginkan ini sifat yang unggul, contohnya saja pada wortel. Para petani menginginkan wortel yang berukuran besar dan berwarna menarik. Melalui teknik kultur jaringan, dapat diperoleh tanaman seperti itu. Syaratnya tentu saja mengambil eksplan dari induk yang memiliki sifat unggul tersebut.

Kata Kunci

- Eksplan
- Plantlet

Gambar 2.16
Contoh langkah kultur jaringan pada tanaman wortel.

Sumber: *Pedoman Pelaksanaan Teknik Kultur Jaringan*, 2002

Kultur jaringan sangat membantu perkembangan pertanian di Indonesia. Kultur jaringan dapat membantu menyediakan bibit pertanian dengan cepat. Petani anggrek di Indonesia misalnya, sangat terbantu dengan adanya kultur jaringan. Kini, untuk membiakkan anggrek petani tidak perlu lagi menunggu muncul tunas untuk memperbanyak tanaman. Dengan pengetahuan tentang totipotensi tanaman yang dimanfaatkan melalui kultur jaringan, dapat dilakukan perbanyakan tanaman anggrek secara cepat. Bagaimana dengan tanaman pertanian dan industri lainnya? Dapatkah Anda menyebutkan contoh manfaat kultur jaringan lainnya?

Dari uraian tersebut sudah jelas manfaat kultur jaringan bagi kehidupan manusia, baik dari segi ekonomi maupun segi ilmu pengetahuan.

Tugas Ilmiah 2.1

Bersama teman kelompok Anda buatlah karya ilmiah mengenai manfaat kultur jaringan. Anda dapat mencari sumber literatur dari buku, majalah, koran maupun internet. Jika memungkinkan, sisipkan gambar-gambar manfaat kultur jaringan dalam karya ilmiah Anda. Cantumkan juga sumber literatur yang Anda gunakan. Waktu yang dipergunakan untuk menyelesaikan tugas ini adalah satu minggu. Karya ilmiah yang paling baik akan dipresentasikan di depan kelas.

Soal Penguasaan *Materi* 2.4

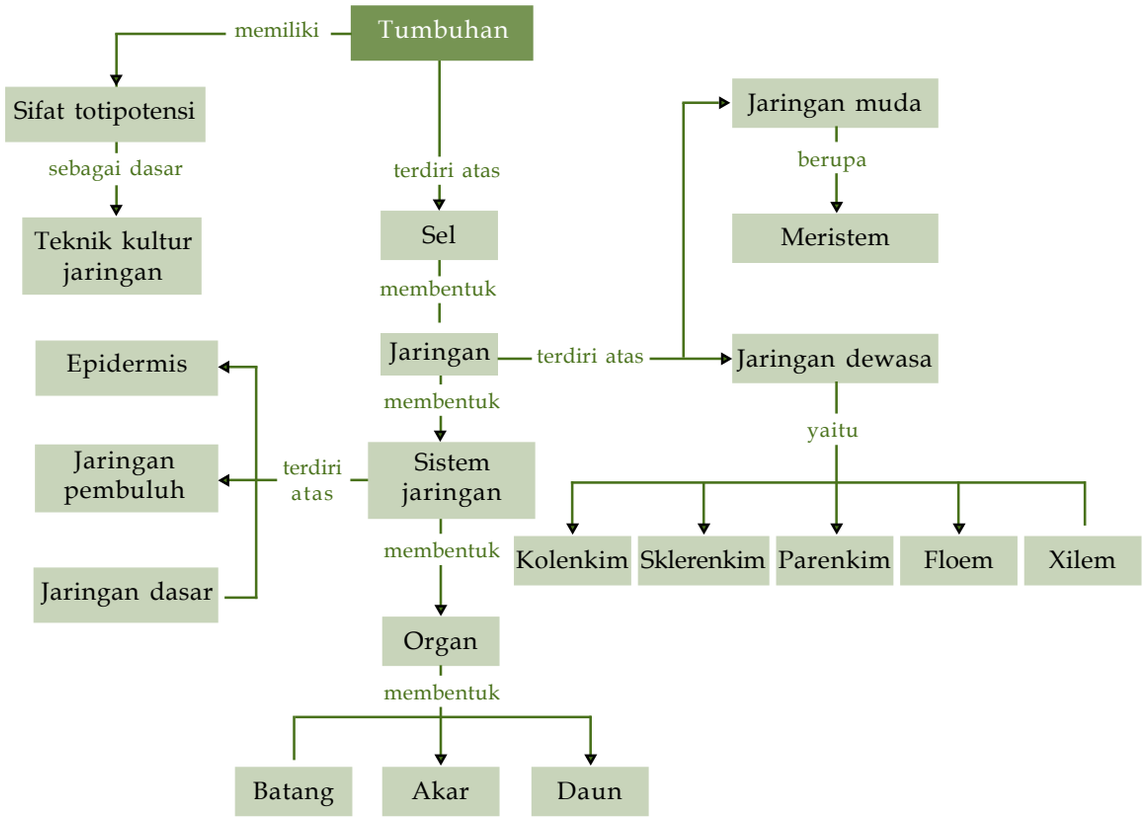
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan kultur jaringan?
2. Sifat jaringan apakah yang baik bagi kultur jaringan?
3. Jelaskan oleh Anda manfaat dari kultur jaringan dari segi ekonomi.

Rangkuman

1. Sel-sel dengan bentuk dan fungsi yang sama akan membentuk jaringan. Pada tumbuhan, beberapa jenis jaringan akan membentuk sistem jaringan yang menjalankan fungsi tertentu.
2. Jaringan pada tumbuhan dapat dibedakan atas jaringan meristem (jaringan muda) dan jaringan dewasa. Jaringan meristem sel-selnya belum dapat dibedakan satu sama lain, belum terspesialisasi dan selalu aktif membelah. Jaringan meristem dapat dibedakan atas meristem primer dan meristem sekunder. Meristem primer menghasilkan pemanjangan pada bagian ujung akar dan pucuk. Adapun meristem sekunder menghasilkan pelebaran diameter batang dan akar yang umumnya hanya terjadi pada tumbuhan dikotil
3. Jaringan dewasa pada tumbuhan, antara lain jaringan parenkim, jaringan kolenkim, jaringan sklerenkim, jaringan xilem, dan jaringan floem.
4. Tumbuhan memiliki tiga organ utama, yaitu batang, akar, dan daun. Semua organ tersebut terbentuk dari tiga sistem jaringan, yaitu sistem jaringan epidermis, sistem jaringan dasar, dan sistem jaringan pembuluh.
5. Sistem jaringan pada tumbuhan tersusun atas beberapa jaringan dan merupakan suatu unit yang memiliki fungsi tertentu.
6. Tumbuhan memiliki tiga organ utama, yaitu batang, daun, dan akar.
7. Sifat totipotensi sel tumbuhan menjadi dasar teknik kultur jaringan. Kultur jaringan adalah suatu metode mengisolasi bagian tumbuhan, jaringan, organ, atau sel, serta menumbuhkannya dalam kondisi aseptik.

Peta Konsep



Kaji Diri

Apakah Anda memahami materi Struktur Tumbuhan yang sudah Anda pelajari? Tentunya, dengan belajar sungguh-sungguh Anda tidak akan mengalami kesulitan, bukan? Setelah mempelajari bab Struktur Tumbuhan, Anda harus dapat mengidentifikasi struktur jaringan tumbuhan dan mengaitkannya dengan fungsinya, serta menjelaskan sifat totipotensi sebagai dasar kultur jaringan.

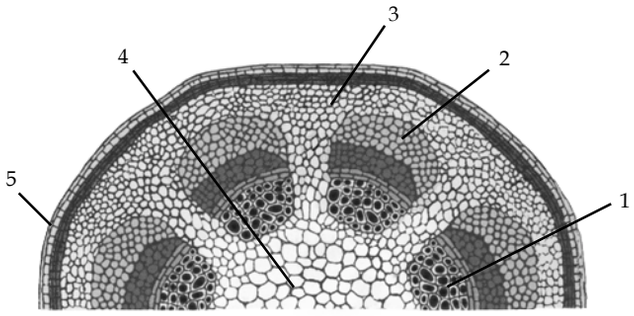
Dengan belajar Struktur Tumbuhan, Anda dapat memahami sifat-sifat tumbuhan. Anda pun dapat mengenal teknik kultur jaringan. Apakah manfaat lain dari mempelajari Struktur Tumbuhan ini?

Evaluasi Materi Bab 2

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Pada waktu mencangkok, pengupasan kulit batang menyebabkan batang itu kehilangan jaringan ....
   a. pembuluh tapis
   b. sklerenkim
   c. xilem
   d. kolenkim
   e. parenkim kulit
2. Terbentuknya lingkaran tahun merupakan hasil aktivitas jaringan ....
   a. kambium
   b. meristem
   c. histogen
   d. felogen
   e. dermatogen
3. Jaringan berikut termasuk silinder pusat batang tumbuh dikotil, *kecuali* ....
   a. perisikel
   b. ikatan pembuluh
   c. kambium
   d. endodermis
   e. empulur
4. Jaringan yang paling berperan dalam fotosintesis terbesar adalah ....
   a. jaringan epitel daun
   b. jaringan bunga karang
   c. jaringan palisade
   d. jaringan batang muda
   e. jaringan sklerenkim
5. Pembentukan lapisan gabus pada batang suatu tumbuhan disebut ....
   a. perikambium
   b. prokambium
   c. perisikel
   d. felem
   e. felogen
6. Adanya lingkaran tahun pada pohon disebabkan oleh ....
   a. aktivitas felogen di korteks
   b. kelanjutan aktivitas dari tunas
   c. pembelahan aktif sel-sel xilem yang hidup
   d. penambahan lignin pada xilem sekunder
   e. adanya jaringan meristem di antara jaringan pembuluh
7. Sistem jaringan dasar pada organ daun akan membentuk ....
   a. epidermis
   b. endodermis
   c. mesofil
   d. stomata
   e. perisikel

Untuk nomor 8–11, perhatikan gambar berikut.

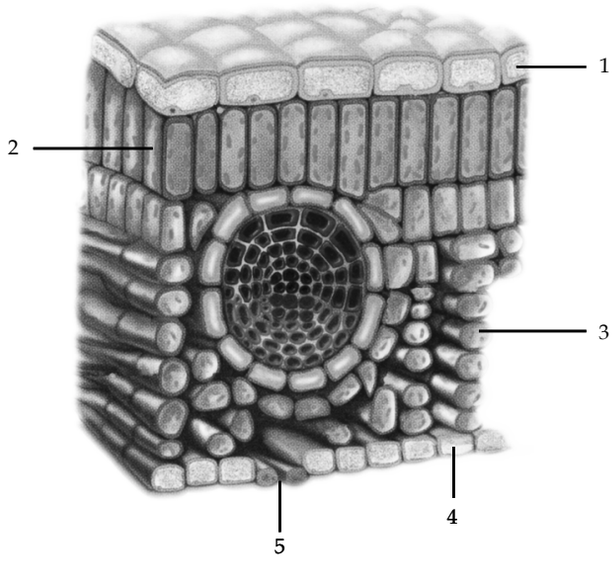


8. Lapisan epidermis ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
9. Jaringan yang mengangkut air dan mineral dari tanah ke seluruh jaringan tumbuhan ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
10. Jaringan korteks ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

11. Gambar tersebut merupakan penampang batang dikotil karena ....
    a. memiliki jaringan pembuluh
    b. susunan jaringan pembuluh membentuk cincin
    c. susunan jaringan pembuluh tersebar di empulur
    d. memiliki biji berkeping satu
    e. memiliki xilem dan floem
12. Endodermis pada penampang melintang akar tumbuhan dikotil terdapat di ....
    a. bawah epidermis
    b. bagian tengah jaringan korteks
    c. antara korteks dan silinder pusat
    d. antara floem dan xilem
    e. setelah kambium
13. Pembentukan cabang akar pada tumbuhan dikotil terjadi karena aktivitas ....
    a. floem
    b. endodermis
    c. parenkim
    d. perisikel
    e. korteks
14. Berikut adalah macam-macam jaringan pada tumbuhan:
    1. korteks;
    2. epidermis;
    3. xilem;
    4. endodermis.

    Urutan pengangkutan zat-zat dari dalam tanah ke dalam tubuh tumbuhan adalah ....
    a. 1 - 2 - 3 - 4
    b. 1 - 3 - 4 - 2
    c. 2 - 1 - 4 - 3
    e. 2 - 4 - 1 - 3
    d. 2 - 3 - 1 - 4
15. Berikut adalah nama-nama organ yang terdapat pada tumbuhan dan memiliki fungsi yang berbeda, yaitu akar, daun, bunga, buah, dan biji. Akar pada ubi kayu mempunyai fungsi untuk ....
    a. penyerapan dan fotosintesis
    b. penyerapan dan penyimpanan makanan
    c. penyerapan dan pengangkutan
    d. penyerapan dan pembuatan makanan
    e. penyerapan dan respirasi
16. Berikut yang *bukan* merupakan jaringan tumbuhan adalah ....
    a. endodermis
    b. parenkim
    c. eksodermis
    d. korteks
    e. endotelium
17. Jaringan yang berfungsi menyebarkan hasil fotosintesis adalah ....
    a. xilem
    b. silinder pusat
    c. parenkim
    d. endodermis
    e. floem

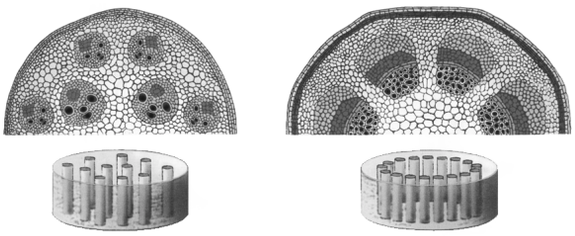
Untuk nomor 18–19, perhatikan gambar berikut.



18. Pada gambar penampang daun tersebut, bagian yang merupakan sel mesofil tiang adalah nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
19. Nomor 2 merupakan jaringan yang berfungsi untuk ....
    a. diproduksinya pigmen-pigmen terutama untuk warna
    b. proses fotosintesis
    c. pertukaran gas pada daun
    d. penyerapan air
    e. pengeluaran gas karbon dioksida (CO_2)
20. Berikut ini adalah berbagai jenis teknik kultur jaringan, *kecuali* ....
    a. *chloroplast culture*
    b. *protoplast culture*
    c. *meristem culture*
    d. *seed culture*
    e. *somatic cross*

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

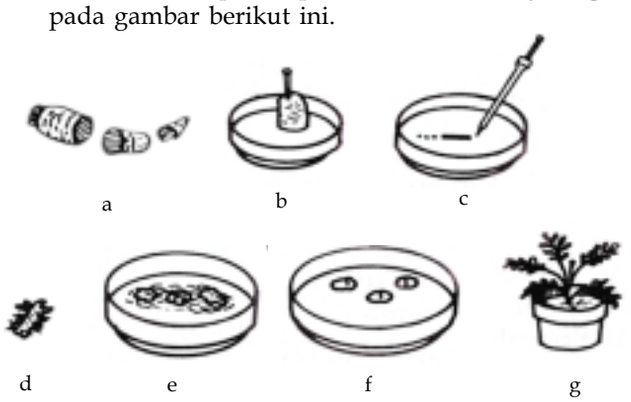
1. Sebutkan tiga jaringan yang terdapat pada tumbuhan, serta jelaskan fungsinya masing-masing.
2. Perhatikan gambar penampang melintang batang monokotil dan dikotil berikut.



Batang monokotil Batang dikotil

Berdasarkan gambar tersebut, jelaskan perbedaan penyusun jaringan antara batang monokotil dan batang dikotil.

3. Jelaskan sel-sel yang terdapat dalam xilem dan floem.
4. Sebutkan tiga organ utama pada tumbuhan. Apakah fungsi dari ketiga organ tersebut.
5. Jelaskan setiap tahapan dalam kultur jaringan pada gambar berikut ini.



Soal Tantangan

1. Buatlah suatu daftar tumbuhan dan hasil olahannya yang biasa Anda gunakan sehari-hari. Bagaimana Anda memanfaatkan berbagai macam hasil olahan tumbuhan tersebut? Menurut Anda, apakah jumlah dari tumbuhan dan hasil olahannya yang Anda gunakan dapat meningkat atau berkurang? Mengapa?
2. Hutan hujan tropis di berbagai negara, seperti di Indonesia, memiliki tumbuhan yang berpotensi sebagai sumber makanan baru, obat-obatan, dan kegunaan lainnya. Di negara yang sedang berkembang, sumber daya alam tersebut belum dapat dimanfaatkan secara maksimal. Di bawah tekanan populasi manusia yang terus tumbuh, banyak terjadi penebangan hutan secara liar. Adapun di negara-negara maju, sumber daya alam dari hutan sangat dijaga dan dilindungi. Di negara berkembang, masih banyak pihak yang belum mengerti akan konservasi hutan dan masih memikirkan keuntungan sepihak. Apakah ada suatu cara atau teknologi untuk menjaga kelestarian hutan hujan tropis agar kedua negara maju dan negara berkembang dapat memanfaatkan sumber daya alam tersebut?

Sumber: *sirinet net*

Bab 3
Struktur Hewan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami hubungan antara struktur dan fungsi jaringan pada hewan. Anda dapat memahaminya jika mampu menjelaskan struktur dan fungsi jaringan hewan vertebrata serta kaitannya.

Satuan fungsional terkecil adalah sel. Pada makhluk hidup multiseluler, fungsi-fungsi yang dijalankan sangat banyak dan jauh lebih rumit dibandingkan dengan makhluk hidup uniseluler. Oleh karena itu, pada tahap perkembangan tertentu, sel-sel dalam organisme multiseluler melakukan diferensiasi untuk memenuhi kebutuhan berbagai fungsi hidup.

Sel-sel yang berdiferensiasi tersebut bersama-sama membentuk jaringan yang menjalankan suatu fungsi tertentu dalam organisasi yang kompleks. Beberapa jaringan yang menjalani fungsi tertentu yang sama akan membentuk organ. Organ menjalankan suatu fungsi tertentu dalam tubuh yang berbeda dengan fungsi organ lainnya.

Apakah sama, sel yang membangun tubuh tumbuhan dengan tubuh hewan? Jaringan-jaringan apa yang membentuk organ pada hewan? Apakah fungsi jaringan-jaringan tersebut? Jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat Anda temukan jawabannya setelah mempelajari bab berikut. Melalui diskusi dan kegiatan, Anda diharapkan dapat lebih memahami materi mengenai struktur hewan.

A. Jaringan pada Hewan
B. Organ pada Hewan
C. Sistem Organ pada Hewan

Soal *Prameteri*

1. Jaringan tersusun atas sel-sel. Masih ingatkah Anda perbedaan antara sel tumbuhan dan sel hewan?
2. Organ apa saja yang menyusun tubuh hewan?

A Jaringan pada Hewan

Seperti halnya jaringan pada tumbuhan, jaringan pada hewan tersusun atas sel-sel. Sel-sel tersebut memiliki fungsi dan bentuk yang sama sehingga jaringan dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Misalnya, jaringan otot yang tersusun atas sel-sel otot.

Namun, terdapat perbedaan antara jaringan pada tumbuhan dan jaringan pada hewan. Jaringan pada hewan umumnya lebih lunak dan lentur dibandingkan pada tumbuhan. Hal ini disebabkan oleh kekhasan sel hewan. Menurut Anda, hal apakah pada sel hewan yang menyebabkan jaringan hewan lebih lunak dan lentur? Masih ingatkah Anda akan materi sel pada Bab 1 sebelumnya?

Pada hewan, jaringan dapat dikelompokkan ke dalam empat kelompok, yaitu sebagai berikut.

1. **Jaringan epitel**, merupakan lapisan sel yang melapisi permukaan bagian tubuh, baik di luar maupun di dalam rongga.
2. **Jaringan ikat**, berfungsi sebagai pengikat, penyokong, dan pemberi bentuk pada tubuh.
3. **Jaringan otot**, merupakan jaringan yang menggerakkan bagian-bagian tubuh.
4. **Jaringan saraf**, berfungsi menanggapi rangsang dan meneruskan impuls dari satu bagian tubuh ke bagian tubuh yang lain.

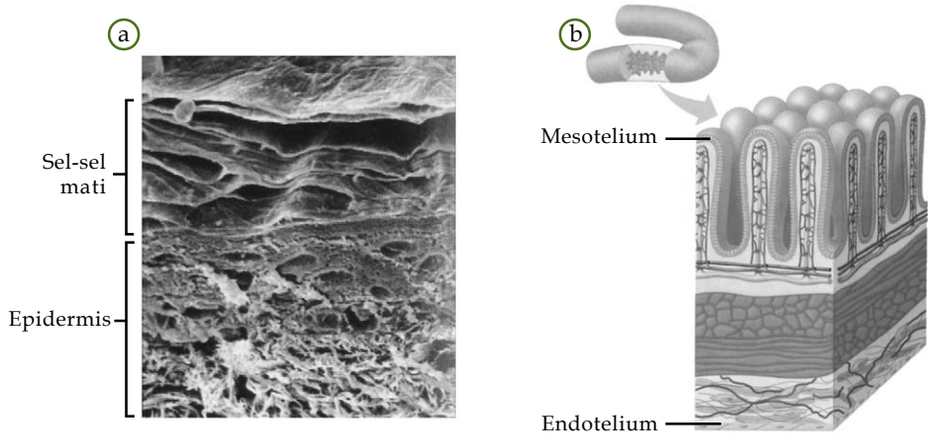
Keempat jaringan tersebut dimiliki oleh semua hewan kecuali hewan paling sederhana seperti Porifera. Jaringan-jaringan tersebut akan membentuk organ yang memiliki fungsi tertentu dalam sistem organ. Berbagai sistem organ tersebut akan membentuk individu utuh yang mampu melakukan berbagai aktivitas. Penjelasan mengenai organ dan sistem organ akan dijelaskan pada subbab berikutnya.

1. Jaringan Epitel

Kata Kunci

- Endotelium
- Epidermis
- Mesotelium

Jaringan epitel merupakan lapisan sel yang menyelimuti dan melapisi permukaan luar organ dalam (**endotelium**), bagian dalam rongga (**mesotelium**), dan permukaan paling luar dari tubuh (**epidermis**) (**Gambar 3.1**).



Gambar 3.1
Jaringan endotelium, mesotelium, dan epidermis. Jaringan epitel pada (a) kulit manusia dan (b) usus manusia.

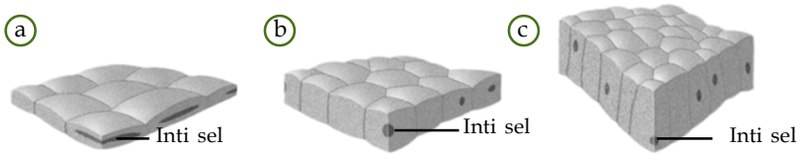
Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Sel-sel epitel tersusun rapat sehingga tidak terdapat rongga antarsel. Sel-sel tersebut menempel pada sebuah lapisan yang disebut **membran basal**. Membran basal berfungsi menyokong jaringan epitel yang ada di atasnya. Struktur sel-sel epitel yang tersusun rapat tersebut berhubungan dengan fungsi jaringan ini sebagai alat pertahanan atau pelindung.

Jaringan epitel tidak hanya berfungsi sebagai lapisan pelindung. Sel-sel dalam jaringan epitel termodifikasi untuk menjalankan beberapa fungsi lainnya, seperti sekresi, ekskresi, absorbsi, dan sebagai membran semipermeabel. Fungsi-fungsi tersebut akan Anda pelajari pada bab-bab berikutnya. Berdasarkan bentuk selnya, jaringan epitel dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu sebagai berikut.

a. Epitel Pipih

Sel epitel pipih berbentuk pipih, sitoplasma tidak berwarna dengan nukleus terletak di tengah-tengah selnya (**Gambar 3.2a**). Apakah fungsi epitel pipih?



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 3.2
Jaringan epitel dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu (a) epitel pipih, (b) kubus, dan (c) batang.

b. Epitel Kubus

Selnya berbentuk seperti kubus. Sel-sel epitel kubus tersusun rapat dan rapi membentuk struktur menyerupai sarang tawon (**Gambar 3.2b**)

Pada organ, seperti pada ginjal, sel epitel kubus memiliki tonjolan-tonjolan yang disebut **mikrovili**. Tonjolan-tonjolan tersebut merupakan perluasan permukaan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan zat-zat yang diperlukan. Dalam hal ini, sel epitel membantu fungsi absorbsi pada ginjal.

Jika sel-sel epitel kubus menyelubungi suatu saluran, bentuk sel terlihat seperti trapesium untuk menjaga kerapatan serta menyesuaikan dengan penampang saluran. Sementara itu, jika berada di sekitar kelenjar, sel tersebut bentuknya akan menyerupai piramid sehingga disebut **sel piramid.**

Kata Kunci
- Epitel batang
- Epitel kubus
- Epitel pipih

c. Epitel Batang atau Epitel Silindris

Sel epitel batang memanjang seperti batang (**Gambar 3.2c**). Pada umumnya, sitoplasmanya memiliki vesikel yang berwarna gelap dan berisi bahan sekresi berupa lendir. Permukaan sel epitel batang juga pada umumnya memiliki silia atau mikrovili. Lendir dan silia berfungsi membersihkan, menggerakkan, dan memindahkan suatu benda dalam rongga atau saluran.

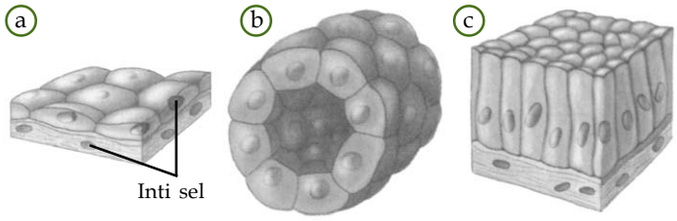
Berdasarkan lapisannya, jaringan epitel dapat dikelompokkan sebagai berikut.

a. Epitel Sederhana atau Epitel Selapis

Disebut demikian, karena epitel ini hanya tersusun atas satu lapis sel. Jika bentuk selnya pipih, jaringan epitel ini disebut **epitel pipih sederhana** atau **epitel selapis pipih**.

1) **Epitel selapis pipih**

Struktur jaringan epitel selapis pipih berhubungan dengan proses difusi atau penyaringan melalui membran yang bersifat selektif permeabel. Tahukah Anda apa itu selektif permeabel? Epitel selapis pipih terdapat di dinding arteri, alveolus, dan kapsul glomerulus pada ginjal (**Gambar 3.3a**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.3
Sel epitel dapat dibedakan berdasarkan lapisannya. (a) Epitel selapis pipih, (b) epitel selapis kubus, dan (c) epitel selapis batang.

2) **Epitel selapis kubus**

Epitel selapis kubus terdapat di tubula ginjal. Sesuai dengan strukturnya, jaringan epitel selapis kubus berfungsi untuk sekresi dan absorbsi (**Gambar 3.3b**).

3) **Epitel selapis batang**

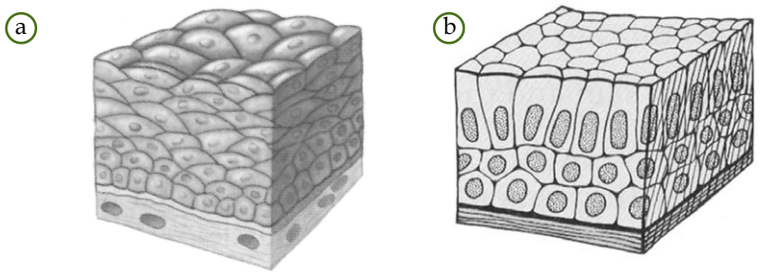
Epitel selapis batang terdapat di lambung dan usus halus berfungsi untuk sekresi dan absorbsi. Sel-sel tersebut memiliki mikrovili. Di bagian atas saluran pernapasan dan saluran uterus, sel epitelnya memiliki silia yang menyekresikan lendir untuk membantu mengeluarkan benda asing (di saluran pernapasan), atau memindahkan dan menggerakkan benda (dalam hal ini sel telur di saluran rahim. Perhatikan **Gambar 3.3c**.

b. Epitel Berlapis atau Epitel Lapis Banyak

Epitel berlapis tersusun atas lapisan sel-sel bawah yang menempel pada membran basal dan lapisan sel-sel yang berada di atas lapisan sel basal. Lapisannya yang banyak, membuatnya identik dengan fungsi perlindungan.

1) **Epitel pipih lapis banyak**

Epitel pipih lapis banyak terdapat di permukaan kulit, vagina, rongga mulut, dan esofagus. Epitel pipih ini dikelompokkan menjadi dua, yaitu epitel yang berkeratin dan tidak berkeratin. Epitel berkeratin bersifat kering, contohnya pada epidermis kulit. Sementara itu, epitel pipih lapis banyak yang tidak berkeratin bersifat lembap, misalnya di rongga mulut, vagina, saluran anus, dan esofagus. Sesuai dengan jumlah lapisannya yang banyak, jaringan ini berperan sebagai alat lingkungan, misalnya dari gesekan (**Gambar 3.4a**).



Gambar 3.4
Contoh epitel lapis banyak. (a) Epitel pipih lapis banyak dan (b) epitel batang lapis banyak.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006; *Biology: Discovering Life*, 1991

2) **Epitel kubus lapis banyak**

Sesuai dengan namanya, jaringan ini tersusun atas beberapa lapis sel berbentuk kubus. Struktur jaringan ini sesuai untuk perlindungan dan fungsi ekskresi. Jaringan ini terdapat pada mulut, kerongkongan, dan kelenjar keringat pada kulit.

3) **Epitel batang lapis banyak**

Epitel batang lapis banyak terdapat di laring, faring, uretra, saluran kelenjar ludah, dan kelenjar susu. Seperti pada epitel batang selapis, jenis epitel ini juga berfungsi untuk sekresi dan pergerakan dengan silia yang dimiliki selnya (**Gambar 3.4b**).

Selain yang sudah disebutkan di atas, terdapat dua jenis epitel lapis banyak yang memiliki struktur yang khas seperti berikut.

a. **Epitel batang lapis banyak semu**. Struktur sel epitel ini hampir mirip dengan epitel batang lapis banyak. Perbedaannya adalah epitel ini terdiri atas satu lapis sel yang tingginya tidak sama. Dapat ditemukan di saluran reproduksi jantan dan trakea. Fungsi epitel batang lapis banyak semu sama dengan tipe epitel batang lainnya.

b. **Epitel transisional**. Epitel jenis ini memiliki sel basal yang berbentuk batang, tetapi sel-sel di bagian atasnya berbentuk poligonal. Itulah sebabnya, epitel jenis ini tidak dapat digolongkan ke dalam sel epitel pipih atau sel epitel

kubus. Epitel transisional terdapat di kantung air seni (*vesica urinaria*). Pada saat kosong lapisan epitel tampak tebal, tetapi ketika kantung penuh terisi air seni, permukaan epitel menjadi tipis. Perubahan bentuk inilah yang membuat epitel ini disebut epitel transisional.

2. Jaringan Ikat

Sesuai dengan namanya, jaringan ikat berfungsi sebagai pengikat, penyokong, serta penghubung satu jaringan dengan jaringan yang lainnya. Jaringan ikat tidak terdapat pada permukaan luar tubuh. Jaringan ikat mengandung banyak pembuluh darah, kecuali pada tulang rawan. Berbeda dengan sel epitel, populasi sel-sel jaringan ikat lebih jarang dan menyebar di dalam matriks. Pada umumnya, matriks terdiri atas jaringan-jaringan serabut yang melekat dalam bahan dasar berupa cairan, gel, atau solid.

Matriks pada jaringan ikat memiliki jalinan yang bergantung pada serabut yang dimilikinya. Berikut ini beberapa serabut yang menyusun jaringan ikat, yaitu **serabut kolagen**, **serabut elastin**, dan **serabut retikuler**.

Serabut kolagen memiliki daya regang sangat tinggi dengan elastisitas yang rendah. Serabut kolagen terbuat dari protein kolagen. Serabut elastin memiliki elastisitas tinggi. Namun, serabut elastin daya elastisitasnya akan semakin berkurang seiring dengan pertambahan usia seseorang. Serabut retikuler mirip dengan serabut kolagen hanya ukuran serabutnya lebih pendek dibandingkan dengan serabut kolagen.

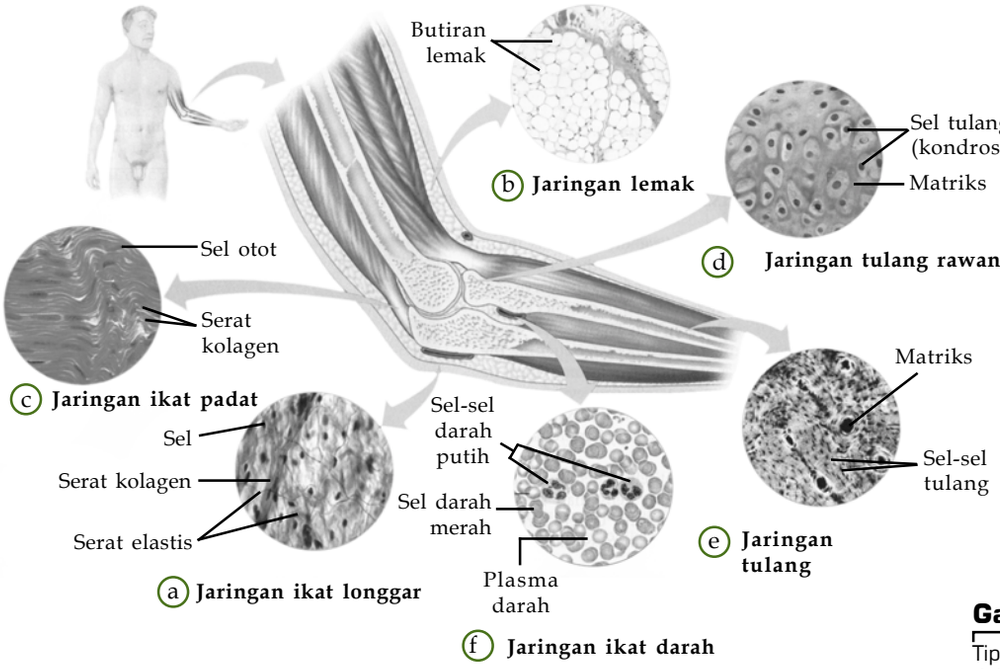
Jaringan ikat dapat dikelompokkan dalam enam kelompok utama, yaitu **jaringan ikat longgar**, **jaringan lemak**, **jaringan ikat padat**, **jaringan tulang rawan**, **jaringan tulang**, dan **jaringan ikat darah** (Campbell, *et al*, 2006: 417).

Tokoh Biologi

Marie Francois Bichat (1771 – 1802)

Marie Francois Bichat telah memberikan kontribusi yang besar terhadap pemahaman mengenai cara kerja sel. Dia menunjukkan bahwa organ terbuat dari kelompok-kelompok sel yang bekerja sama untuk menjalankan fungsi tertentu. Pekerjaan Bichat memberikan fondasi untuk histologi, yaitu ilmu tentang jaringan dan organ.

Sumber: *Concise Encydopedia Nature*, 1994



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.5
Tipe-tipe jaringan ikat yang ada dalam tubuh manusia.

a. Jaringan Ikat Longgar

Jaringan ikat longgar merupakan jaringan ikat yang paling banyak tersebar dalam tubuh hewan vertebrata. Jaringan ini mengikat jaringan epitel dengan jaringan di bawahnya dan menjaga organ-organ pada tempatnya. Selain itu, jaringan berfungsi juga sebagai tempat penyimpanan air, glukosa, dan garam-garam untuk sementara waktu.

b. Jaringan Lemak

Jaringan ini tersusun atas sel-sel lemak. Setiap sel lemak berisi tetes lemak (*fat droplet*). Jaringan lemak banyak ditemukan di bagian bawah lapisan kulit. Jaringan ini berfungsi sebagai makanan cadangan dan mencegah kehilangan panas berlebih dari tubuh.

c. Jaringan Ikat Padat

Penyusun utama jaringan ikat padat adalah serabut kolagen. Oleh karena itu, sifat jaringan ini fleksibel dan tidak elastik.

Berdasarkan struktur serabutnya, jaringan ikat padat dapat dikelompokkan menjadi **jaringan ikat padat teratur** dan **jaringan ikat padat tidak teratur**. Jaringan ikat padat teratur menghubungkan antara otot dan tulang (tendon), serta menghubungkan tulang dengan tulang (ligamen). Sementara itu, jaringan ikat padat tidak teratur terdapat di kulit.

d. Jaringan Tulang Rawan

Jaringan tulang rawan merupakan bentuk khusus dari jaringan ikat padat. Jaringan tulang rawan memiliki matriks yang elastis dan tebal dengan sel-sel tulang rawan (**kondrosit**) terletak dalam kantung-kantung (**lakuna**) di dalam matriks. Kelenturan dan kekuatan jaringan tulang rawan diperoleh dari gabungan antara serabut kolagen dan matriksnya yang bercampur dengan **kondrin** (sejenis protein). Berdasarkan susunan serabutnya, jaringan tulang rawan dapat digolongkan sebagai berikut.

Kata Kunci

- Kondrosit
- Lakuna
- Tulang rawan elastik
- Tulang rawan fibrosa
- Tulang rawan hialin

1) **Tulang rawan hialin**, serabutnya tersebar dalam anyaman yang halus dan rapat. Contohnya, ujung-ujung tulang rusuk yang menempel ke tulang dada.
2) **Tulang rawan elastik**, susunan sel dan matriksnya mirip dengan tulang rawan hialin. Namun, anyaman serabutnya tidak sehalus dan serapat tulang rawan hialin. Contohnya, cuping telinga, laring, dan epiglotis.
3) **Tulang rawan fibrosa**, matriksnya disusun oleh serabut kolagen yang kasar dan tidak beraturan. Contohnya, di cakram antartulang belakang dan simfisis pubis (pertautan tulang kemaluan).

e. Jaringan Tulang

Tulang termasuk jaringan ikat yang terdiri atas sel tulang (**osteosit**). Matriks intraseluler dari osteosit mengalami mineralisasi sehingga permukaannya sangat keras. Substansi mineral tersebut disimpan dalam suatu lapisan tipis yang disebut **lamela**. Beberapa lamela mengelilingi suatu saluran berisi pembuluh darah yang disebut **saluran Havers**. Keseluruhan lamela dan saluran Havers membentuk **sistem Havers**. Struktur jaringan tulang yang keras sesuai dengan fungsi sebagai pemberi bentuk tubuh, penyusun rangka tubuh, dan pelindung alat-alat vital tubuh.

f. Jaringan Darah

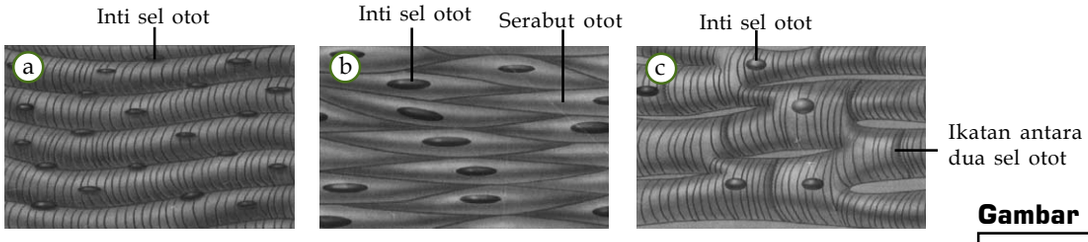
Jaringan darah merupakan jaringan ikat yang sangat khusus. Jaringan darah terdiri atas tiga komponen, yaitu **eritrosit** (sel darah merah), **leukosit** (sel darah putih), dan **trombosit** (keping darah). Jaringan ini berfungsi sebagai alat transportasi yang menopang kelangsungan hidup manusia.

Selain darah, tubuh juga mempunyai jaringan yang mirip jaringan darah, yaitu peredaran limfatik. Peredaran limfatik, memiliki komponen seluler berupa limfosit dan granulosit. Jaringan ini berfungsi untuk transpor lemak dan protein dari satu jaringan ke jaringan yang lain.

3. Jaringan Otot

Sel-sel otot disebut juga serabut otot. Serabut otot memiliki miofibril. Miofibril tersusun oleh protein kontraktil, aktin, dan miosin. Berdasarkan bentuk dan cara kerja selnya, jaringan otot dapat dibagi sebagai berikut.

a. **Otot lurik**, merupakan otot yang menempel pada rangka. Oleh karena itu, sering disebut juga otot rangka. Miofibril yang tersusun sejajar dengan serabut otot membentuk daerah-daerah terang dan gelap sehingga tampak seperti berlurik-lurik. Otot lurik mempunyai banyak inti sel (perhatikan **Gambar 3.6a**). Otot lurik bekerja di bawah kesadaran.



Sumber: *Biology*, 1999

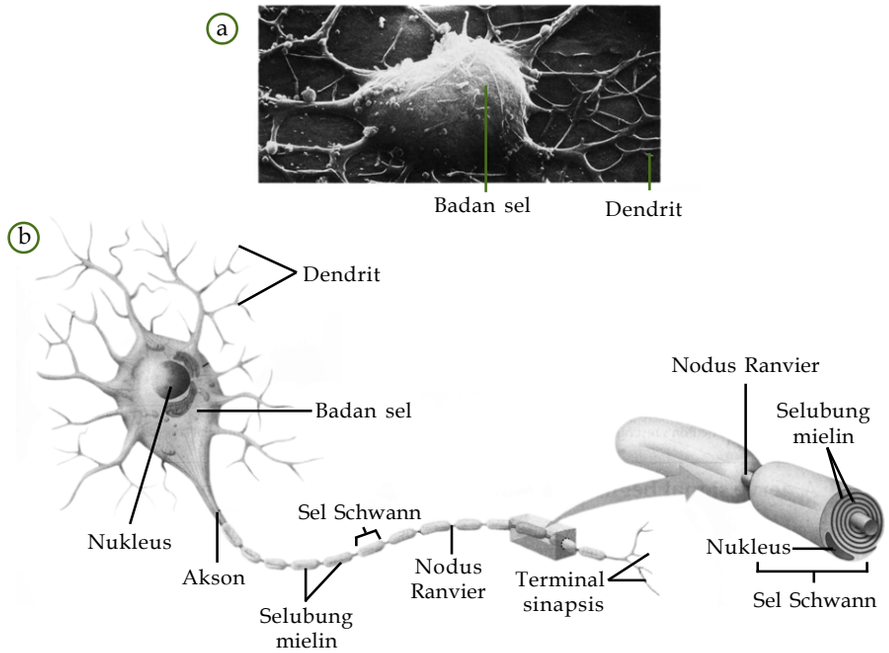
Gambar 3.6
Terdapat tiga tipe sel otot, yaitu (a) otot lurik, (b) otot polos, dan (c) otot jantung.
Apa perbedaan dari ketiga tipe sel otot tersebut?

b. **Otot polos**, bentuk selnya menyerupai gelendong. Setiap sel memiliki satu inti sel yang terletak di bagian tengah sel. Otot polos tidak bekerja di bawah kesadaran. Otot polos terdapat di organ-organ yang bekerja tanpa sadar (*involuntary*), seperti lambung, usus, kandung kemih, dan saluran pernapasan (**Gambar 3.6b**).

c. **Otot jantung**, kerjanya tidak disadari. Akan tetapi, otot jantung berbeda dengan otot polos. Struktur otot jantung mirip dengan otot lurik. Namun, selnya membentuk rantai dan bercabang dengan satu atau dua inti sel. Otot jantung hanya terdapat di jantung, tidak terdapat di organ lain (**Gambar 3.6c**).

4. Jaringan Saraf

Jaringan saraf dibentuk oleh sel saraf yang disebut **neuron**. Neuron terdiri atas **badan sel** dan **serabut sel**. Serabut sel terdiri atas **dendrit** dan **akson** (**Gambar 3.7**). Badan sel berkumpul di pusat saraf dan ganglion (kumpulan badan sel saraf).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.7
(a) Sel saraf dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron dengan pembesaran 3.600x. (b) Struktur sel saraf dengan bagian-bagiannya.

Dendrit membawa rangsang menuju badan sel, sedangkan akson membawa impuls rangsang dari badan sel ke neuron lain atau otot. Akson dibungkus oleh selubung lemak yang disebut **selubung mielin**. Selubung tersebut adalah perluasan membran sel yang mengiringi akson. Di bagian tertentu, selubung mielin menipis, kemudian menebal kembali. Bagian selubung mielin yang menipis tersebut dinamakan **nodus Ranvier**. Nodus ini sangat berperan untuk penguatan dan percepatan pengiriman impuls saraf.

Berdasarkan cara neuron mengirimkan rangsang, neuron dapat dikelompokkan sebagai berikut.

a. **Neuron aferen**, menyampaikan pesan dari organ ke saraf pusat, baik sumsum tulang belakang atau otak. Oleh karena itu, penerima rangsang ini sering disebut juga **neuron sensorik**.
b. **Neuron intermedier**, penghubung antara neuron aferen dan neuron eferen. Neuron intermedier terdapat di sistem saraf pusat. Neuron intermedier meneruskan rangsang dari neuron aferen ke neuron eferen, atau ke neuron intermedier yang lain.
c. **Neuron eferen**, meneruskan impuls saraf yang diterima dari neuron intermedier. Pesan yang dikirim menentukan tanggapan tubuh terhadap rangsang yang diterima oleh neuron aferen. Dendrit dari neuron eferen menempel di otot sehingga sering disebut juga **neuron motorik**.

Kata Kunci
- Nodus Ranvier
- Selubung mielin

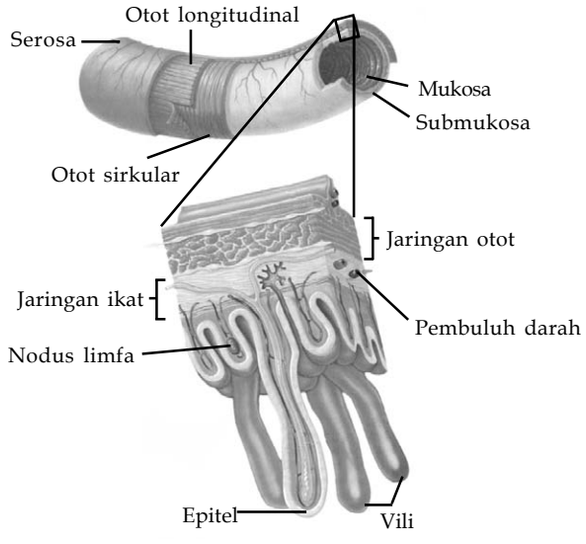
Soal Penguasaan *Materi* 3.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan antara jaringan epitel, otot, saraf, dan ikat?
2. Jelaskan fungsi dari jaringan epitel, otot, saraf, dan ikat.
3. Apa yang terjadi jika manusia tidak memiliki jaringan ikat lemak?

B Organ pada Hewan

Sebuah organ dibangun oleh beberapa jaringan. Contoh organ adalah usus halus. Perhatikan **Gambar 3.8**. Jaringan-jaringan apakah yang menyusunnya? Di usus halus terdapat jaringan otot polos, ikat kendur, epitel kubus lapis banyak, darah, dan saraf. Setiap jaringan memiliki fungsi tersendiri.



Gambar 3.8
Organ usus dibangun oleh beberapa jenis jaringan.

Sumber: *Biology*, 1999

Jaringan otot polos yang tersusun melintang dan memanjang membuat usus halus dapat melakukan gerakan peristaltik (gerak bergelombang akibat elaksasi dan kontraksi otot) untuk memindahkan makanan yang berada di dalam rongga usus. Jaringan saraf mengendalikan gerakan peristaltik pada otot tersebut. Selain itu, bentuk usus disokong oleh jaringan ikat longgar sehingga gerakan peristaltik yang dilakukan dapat lebih optimum. Jaringan epitel yang melapisi rongga usus berperan dalam penyekresian enzim dan absorpsi sari makanan. Hasil absorpsi tersebut diangkut oleh jaringan darah yang berada di dalam arteri di balik jaringan epitel.

Seluruh jaringan yang terdapat di dalam organ saling terkait dan bekerja teratur. Oleh karena itu, organ memiliki fungsi yang sangat berbeda dengan fungsi masing-masing jaringan yang membentuknya.

Organ akan berhubungan dengan organ-organ lainnya dan membentuk sistem organ. Misalnya, usus halus akan berhubungan dengan usus besar, pankreas, usus dua belas jari, kantong empedu, lambung, tenggorokan, dan mulut membentuk suatu sistem organ, yaitu sistem pencernaan makanan.

Kegiatan 3.1

Jaringan pada Organ Usus

Tujuan

Menunjukkan jaringan penyusun organ usus

Alat dan Bahan

Preparat awetan usus mencit dan mikroskop

Langkah Kerja

1. Amati preparat awetan usus menggunakan mikroskop. Gambarkan hasil pengamatan Anda pada buku.
2. Cocokkan hasil pengamatan Anda dengan gambar buku pegangan atau histologi sel pada gambar yang Anda buat.
3. Diskusikan hasil pengamatan yang Anda peroleh bersama teman kelompok Anda. Presentasikan pula hasilnya di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Tersusun atas jaringan apa sajakah usus tersebut berdasarkan pengamatan Anda?
2. Apa yang akan terjadi jika jaringan otot pada usus tidak ada?
3. Apa yang membedakan jaringan pada kulit dan jaringan pada usus?

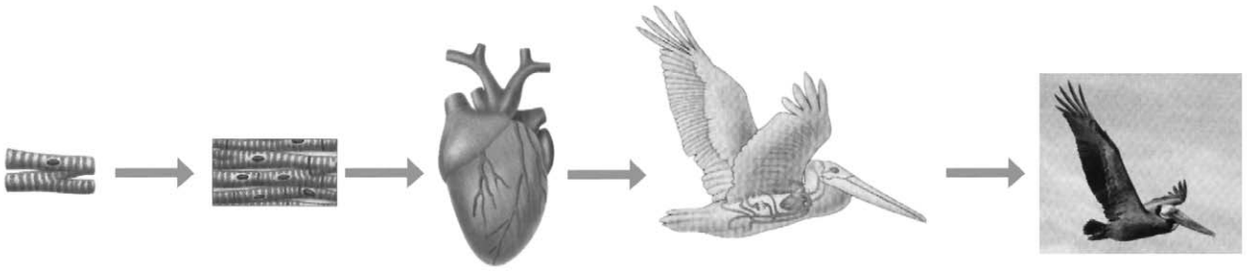
Soal Penguasaan *Materi* 3.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah fungsi organ sama dengan fungsi jaringan-jaringan yang membentuknya? Jelaskan.
2. Tersusun atas apakah sistem organ?

C Sistem Organ pada Hewan

Makhluk hidup multiseluler adalah organisme dengan kompleksitas sistem yang tinggi. Pada organisme multiseluler, fungsi-fungsi hidupnya ditopang oleh sistem organ. Sistem organ terdiri atas beberapa organ yang bekerja sama menjalankan suatu proses yang menunjang kehidupan seluruh sistem-sistem organ yang lain. Keseluruhan sistem organ tersebut, akhirnya membentuk satu individu organisme (**Gambar 3.9**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.9
Berbagai tingkat organisasi pada hewan.

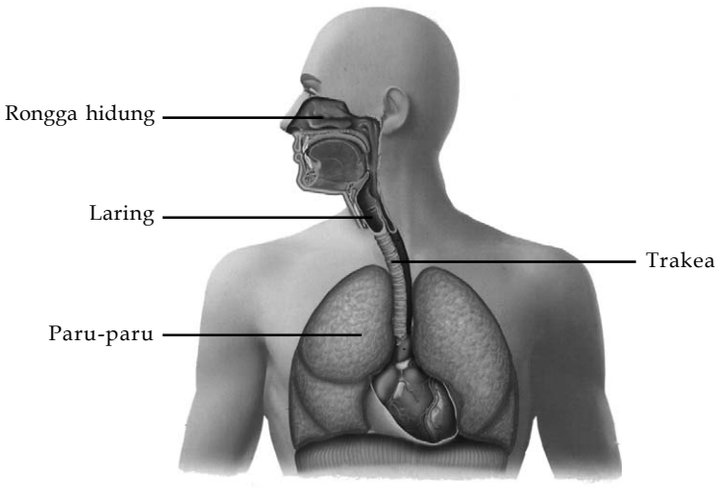
Pada umumnya, makhluk hidup multiseluler misalnya manusia, memiliki sepuluh jenis sistem organ sebagai berikut.

1. **Sistem Pencernaan Makanan**

Sistem ini berfungsi mengolah dan mengubah makanan, berupa molekul organik kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana (sari pati makanan) agar dapat diserap tubuh. Organ yang terkait dengan fungsi sistem ini, antara lain mulut (kelenjar ludah, gigi, dan lidah), esofagus, lambung, usus halus, dan usus besar.

2. **Sistem Pernapasan**

Sistem ini berfungsi menyediakan oksigen dan mengeluarkan sisa metabolisme yang berbentuk CO_2. Sistem pernapasan tersusun oleh beberapa organ, di antaranya saluran-saluran pernapasan yang meliputi faring, laring, dan trakea serta paru-paru yang meliputi sistem bronkus dan alveolus.



Sumber: *Kamus isual*, 2004

Gambar 3.10
Sistem pernapasan yang terdapat pada manusia.
Apa saja organ penyusunnya?

3. **Sistem Sirkulasi**

Sistem ini berfungsi mengangkut dan mendistribusikan oksigen, air, dan sari makanan berupa molekul-molekul organik seperti glukosa. Selain itu, berfungsi juga mengangkut hasil sisa metabolisme untuk dikeluarkan dari tubuh. Sistem ini terdiri atas organ-organ, seperti jantung, arteri dan vena, pembuluh limfa, dan kelenjar limfa.

4. **Sistem Ekskresi**

Sistem ini berfungsi mengeluarkan sisa-sisa metabolisme, selain CO_2 atau cairan. Hal tersebut dilakukan untuk menjaga titik keseimbangan cairan tubuh. Sistem ekskresi tersusun atas beberapa organ, seperti ginjal, kantung urine, ureter, kelenjar keringat, dan uretra.

5. **Sistem Endokrin**

Sistem ini mengatur aktivitas tubuh, seperti pertumbuhan dan homeostasis. Sistem ini tersusun oleh berbagai macam kelenjar, seperti kelenjar hipofisis, epifisis, kelenjar anak ginjal, dan kelenjar gondok.

6. **Sistem Saraf**

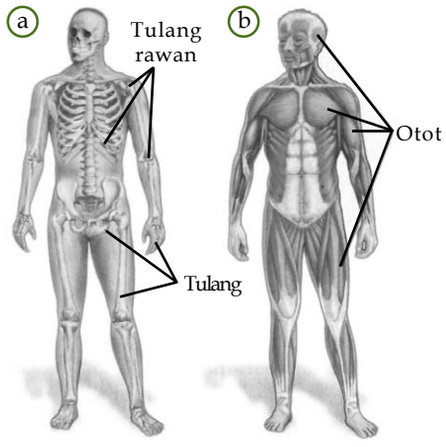
Sistem saraf berperan dalam menyampaikan rangsang yang diperoleh dari lingkungan, mempersepsikan rangsang, untuk kemudian merespons rangsang tersebut. Apakah organ yang terlibat dalam sistem saraf?

7. **Sistem Rangka**

Sistem ini berfungsi menopang dan memberi bentuk pada tubuh. Sistem rangka berfungsi juga melindungi bagian-bagian tubuh yang lunak atau rentan, seperti tengkorak yang berfungsi melindungi otak. Selain itu, sistem ini juga berfungsi sebagai tempat melekatnya otot rangka yang sangat dibutuhkan dalam gerak aktif. Jaringan darah juga dibentuk di dalam sumsum tulang.

8. **Sistem Otot**

Sistem ini adalah alat gerak utama serta membentuk postur tubuh. Dalam otot, disimpan glikogen yang berfungsi sebagai cadangan energi yang akan digunakan oleh otot untuk berkontraksi. Organ yang berada dalam sistem otot ini adalah otot rangka (otot lurik), otot polos, dan otot jantung.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

9. **Sistem Reproduksi**

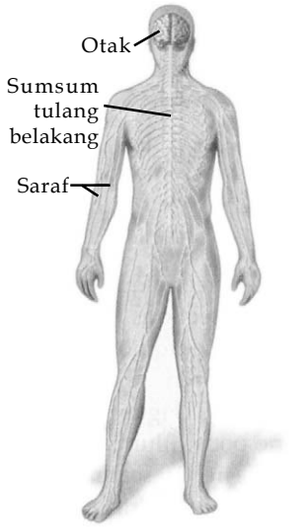
Sistem ini berkaitan dengan perbanyakan diri (perkembangbiakan). Organ-organ penyusun sistem reproduksi pria dan wanita berbeda. Dapatkah Anda menyebutkan organ-organ penyusun sistem reproduksi pria dan wanita?

10. **Sistem Kekebalan dan Limfatik**

Sistem ini berfungsi sebagai pertahanan tubuh melawan penyakit. Sistem ini terdiri atas sumsum tulang, kelenjar timus, kelenjar limfa, dan pembuluh limfa.

Tugas Ilmiah 3.1

Seperti telah Anda ketahui, sistem organ terdiri atas organ-organ yang saling melengkapi. Jika sebuah organ dalam sistem organ rusak maka keseluruhan kerja sistem organ akan terganggu. Ilmu kedokteran modern berusaha memberikan solusi, di antaranya transplantasi organ. Sekarang, tugas Anda adalah membuat sebuah karya tulis mengenai transplantasi organ. Majalah, koran, buku, dan internet dapat Anda jadikan sumber literatur Anda. Karya tulis terbaik dapat ditempelkan pada majalah dinding sekolah Anda.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.11
Sistem saraf.

Gambar 3.12
(a) Sistem rangka dan (b) sistem otot.

Wawasan Biologi

Ketika Anda menggerakkan tangan, setidaknya digunakan 8 sistem organ yang Anda miliki. Keseluruhan sistem organ tersebut, tidak akan berfungsi sempurna jika salah satu organ ada yang tidak berfungsi. Organ-organ itu juga dapat melakukan fungsinya tanpa adanya jaringan-jaringan yang menopang. Semua komponen yang membentuk sistem saling bergantung satu dengan lainnya. Tidak ada yang dapat berdiri sendiri. Tubuh Anda adalah sebuah simfoni.

Soal Penguasaan *Materi* 3.3

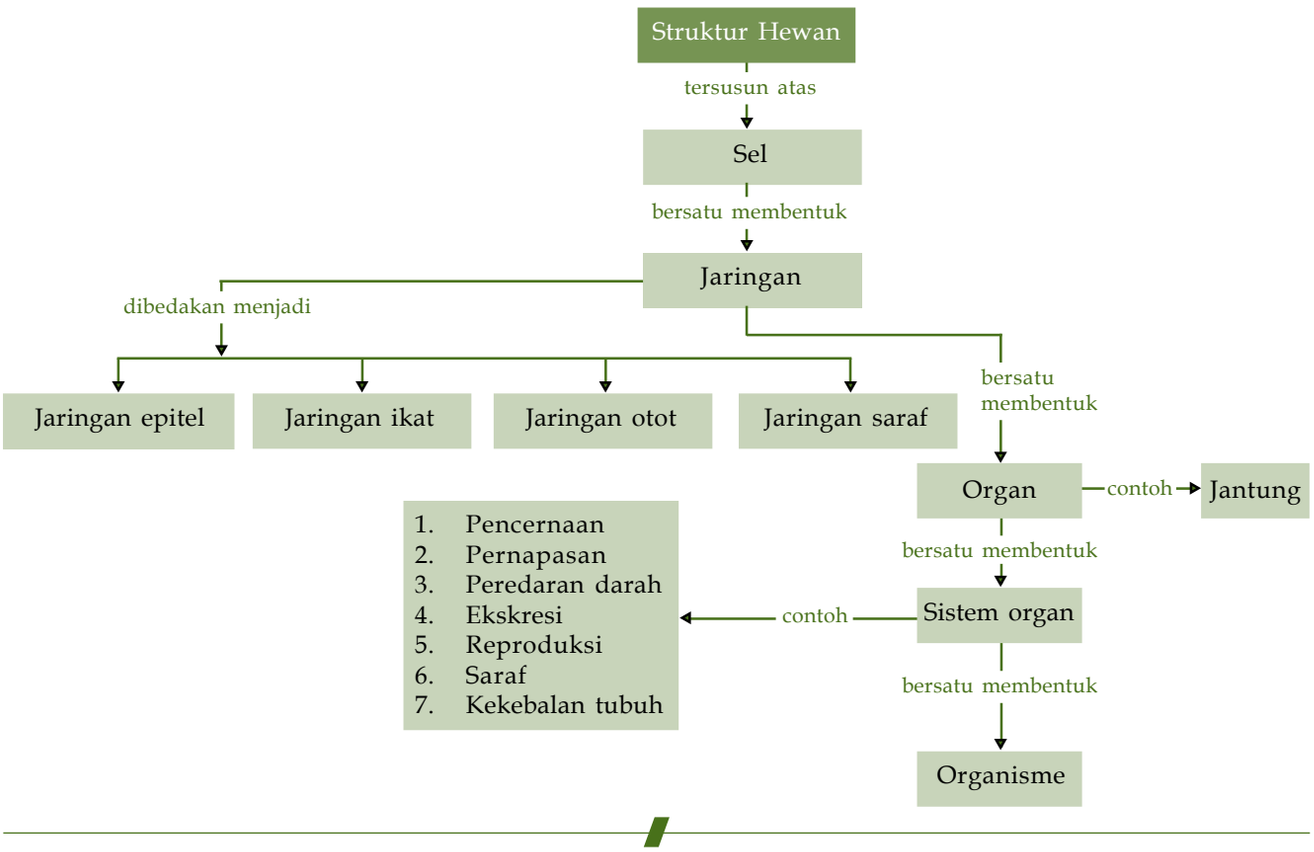
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan sistem organ yang terdapat pada tubuh manusia?
2. Apakah organ-organ penyusun sistem organ pencernaan makanan pada manusia?
3. Apa yang terjadi jika satu organ tidak dapat bekerja dengan baik dalam sebuah sistem organ?

Rangkuman

1. Jaringan hewan tersusun atas sel-sel. Jaringan dapat dibedakan atas jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf. Keempat jaringan ini berpadu membentuk berbagai macam organ pada makhluk hidup multiseluler.
2. Jaringan epitel menyelimuti dan melapisi permukaan luar organ dalam (endotelium), bagian dalam rongga (mesotelium), dan permukaan paling luar dari tubuh (epidermis).
3. Jaringan ikat berfungsi sebagai pengikat, penyokong, serta penghubung antarjaringan.
4. Jaringan otot dapat memendek dan memanjang. Jaringan otot dapat dibedakan menjadi otot lurik, otot polos, dan otot jantung.
5. Jaringan saraf membawa rangsang dari neuron sensorik menuju saraf pusat dan neuron motorik.
6. Organ memiliki suatu fungsi tertentu dalam tubuh. Beberapa macam organ akan bekerja bersama-sama membentuk suatu sistem dengan fungsi tertentu. Sistem ini disebut sistem organ. Terdapat beberapa sistem organ pada hewan multiseluler, misalnya sistem pernapasan, peredaran darah, gerak, ekskresi, reproduksi, pencernaan, koordinasi, dan sistem limfatik.

Peta Konsep



Kaji Diri

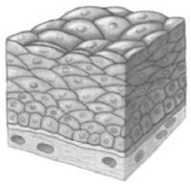
Apakah Anda memahami materi Struktur Hewan? Setelah mempelajari bab Struktur Hewan, Anda harus dapat mendeskripsikan struktur jaringan hewan vertebrata dan mengaitkannya dengan fungsinya. Jika Anda belum dapat mendeskripsikan struktur jaringan hewan vertebrata, berarti Anda belum menguasai materi bab Struktur Hewan dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda. Apakah manfaat Anda mempelajari bab ini?

Evaluasi Materi Bab 3

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Kumpulan sel yang memiliki bentuk dan fungsi yang serupa disebut ....
   a. uniseluler
   b. organ
   c. jaringan
   d. sistem jaringan
   e. sistem organ

2. Gambar berikut merupakan bentuk jaringan ....



   a. epitel pipih selapis
   b. epitel kubus lapis banyak
   c. epitel pipih lapis banyak
   d. epitel batang lapis banyak
   e. epitel batang selapis

3. Jaringan yang memiliki kemampuan untuk memendek dan memanjang (kontraksi dan relaksasi) adalah ....
   a. epitel kubus
   b. otot
   c. hati
   d. tulang rawan
   e. darah

4. Jaringan yang *tidak* akan bertambah banyak pada orang dewasa adalah ....
   a. sel darah merah
   b. sel saraf
   c. sel darah putih
   d. sel epitel
   e. jaringan tulang

5. Suatu jaringan yang hanya terdiri atas sel saja adalah ....
   a. darah
   b. jaringan penyokong
   c. jaringan penyambung
   d. tulang rawan
   e. epitel

6. Jaringan tulang rawan yang lokasinya terdapat di telinga bagian luar, epiglotis, dan laring adalah ....
   a. tulang rawan elastik
   b. tulang rawan fibrosa
   c. tulang rawan hialin
   d. tulang rawan kartilago
   e. tulang rawan statis

7. Berikut yang *bukan* merupakan jaringan penyokong atau pengikat adalah ....
   a. jaringan tulang rawan
   b. jaringan otot
   c. jaringan darah
   d. jaringan tulang
   e. jaringan limfatik

8. Jaringan yang berfungsi sebagai alat transportasi pada manusia adalah jaringan ....
   a. ikat tulang
   b. lemak
   c. darah
   d. otot
   e. ikat longgar

9. Ditemukan jaringan dengan ciri-ciri sebagai berikut.
   1. bentuk pipih, kubus, atau silindris;
   2. terletak di permukaan organ;
   3. berfungsi sebagai proteksi dan sekresi.

   Jaringan yang dimaksud adalah ....
   a. saraf
   b. otot
   c. lemak
   d. ikat
   e. epitel

10. Suatu jaringan memiliki ciri-ciri berikut.
    1. disusun oleh serabut kolagen yang kasar;
    2. terdapat kondrosit;
    3. terdapat di cakram antartulang belakang.

    Jaringan tersebut adalah ....
    a. rawan hialin
    b. rawan fibrosa
    c. rawan elastik
    d. tulang kompak
    e. tulang spon

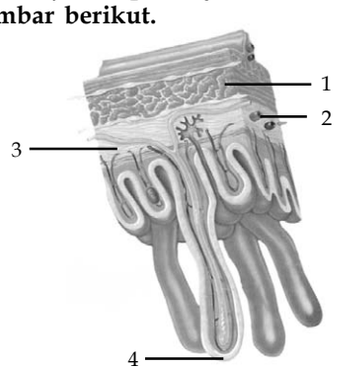
11. Berikut adalah ciri-ciri jaringan pada hewan.

I	II	III
• Merupakan jaringan penutup permukaan organ	• Bentuk selnya bermacam-macam (gelendong, jala, dan lain-lain)	• Adanya bahan dasar
• Berfungsi melindungi jaringan yang terdapat di bawahnya	• Berfungsi sebagai penggerak alat-alat tubuh	• Berfungsi menghubungkan sel-sel atau organ-organ

    Berdasarkan tabel tersebut, pernyataan yang tepat adalah ....
    a. III merupakan jaringan epitel
    b. III merupakan jaringan ikat
    c. II merupakan jaringan epitel
    d. I merupakan jaringan otot
    e. I merupakan jaringan ikat

12. Jaringan epitel pipih berlapis banyak dapat dijumpai pada ....
    a. laring
    b. dinding vesika urinaria
    c. perikardium
    d. kelenjar tiroid
    e. vagina
13. Organ jantung *tidak* memiliki jaringan ....
    a. jaringan epitel
    b. jaringan darah
    c. jaringan ikat
    d. jaringan saraf
    e. jaringan otot polos

Untuk menjawab pertanyaan nomor 14-15, perhatikanlah gambar berikut.



14. Jaringan epitel pada gambar ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
15. Jaringan ikat ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
16. Berikut ini yang termasuk organ adalah ...
    a. eritrosit
    b. kulit
    c. otot jantung
    d. epitel pipih pada arteri
    e. sistem pencernaan
17. Jaringan akan menyusun organ. Kombinasi jaringan dan organ yang benar adalah ....
    a. otot lurik → organ dalam
    b. otot jantung → jantung
    c. otot polos → otak
    d. tulang rawan → lidah
    e. jaringan darah → usus
18. Organ berikut yang *tidak* berhubungan langsung dengan sistem pencernaan makanan adalah ...
    a. usus
    b. lambung
    c. pankreas
    d. hati
    e. jantung
19. Sistem saluran pencernaan makanan terdiri atas organ-organ berikut ini.
    1. Mulut
    2. Lambung
    3. Usus halus
    4. Duodenum
    5. Esofagus
    6. Usus besar
    7. Anus
    8. Rektum
    9. Hati
    10. Pankreas

    Urutan saluran pencernaan makanan dari awal hingga akhir adalah ....
    a. 1 - 2 - 4 - 5 - 6 - 3 - 8 - 7
    b. 1 - 5 - 9 - 4 - 3 - 6 - 2 - 7
    c. 1 - 5 - 2 - 4 - 3 - 6 - 8 - 7
    d. 1 - 4 - 2 - 5 - 6 - 3 - 8 - 7
    e. 1 - 5 - 4 - 3 - 2 - 7 - 8 - 6
20. Berikut ini beberapa kelompok sistem organ yang benar, *kecuali* ....
    a. mulut, lambung, usus, dan anus
    b. ginjal, ureter, dan uretra
    c. otot polos, otot jantung, dan otot rangka
    d. testis, ovarium, dan alat kelamin
    e. faring, laring, trakea, dan bronkus

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Apakah fungsi jaringan epitel, otot, tulang, saraf, dan ikat pada tubuh hewan?
2. Tuliskan pembagian kelompok jaringan epitel berdasarkan lapisannya.
3. Sebutkan serabut yang menyusun jaringan ikat.
4. Berdasarkan cara neuron mengirimkan rangsang, neuron dikelompokkan menjadi beberapa. Sebutkan pengelompokannya dan fungsinya.
5. Apakah perbedaan antara otot jantung dan otot polos?

Soal Tantangan

Para ahli kedokteran dan obat-obatan di Indonesia sedang mencoba kemungkinan transplantasi atau cangkok jaringan untuk berbagai jaringan tubuh manusia. Misalnya, darah buatan (artifisial) atau kulit buatan untuk korban yang terkena luka bakar. Pada situasi apa saja, darah dan kulit buatan dapat digunakan? Apa yang harus diperhatikan dalam penggunaannya? Apakah jaringan buatan dapat berfungsi lebih baik daripada jaringan asli? Menurut Anda, jaringan buatan apa lagi yang dapat digunakan?

Sumber: *www.bantul.go.id*

Bab 4
Sistem Gerak

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami tentang sistem gerak pada manusia. Syarat bagi Anda untuk dapat memahaminya adalah mampu menjelaskan tentang sistem gerak pada manusia.

Setiap saat kita bergerak, apakah itu berjalan, mengangkat beban, menulis, atau yang lainnya. Kalaupun Anda sekarang sedang duduk, pasti ada bagian tubuh Anda yang bergerak, misalnya jantung Anda berdetak atau mata Anda berkedip. Sungguh suatu kebesaran Tuhan Yang Maha Esa.

Gerak pada manusia terjadi karena manusia memiliki alat gerak. Organ-organ apa saja yang membentuk sistem gerak pada manusia tersebut? Bagaimana proses gerak itu sendiri? Apa sajakah yang berperan dalam proses bergerak?

Pada bab berikut, Anda akan mempelajari struktur dan fungsi organ-organ yang termasuk dalam sistem gerak pada manusia. Pelajari dan kerjakanlah kegiatan-kegiatan yang ada pada bab berikut sehingga Anda dapat memahami dengan jelas sistem gerak pada manusia.

A. Tulang
B. Hubungan Antartulang
C. Otot
D. Kelainan dan Gangguan pada Sistem Gerak

Soal *Prameteri*

1. Apakah semua makhluk hidup bergerak?
2. Apakah yang dibutuhkan makhluk hidup untuk bergerak?
3. Di manakah letak otot?

A Tulang

Seperti yang telah Anda pelajari pada bab sebelumnya, tulang merupakan salah satu bagian sistem rangka yang terbuat dari jaringan ikat tulang. Tulang sangat berguna bagi manusia. Apakah Anda masih ingat fungsi dari tulang? Beberapa fungsi tulang adalah sebagai berikut:

1. sebagai alat gerak bersama dengan otot;
2. sebagai tempat melekatnya otot;
3. sebagai pelindung organ lunak dan vital;
4. tempat memproduksi sel-sel darah;
5. tempat penyimpanan cadangan mineral, berupa kalsium dan fosfat, serta cadangan lemak.

1. Klasifikasi Tulang

Tulang sangat banyak jenisnya, baik bentuk maupun penyusunnya. Berdasarkan jaringan penyusunnya, tulang dapat dikelompokkan sebagai berikut.

a. Tulang Rawan (Kartilago)

Tulang rawan terdiri atas sel-sel tulang rawan (**kondrosit**), serabut kolagen, dan matriks. Sel-sel tulang rawan dibentuk oleh bakal sel-sel tulang rawan, yaitu **kondroblas**.

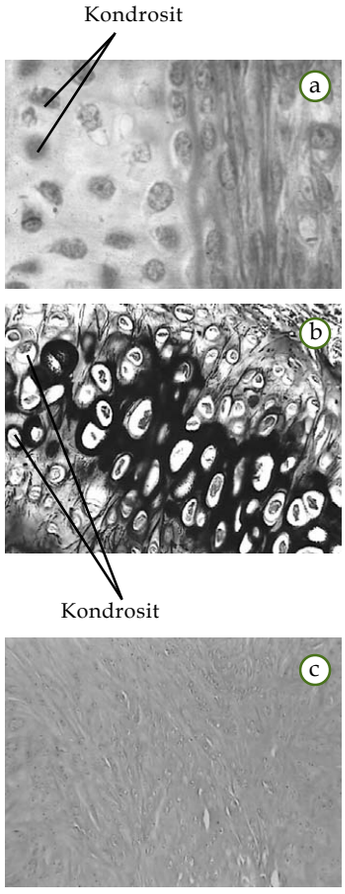
Berdasarkan susunan serabutnya, tulang rawan dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu sebagai berikut.

1) **Tulang rawan hialin**, mempunyai serabut tersebar dalam anyaman yang halus dan rapat. Tulang rawan hialin terdapat di ujung-ujung tulang rusuk yang menempel ke tulang dada (**Gambar 4.1a**).
2) **Tulang rawan elastis**, susunan sel dan matriksnya mirip tulang rawan hialin, tetapi tidak sehalus dan serapat tulang rawan hialin. Tulang rawan elastis terdapat di daun telinga, laring, dan epiglotis (**Gambar 4.1b**).
3) **Tulang rawan fibrosa**, matriksnya tersusun kasar dan tidak beraturan. Tulang rawan fibrosa terdapat di cakram antartulang belakang dan simfisis pubis (pertautan tulang kemaluan) (**Gambar 4.1c**).

b. Tulang Keras (Osteon)

Tulang terbentuk dari tulang rawan yang mengalami penulangan (**osifikasi**). Ketika tulang rawan (kartilago) terbentuk, rongga-rongga matriksnya terisi oleh **sel osteoblas**. Osteoblas merupakan lapisan sel tulang muda. Osteoblas akan menyekresikan zat interseluler seperti kolagen yang akan mengikat zat kapur. Osteoblas yang telah dikelilingi zat kapur akan mengeras dan menjadi **osteosit** (sel tulang keras). Antara sel tulang yang satu dan sel tulang yang lain dihubungkan oleh juluran-juluran sitoplasma yang disebut **kanalikuli**. Setiap satuan sel osteosit akan mengelilingi suatu sistem saraf dan pembuluh darah sehingga membentuk **sistem Havers** (**Gambar 4.2**).

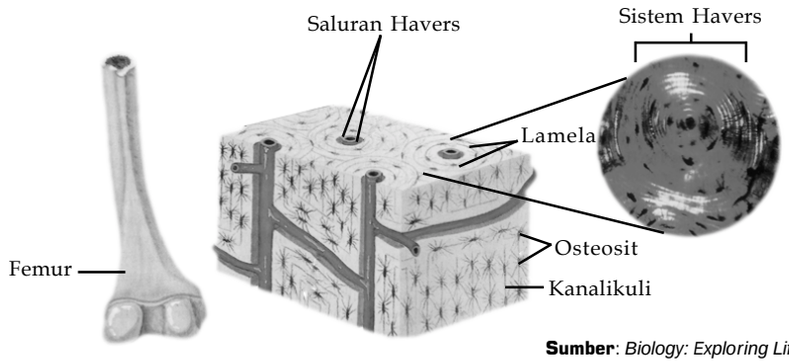
Matriks di sekitar sel-sel tulang memiliki senyawa protein yang dapat mengikat kapur ($CaCO_3$) dan fosfor ($CaPO_4$). Kapur dan fosfor tersebut membuat tulang menjadi keras. Berdasarkan matriksnya, bagian tulang dapat dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu **tulang kompak** dan **tulang spons**.



Sumber: *www.ulb.ac.be; www.montgomerycollege.edu;*

Gambar 4.1
(a) Tulang rawan hialin, (b) tulang rawan elastis, dan (c) tulang rawan fibrosa.

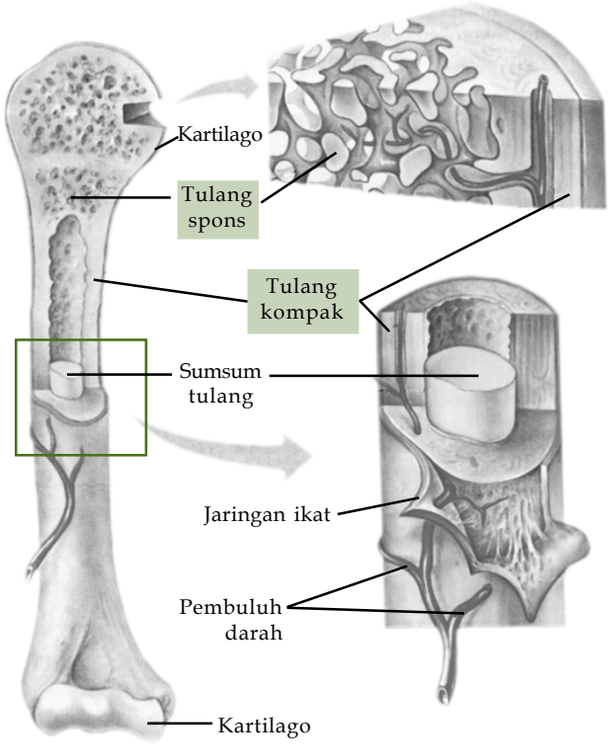
Dapatkah Anda membedakan strukturnya?



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 4.2
Tulang keras terdiri atas sel-sel hidup yang disebut osteosit.

Tulang kompak memiliki matriks yang padat dan rapat, sedangkan tulang spons memiliki matriks yang berongga-rongga (**Gambar 4.3**). Sebenarnya, kedua jenis tulang tersebut terdapat di suatu tempat yang sama. Penamaan diambil hanya dengan melihat bagian mana yang paling dominan. Dari penjelasan tersebut, dapatkah Anda menunjukkan contoh tulang kompak dan tulang spons yang terdapat pada tubuh kita?



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Kata Kunci
- Diafisis
- Epifisis
- Sistem Havers

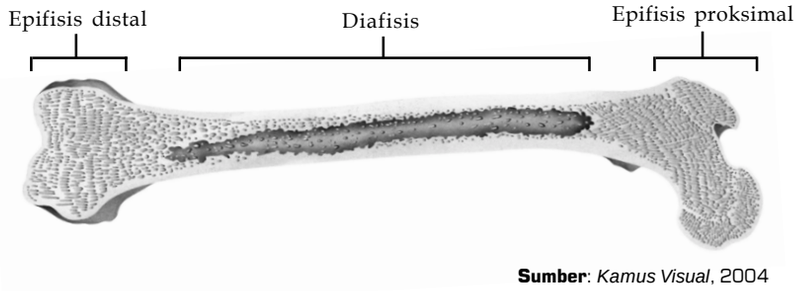
Gambar 4.3
Berdasarkan matriksnya, tulang dibedakan menjadi dua, yaitu tulang kompak dan tulang spons.

Apa perbedaannya?

Berdasarkan bentuknya, tulang keras dapat dikelompokkan sebagai berikut.

1) **Tulang pipa**, berbentuk panjang dan berongga, seperti pipa. Contoh tulang ini di antaranya tulang pengumpil, tulang hasta, tulang betis, dan tulang kering.

   Tulang pipa terdiri atas dua bagian, yaitu **diafisis** dan **epifisis**. Diafisis adalah bagian "badan" tulang, sedangkan epifisis adalah bagian tepi (*epi*) atau bagian "kepala" tulang. Di antara epifisis dan diafisis, dibatasi oleh bagian yang disebut **cakram epifisis** (**Gambar 4.4**). Cakram epifisis lebih lambat proses penulangannya dibandingkan dengan daerah diafisis.

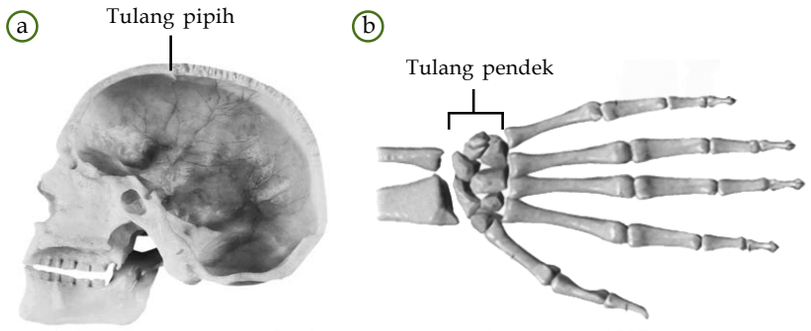


Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.4
Tulang pipa terdiri atas dua bagian, yaitu diafisis dan epifisis.

2) **Tulang pipih**, adalah tulang-tulang yang berbentuk pipih. Tulang pipih banyak terdapat di rangka aksial, misalnya tulang rusuk, tulang belikat, dan tulang-tulang yang menyusun tengkorak (**Gambar 4.5a**). Tulang pipih berfungsi sebagai pelindung suatu rongga. Misalnya, rongga tengkorak melindungi otak dan rongga dada melindungi jantung serta paru-paru.

3) **Tulang pendek**, berukuran pendek. Hanya ditemukan di daerah pangkal telapak tangan (**Gambar 4.5b**), pangkal telapak kaki, dan tulang-tulang belakang.



Sumber: *Jendela Iptek: Tubuh Manusia*, 1997; *Human Anatomy*, 1996

Gambar 4.5
(a) Tulang pipih pada tengkorak dan (b) tulang pendek pada pangkal telapak tangan.

4) **Tulang tidak beraturan**, yaitu tulang yang memiliki bentuk tidak beraturan. Contohnya adalah tulang-tulang belakang (**Gambar 4.6**) dan tulang penyusun wajah.

Sumber: *Jendela Iptek: Tubuh Manusia*, 1997

Gambar 4.6
Tulang belakang memiliki bentuk yang tidak beraturan.

2. Rangka Tubuh

Rangka manusia terdiri atas kurang lebih 206 tulang. Berdasarkan letak tulang-tulang terhadap sumbu tubuh, rangka dapat dikelompokkan menjadi dua kelompok. Kelompok pertama adalah **rangka aksial** yang berada di bagian tengah sumbu tubuh. Kelompok kedua, adalah **rangka apendikular** yang berada di bagian tepi dari sistem rangka aksial.

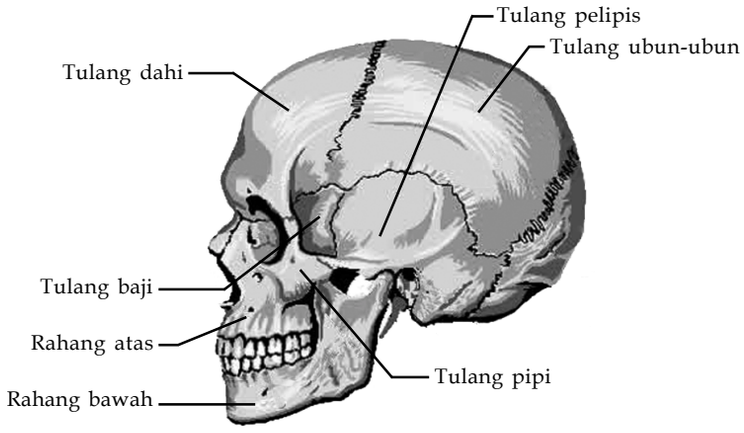
Rangka aksial terdiri atas tulang kepala (**tengkorak**), ruas-ruas tulang belakang (**vertebrae**), tulang dada (**sternum**), dan tulang rusuk (**kosta**). Rangka apendikular terdiri atas **gelang bahu**, **anggota gerak atas** (tungkai atas), **gelang panggul**, dan **anggota gerak bawah** (tungkai bawah).

a. Rangka Aksial

Rangka aksial merupakan tulang-tulang yang berada di bagian tengah sumbu tubuh. Tulang rangka aksial terdiri atas tulang kepala, ruas tulang belakang, tulang dada, dan tulang rusuk.

1) Tulang Kepala

Tulang kepala terdiri atas tulang tempurung (**kranium**) dan tulang rahang. Tulang kepala berfungsi sebagai pelindung otak, organ pendengaran, dan organ penglihatan (**Gambar 4.7**). Ada berapa tulang di kepala Anda?



Sumber: *www.lowbackpain.com*

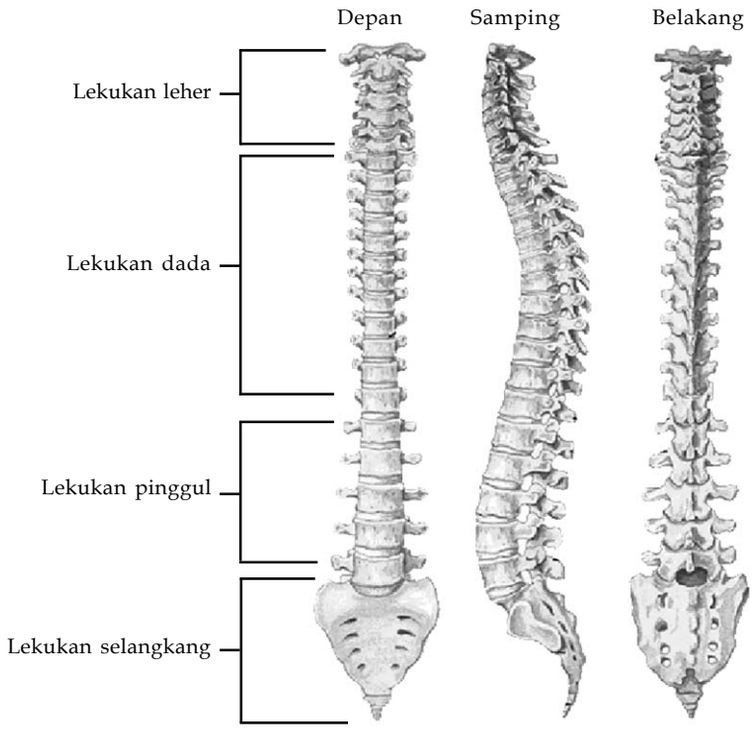
Gambar 4.7
Tulang kepala manusia.

Kata Kunci

- Discus invertebralis
- Rangka aksial
- Rangka apendikular

2) Tulang Belakang (*Columna Vertebralis*)

Tulang belakang merupakan penopang tubuh utama. Terdiri atas jejeran tulang-tulang belakang (vertebrae). Di antara tulang-tulang vertebrae terdapat *discus invertebralis* merupakan tulang rawan yang membentuk sendi yang kuat dan elastis. *Discus invertebralis* memungkinkan tulang belakang bergerak ke segala arah. Jika dilihat dari samping, tulang belakang membentuk lekukan leher (**cervix**), lekukan dada (**thorax**), lekukan pinggul (**lumbar**), dan lekukan selangkang (**sacral**). Perhatikan **Gambar 4.8**.

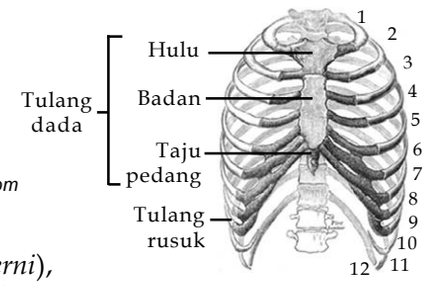


Sumber: *www.lowbackpain.com*

Gambar 4.8
Tulang belakang manusia.

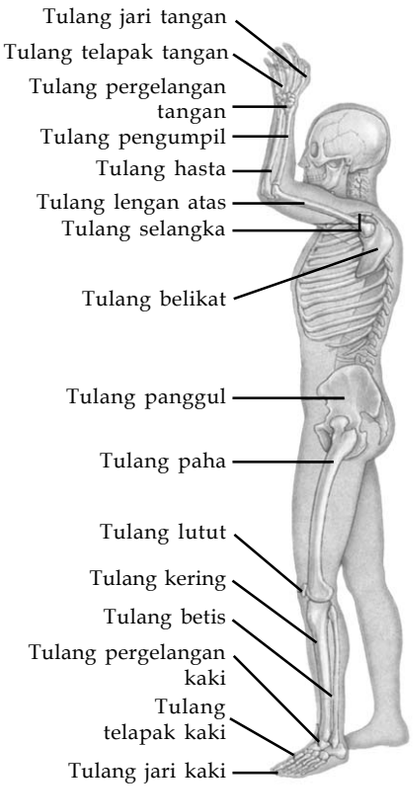
3) Tulang Dada (*Sternum*) dan Tulang Rusuk (*Costa*)

Tulang dada terdiri atas bagian hulu atau tangkai (*manubrium sterni*), bagian badan (*corpus sterni*), dan taju pedang (*processus xyphoideus*). Tulang rusuk terdiri atas 12 pasang tulang rusuk, yaitu 7 pasang rusuk sejati (*costa vera*), 3 pasang rusuk palsu (*costa spuria*), dan 2 pasang rusuk melayang (*costa fluctuantes*). Perhatikan **Gambar 4.9**.



Sumber: *www.recipeland.com*

Gambar 4.9
Tulang dada dan tulang rusuk.



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

Gambar 4.10
Rangka apendikular pada manusia.

Bersama lekukan thorax pada tulang belakang, tulang dada dan tulang rusuk membentuk rongga dada (*thorax*) yang melindungi organ-organ penting seperti jantung, paru-paru, dan pembuluh darah.

b. Rangka Apendikular

Rangka apendikular meliputi anggota gerak tubuh (**Gambar 4.10**). Rangka apendikular dapat dikelompokkan menjadi gelang bahu, tulang anggota gerak atas, gelang panggul, dan tulang anggota gerak bawah (Kurnadi, 1992: 148).

1) Gelang bahu
   Terdapat dua gelang bahu, yaitu kanan dan kiri. Masing-masing gelang bahu terdiri atas tulang selangka (*clavicula*) dan tulang belikat (*scapula*).
2) Tulang anggota gerak atas
   Tulang anggota gerak atas terdiri atas dua tungkai, kanan dan kiri. Masing-masing terdiri atas
   a) tulang lengan atas (*humerus*);
   b) tulang hasta (*ulna*);
   c) tulang pengumpil (*radius*);
   d) 8 tulang pergelangan tangan (*carpal*);
   e) 5 tulang telapak tangan (*metacarpal*);
   f) 14 tulang jari tangan (*phalanges*).
3) Gelang panggul
   Gelang panggul terdiri atas 2 tulang pinggul (*coxae*) di kanan dan kiri. Gelang panggul sangat stabil dan berfungsi menahan berat tubuh.
4) Tulang anggota gerak bawah
   Tulang anggota gerak bawah terdiri atas dua tungkai kaki, kanan dan kiri. Masing-masing terdiri atas
   a) tulang paha (*femur*);
   b) tulang tempurung (*patella*);
   c) tulang kering (*tibia*);
   d) tulang betis (*fibula*);
   e) 7 tulang pergelangan kaki (*tarsal*);
   f) 5 tulang telapak kaki (*metatarsal*);
   g) 14 tulang jari kaki (*phalanges*).

Soal Penguasaan *Materi* 4.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan pengelompokan tulang rawan berdasarkan susunan serabutnya.
2. Jelaskan pengelompokan tulang keras berdasarkan bentuknya.
3. Jelaskan fungsi dari rangka tulang.
4. Sebutkan tulang penyusun rangka aksial

B Hubungan Antartulang

Artikulasi adalah istilah untuk menyatakan hubungan antartulang. Akan tetapi, pada umumnya orang lebih sering menggunakan istilah persendian daripada istilah artikulasi. Sebuah artikulasi terdiri atas dua atau lebih tulang yang berhubungan. Berdasarkan keleluasaan dalam bergerak, terdapat tiga jenis persendian pada manusia, yaitu **sinartrosis**, **amfiartrosis**, dan **diartrosis**.

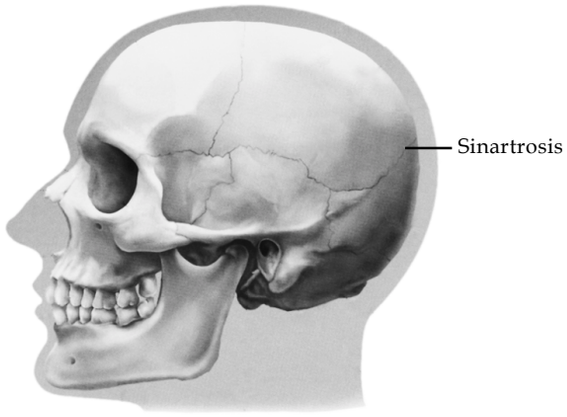
1. Sinartrosis

Sinartrosis adalah hubungan antartulang yang rapat sehingga tidak memungkinkan pergerakan sama sekali. Kedua tulang dihubungkan oleh jaringan ikat atau tulang rawan. Contoh persendian sinartrosis adalah hubungan antartulang yang membentuk tengkorak kepala (**Gambar 4.11**).

Persendian sinartrosis dapat dibagi menjadi dua, yaitu **sinkondrosis** dan **sinfibrosis**. Disebut sinkondrosis jika antara kedua ujung tulang dihubungkan oleh tulang rawan (kartilago), contohnya sendi sutura pada tengkorak kepala. Sementara itu, disebut sinfibrosis jika kedua ujung tulang dihubungkan oleh serabut jaringan ikat, contohnya akar gigi.

Kata Kunci

- Amfiartrosis
- Artikulasi
- Diartrosis
- Sinartrosis



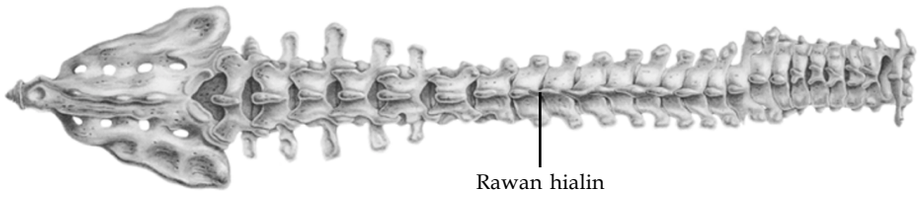
Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.11
Hubungan antartulang yang membentuk tengkorak kepala adalah artikulasi yang rapat dan tidak memungkinkan pergerakan sama sekali.

2. Amfiartrosis

Pada persendian amfiartrosis, kedua ujung tulang yang berhubungan dilapisi oleh tulang rawan hialin. Bantalan tulang rawan hialin cukup tebal. Di bagian luar, kedua tulang tersebut diikat oleh jaringan ikat longgar.

Struktur pada amfiartrosis masih memungkinkan pergerakan yang terbatas. Artinya, pergerakan tersebut hanya sebatas gerak mendekat dan menjauh antara kedua tulang. Contoh persendian ini adalah hubungan antartulang belakang (**Gambar 4.12**).



Sumber: *Human Anatomy*, 1996

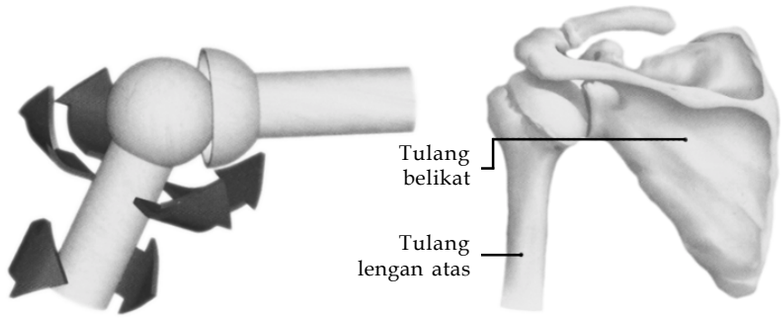
Gambar 4.12
Hubungan antartulang belakang termasuk contoh persendian amfiartrosis.

3. Diartrosis

Kedua ujung tulang pada persendian diartrosis dihubungkan oleh jaringan ikat longgar sehingga tulang-tulang dalam persendian tersebut dapat bergerak dengan leluasa. Antara jaringan ikat longgar dan tulang-tulang yang membentuk persendian terdapat ruang yang berisi cairan *sinovial* yang berfungsi sebagai pelumas. Berdasarkan arah gerakan yang dihasilkan persendian diartrosis, persendian ini dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis seperti berikut.

a. Sendi Peluru

Sendi peluru mampu melakukan gerakan ke banyak arah. Sendi ini merupakan sendi yang paling bebas melakukan gerakan. Contohnya, sendi gelang bahu dan sendi gelang panggul (**Gambar 4.13**).

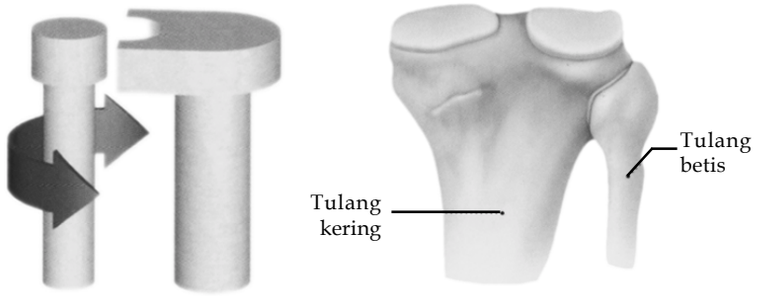


Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.13
Sendi peluru memungkinkan pergerakan ke banyak arah.
Apa yang menyebabkan sendi ini dapat melakukan gerakan yang bebas?

b. Sendi Putar

Sendi putar mampu melakukan gerakan berputar yang bertumpu pada satu sumbu. Contohnya, sendi yang menghubungkan tulang atlas dan tulang tengkorak, serta tulang pengumpil dengan tulang hasta (**Gambar 4.14**).



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.14
Sendi putar memungkinkan pergerakan berputar.

c. Sendi Engsel

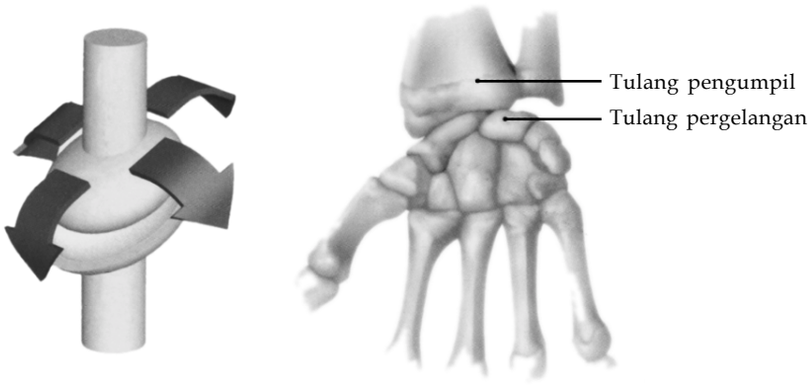
Sendi engsel mampu melakukan gerakan satu arah, mirip engsel pintu. Contohnya, pada siku (**Gambar 4.15**), lutut, dan ruas-ruas jari.

Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.15
Sendi engsel memungkinkan pergerakan satu arah.
Di manakah contoh sendi engsel terdapat?

d. Sendi Elipsoid

Mirip dengan sendi peluru, hanya saja sendi elipsoid memiliki bonggol dan ujung-ujung tulangnya tidak membulat, tetapi sedikit oval. Oleh karena itu, gerakan yang dihasilkan lebih terbatas dibandingkan dengan sendi peluru. Contohnya, hubungan antara tulang pengumpil dan tulang pergelangan tangan (**Gambar 4.16**).

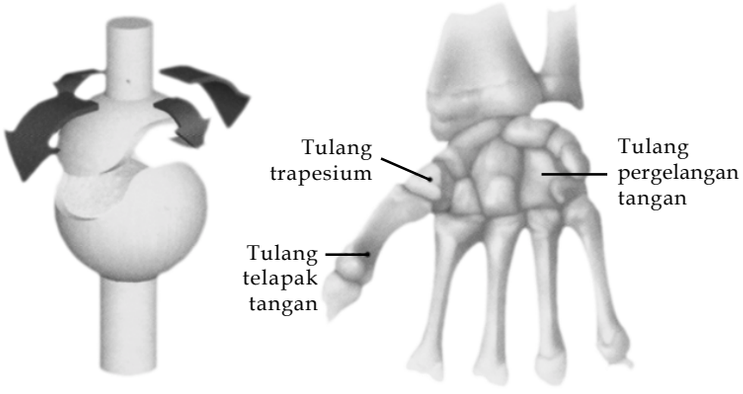


Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.16
Sendi elipsoid memiliki bonggol yang ujung-ujungnya sedikit oval.

e. Sendi Pelana

Sendi pelana adalah hubungan antartulang yang kedua ujung tulangnya membentuk hubungan mirip seperti pelana dan tubuh orang yang menunggangi kudanya. Misalnya, sendi yang dibentuk oleh tulang-tulang telapak tangan dan tulang pergelangan tangan (**Gambar 4.17**).

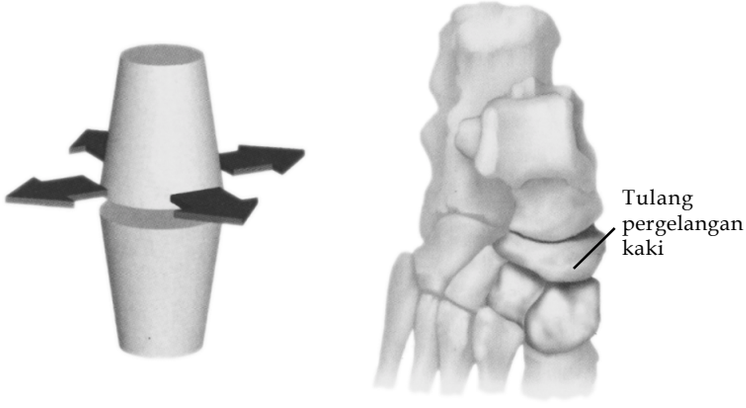


Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.17
Sendi pelana memungkinkan pergerakan mirip pelana dengan penunggang kuda.

f. Sendi Luncur

Sendi luncur adalah hubungan antartulang yang kedua ujung tulangnya sedikit rata sehingga terjadi gerakan menggeser. Contohnya, persendian yang dibentuk oleh tulang-tulang pergelangan tangan, pergelangan kaki (**Gambar 4.18**), serta antartulang selangka.



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.18
Sendi luncur memungkinkan gerakan menggeser.

Kegiatan 4.1

Rangka Manusia

Tujuan
Membedakan berbagai jenis tulang serta persendiannya

Alat dan Bahan
Model atau torso rangka manusia

Langkah Kerja
1. Amati torso rangka manusia. Perhatikan jenis-jenis tulang yang membentuk rangka manusia. Kelompokkan oleh Anda tulang mana yang termasuk rangka aksial dan rangka apendikular.
2. Setelah itu, tentukan pula jenis persendian pada tulang tersebut.
3. Catat hasil pengamatan Anda pada tabel seperti berikut dalam buku latihan Anda.

Tabel Pengamatan Jenis Tulang dan Persendian

No.	Nama Tulang	Rangka Aksial	Rangka Apendikular	Jenis Sendi
1	Tulang paha		✓	Peluru
2	...		...	...
...				

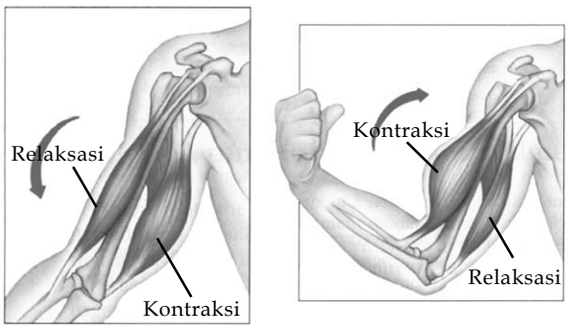
4. Diskusikan hasil pengamatan Anda.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.
1. Tulang apa sajakah yang termasuk rangka aksial?
2. Apakah fungsi utama rangka aksial dan apendikular?
3. Pada tulang apa sajakah terdapat sendi peluru?

Soal Penguasaan *Materi* 4.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.
1. Apakah yang dimaksud dengan artikulasi?
2. Sebutkan tiga jenis artikulasi pada manusia beserta fungsinya.
3. Jelaskan dan sebutkan contoh sendi putar, sendi peluru, dan sendi engsel.

C Otot



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 4.19
Otot dan tulang. Dengan adanya otot, tulang-tulang dapat digerakkan.

Tulang adalah alat gerak pasif, sedangkan otot adalah alat gerak aktif. Tulang berfungsi menunjang pergerakan otot ketika otot berkontraksi atau berelaksasi.

Dalam keseharian, otot lebih dikenal sebagai daging. Berdasarkan letaknya, dalam tubuh manusia terdapat lebih kurang 600 jenis otot yang berbeda.

Otot tidak hanya menggerakkan rangka, tetapi juga menggerakkan organ-organ tertentu dalam tubuh. Misalnya, jantung, usus, dan lambung. Kerja otot juga mengakibatkan membesar dan mengecilnya rongga dada, tempat paru-paru berada.

Ada tiga karakter yang dimiliki otot, yaitu sebagai berikut.

a. **Kontraktibilitas**, adalah kemampuan otot untuk memendek. Ketika memendek, otot berkontraksi. Jika otot menempel pada tulang, otot akan menarik tulang tersebut (**Gambar 4.19**).

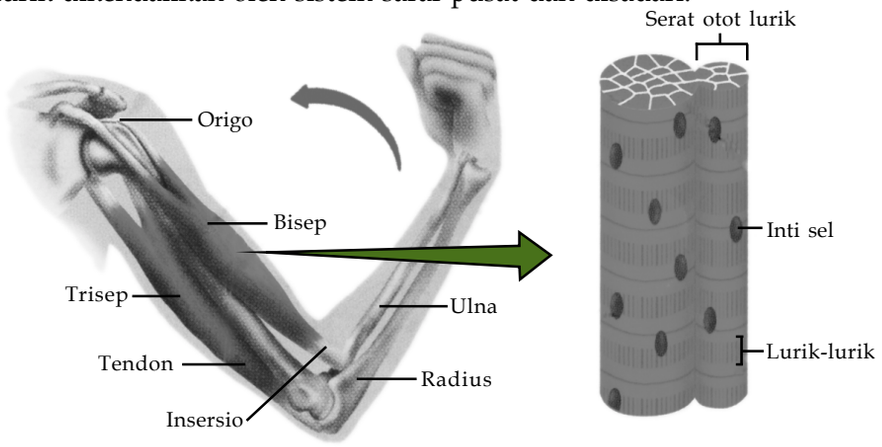
b. **Ekstensibilitas**, adalah kemampuan otot untuk memanjang melebihi ukuran semula. Pada saat otot memanjang, otot berelaksasi.
c. **Elastisitas**, adalah kemampuan otot untuk kembali ke bentuk semula, setelah mengalami pemanjangan atau pemendekan.

1. Klasifikasi Otot

Berdasarkan morfologi, cara kerja, dan lokasinya dalam tubuh, otot dapat dibagi menjadi tiga jenis.

a. Otot Lurik

Seperti halnya tulang, otot memiliki beberapa jenis. Otot lurik disebut juga otot rangka karena otot jenis ini menempel pada rangka dan menjadi alat gerak utama (**Gambar 4.20**). Otot lurik memiliki sel yang berbentuk silindris dan memiliki banyak inti. Di manakah letak inti selnya? Kerja otot lurik dikendalikan oleh sistem saraf pusat dan disadari.



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 4.20
Lengan dibentuk oleh otot lurik.

Wawasan Biologi

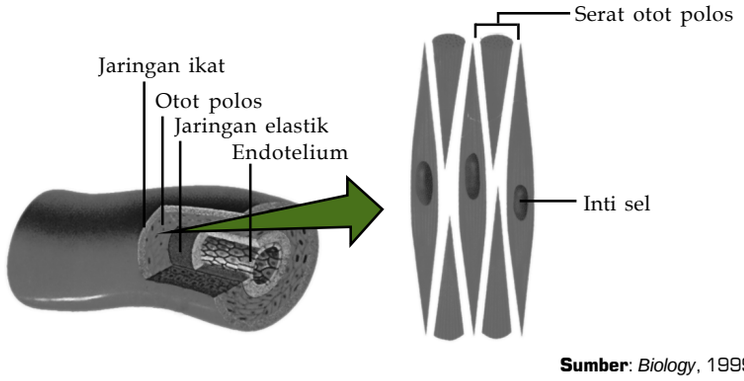
Sekitar setengah dari berat badan tubuh manusia adalah otot tubuh.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Berdasarkan cara melekatnya di tulang, terdapat dua bagian otot, yaitu **origo** dan **insersio**. Origo merupakan ujung otot yang menempel di tulang yang kedudukannya tetap (tumpuan) ketika otot berkontraksi. Adapun insersio merupakan bagian otot yang menempel pada tulang yang akan digerakkan ketika otot berkontraksi.

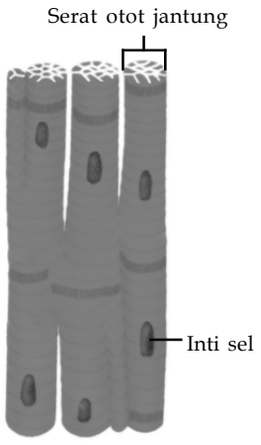
b. Otot Polos

Otot polos sering juga disebut otot organ dalam atau otot viseral. Otot polos terdapat di organ-organ dalam, misalnya di saluran-saluran dalam sistem pernapasan, sistem pencernaan, pembuluh darah, dan saluran kencing. Bentuk sel-sel otot polos menyerupai gelendong dengan satu inti di tengah (**Gambar 4.21**). Otot polos tidak dikendalikan oleh sistem saraf pusat sehingga otot-otot polos bekerja di luar kesadaran. Berapakah jumlah inti sel di otot polos?



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 4.21
Pembuluh darah arteri mempunyai otot polos yang bekerja di luar kesadaran.



Sumber: *Human Anatomy*, 1996

Gambar 4.22
Otot jantung terletak di jantung.

c. Otot Jantung

Otot Jantung memiliki struktur mirip dengan struktur otot lurik (**Gambar 4.22**). Hal yang membedakannya adalah serabut otot jantung memiliki percabangan di serabut-serabut ototnya. Otot jantung menggerakkan jantung dan jenis sarafnya adalah saraf otonom. Oleh karena itu, otot jantung bekerja di luar kesadaran. Sekarang, dapatkah Anda membedakan ketiga jenis otot tersebut?

2. Sifat Kerja Otot

Otot-otot saling bekerja sama ketika melakukan gerak. Minimal terdapat dua otot yang bekerja sama, otot pertama dan kedua berkontraksi ke arah yang berlawanan. Oleh karena itu, kedua otot tersebut dikatakan melakukan kerja yang **antagonis**. Pergerakan yang disebabkan otot-otot tersebut dapat berupa **ekstensor** dan **fleksor** (meluruskan dan membengkokkan), **depresor** dan **elevator** (ke bawah dan ke atas), **supinator** dan **pronator** (menengadah dan menelungkup), dan **abduktor** dan **adduktor** (menjauhi dan mendekati sumbu tubuh).

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 4.23
Otot lengan bekerja secara antagonis.

Contoh otot yang bekerja antagonis adalah otot **bisep** dan **trisep** di lengan bagian atas (**Gambar 4.23**). Ketika otot bisep berkontraksi dan otot trisep berelaksasi, siku terlipat dan lengan bawah terangkat. Sebaliknya, ketika otot bisep relaksasi dan otot trisep berkontraksi, siku lurus dan lengan bawah turun. Jenis gerakan yang dihasilkan otot bisep dan trisep tersebut adalah gerakan ekstensor-fleksor. Jadi, otot bisep berperan sebagai otot fleksor karena kontraksinya membengkokkan lengan. Sementara itu, otot trisep adalah otot ekstensor karena kontraksinya meluruskan lengan.

Dua atau lebih otot yang berkontraksi ke arah yang sama disebut otot yang bekerja **sinergis**, merupakan lawan dari bekerja secara antagonis. Contoh otot yang bekerja sinergis adalah gerakan supinasi-pronasi pada telapak tangan kita.

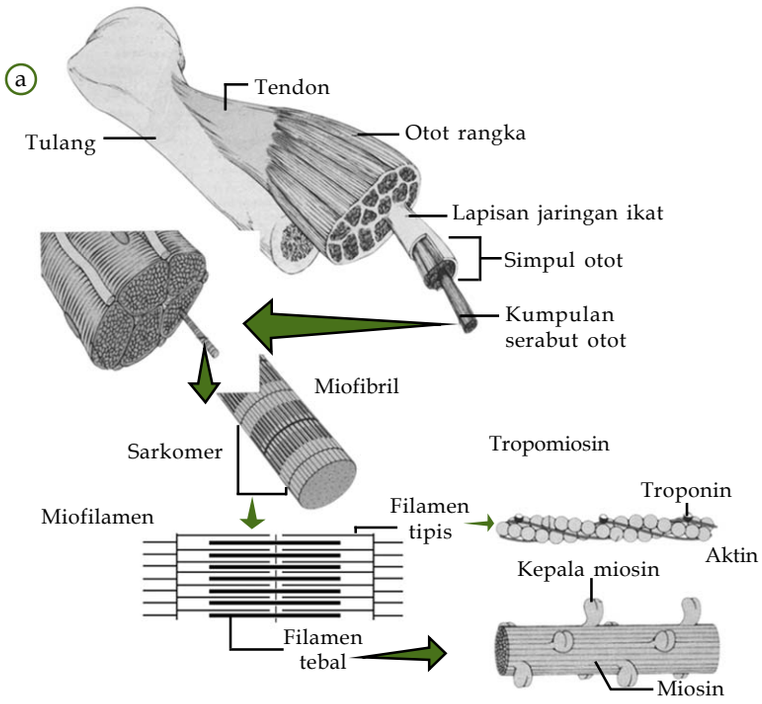
Kata Kunci

- Aktin
- Miosin
- Sarkomer

3. Mekanisme Kerja Otot

Pada tahun 1955, **Hansen** dan **Huxly**, mengemukakan teori *sliding filaments* (filamen yang bergeser) pada otot lurik. Mereka menyatakan bahwa saat otot kontraksi tidak terjadi pemendekan filamen, namun hanya pergeseran filamen-filamen. Melalui pengamatan dengan menggunakan mikroskop elektron dan difraksi sinar X, Hansen dan Huxly menemukan dua set filamen, yaitu **aktin** dan **miosin**. Aktin dan miosin tersebut bergeser sehingga otot dapat memendek dan memanjang saat otot berkontraksi dan berelaksasi.

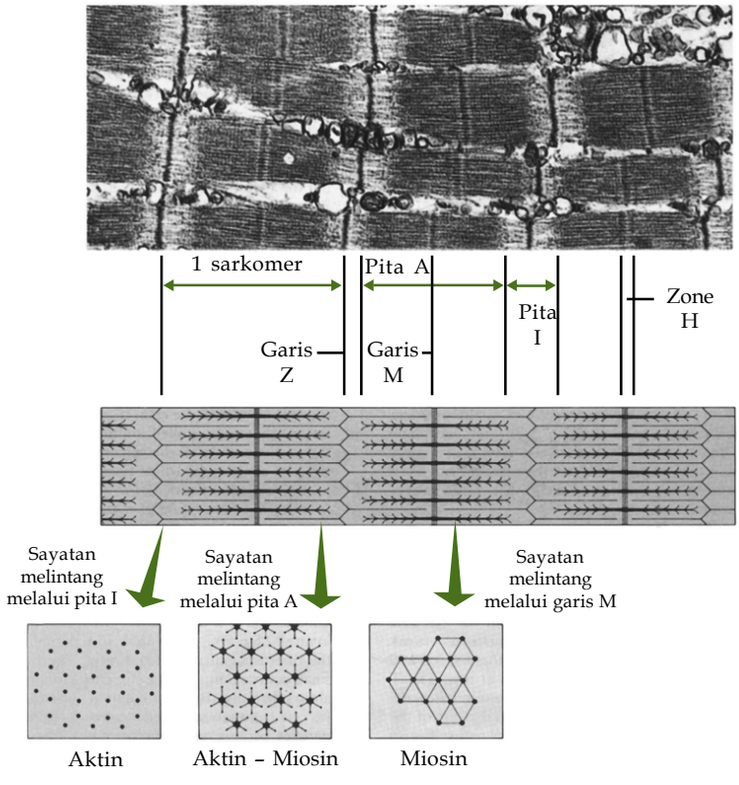
Filamen tersebut terdapat di dalam **sarkomer**. Sarkomer terdapat dalam sel otot. Jumlah filamen dalam satu sarkomer dapat mencapai ratusan hingga ribuan filamen, bergantung jenis ototnya. Filamen-filamen tersebut membangun 80% massa sarkomer. Perhatikan **Gambar 4.24**.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 4.24
(a) Otot rangka pada vertebrata dari tingkat otot sampai tingkat molekul yang membangunnya. (b) Posisi aktin dan miosin saat relaksasi dan kontraksi.

Pada saat berkontraksi, filamen aktin berikatan dan meluncur sepanjang filamen miosin. Perhatikan **Gambar 4.25**. **Zona H** adalah bagian terang, yang berada di antara **bagian A** yang berupa pita gelap. Pita yang terang disebut **pita I**. Pada saat berkontraksi, di zona-zona tersebut terjadi perubahan. Pita I dan zona H akan berubah jadi semakin sempit, atau bahkan hilang sama sekali (Levine and Miller, 1991: 862).



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 4.25
Pada otot terdapat zona terang dan gelap, yaitu zona H yang terdapat pita A dan pita I. Pada saat kontraksi, di zona-zona tersebut terjadi perubahan.

Wawasan Biologi

Orang yang mengalami kelumpuhan, otaknya tetap masih dapat memerintahkan ototnya untuk berkontraksi. Namun, gangguan pada saraf mengakibatkan sinyal yang dikirimkan tidak cukup kuat untuk membuat otot berkontraksi.

Kontraksi otot dipacu oleh potensial aksi dari sinaps sel saraf yang menyebabkan pelepasan ion kalsium (Ca^{2+}) oleh retikulum sarkoplasma (retikulum endoplasma yang terspesialisasi) di otot. Pelepasan Ca^{2+} menyebabkan protein regulator **tropomiosin** dan **troponin** berubah bentuk. Hal ini memungkinkan terjadi ikatan antara kepala miosin dan filamen aktin. Ketika filamen-filamen aktin meluncur menuju tengah sarkomer, otot memendek (kontraksi). Pada saat relaksasi, filamen-filamen tersebut kembali ke bentuk semula.

Pada saat filamen aktin meluncur, kepala miosin akan membentuk ikatan (*cross bridges*) dengan sebuah bonggol pada badan filamen aktin. Agar dapat berikatan, dibutuhkan energi yang diperoleh dari pemecahan ATP (*adenosine triphospate*) menjadi ADP (*adenosine diphospate*). Kombinasi aktin dan miosin dengan bantuan energi dari ATP ini disebut aktomiosin. Berikut adalah reaksinya.

$$\text{Aktin} + \text{Miosin} \xrightarrow{\text{ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}} \text{Aktomiosin}$$

Sel otot umumnya hanya menyimpan sedikit ATP untuk beberapa kali kontraksi. Untuk kontraksi berulang, diperlukan ATP lebih banyak. Energi tersebut diperoleh dari cadangan energi berupa kreatin fosfat. Cadangan energi ini memberikan gugus fosfat kepada ADP (*adenosine diphospaete*) untuk membentuk ATP. Namun, cadangan kreasin fosfat akan habis jika otot bekerja lebih keras.

Untuk menunjang pergerakan otot yang lebih keras dan lama, mitokondria sel otot lebih banyak memerlukan glukosa dan oksigen. Oleh karena itu, detak jantung dan napas akan lebih cepat. Glukosa dan oksigen digunakan untuk respirasi sel dan menghasilkan ATP. Masih ingatkah Anda proses respirasi sel?

Meskipun detak jantung dan napas lebih cepat, namun tetap diperlukan waktu bagi glukosa dan oksigen mencapai sel otot. Untuk menyediakan energi secara cepat, glukogen yang terdapat pada otot dapat dipecah menjadi glukosa dan asam laktat. Secara normal sel memerlukan oksigen untuk memecah karbohidrat dan menyintesis ATP. Namun, pemecahan glikogen dapat terjadi tanpa oksigen, yaitu melalui proses fermentasi asam laktat.

Selama latihan keras, asam laktat terakumulasi di otot. Asam laktat di otot dapat menyebabkan otot lelah dan sakit. Namun, asam laktat secara berkala terbawa aliran darah menuju hati. Kemudian, asam laktat diubah menjadi asam piruvat oleh sel hati. Proses fermentasi asam laktat untuk menghasilkan ATP ini disebut juga respirasi anaerob (berasal dari bahasa Yunani, *an* artinya tanpa; *aer* artinya udara; *bios* artinya hidup).

Ketika detak jantung dan napas bertambah kencang, hal ini memberikan lebih banyak udara pada sel otot sehingga sel otot mampu melakukan respirasi secara normal (respirasi aerob). Sebagian besar ATP yang dihasilkan mitokondria melalui proses fosforilasi oksidatif. Proses ini menggunakan energi kimia yang berasal dari katabolisme karbohidrat, lemak, atau protein.

Jika Anda berhenti berolahraga, Anda akan tetap bernapas kencang beberapa saat. Oksigen tambahan ini digunakan untuk mengubah banyak asam laktat menjadi glikogen kembali.

Kata Kunci

- ADP
- ATP
- Tropomiosin

Wawasan Biologi

Dalam respirasi aerob, setiap molekul glukosa menghasilkan 36 molekul ATP. Sementara itu, fermentasi asam laktat (respirasi anaerob) hanya menghasilkan 2 ATP. Meskipun sedikit, ATP hasil fermentasi asam laktat ini cukup bagi otot berkontraksi pada awal aktivitas otot seperti olah raga.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Soal Penguasaan *Materi* 4.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan karakter yang terdapat pada otot.
2. Bagaimanakah sifat kerja otot?
3. Jelaskan mekanisme kerja otot berdasarkan teori *sliding filament*.
4. Apa perbedaan respirasi anaerob dan respirasi aerob?

D Kelainan dan Gangguan pada Sistem Gerak

Tulang atau otot dapat mengalami kelainan maupun gangguan. Banyak faktor yang dapat menyebabkan hal tersebut terjadi. Berikut contoh-contoh kelainan dan gangguan yang terjadi pada tulang.

1. Kelainan dan Gangguan pada Tulang

Terdapat beberapa kelainan dan gangguan yang dapat terjadi pada tulang, di antaranya, rakhitis, osteoporosis, mikrosefalus, patah tulang, terkilir, kelainan bentuk tulang, dan artritis.

a. Kekurangan Vitamin D

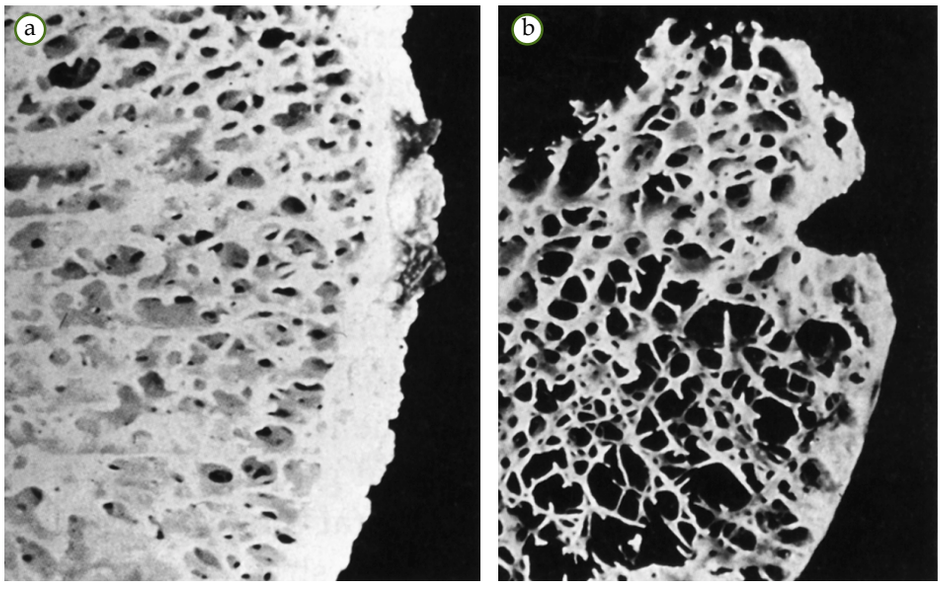
Pada tubuh manusia, vitamin D dibentuk dari provitamin D dengan bantuan sinar matahari. Vitamin D sangat dibutuhkan untuk proses pelekatan kalsium di tulang ketika proses penulangan pada masa anak-anak. Kekurangan vitamin D biasanya terjadi karena tubuh kurang mendapat sinar matahari yang cukup. Akibatnya, anak yang kekurangan vitamin D ini menderita kelainan pertumbuhan yang disebut **rakhitis**. Hal tersebut ditunjukkan oleh kedua kaki yang berbentuk X atau O (**Gambar 4.26**).

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.26
Rakhitis pada anak-anak. Penderita memiliki kaki berbentuk X atau O.

b. Osteoporosis

Osteoporosis adalah kelainan tulang, yaitu kondisi tulang menjadi lebih lunak. Hal tersebut dapat terjadi karena kekurangan hormon-hormon tertentu yang membantu pelekatan kalsium. Selain itu, penderita kelainan ini dapat disebabkan juga oleh kekurangan kalsium dalam makanannya sehingga tubuhnya menggunakan kalsium yang tersimpan pada tulangnya. Akibatnya, pada tingkat tertentu tulang menjadi lebih lunak (**Gambar 4.27**).



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity Life*, 1995

Gambar 4.27
(a) Tulang normal dan (b) tulang penderita osteoporosis

Apakah perbedaannya?

c. Mikrosefalus

Mikrosefalus adalah kelainan pada ukuran kepala bayi yang lebih kecil atau tidak proporsional. Hal tersebut disebabkan ketika hamil, seorang ibu mengalami kekurangan kalsium sehingga pembentukan tengkorak bayi tidak sempurna.

d. Patah Tulang (Fraktura)

Ada beberapa jenis patah tulang, yaitu:

1) patah tulang terbuka, tulang yang patah mencuat keluar sehingga merobek kulit;
2) patah tulang tertutup, tulang yang patah tidak melukai kulit.

Patah tulang lebih banyak disebabkan oleh kecelakaan yang dialami penderita

e. Terkilir

Seseorang dikatakan terkilir karena ligamen yang membungkus persendian tertarik ketika melakukan gerakan yang tiba-tiba atau tidak biasa dilakukan. Pada kasus dislokasi, ligamen sobek sehingga sendi bergeser. Dislokasi disebut juga urai sendi.

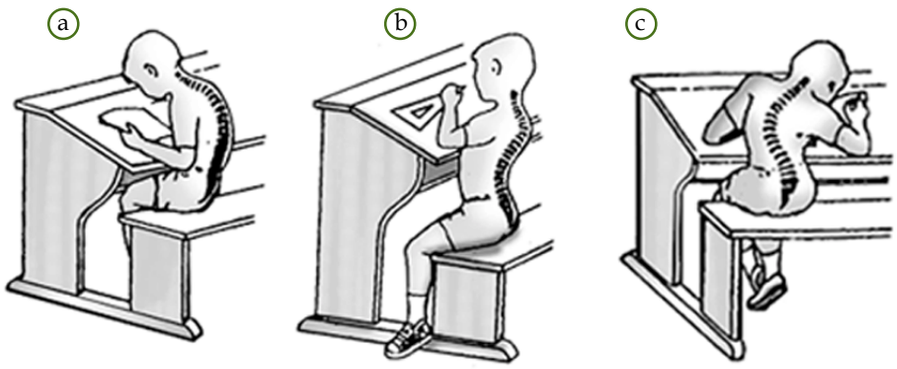
Kata Kunci

- Kifosis
- Lordosis
- Skoliosis

f. Kelainan Bentuk Tulang Belakang

Kebiasaan duduk yang salah atau kebiasaan membawa beban hanya di satu sisi tubuh saja, dapat menyebabkan kelainan pertumbuhan tulang belakang. Ada beberapa jenis kelainan, yaitu:

1) *lordosis*, jika bagian leher dan panggul menjorok ke depan;
2) *kifosis*, jika posisi punggung dan panggul menjorok ke belakang;
3) *skoliosis*, jika punggung membengkok ke samping.



Gambar 4.28
Cacat tulang akibat kebiasaan duduk yang salah (a) kifosis, (b) lordosis, dan (c) skoliosis.

Sudahkah Anda membiasakan duduk dengan posisi yang baik?

g. Artritis

Artritis adalah gangguan pada persendian. Artritis dapat dibedakan sebagai berikut.

1) *Artritis gout*, terjadi karena adanya timbunan asam urat. Pada umumnya, terjadi pada sendi-sendi tangan. Akibatnya, sendi-sendi tangan terlihat lebih besar.
2) *Osteoartritis* disebabkan oleh menipisnya lapisan tulang rawan di ujung tulang. Hal tersebut menyebabkan persendian sakit ketika digerakkan.
3) *Artritis eksudatif*, terjadi karena serangan kuman tertentu yang menyebabkan peradangan pada persendian. Sendi dipenuhi oleh cairan getah bening.
4) *Artritis sikka*, terjadi karena berkurangnya cairan sinovial. Hal tersebut menyebabkan rasa sakit ketika menggerakkan persendian.

2. Kelainan dan Gangguan pada Otot

Otot sebagai alat gerak aktif dapat mengalami gangguan. Jika mengalami gangguan, kerja otot dapat terganggu. Gangguan pada otot dapat terlihat, contohnya jika kita bergerak mengalami rasa sakit pada bagian betis atau bagian lainnya. Berikut contoh kelainan dan gangguan yang terjadi pada otot.

a. Atrofi

Atrofi adalah keadaan otot menjadi sangat kecil sehingga tidak mampu berkontraksi. Pada umumnya, atrofi terjadi karena lama tidak menggunakan otot tersebut. Misalnya, tidak dapat berjalan karena terlalu lama terbaring sakit.

b. Tetanus

Tetanus adalah keadaan otot yang kejang karena terus-menerus menerima rangsang. Penyakit tetanus disebabkan oleh *Clostridium tetani*, bakteri yang menghasilkan zat serupa asetilkolin sehingga otot terus terangsang untuk berkontraksi.

c. Miastenia Gravis

Penyakit ini belum diketahui penyebabnya. Penderitanya perlahan-lahan mengalami pelemahan pada otot-otot tubuhnya hingga akhirnya tidak berfungsi sama sekali. Pada umumnya, penderita kelainan ini meninggal karena otot-otot yang berhubungan dengan sistem pernapasan tidak dapat berkontraksi.

d. Kelelahan Otot

Kelelahan otot terjadi karena otot terus-menerus berkontraksi. Pada akhirnya, otot akan mengalami kejang atau biasa disebut sebagai kram.

e. Distrofi

Mirip dengan atrofi, penderita distrofi mengalami otot yang mengecil dan tidak dapat berfungsi normal. Namun, distrofi terjadi karena kelainan sejak lahir, diperkirakan kelainan ini bersifat genetis.

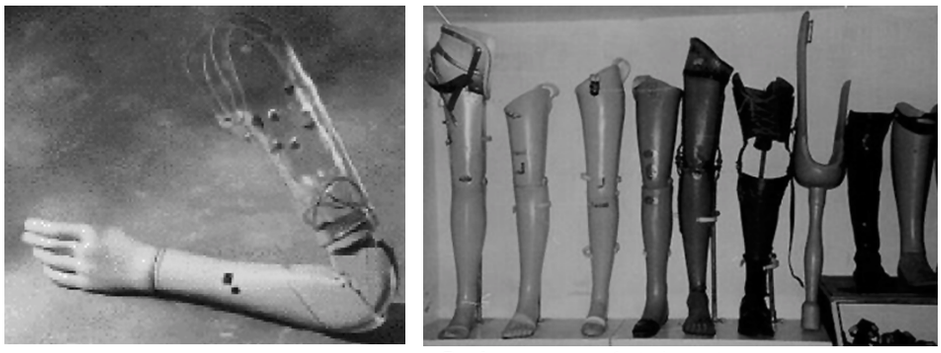
f. Hernia

Hernia disebabkan selaput peritonial yang membatasi rongga perut melemah sehingga tidak mampu menyangga usus. Akibatnya, usus turun dan terkadang mencapai testis atau sampai ke daerah lipat paha.

3. Teknologi yang Berhubungan dengan Sistem Gerak

Ilmu pengetahuan dan teknologi telah berkembang di segala bidang. Termasuk di dalamnya teknologi yang mengatasi berbagai masalah yang berhubungan dengan sistem gerak.

Orang yang kehilangan kaki atau tangannya dapat dibantu dengan menggunakan kaki atau tangan palsu. Kaki dan tangan palsu ini terus dikembangkan sehingga mempunyai bentuk dengan fungsi yang maksimal, menggantikan kaki dan tangan yang asli (**Gambar 4.29**).



Sumber: *www.manufacturingcenter.com; www.unescap.org*

Gambar 4.29
Untuk menolong para pasien yang kehilangan tangan atau kaki, dibuat tangan atau kaki buatan.

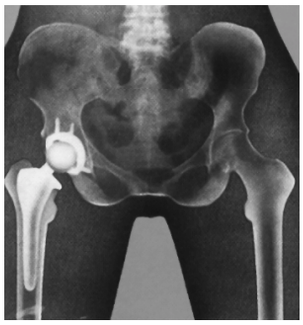
Selain kaki dan tangan palsu, teknologi lain yang berhubungan dengan sistem gerak adalah kursi roda. Kursi roda digunakan oleh orang-orang yang kakinya tidak dapat digunakan lagi secara normal.

Wawasan Biologi

Rigor mortis adalah fenomena otot-otot yang menjadi kaku 3–4 jam setelah seseorang meninggal dunia. Rigor mortis akan mencapai puncak setelah 12 jam dan hilang lagi setelah 48–60 jam.

Hal ini terjadi karena sel-sel otot pada orang mati tidak lagi menghasilkan ATP. Ikatan aktin dan miosis masih dapat terjadi, tetapi pelepasan ikatan tersebut memerlukan ATP yang tidak ada lagi pada orang mati. Akibatnya, pada orang mati, aktin dan miosin dapat tetap melekat kuat dan otot menjadi kaku.

Sumber: *Dasar-Dasar Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia*, 1992



Gambar 4.30
Persendian internal buatan yang diciptakan oleh John Charnley.

Sumber: *Jendela Iptek: Ilmu Kedokteran*, 1997

Para penderita arthritis juga dapat dibantu dengan teknologi sendi buatan. Sendi buatan ini memberikan keleluasaan gerak, juga menghilangkan rasa sakit karena arthritis. Sendi buatan ini kali pertama dibuat oleh dokter dari Inggris yang bernama **John Charnley** pada 1966. Sendi buatan ini berupa bola *stainless steel* yang dipasang pada bagian pangkal tulang femur, dan sebuah mangkok *teflon* untuk menggantikan mangkok sendi tulang femur pada gelang panggul (**Gambar 4.30**).

Soal Penguasaan *Materi* 4.4

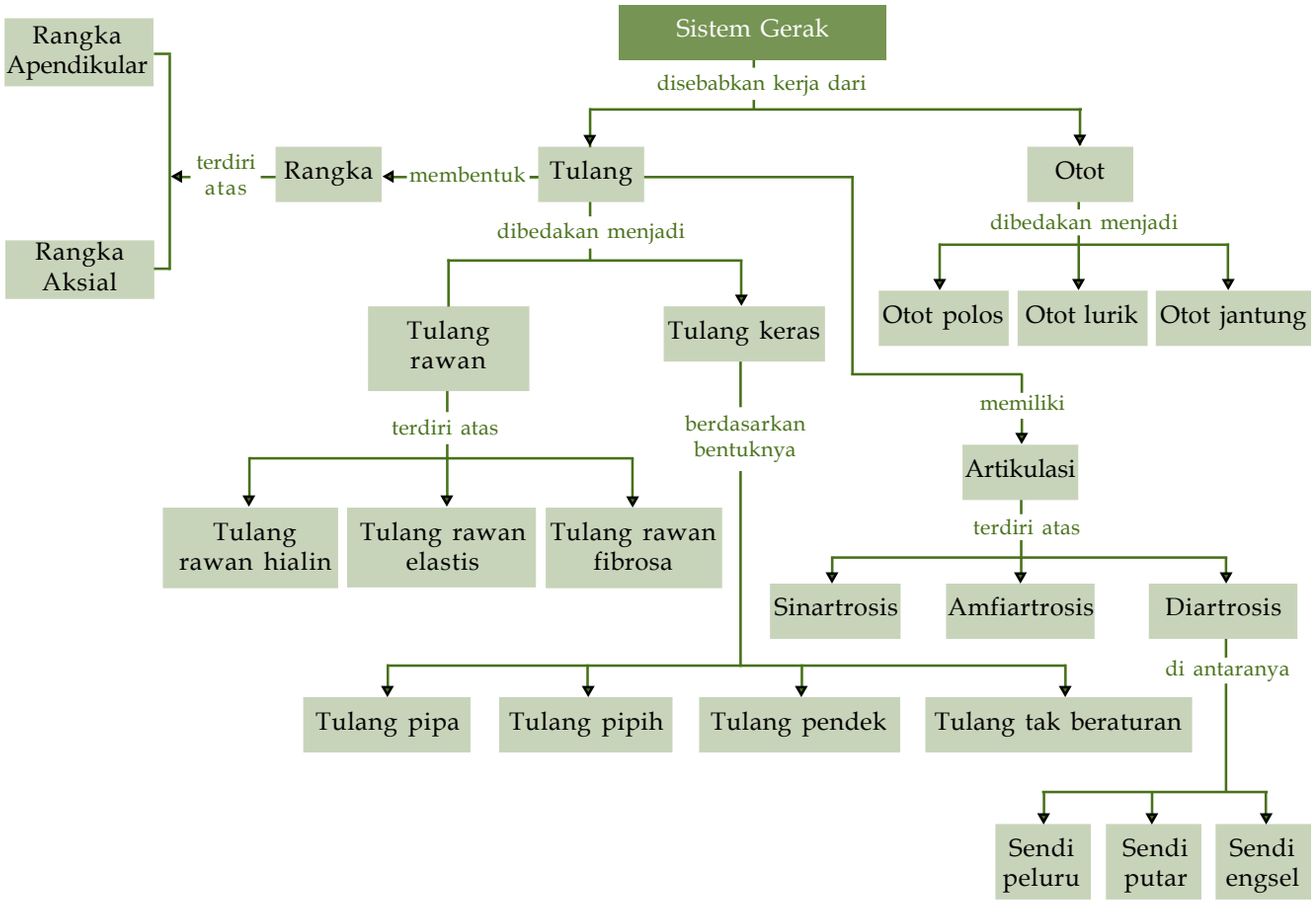
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tiga contoh kelainan pada tulang.
2. Sebutkan tiga contoh kelainan pada otot.
3. Teknologi apa saja yang telah berkembang untuk mengatasi kelainan dan gangguan pada sistem gerak?

Rangkuman

1. Gerak pada manusia merupakan perpaduan antara tulang dan otot. Tulang saja tidak akan bergerak, namun memerlukan otot untuk dapat bergerak sehingga tulang dapat dikatakan sebagai alat gerak pasif.
2. Berdasarkan penyusunnya, tulang dapat dibedakan menjadi tulang rawan dan tulang keras. Tulang rawan tersusun atas sel-sel tulang rawan (kondrosit), serabut kolagen, dan matriks.
3. Tulang keras berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi tulang pipa, tulang pipih, tulang pendek, dan tulang tidak beraturan.
4. Tulang rangka manusia terdiri atas lebih dari 206 tulang. Tulang tesebut dapat dikelompokkan menjadi rangka aksial dan rangka apendikular. Rangka aksial terdiri atas tulang kepala, tulang belakang, tulang dada, dan tulang rusuk. Adapun tulang apendikular terdiri atas tulang gelang bahu, tulang anggota gerak atas, tulang gelang panggul, dan tulang anggota gerak bawah.
5. Hubungan antartulang (artikulasi) dapat dibedakan menjadi sinartrosis amfiartrosis, dan aliran diartrosis. Persendian diartrosis memungkinkan pergerakan leluasa dan dapat dibedakan atas sendi peluru, sendi putar, sendi engsel, sendi elipsoid, sendi pelana, dan sendi luncur.
6. Otot merupakan alat gerak aktif. Otot dapat dibedakan menjadi otot lurik, otot polos, dan otot jantung. Mekanisme kerja otot berdasarkan teori *sliding filamen*, menyatakan bahwa sewaktu otot kontraksi tidak ada filamen yang memendek atau memanjang, namun hanya terjadi pergeseran filamen.
7. Tulang dan otot dapat mengalami gangguan. Gangguan pada tulang, di antaranya osteoporosis dan mikrosefalus. Adapun gangguan pada otot, di antaranya atrofi dan hernia.

Peta Konsep



Kaji Diri

Apakah Anda telah memahami Sistem Gerak dengan baik? Setelah mempelajari Bab Sistem Gerak, Anda harus dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit yang dapat terjadi pada sistem gerak pada manusia. Jika Anda belum dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan pada sistem gerak manusia, Anda belum menguasai materi Sistem Gerak dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda. Belajarlah dengan lebih baik lagi.

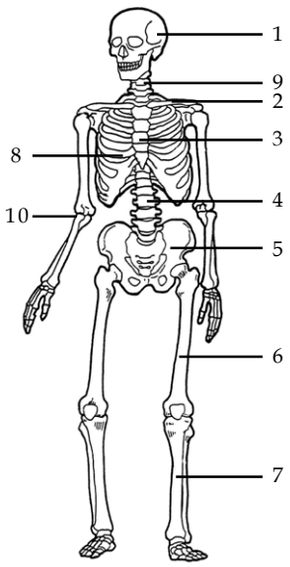
Dengan mempelajari Sistem Gerak, Anda tentunya telah memahami kenapa kita bisa bergerak. Anda pun mengetahui macam-macam tulang penyusun tubuh. Apakah manfaat lain dari mempelajari Sistem Gerak ini?

Evaluasi Materi Bab 4

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Fungsi rangka tubuh sebagai berikut, *kecuali* ....
   a. tempat melekatnya otot-otot
   b. tempat pembentukan sel-sel darah
   c. penyokong dan penopang tubuh
   d. tempat penimbunan mineral
   e. alat gerak aktif
2. Skeleton aksial terdiri atas ....
   a. tulang belakang dan tulang bahu
   b. telapak kaki, telapak tangan, dan pinggul
   c. tulang lengan, tulang kaki, dan bahu
   d. tulang bahu, tulang pinggul, dan tulang belakang
   e. tengkorak, tulang belakang, dan iga
3. Hubungan antartulang yang dihubungkan dengan sel serabut jaringan ikat yang mengalami penulangan disebut ....
   a. kifosis
   b. sinfibrosis
   c. skoliosis
   d. sinkondrosis
   e. diarthosis

Untuk menjawab pertanyaan nomor 4 hingga 8, perhatikan gambar berikut.



Sumber: *www.tipztime.com*

4. Bagian tulang yang berfungsi melindungi organ dalam ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
   a. 1 dan 2
   b. 5 dan 6
   c. 4 dan 8
   d. 1 dan 7
   e. 3 dan 8
5. Hubungan antartulang pada gambar, antara tulang nomor 5 dan 6 merupakan hubungan ....
   a. sendi engsel
   b. sendi peluru
   c. sendi putar
   d. sendi pelana
   e. sendi luncur
6. Tulang yang termasuk tulang anggota gerak bawah ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 2 dan 10
   b. 8 dan 9
   c. 4 dan 5
   d. 3 dan 9
   e. 6 dan 7
7. Anggota tulang aksial ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1, 3, 4, dan 9
   b. 1, 3, 4, 5, dan 9
   c. 3, 5, 6 , dan 10
   d. 2, 5, 6, dan 10
   e. 3, 8, 9, , dan 10
8. Tulang pipih terdapat pada gambar dan ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 5
   d. 7
   e. 8
9. Hubungan antara dua tulang yang gerakannya sangat terbatas disebut ....
   a. artikulasi
   b. diartrosis
   c. amfiartrosis
   d. sinartrosis
   e. antagonis
10. Persendian antartulang yang memungkinkan pergerakan secara leluasa adalah ....
    a. sinartrosis
    b. tonus
    c. diartrosis
    d. tendon
    e. amfiartrosis
11. Jari Anda dapat digerakkan karena pada ruas-ruas jari terdapat sendi ....
    a. putar
    b. pelana
    c. peluru
    d. kaku
    e. engsel
12. Gerak antagonis yang terjadi ketika Anda menggerakkan lengan ke atas dan ke bawah adalah ....
    a. atropi dan fleksi
    b. atropi dan hipertropi
    c. depresor dan elevator
    d. tonus dan tetanus
    e. hipertropi dan supinasi

13. Dalam sel-sel otot, di samping ATP terdapat molekul khas yang dapat memanfaatkan energi yang dibebaskan oleh ATP untuk kontraksi otot, yaitu ....
    a. asetil kolin
    b. adenosin trifosfat
    c. aktomiosin
    d. adenosin difosfat
    e. asam nukleat
14. Gangguan pada persendian karena adanya timbunan asam urat disebut ....
    a. fraktura
    b. artritis eksudatif
    c. artritis sikka
    d. artritis gout
    e. osteoartritis
15. Keterangan berikut menunjukkan hal-hal yang terjadi pada mekanisme kontraksi otot.

    K : asetilkolin N : aktomiosin
    L : rangsang O : energi dari ATP
    M : aktin + miosin

    Urutan mekanisme yang benar adalah ....
    a. $O \rightarrow L \rightarrow K \rightarrow N \rightarrow M$
    b. $K \rightarrow L \rightarrow M \rightarrow O \rightarrow N$
    c. $L \rightarrow M \rightarrow K \rightarrow O \rightarrow N$
    d. $M \rightarrow O \rightarrow N \rightarrow K \rightarrow L$
    e. $L \rightarrow K \rightarrow M \rightarrow O \rightarrow N$
16. Mekanisme yang terjadi dalam kontraksi otot adalah ....
    a. memanjangnya ukuran otot akibat geseran molekul aktin dan miosin yang memerlukan energi dari pemecahan ATP
    b. memanjangnya ukuran otot akibat geseran miofibril yang memerlukan energi dari metabolisme aerobik glukosa
    c. mengendurnya ukuran otot akibat geseran miofibril yang memerlukan ion kalsium dan fosfat anorganik
    d. bergesernya filamen-filamen yang lebih tebal ke filamen yang lebih tipis dan diperlukan energi dari pemecahan asam piruvat
    e. memendeknya ukuran otot akibat zona Z menjadi lebih panjang dan zona H menjadi lebih pendek yang prosesnya memerlukan energi dari pemecahan ATP
17. Penyebab kelelahan pada otot adalah penumpukan ....
    a. glukosa
    b. asam lemak
    c. protein
    d. asam laktat
    e. asam lemak tak jenuh ganda
18. Otot yang melekat pada tulang sebagai tumpuan ketika otot berkontraksi disebut ....
    a. origo
    b. insersio
    c. tendon
    d. urat
    e. tetanus
19. Bagian persendian yang terkilir akan membengkok, karena ....
    a. produksi cairan sinovial berkurang
    b. produksi asetilkolin menurun
    c. selaput sendi robek sebagai akibat bergesernya tulang persendian
    d. produksi cairan sinovial meningkat
    e. terjadi penimbunan osteoblas pada daerah yang terkilir
20. Kelainan bentuk tulang yang menyebabkan bentuk tulang belakang membengkok ke samping disebut ....
    a. rakhitis
    b. lordosis
    c. skoliosis
    d. artritis
    e. kifosis

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Ada berapa jenis hubungan antartulang? Jelaskan.
2. Bagaimanakah sifat dari kerja otot?
3. Jelaskan tiga kelainan dan gangguan yang dapat mengganggu sistem gerak.
4. Berikan contoh teknologi yang dimanfaatkan untuk kepentingan kesehatan yang berhubungan dengan sistem gerak.
5. Ibu Ari menengok tetangganya, seorang bapak, yang mengalami kecelakaan sepeda motor saat pulang kerja. Bersama Bapak tersebut, anaknya yang berumur 6 tahun ikut menjadi korban. Keduanya mengalami patah tulang paha. Dokter memberitahukan bahwa bekas luka si Bapak terkadang akan terasa nyeri, meskipun lukanya sudah sembuh. Sementara itu, si anak akan sembuh total. Dapatkah Anda jelaskan mengapa hal ini dapat terjadi?

Soal Tantangan

Anda pasti sering mendengar istilah imunisasi. Imunisasi pada bayi merupakan hal penting yang harus dilakukan. Dengan imunisasi, bayi bisa kebal terhadap serangan penyakit. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia gencar melakukan penyuluhan tentang imunisasi. Salah satu jenis imunisasi tersebut adalah polio. Menurut Anda, mengapa pemerintah Indonesia gencar menggalakkan imunisasi polio? Apa akibatnya, jika anak terserang polio?

Kegiatan Semester 1

Observasi Kelainan dan Penyakit pada Sistem Gerak dan Sistem Peredaran Darah

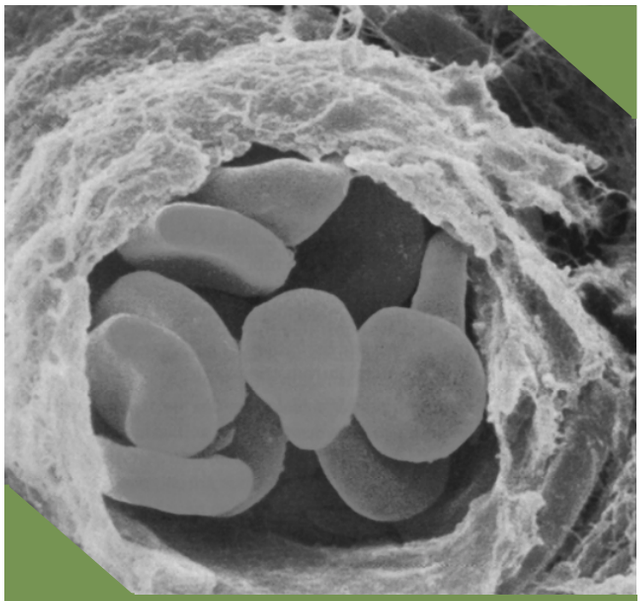
Pada Semester 1 ini, Anda mempelajari sistem gerak dan sistem peredaran darah. Sistem gerak merupakan perpaduan antara tulang dan otot. Kerja sama antara tulang dan otot akan menciptakan gerakan tubuh. Kerusakan pada salah satu komponennya dapat menyebabkan sistem ini tidak bekerja dengan baik.

Adapun sistem peredaran darah berperan dalam peredaran zat-zat yang terdapat di dalam tubuh. Sistem ini melibatkan darah, jantung, dan pembuluh darah. Kelainan pada ketiga organ tersebut dapat berakibat fatal bagi tubuh.

Untuk lebih memahami materi pada semester ini, Anda bersama kelompok ditugaskan untuk melakukan observasi ke puskesmas, klinik, dan rumah sakit di kota Anda. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi penyakit atau kelainan yang terjadi pada sistem gerak dan sistem peredaran darah selama dua bulan terakhir. Identifikasilah penyakit-penyakit yang dewasa ini sering menyerang masyarakat Indonesia, misalnya osteoporosis dan polio. Sebelumnya, tentukan kelompok-kelompok yang akan melakukan observasi pada kelainan sistem gerak atau sistem peredaran darah.

Hal yang perlu diperhatikan dalam observasi antara lain jenis penyakit, banyak penderita, penyebab penyakit, cara pencegahan, serta cara penyembuhannya. Lakukan observasi dengan cermat dan teliti. Namun, tidak mengganggu aktivitas puskesmas, klinik, atau rumah sakit. Jangan lupa untuk meminta izin terlebih dahulu melalui prosedur yang benar.

Buat laporan dari hasil observasi. Pada akhir semester 1 akan dilakukan diskusi kelas mengenai tugas ini. Guru Anda akan membimbing dan mengarahkan sekaligus menilai diskusi tersebut.



Sumber: *Biology*, 1999

Bab 5
Sistem Peredaran Darah

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami sistem peredaran darah pada manusia. Syarat bagi Anda untuk dapat memahaminya adalah mampu menjelaskan sistem peredaran darah pada manusia.

Tahukah Anda cara kerja sebuah perusahaan katering besar yang melayani para pelanggannya? Setiap hari, tiga kali sehari, armada katering mengantarkan wadah berisi makanan. Pada esok harinya armada katering menjemput wadah-wadah kosong tersebut untuk dicuci dan diisi kembali dengan makanan baru.

Cara kerja sistem perusahaan katering tersebut, mendekati cara kerja peredaran darah di dalam tubuh manusia. Perbedaannya, darah manusia tidak hanya mengantarkan zat makanan, tetapi juga oksigen. Selain itu, darah menjemput sisa hasil metabolisme minimal sebanyak 75-80 kali dalam satu menit. Sungguh menakjubkan, bukan? Itu adalah salah satu bukti kebesaran Tuhan Yang Maha Esa.

Bagaimanakah sebenarnya mekanisme kerja sistem peredaran darah tersebut? Organ-organ apa saja yang termasuk dalam sistem peredaran darah? Apakah fungsi dari setiap organ tersebut? Lalu, apakah kelainan-kelainan atau penyakit yang mengganggu sistem peredaran darah? Semua pertanyaan tersebut dapat Anda temukan jawabannya setelah mempelajari Bab Sistem Peredaran Darah.

A. Sistem Peredaran Darah pada Manusia
B. Organ-Organ Peredaran Darah pada Manusia
C. Gangguan pada Sistem Peredaran Darah Manusia dan Pengembangan Teknologi Jantung
D. Sistem Peredaran Darah pada Hewan

Soal *Prameteri*

1. Di manakah darah berada?
2. Apakah fungsi jantung?

Wawasan Biologi

Orang yang tinggal di dataran tinggi memiliki kadar hemoglobin yang lebih tinggi dibandingkan dengan orang yang tinggal di dataran rendah. Hal ini disebabkan tekanan udara yang rendah di dataran tinggi. Tekanan udara yang rendah menyebabkan jumlah molekul oksigen yang dapat diikat satu molekul hemoglobin kurang dari jumlah optimumnya. Sebagai konsekuensinya maka kadar hemoglobin ditingkatkan untuk tetap dapat memenuhi kebutuhan oksigen dalam jumlah yang sama sehingga dibutuhkan lebih banyak hemoglobin.

A Sistem Peredaran Darah pada Manusia

Secara umum, sistem peredaran darah berfungsi mengangkut makanan dan zat sisa hasil metabolisme. Selain itu, sistem peredaran darah juga berfungsi sebagai berikut.

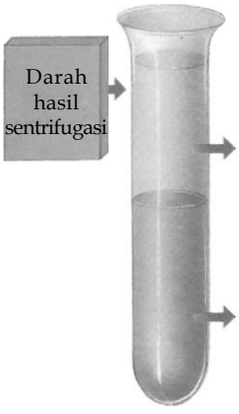
1. Mengangkut zat buangan dan substansi beracun menuju hati untuk didetoksifikasi (dinetralkan) atau ke ginjal untuk dibuang.
2. Mendistribusikan hormon dari kelenjar dan organ yang memproduksinya ke sel-sel tubuh yang membutuhkannya.
3. Mengatur suhu tubuh melalui aliran darah.
4. Mencegah hilangnya darah melalui mekanisme pembekuan darah.
5. Melindungi tubuh dari bakteri dan virus dengan mensirkulasikan antibodi dan sel darah putih.

Pada prinsipnya, sistem peredaran darah memiliki empat komponen utama sebagai berikut.

1. **Darah**, berfungsi sebagai medium pengangkut untuk nutrisi, udara, dan zat buangan.
2. **Jantung**, berfungsi memompa darah sehingga dapat beredar ke seluruh tubuh.
3. **Pembuluh darah**, merupakan saluran tempat darah beredar ke seluruh tubuh.
4. Sistem lain yang dapat menambah atau mengurangi kandungan dalam darah. Misalnya, usus halus dalam sistem pencernaan tempat darah mendapatkan nutrisi yang akan dibawa ke seluruh tubuh, atau ginjal tempat darah mengurangi konsentrasi urea yang dikandungnya.

1. Komposisi Darah

Manusia rata-rata mempunyai lima sampai enam liter darah, atau sekitar 8% dari total berat badannya. Apabila darah diendapkan dengan proses sentrifugasi, darah terbagi menjadi dua bagian, yaitu **plasma darah** dan **sel-sel darah** (Starr and Taggart, 1995: 656). Perhatikan **Gambar 5.1**.



Gambar 5.1
Ketika darah disentrifugasi, akan terbentuk lapisan-lapisan darah, yaitu plasma darah dan sel-sel darah.

Komponen	Jumlah
Plasma darah (50%–60% volume darah)	
1. Air	91%–92% plasma darah
2. Protein	7%–8% plasma darah
3. Ion, gula, lemak, asam amino, hormon, vitamin, dan gas terlarut	1%–2% plasma darah
Sel darah (40%–50% volume darah)	
1. Sel darah merah	4-5 juta sel/mL darah
2. Sel darah putih	3.000–6.750 sel/mL darah
3. Trombosit	250.000–3.000 sel/mL darah

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

a. Plasma Darah

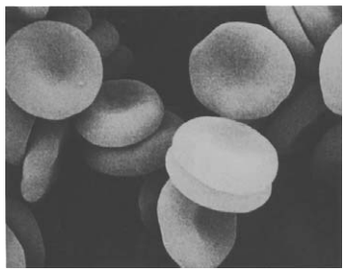
Plasma darah merupakan komponen darah yang paling banyak, yaitu sekitar 55%-60% bagian dari darah. Plasma darah terdiri atas 90% air dan 10% sisanya berupa zat-zat yang terlarut di dalamnya yang harus diangkut ke seluruh tubuh. Zat-zat terlarut tersebut terdiri atas protein, hormon, nutrisi (glukosa, vitamin, asam amino, lemak), gas (oksigen dan karbon dioksida), garam-garam (sodium, kalsium, potasium, magnesium), serta zat buangan seperti urea.

Protein dalam plasma darah merupakan zat terlarut yang paling banyak. Terdapat tiga bagian utama protein plasma darah, yaitu:

1) **albumin**, berperan dalam mengatur tekanan osmotik darah (mengontrol aliran air yang masuk ke dalam membran plasma);
2) **globulin**, mengangkut nutrisi makanan dan berperan dalam sistem kekebalan tubuh;
3) **fibrinogen**, berperan dalam proses pembekuan darah.

b. Sel-Sel Darah

Hampir 45% dari volume darah manusia merupakan sel-sel darah. Darah mengandung beberapa tipe sel darah yang memiliki fungsi yang berbeda-beda. Terdapat tiga macam sel darah, yaitu sel darah merah (**eritrosit**), sel darah putih (**leukosit**), dan keping darah (**trombosit**).



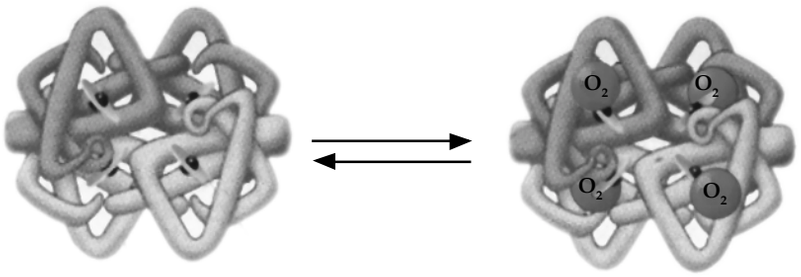
Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 5.2
Sel-sel darah merah berwarna merah dan berbentuk bikonkaf.

1) Sel darah merah

Eritosit (*erythro* = merah, *cyto* = sel) tidak memiliki inti sel dan berbentuk bikonkaf sehingga memiliki luas permukaan yang besar (**Gambar 5.2**). Pria rata-rata mempunyai eritrosit ± 5 juta per mm^3 darahnya, sedangkan wanita mempunyai eritrosit ± 4,5 juta per mm^3 darahnya. Mengapa bisa demikian?

Eritrosit berwarna merah karena mengandung **hemoglobin**, yaitu sebuah molekul kompleks dari protein dan molekul besi (Fe). Setiap molekul hemoglobin dapat berikatan dengan empat molekul oksigen (**Gambar 5.3**). Oksigen diperoleh ketika sel darah melewati kapiler-kapiler alveolus di paru-paru. Hemoglobin kurang reaktif terhadap molekul karbon dioksida. Oleh karena itu, karbon dioksida yang diperoleh dari sel lebih banyak larut dalam plasma darah.



Hemoglobin tanpa oksigen — Hemoglobin dengan oksigen

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.3
Setiap hemoglobin dapat mengikat empat molekul oksigen.

Hemoglobin yang berikatan dengan oksigen akan berwarna merah cerah. Adapun hemoglobin yang tidak berikatan dengan oksigen, berwarna merah gelap atau kebiru-biruan.

Sel darah merah dibentuk dalam sumsum tulang. Misalnya, di tulang dada, tulang lengan atas, tulang kaki atas, dan tulang pinggul. Sel darah merah tidak mempunyai inti sel sehingga sel darah merah tidak dapat hidup lama. Sel darah merah hanya dapat hidup sekitar 120 hari. Setiap detik lebih kurang 2 juta sel darah merah dalam tubuh kita mati dan digantikan oleh yang baru.

Sel darah yang mati atau rusak dikeluarkan dari sistem peredaran darah. Kemudian, masuk ke hati atau limfa untuk dipecah. Zat besi yang dikandung sel darah tersebut kemudian diangkut darah menuju sumsum tulang untuk dirakit kembali menjadi molekul hemoglobin yang baru hingga akhirnya terbentuk sel darah yang baru. Walaupun proses daur ulang tersebut memiliki nilai efisiensi yang tinggi, ada sebagian kecil zat besi yang dibuang dan harus digantikan melalui makanan. Pendarahan akibat kecelakaan atau menstruasi mengurangi zat besi yang disimpan.

Kata Kunci

- Eritrosit
- Hemoglobin
- Leukosit
- Plasma darah
- Trombosit

Kegiatan 5.1

Sel Darah Merah

Tujuan
Mengamati sel darah manusia

Alat dan Bahan
Kaca objek dan kaca penutup, jarum steril, mikroskop, dan alkohol 70%

Langkah Kerja
1. Bersihkan salah satu jari tangan teman kelompok Anda menggunakan alkohol. Tusukkan jarum steril pada ujung jari tersebut. Lakukan pada beberapa teman kelompok Anda.
2. Teteskan darah yang keluar pada kaca objek. Tutup kaca objek dengan kaca penutup.
3. Amati menggunakan mikroskop. Gambarkan bentuk sel yang Anda amati.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.
1. Bagaimanakah bentuk sel-sel darah merah yang Anda amati?
2. Apakah berbeda bentuk sel darah merah pada setiap orang? Jelaskan.

2) Sel Darah Putih

Sel darah putih tidak memiliki hemoglobin sehingga tidak berwarna merah, serta ukuran dan jumlah sel darah putih berbeda dengan sel darah merah. Perbandingan jumlah sel darah putih dan sel darah merah mencapai 1:500 hingga 1:1000. Artinya, terdapat 500 hingga 1000 sel darah merah untuk setiap satu sel darah putih.

Ukuran sel darah putih lebih besar daripada sel darah merah. Sel darah putih memiliki inti sel sehingga dapat bertahan hidup selama berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun. Sel darah putih berdasarkan karakteristik sitoplasmanya dapat dibagi menjadi dua, yaitu granulosit dan agranulosit.

Granulosit merupakan kelompok sel darah putih yang sitoplasmanya bergranula. Granulosit terdiri atas **neutrofil**, **eosinofil**, dan **basofil**. Neutrofil adalah sel darah putih yang granulanya menyerap zat warna yang bersifat netral. Sementara itu, eosinofil granulanya menyerap zat warna yang bersifat asam, sedangkan basofil granulanya menyerap zat warna yang bersifat basa.

Sementara itu, **agranulosit** merupakan kelompok sel darah putih yang sitoplasmanya tidak bergranula, terdiri atas **limfosit** dan **monosit**. Limfosit dinamai demikian karena sel ini terdapat juga pada cairan limfa. Adapun monosit merupakan sel darah putih yang berukuran besar.

Kata Kunci
- Basofil
- Eosinofil
- Neutrofil

Gambar 5.4
Terdapat lima tipe leukosit, yaitu (a) neutrofil, (b) eosinofil, (c) basofil, (d) limfosit, dan (e) monosit.
Leukosit manakah yang memiliki granula?

Sumber: *Biology: Exploring Life* 1994

Sel darah putih dibentuk di limfa dan sumsum tulang. Secara umum, sel darah putih berperan dalam pertahanan tubuh. Sel darah putih akan mematikan organisme atau zat asing berbahaya yang masuk ke dalam tubuh, terutama yang masuk melalui jaringan darah.

Eosinofil dan monosit dapat bersifat fagositik terhadap sel asing, seperti sel bakteri dan sel kanker. Dalam melaksanakan fungsinya, monosit dapat membesar menjadi **makrofag**.

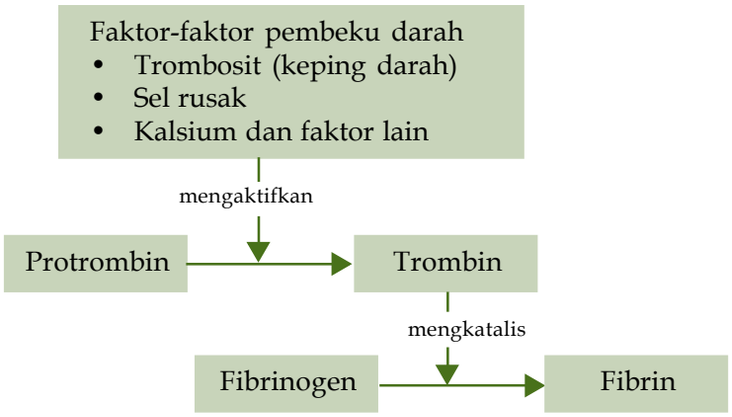
Limfosit juga dapat menonaktifkan mikroorganisme asing yang memasuki tubuh. Berbeda dengan eosinofil dan monosit, limfosit bekerja spesifik dengan mengenali jenis mikroorganisme tertentu yang akan dinonaktifkan. Limfosit

terdiri atas limfosit T yang dimatangkan di kelenjar timus, sedangkan limfosit B dimatangkan di sumsum tulang. Penjelasan fungsi sel-sel ini akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab Sistem Pertahanan Tubuh.

3) Keping Darah

Keping-keping darah (trombosit) merupakan fragmen-fragmen besar sel yang disebut **megakariosit**. Jadi, keping-keping darah bukan merupakan satu sel yang utuh. Seperti sel darah merah, keping-keping darah tidak mempunyai inti sel dan masa hidupnya pun pendek, yaitu sekitar 10–12 hari. Keping-keping darah berperan dalam proses penghentian pendarahan.

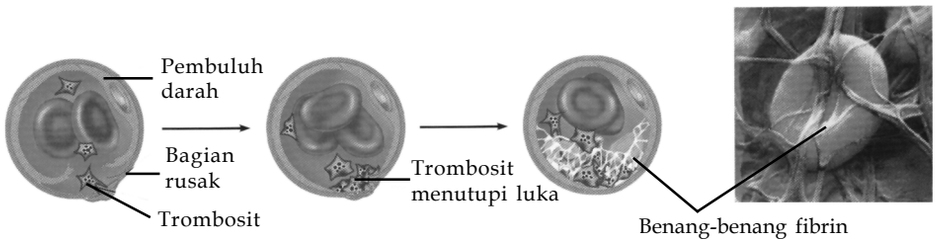
Penghentian pendarahan adalah proses yang kompleks. Pembekuan dimulai ketika keping-keping darah dan faktor-faktor lain dalam plasma darah kontak dengan permukaan yang tidak biasa, seperti pembuluh darah yang rusak atau terluka. Ketika ada permukaan yang terbuka pada pembuluh darah yang terluka, keping-keping darah segera menempel dan menutupi permukaan yang terbuka tersebut. Keping-keping darah yang menempel, faktor lain, dan jaringan yang terluka memicu pengaktifan **trombin**, sebuah enzim, dari **protrombin** dalam plasma darah. Trombin yang terbentuk akan mengkatalis perubahan **fibrinogen** menjadi benang-benang **fibrin**.



Kata Kunci

- Fagositik
- Makrofag
- Protrombin
- Trombin

Molekul fibrin menempel satu sama lain, membentuk jaringan berserat. Jaringan protein fibrin ini, menghentikan aliran darah dan membuat darah menjadi padat, seperti gelatin ketika sudah dingin. Jaringan ini membuat sel darah merah terperangkap dan menambah kepadatan dari darah yang beku. Untuk memahami proses pembekuan darah, perhatikan **Gambar 5.5**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.5
Luka dapat memicu pembekuan darah.

Keping-keping darah menempel di bagian yang berserat dan mengeluarkan benang-benang yang lengket dan membuatnya merekat satu dengan yang lain. Dalam waktu setengah jam, keping-keping darah mengerut, menarik lubang untuk merapat, dan memaksa cairan yang ada untuk keluar. Aksi tersebut menghasilkan pembekuan yang padat dan kuat sehingga membuat luka merapat. Dengan cara inilah, dimulai penyembuhan luka.

2. Golongan Darah

Golongan darah pada manusia ditentukan oleh protein spesifik yang terdapat di membran sel darah merah. Pada awal abad ke-19, **Karl Landsteiner**, seorang ilmuwan Australia bersama dengan **Denath**, mengelompokkan darah menjadi empat tipe, yaitu **A**, **B**, **AB**, dan **O**. Hal tersebut bergantung pada ada-tidaknya protein spesifik dalam membran plasma pada sel darah merah yang disebut **aglutinogen** (antigen).

Antigen merupakan molekul yang menyebabkan pembentukan antibodi (**aglutinasi**). Jika seseorang memiliki **aglutinogen A** di sel darah merahnya, dalam plasma darah akan terbentuk **aglutinin** β atau biasa dikenal dengan **anti-B**. Orang tersebut memiliki **golongan darah A**. Sebaliknya, jika terdapat **aglutinogen B**, orang tersebut **bergolongan darah B** dan memiliki **aglutinin** α atau **anti–A**. Sementara itu, orang yang memiliki aglutinogen **A** dan **B**, ia tidak memiliki **anti–A** maupun **anti–B**, dan golongan darahnya adalah **AB**. Bagaimana dengan orang yang bergolongan darah **O**? Untuk lebih jelasnya, perhatikan **Tabel 5.1**.

Kata Kunci

- Aglutinasi
- Aglutinogen
- Antibodi
- Antigen
- Eritroblastosis fetalis

Tabel 5.1 Golongan Darah dan Kandungan Aglutinogen - Aglutinin

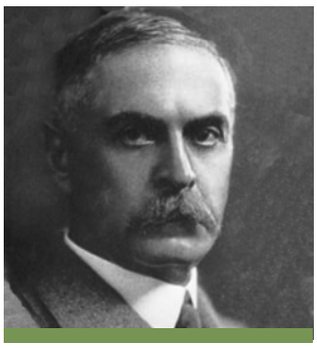
No.	Golongan Darah	Aglutinogen pada Eritrosit	Aglutinin pada Plasma Darah
1	O	–	anti-A dan anti-B
2	A	A	anti-B
3	B	B	anti-B
4	AB	A dan B	–

Jika golongan darah yang berbeda dicampurkan, darah-darah tersebut biasanya menggumpal. Proses menggumpalnya darah ini disebut **aglutinasi**. Jika darah dari golongan yang sama dicampurkan, penggumpalan tidak terjadi.

Pada 1940, Dr. Landsteiner menemukan bahwa golongan darah A juga dapat diberikan kepada kera *Macaca rhesus*. Akan tetapi, 15% dari jumlah sampel mengalami penggumpalan. Dr. Landsteiner menemukan bahwa sampel yang mengalami penggumpalan tersebut tidak memiliki faktor Rh dalam darahnya. Darah yang demikian disebut dengan rh^-. Hanya darah yang mengandung faktor Rh (rh^+) yang dapat menjadi donor bagi kera *Macaca rhesus*.

Sistem rhesus ini sangat penting diperhatikan oleh ibu hamil. Jika darah ibu tersebut rh^-, sedangkan anaknya rh^+, dikhawatirkan ada antigen rh^+ anak yang masuk ke dalam darah ibu. Akibatnya, akan dibentuk aglutinin rh di tubuh ibu. Kondisi ini akan membahayakan anak yang dikandungnya. Pada kehamilan pertama, kemungkinan besar anak yang dilahirkan akan selamat karena belum banyak terbentuk anti-rh di tubuh ibu. Pada kehamilan kedua dan seterusnya, risiko terjadi penggumpalan pada darah bayi semakin besar karena anti-rh yang terbentuk di tubuh si ibu semakin banyak. Keadaan tersebut dinamakan **eritroblastosis fetalis** (**Gambar 5.6**).

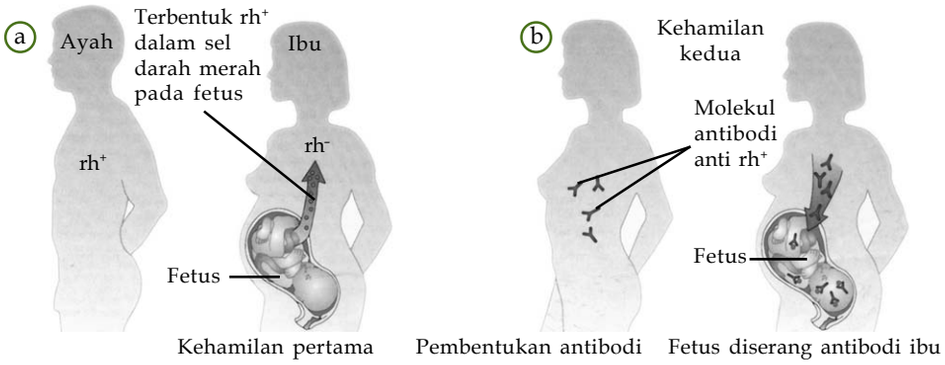
Tokoh **Biologi**



Karl Landsteiner (1868 – 1943)

Karl Landsteiner menerima nobel tahun 1940 untuk bidang fisiologi dan kedokteran. Karl Landsteiner adalah ilmuwan Austria yang menemukan penggolongan darah menjadi golongan A, B, dan O. Selain itu, Landsteiner juga mengenalkan sistem penggolongan darah berdasarkan rhesus.

Sumber: *Jendela Iptek: Kehidupan* 1997



Gambar 5.6
(a) Pada kehamilan pertama fetus dapat selamat. (b) Akan tetapi, pada kehamilan kedua, fetus akan mengalami eritroblastosis fetalis.

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

Dari pengetahuan golongan darah ABO dan Rh inilah pemberian dan penerimaan darah antarmanusia dapat dilaksanakan. Pemberian dan penerimaan darah ini disebut **transfusi darah**. Hal yang perlu diperhatikan dalam transfusi darah adalah menghindari terjadinya penggumpalan darah akibat reaksi antibodi penerima darah (**resipien**). Berikut tabel transfusi darah antara pemberi darah (**donor**) dan resipien.

Tabel 5.2 Kemungkinan Transfusi Darah

Donor	Resipien			
	A	B	AB	O
A	✓	–	✓	✓
B	–	✓	✓	–
AB	–	–	✓	–
O	✓	✓	✓	✓

Ket: ✓ = dimungkinkan (darah tidak menggumpal)
- = tidak dimungkinkan (darah menggumpal)

Berdasarkan teori, golongan darah AB dapat menerima semua golongan darah dan disebut *resipien universal*. Adapun golongan darah O, dapat memberi kepada semua golongan darah dan disebut *donor universal*. Namun, pada kenyataannya hal tersebut lebih baik dihindari agar tidak terjadi hal-hal yang tidak diinginkan. Transfusi darah sebaiknya dilakukan antara golongan darah yang sama.

Sumber: *www.suarantb.com*

Gambar 5.7
Donor darah.
ernahkah Anda melakukan donor darah?

Soal Penguasaan *Materi* 5.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan fungsi sistem peredaran darah.
2. Sebutkan empat komponen utama sistem peredaran darah.
3. Apa yang harus diperhatikan dalam transfusi darah?

B Organ-Organ Peredaran Darah pada Manusia

Organ-organ peredaran darah pada manusia terdiri atas jantung dan pembuluh darah. Fungsi utama jantung sebagai pemompa darah, sedangkan pembuluh darah mengedarkan darah ke seluruh tubuh. Bagaimana cara kerja alat-alat peredaran darah tersebut? Pelajari oleh Anda materi berikut ini dengan baik.

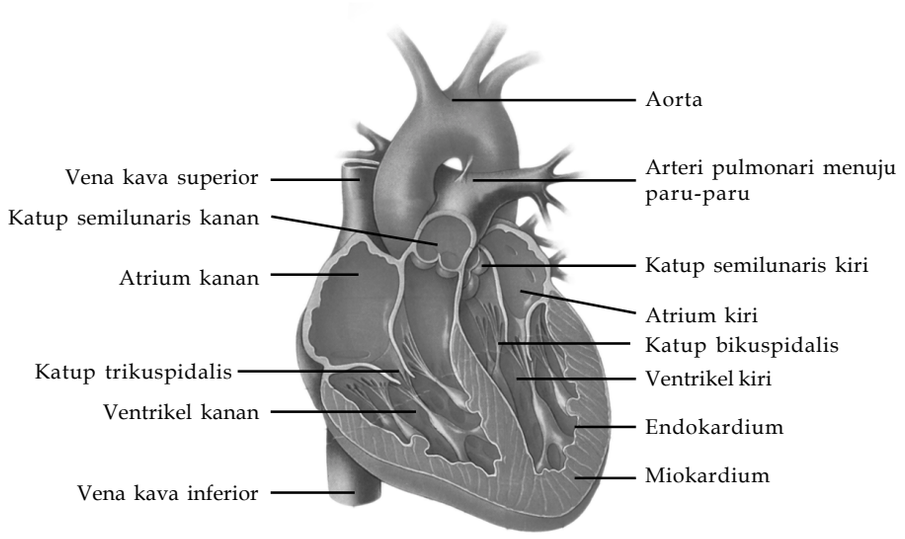
1. Jantung

Kata Kunci
- Atrium kanan
- Atrium kiri
- Ventrikel kanan
- Ventrikel kiri

Jantung manusia terdiri atas empat ruang, yaitu serambi (atrium) kanan dan serambi kiri di bagian atas, serta bilik (ventrikel) kanan dan bilik kiri di bagian bawah. Serambi berfungsi sebagai persinggahan sementara sebelum darah masuk ke bilik dan dipompa ke seluruh tubuh atau ke paru-paru. Namun, serambi juga berkontraksi mendorong darah menuju bilik. Perhatikan **Gambar 5.8**.

Antara serambi dan bilik, terdapat **katup atrioventrikuler**, yang berfungsi mencegah aliran balik dari bilik ke serambi saat bilik berkontraksi. Katup atrioventrikuler kanan memiliki tiga lembar katup, sehingga disebut **katup trikuspidal**. Sementara itu, katup pada bilik kiri memiliki dua katup sehingga disebut **katup bikuspidal**. Terdapat juga **katup semilunaris** yang membatasi aorta dengan bilik dan berfungsi mencegah aliran balik darah ke bilik saat bilik berelaksasi.

Perjalanan darah dari seluruh tubuh akan berakhir di serambi kanan melalui vena besar dari bagian atas tubuh (**vena kava superior**) dan vena besar bagian bawah tubuh (**vena kava inferior**). Dari serambi kanan, katup atrioventrikuler membuka dan serambi berkontraksi, bersamaan dengan relaksasinya bilik kanan. Segera setelah darah mengalir ke bilik kanan, katup menutup, dan bilik berkontraksi mengalirkan darah ke arteri menuju paru-paru kanan dan kiri.

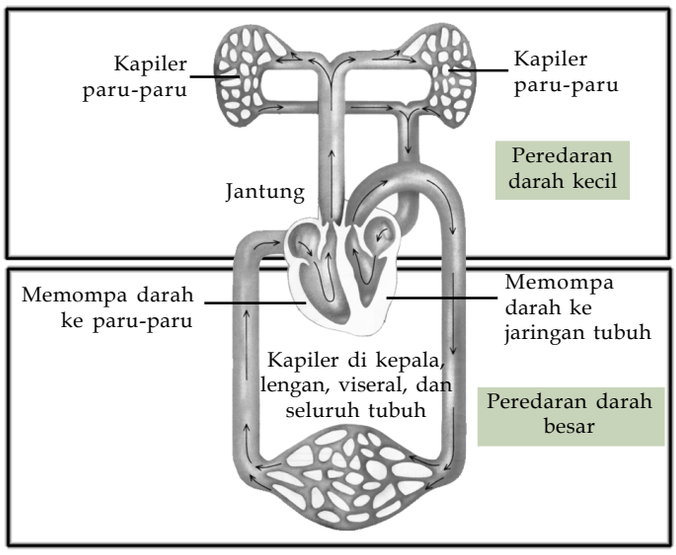


Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

Gambar 5.8
Jantung pada manusia dibagi menjadi empat ruang, yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, dan ventrikel kiri.

uang manakah yang memiliki dinding tebal?

Pertukaran gas terjadi di paru-paru. Darah dari seluruh tubuh mengandung banyak CO_2 sebagai hasil metabolisme. Darah dari paru-paru yang kaya oksigen kemudian memasuki bilik kiri melalui vena dari paru-paru (vena pulmonalis). Peredaran darah dari jantung – paru-paru – jantung disebut **peredaran darah kecil** (**Gambar 5.9**).



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 5.9
Manusia mempunyai sistem peredaran darah ganda, yaitu peredaran darah kecil dan peredaran darah besar.

Katup atrioventrikuler terbuka saat bilik kiri berelaksasi dan darah mengalir ke bilik. Katup atrioventrikuler menutup, kemudian bilik berkontraksi menyebarkan darah ke aorta untuk kembali disebarkan ke seluruh tubuh. Peredaran darah dari jantung – seluruh tubuh – jantung

disebut **peredaran darah besar**. Manusia memiliki peredaran darah kecil dan peredaran darah besar sehingga sistem peredaran darah pada manusia disebut sistem **peredaran darah ganda**.

Otot jantung memiliki struktur yang khas seperti otot lurik, tetapi bercabang-cabang. Otot jantung disarafi oleh saraf tak sadar. Saraf tersebut menempel ke jantung bagian tengah di antara dua bilik sebagai berkas yang menyebar. Berkas saraf ini disebut **berkas Hiss**.

Otot jantung memiliki satu siklus kontraksi - relaksasi yang disebut **siklus jantung**. Periode relaksasi disebut **diastol**, yaitu ketika serambi jantung menguncup dan bilik jantung mengembang (otot bilik relaksasi). Adapun periode kontraksi disebut **sistol**, terjadi ketika otot bilik berkontraksi (ruang bilik menguncup) dan darah terdorong keluar.

2. Pembuluh Darah

William Harvey (1578 - 1657) adalah orang pertama yang meneliti tentang pembuluh darah pada manusia. Pembuluh darah pada manusia dibedakan sebagai berikut.

a. Pembuluh Nadi (Arteri)

Istilah arteri digunakan untuk pembuluh darah yang aliran darahnya mengalir meninggalkan jantung. Secara anatomi, arteri terdiri atas beberapa lapisan, di antaranya jaringan ikat yang kuat dan elastis, jaringan otot polos, dan jaringan endotelium. Arteri tidak terlihat di atas kulit, tetapi dapat dirasakan denyut nadinya. Agar lebih memahami denyut nadi, lakukanlah kegiatan berikut.

Kegiatan 5.2

Denyut Nadi

Tujuan

Membandingkan denyut nadi normal dan denyut nadi setelah aktivitas

Alat dan Bahan

Stopwatch atau jam tangan

Langkah Kerja

1. Hitunglah denyut nadi pergelangan tangan kiri atau pada leher di bawah rahang bawah menggunakan jari-jari tangan kanan, selama satu menit.
2. Ulangi penghitungan hingga tiga kali, kemudian hitunglah rata-rata denyut nadi untuk satu menitnya.
3. Kemudian, berlari-larilah selama lima menit. Lalu, lakukanlah penghitungan denyut nadi seperti kegiatan 1 dan 2 sehingga diperoleh rata-rata denyut nadi untuk satu menit.
4. Lakukan kegiatan ini pada teman laki-laki dan perempuan di kelompok Anda. Masukkan hasil pengamatan pada tabel berikut.

No.	Nama Siswa	Jenis Kelamin	Denyut Nadi Rata-rata	
			Sebelum Aktivitas	Setelah Aktivitas
1				
2				
3				

5. Diskusikan hasil pengamatan bersama teman kelompokmu. Buatlah kesimpulan dari kegiatan tersebut.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Apakah terjadi perbedaan kecepatan denyut nadi antara sebelum melakukan aktivitas dan sesudah melakukan aktivitas? Mengapa demikian?

Tokoh Biologi

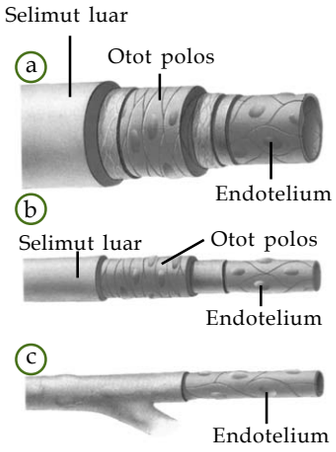
Ibnu Al-Nafis Damishqui (antara 1213 – 1288)

Ia merupakan orang pertama yang menggambarkan peredaran darah dalam tubuh manusia (pada 1242) secara tepat. Ia merupakan orang pertama yang diketahui telah mendokumentasikan aliran darah melalui paru-paru dan membentuk sistem sirkulasi darah. Hal ini tidak diketahui para ilmuwan barat hingga 1628 seorang doktor dari Inggris, William Harvey memperlihatkan bahwa darah mengalir ke seluruh tubuh.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994, *www.wikipedia.org*

Kata Kunci

- Diastol
- Peredaran darah besar
- Peredaran darah kecil
- Sistol



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*

Gambar 5.10
(a) Pembuluh arteri dapat dibedakan menjadi (b) arteriol dan (c) kapiler.

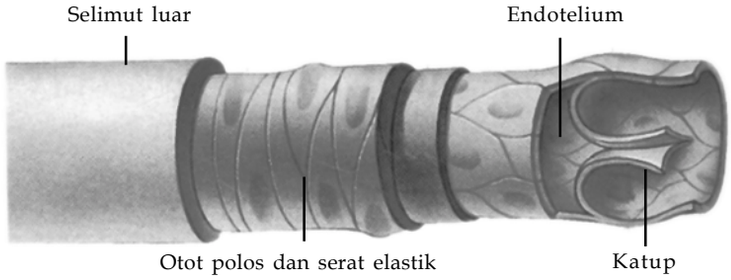
2. Hitunglah rata-rata denyut nadi murid laki-laki dan perempuan di kelas Anda. Bandingkan hasilnya. Apa hasil yang Anda dapatkan?
3. Menurutmu faktor apa saja yang memengaruhi denyut jantung seseorang?

Pembuluh nadi dapat dibedakan menjadi **aorta**. Aorta adalah pembuluh nadi besar yang menyalurkan darah yang baru keluar dari bilik kiri menuju arteri. Arteri bercabang-cabang hingga membentuk saluran pembuluh dengan diameter yang lebih kecil yang disebut **arteriol** (**Gambar 5.10**). Arteriol kemudian bercabang-cabang lagi hingga membentuk saluran halus yang berhubungan langsung dengan jaringan, disebut **kapiler**.

b. Pembuluh Balik (Vena)

Istilah vena digunakan untuk pembuluh darah yang aliran darahnya mengalir kembali menuju jantung. Saluran ini lebih mudah dilihat mata. Karena vena berada di lapisan atas dekat dengan permukaan kulit dan berwarna kebiruan.

Pembuluh balik dimulai dari pembuluh darah kapiler. Dari kapiler, darah memasuki venula. Pembuluh-pembuluh venula yang kecil akan bergabung menuju pembuluh vena. Pembuluh vena merupakan pembuluh yang membawa darah kembali ke jantung. Perhatikan **Gambar 5.11**.



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

Gambar 5.11
Vena adalah pembuluh darah yang alirannya menuju jantung.

Tugas Ilmiah 5.1

Setelah Anda mempelajari materi pembuluh darah tentunya Anda memahami perbedaannya. Untuk lebih memahami perbedaan antara aorta, arteri, kapiler, dan vena, isilah tabel berikut. Diskusikan hasilnya.

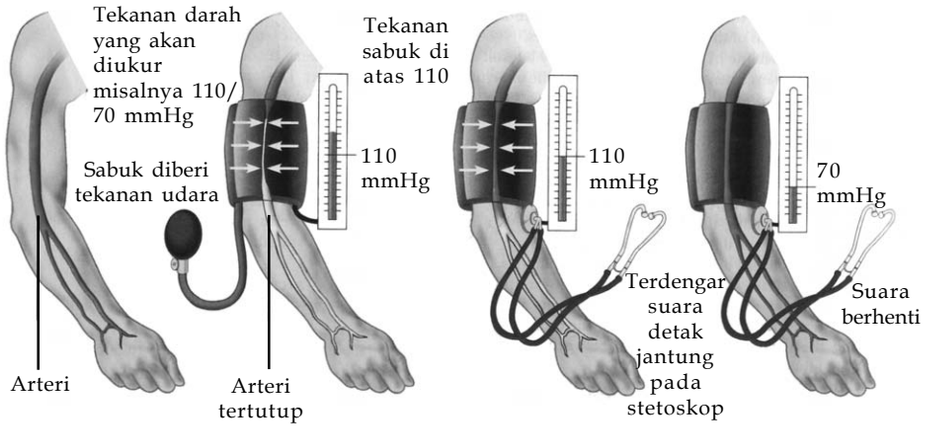
Perbedaan Aorta, Arteri, Kapiler, dan Vena

No.	Perbedaan	Aorta	Arteri	Kapiler	Vena
1	Arah aliran				
2	Diameter pembuluh				
3	Sifat dinding pembuluh				
4	Letak				

c. Tekanan Darah

Tekanan darah merupakan hasil dari gerakan jantung yang memompa darah. Tekanan ini tinggi pada pembuluh arteri ketika ventrikel berkontraksi. Tekanan darah turun di arteri ketika ventrikel relaksasi. Kontraksi pada ventrikel disebut **sistol**, sedangkan relaksasi ventrikel disebut **diastol**. Dinding pembuluh arteri mengembang ketika tekanan darah yang tinggi masuk saat sistol. Denyut nadi yang Anda rasakan di pergelangan tangan merupakan peristiwa mengembangnya dinding arteri ini.

Tekanan darah biasanya diukur pada pengkal lengan. Tekanan darah diberikan dengan dua angka yang berbeda, misalnya 110/70 mmHg. Angka yang paling besar merupakan tekanan sistol puncak. Angka yang lebih kecil merupakan tekanan diastol. Semakin jauh darah dari jantung, semakin rendah tekanannya (Campbell, *et al*, 2006: 476). Perhatikan **Gambar 5.12**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

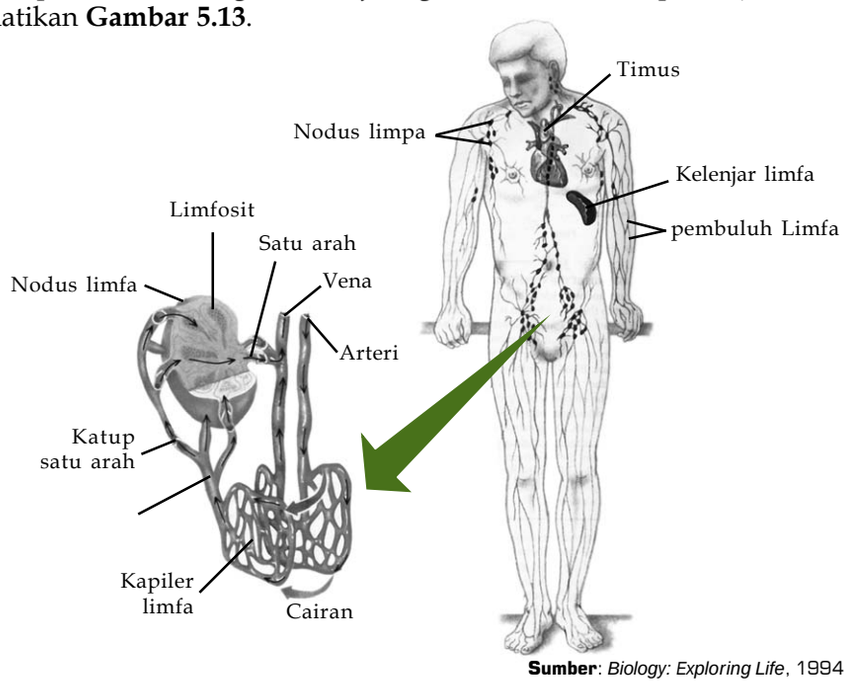
Gambar 5.12
Mengukur tekanan darah. Pengukuran tekanan darah menggunakan sphygmomanometer dan dibantu dengan stetoskop.

3. Pembuluh Limfa

Selain pembuluh darah, manusia juga memiliki **pembuluh limfa**. Pembuluh limfa disebut juga pembuluh getah bening. Limfa adalah cairan yang menggenangi jaringan tubuh. Limfa memiliki sistem peredaran sendiri yang dimulai dari jaringan sampai ke vena.

Beberapa fungsi limfa di antaranya mengabsorpsi lemak di usus halus dan mengangkutnya ke darah, serta mengambil kelebihan cairan jaringan dan mengembalikannya ke sistem peredaran darah. Selain itu, fungsi yang tidak kalah penting adalah membantu mempertahankan tubuh dari penyakit.

Limfa dialirkan dengan mengandalkan kontraksi otot-otot rangka. Dalam tubuh terdapat beberapa nodus limfa. Nodus tersebut terdiri atas sinus-sinus, yaitu ruangan tempat menyaring bahan-bahan yang sudah diabsorpsi atau dihilangkan dari jaringan oleh sel darah putih (makrofag). Perhatikan **Gambar 5.13**.



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 5.13
Pembuluh limfa mengambil dan mengembalikan cairan berlebih yang keluar dari aliran kapiler darah. Organ limfatik terdiri atas nodus limfa, timus, empedu, dan tonsil.

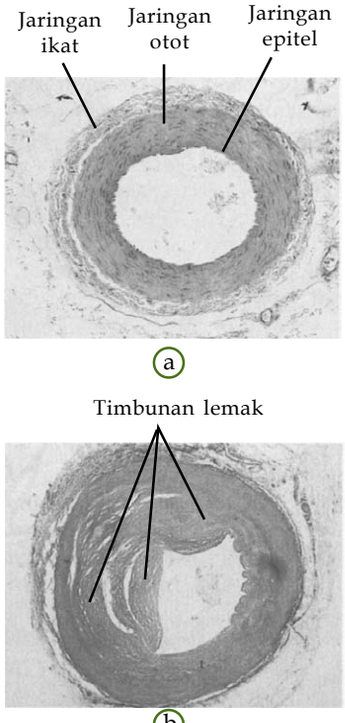
Soal Penguasaan *Materi* 5.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan struktur jantung manusia.
2. Jelaskan perbedaan antara pembuluh darah vena dan arteri.
3. Apa yang dimaksud dengan peredaran darah ganda?

C Gangguan pada Sistem Peredaran Darah Manusia dan Pengembangan Teknologi Jantung

Terdapat beberapa penyakit atau kelainan yang dapat terjadi pada sistem peredaran darah manusia. Untuk itu, dikembangkanlah teknologi yang berhubungan dengan sistem peredaran darah manusia, di antaranya EKG (Elektrokardiograf), alat pacu jantung (*defibrilator*), dan kateter balon.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.14
Atherosklerosis. (a) arteri normal dan (b) arteri yang menyempit akibat tumpukan lemak (atherosklerosis)

1. Gangguan Sistem Peredaran Darah

Sistem peredaran darah manusia dapat mengalami gangguan. Gangguan dapat terjadi pada organ sistem peredaran darah maupun karena faktor lainnya.

a. Sklerosis

Arteri mempunyai sifat elastis. Oleh karena itu, ketika tekanan darah dalam keadaan maksimum, arteri mengembang untuk mengimbangi tekanan darah. Namun, seiring dengan pertambahan usia, dinding arteri kehilangan elastisitasnya akibat penimbunan zat kapur. Keadaan inilah yang disebut **arteriosklerosis**.

Hilangnya elastisitas arteri, memengaruhi jumlah darah yang melewati arteri dan akhirnya akan berpengaruh juga terhadap jumlah oksigen yang tersebar ke seluruh tubuh. Orang yang memiliki kadar kolesterol tinggi dalam darahnya, di permukaan atau dinding dalam arterinya dapat terakumulasi deposit lemak. Hal tersebut dapat memengaruhi volume darah yang mengalir dan jumlah oksigen yang disebarkan. Jenis sklerosis ini disebut **atherosklerosis** (**Gambar 5.14**).

Atherosklerosis dan arteriosklerosis merupakan penyebab beberapa hal sebagai berikut.

1) Kekurangan oksigen pada organ-organ tertentu. Jika kekurangan oksigen terjadi di jantung, sebagian otot jantung akan mati dan memengaruhi kinerja jantung.
2) Meningkatkan tekanan darah secara keseluruhan. Jika mencapai tingkatan tertentu, tekanan yang tinggi ini dapat menyebabkan pecahnya kapiler darah. Jika kapiler darah yang pecah tersebut terjadi di otak, sebagian otak akan mengalami gangguan akibat pasokan udara dan glukosa yang terhambat. Hal tersebutlah yang dikenal sebagai **stroke**.
3) Penumpukan lemak di arteri koroner dapat menghambat sel-sel darah. Penumpukan sel-sel darah ini dapat memicu reaksi pembekuan darah, seperti yang terjadi pada luka. Pembekuan darah di arteri koroner biasa disebut **penyakit jantung koroner**.

b. Anemia

Penyakit ini disebut juga penyakit kurang darah. Hal tersebut dikarenakan kekurangan hemoglobin, kekurangan sel darah merah, atau kekurangan zat besi (Fe).

c. Hipertensi

Hipertensi dikenal juga sebagai penyakit darah tinggi. Hal ini terjadi jika tekanan sistolnya antara 140–200 mmHg dan distolnya antara 50–110 mmHg. Terdapat penyakit lain yang merupakan kebalikan dari hipertensi, yaitu **hipotensi**. Hipotensi terjadi jika tekanan darah rendah, yaitu tekanan sistol di bawah 100 mmHg.

d. Varises

Varises berupa pelebaran pembuluh vena yang umumnya terjadi di daerah betis. Jika pelebaran tersebut terjadi di bagian anus, disebut ambeien, wasir, atau *hemoroid*.

Tugas Ilmiah 5.2

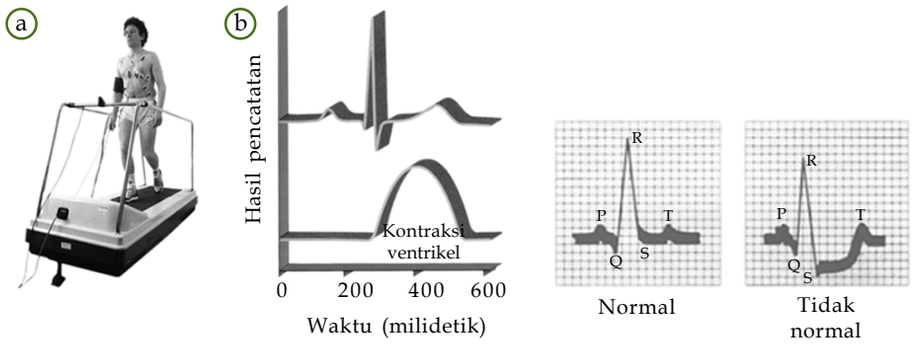
Buatlah artikel mengenai penyakit-penyakit pada sistem peredaran darah manusia yang sering diderita oleh masyarakat Indonesia dewasa ini, seperti Demam Berdarah Dengue (DBD). Kajilah mengenai penyebab, gejala, dan pengobatannya. Perhatikanlah kaidah-kaidah penulisan artikel. Artikel yang paling baik akan ditempel di majalah dinding (mading) sekolah.

2. Pengembangan Teknologi Jantung

Penyakit jantung dan stroke adalah penyakit pembunuh nomor dua di Indonesia. Jantung dapat mengalami kelainan sehingga tidak mampu memompa darah dengan optimal dan kebutuhan metabolisme jaringan tidak dapat terpenuhi dengan baik. Beberapa penyakit yang berhubungan dengan jantung ini di antaranya adalah arteri koroner, hipertensi, dan arterosklerosis.

Jantung merupakan organ yang sangat vital. Gangguan pada jantung dapat mengakibatkan seluruh tubuh terganggu. Oleh karena itu, teknologi untuk mengatasi permasalahan jantung berkembang dengan pesat. Teknologi yang berhubungan dengan jantung antara lain alat EKG (elektrokardiograf), alat pacu jantung (*defibrilator*), dan kateter balon (*balloon cathether*).

Elektrokardiograf (EKG) adalah alat yang digunakan untuk mendeteksi kondisi jantung dengan cara memantau irama dan frekuensi detak jantung. Hasil pengukuran dengan menggunakan elektrokardiograf adalah **elektrokardiogram**. Elektrokardiogram pada jantung normal yang sehat dihasilkan grafik berulang yang teratur (**Gambar 5.15**).



Sumber:*Jendela Iptek: Ilmu Kedokteran*, 1997

Gambar 5.15
(a) Pasien di atas lintasan EKG (alat uji latih jantung). (b) Elektrokardiogram pada jantung.

Pada kondisi tertentu, jantung dapat berdetak dengan lambat atau berhenti sama sekali. **Alat pacu jantung** adalah alat yang digunakan untuk merangsang jantung berkontraksi kembali. Alat pacu jantung mengirimkan pulsa-pulsa listrik melalui otot-otot jantung sehingga jantung dapat berfungsi kembali (**Gambar 5.16a**).

Wawasan Biologi

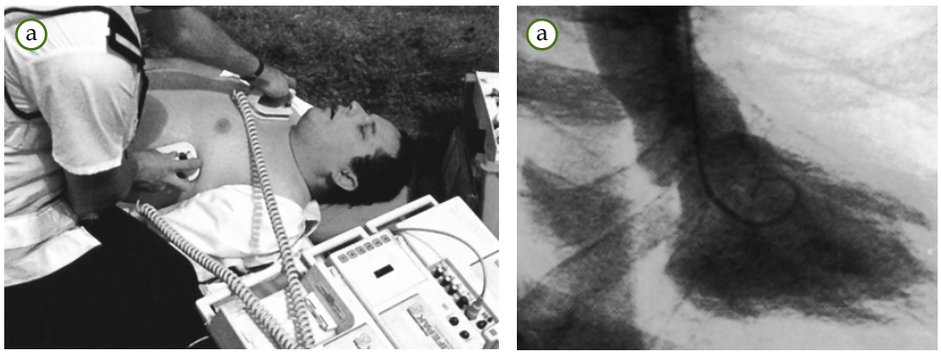
Koroner (*coronary*) berasal dari kata latin *corona*, berarti mahkota. Arteri koroner yang menyuplai darah bagi jantung mendapatkan nama tersebut karena arteri ini mengelilingi jantung seperti sebuah mahkota.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Kata Kunci

- Arteriosklerosis
- Atherosklerosis
- Stroke

Kateter balon dapat digunakan untuk memecah endapan lemak pada pembuluh sehingga darah dapat mengalir kembali. Kateter adalah sebuah pipa panjang, ramping, dan fleksibel terbuat dari bahan lentur dan dapat dilihat dengan sinar-x. Kateter dapat dilihat melalui layar monitor dan dikemudikan di sepanjang pembuluh darah atau di antara organ-organ tubuh (**Gambar 5.16b**).



Sumber:*Jendela Iptek: Ilmu Kedokteran*, 1997

Gambar 5.16
(a) Alat pacu jantung yang dapat merangsang jantung untuk berkontraksi kembali. (b) Kateter yang dimasukkan melalui sebuah pembuluh darah halus di lengan dan diarahkan ke jantung untuk mengukur tekanan darah di jantung.

Soal Penguasaan *Materi* 5.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan arteriosklerosis dan atherosklerosis?
2. Apa penyebab anemia?
3. Apakah fungsi dari elektrokardiograf, pacu jantung, dan kateter balon?

D Sistem Peredaran Darah pada Hewan

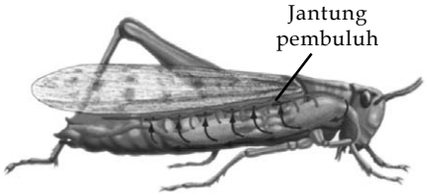
Pada hewan satu sel, zat makanan dan oksigen masuk secara difusi sederhana. Sampah buangan yang dihasilkannya pun dibuang secara difusi sederhana pula, sehingga hewan satu sel tidak memiliki suatu sistem sirkulasi yang kompleks. Hal tersebut berbeda pada hewan multiseluler. Berikut sistem peredaran darah pada beberapa hewan tertentu.

1. Serangga (Insecta)

Sistem peredaran darah pada serangga adalah sistem peredaran darah yang terbuka. Artinya, darah yang mengalir di dalam tubuh tidak selalu melalui sistem pembuluh. Sistem peredaran darah terbuka ini, biasanya terdapat pada hewan-hewan Arthropoda dan Mollusca.

Pada serangga, darah berada dalam rongga tubuh. Oleh karena itu, organ-organ tubuh dalam rongga tubuh terendam dan langsung berhubungan dengan darah. Dalam plasma darah serangga terkandung **hemosianin**. Hemosianin berperan seperti hemoglobin dalam darah manusia, yaitu mengikat oksigen dan menyebarkannya ke seluruh tubuh.

Jantung pada Arthropoda, belum berbentuk jantung seperti pada hewan lain. Jantung hanya berupa tabung yang memiliki dinding otot yang tebal sehingga mampu berkontraksi. Jantung seperti ini disebut **jantung pembuluh** (**Gambar 5.17**). Pada serangga, jantung pembuluh yang berada di bagian belakang tubuh, sejajar dengan punggung. Jantung tersebut berhubungan langsung dengan aorta yang berada di tubuh bagian depan.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 5.17
Belalang mempunyai sistem peredaran darah terbuka dengan jantung berupa jantung pembuluh.

Ketika jantung pembuluh berdenyut, darah terpompa ke aorta di tubuh bagian depan, lalu memasuki rongga tubuh. Antara aorta dan jantung pembuluh sudah dibatasi oleh klep yang berfungsi mencegah aliran balik ketika jantung berelaksasi.

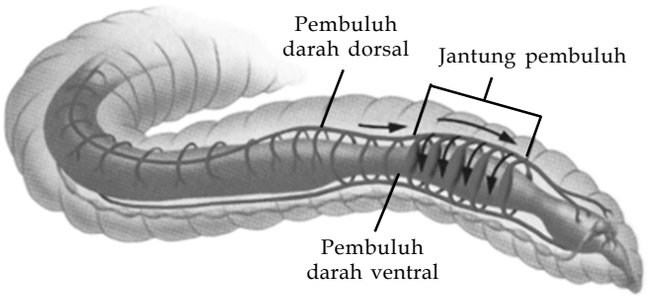
Jantung pembuluh memiliki pori halus. Melalui pori halus tersebut, darah dari rongga tubuh memasuki jantung untuk dipompa kembali ke seluruh tubuh.

2. Cacing (Annelida)

Cacing memiliki sistem peredaran darah tertutup dengan kapiler-kapiler dalam tubuhnya yang tersebut di seluruh tubuh. Darah cacing sudah memiliki hemoglobin yang terlarut dalam protoplasma sel darah merahnya.

Jantung cacing merupakan bagian dari aorta yang berdinding otot tebal sehingga dapat berkontraksi. Jantung cacing disebut juga **jantung pembuluh** atau **lengkung aorta** karena bentuknya yang melengkung (**Gambar 5.18**).

Kata Kunci
Jantung pembuluh



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 5.18
Sistem peredaran darah cacing adalah sistem peredaran darah tertutup dan sederhana yang dipacu oleh kontraksi pembuluh darah dorsal dan lima pasang jantung.

Jantung memompakan darah dari bagian dorsal (punggung) ke pembuluh darah ventral (perut), lalu ke seluruh tubuh. Pertukaran udara terjadi di kapiler-kapiler yang tersebar di permukaan kulit di seluruh tubuh. Dinding kulit cacing lembap dan tipis sehingga memungkinkan terjadinya pertukaran udara.

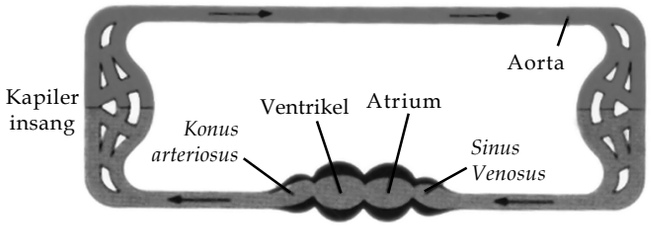
Setelah melalui seluruh tubuh, darah akan kembali ke bagian dorsal tubuh, menuju jantung untuk kemudian dipompakan lagi ke seluruh tubuh.

3. Ikan (Pisces)

Ikan dan semua hewan vertebrata lainnya memiliki sistem peredaran darah tertutup. Jantung ikan lebih berkembang dibandingkan Arthropoda dan cacing. Pada ikan, jantung sudah mulai terbagi dengan jelas menjadi dua ruang, yaitu serambi dan bilik. Selain itu, sudah terdapat katup yang membatasi kedua ruang tersebut.

Selain kedua ruang tersebut, terdapat juga struktur lain yang juga menyerupai ruang di bagian posterior (belakang) dari serambi. Struktur ini disebut *sinus venosus*. *Sinus venosus* menampung darah dari vena sebelum memasuki serambi.

Darah ikan akan meninggalkan jantung ketika serambi jantung berkontraksi dan membawa darah yang kaya CO_2 menuju insang, melewati *konus arteriosus*, yaitu arteri utama yang meninggalkan jantung. Dari *konus arteriosus* kemudian ke *aorta ventralis*, kemudian ke *arteri afferen brakialis* yang melewati sistem insang. Di dalam insang, terjadi pertukaran udara dan darah diteruskan beredar ke seluruh tubuh (**Gambar 5.19**).



Gambar 5.19
Sistem peredaran darah pada ikan.

Sumber:*Essentials of Biology*, 1990

Darah kembali ke jantung melalui sistem pembuluh balik, yaitu *vena cardinalis posterior* (pembuluh balik tubuh bagian belakang) dan *vena cardinalis anterior* (pembuluh balik tubuh bagian depan). Selain itu, melalui *vena porta hepatikus* (pembuluh balik yang berasal dari hati) dan *vena porta renalis* (pembuluh balik yang berasal dari ginjal).

4. Amphibia dan Reptilia

Katak memiliki jantung dengan tiga ruang yang terdiri atas satu bilik dan dua serambi. Di antara bilik dan serambi terdapat klep untuk mencegah darah kembali ke serambi ketika bilik berkontraksi. Serambi kanan berhubungan dengan *sinus venosus* yang menampung darah dari seluruh tubuh sebelum memasuki serambi kanan.

Darah katak terdiri atas plasma darah yang jernih dan sel-sel darah. Plasma terdiri atas air, garam-garam mineral, dan protein darah. Sel-sel darah merah pada katak berbentuk pipih bulat-panjang, dengan hemoglobin yang terkandung dalam protoplasmanya. Sel-sel darah merah katak juga memiliki inti sel. Darah putih pada katak tidak berwarna dan memiliki inti.

Darah dari seluruh tubuh yang kaya CO_2 akan memasuki *sinus venosus*, kemudian masuk ke serambi kanan. Pada saat yang hampir bersamaan, darah dari paru-paru dan permukaan kulit memasuki serambi kiri. Darah ini kaya dengan O_2.

Selain menggunakan paru-paru sebagai organ pernapasan, katak juga mampu menggunakan kulitnya yang lembap sebagai tempat pertukaran udara. Di bawah kulit ini, terdapat arteri tempat pertukaran CO_2 dan O_2. Darah yang kaya O_2 dari kulit dan paru-paru akan kembali ke serambi kiri jantung melalui *vena pulmo* (paru-paru) dan *kutaneus* (kulit).

Oleh karena serambi kanan dan kiri berkontraksi pada waktu yang hampir bersamaan, darah yang kaya dengan CO_2 dari serambi kanan akan sedikit bercampur dengan darah kaya O_2 dari serambi kiri (**Gambar 5.20a**). Darah dari bilik memasuki pembuluh nadi utama (*trunkus arteriosus*). Dari *trunkus arteriosus*, sebagian darah akan masuk arteri menuju paru-paru dan kulit (*arteri pulmo-kutaneus*). Adapun sebagian lagi akan masuk ke arteri yang membawa darah ke seluruh tubuh.

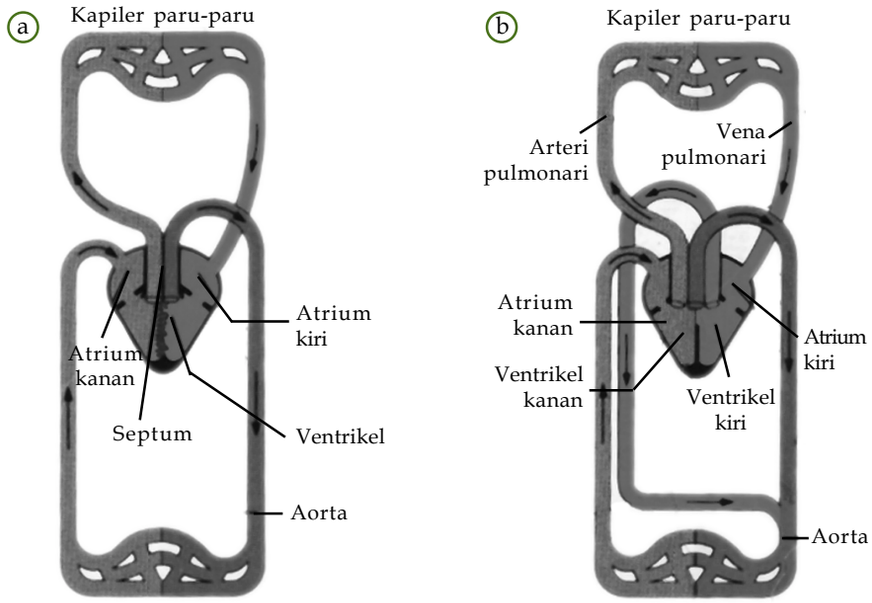
Dari seluruh tubuh, darah akan masuk ke dua sistem porta, yaitu sistem porta di hati (*vena porta hepatikus*) dan sistem porta di ginjal (*vena porta renalis*). Kemudian, bersatu di pembuluh balik besar (*vena cava*).

Adapun pada Reptilia, bilik jantung Reptilia sudah mulai dipisahkan oleh sekat, meskipun tidak sempurna. Keberadaan sekat ini sudah dapat memisahkan darah yang kaya CO_2 dengan darah yang kaya O_2.

Pada buaya, sekat tersebut menjadi hampir sempurna dengan **foramen panizzae**, sebuah struktur buluh yang menghubungkan antara bilik kanan dan bilik kiri. Foramen panizzae berperan terutama dalam menjaga tekanan cairan ketika buaya sedang menyelam.

Dari bilik kiri, darah dialirkan ke dua sistem aorta yang membelok (*arkus aortikus*) ke kiri dan ke kanan. Kedua *arkus aortikus* ini akan bertemu membentuk *aorta dorsalis* (aorta yang berada di bagian punggung), yang menyuplai darah ke tubuh bagian belakang.

Dari seluruh tubuh, darah akan kembali ke jantung melalui *vena cava*, masuk ke *sinus venosus*. Dari *sinus venosus*, darah masuk ke serambi kanan, lalu ke bilik kanan. Dari bilik kanan darah dipompa ke paru-paru. Dari paru-paru, lalu kembali ke jantung dan memasuki serambi kiri, baru kemudian ke bilik kiri untuk kemudian dipompakan lagi ke seluruh tubuh (**Gambar 5.20b**).



Sumber:*Essentials of Biology*, 1990

Gambar 5.20
(a) Sistem peredaran darah pada Amphibia. (b) Sistem peredaran darah pada Reptilia.

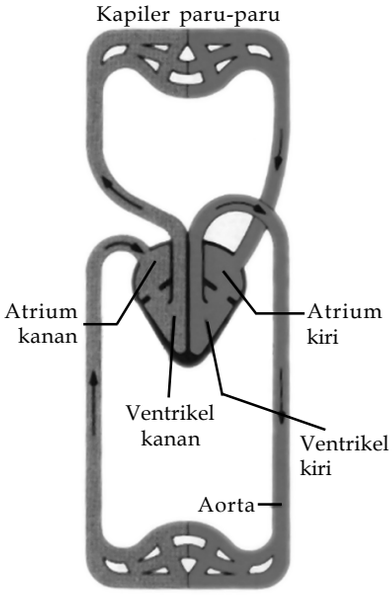
5. Burung (Aves)

Jantung burung dan mamalia memiliki empat ruang yang sudah terpisah sempurna. Dengan demikian, telah terjadi pemisahan yang sempurna antara darah kaya CO_2 dan darah yang kaya O_2.

Darah burung berbentuk oval dengan inti sel, dan hemoglobin yang terkandung dalam protoplasma sel darahnya. Dari bilik kiri, darah akan mengalir lewat arteri yang bercabang tiga. Dua arteri bercabang-cabang lagi untuk menyuplai darah ke kepala dan organ-organ di tubuh bagian depan, serta otot-otot terbang. Satu arteri menyuplai darah ke anggota badan bagian belakang.

Sementara itu, pembuluh balik (vena) pada burung dapat dibedakan atas *vena cava superior* (yang membawa darah dari tubuh bagian atas) dan *vena cava inferior* (yang membawa darah dari tubuh bagian bawah). Dari sistem vena tersebut, darah masuk ke serambi kanan dan bilik kanan. Dari bilik kanan, darah dipompakan ke paru-paru lewat *arteri pulmonalis*, dan kembali ke bilik kiri melalui *vena pulmonalis*.

Aves, Mammalia, Reptilia, dan Amphibia memiliki **sistem peredaran darah ganda** karena dalam perjalanannya, darah dua kali melewati jantung. Pada cacing dan serangga, darah hanya satu kali melewati jantung, disebut **sistem peredaran darah tunggal**.



Sumber:*Essentials of Biology*, 1990

Gambar 5.21
Sistem peredaran darah pada burung.

Soal Penguasaan *Materi* 5.4

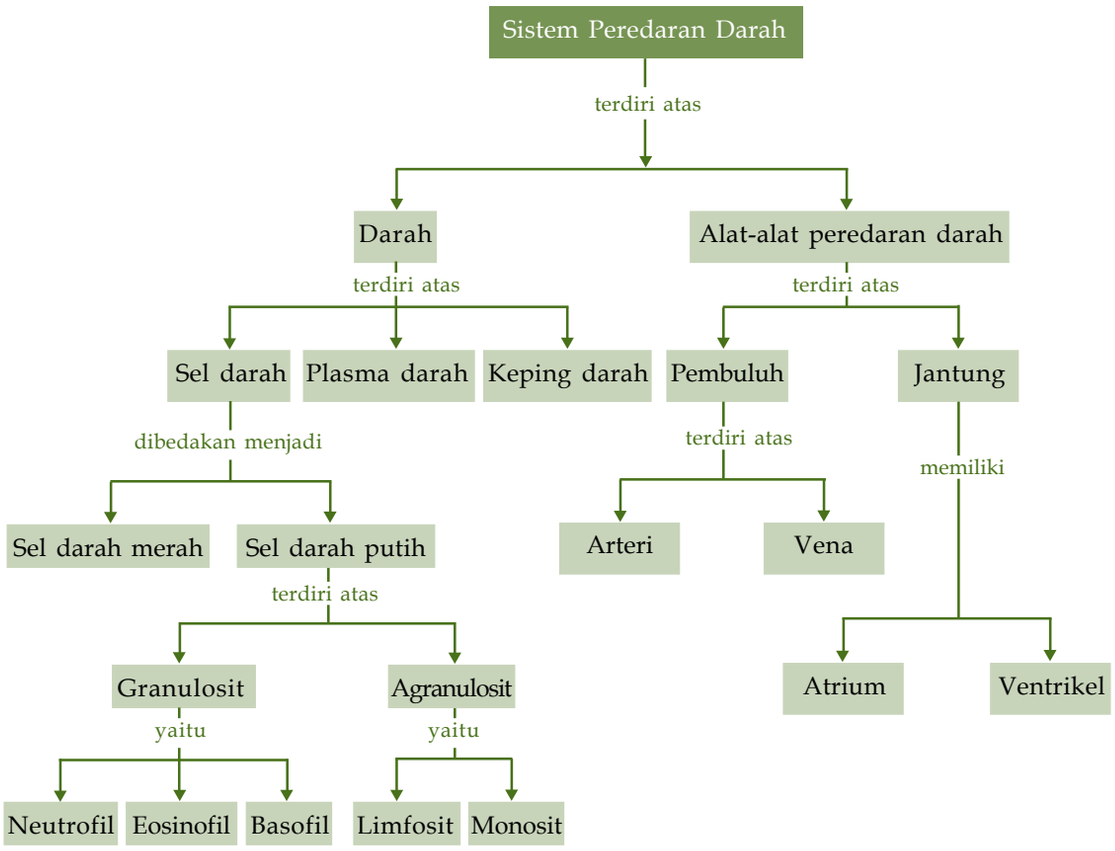
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan antara peredaran darah pada Amphibia dan Reptilia?
2. Apakah perbedaan struktur jantung pada ikan dan burung?
3. Apakah yang dimaksud dengan sistem peredaran darah ganda dan sistem peredaran darah tunggal?

Rangkuman

1. Sistem peredaran darah memiliki fungsi sebagai pengangkut zat buangan dan hormon, dan mengatur suhu tubuh. Selain itu sistem peredaran berperan dalam mekanisme kekebalan tubuh dan penyembuhan luka.
2. Darah terdiri atas plasma darah dan sel-sel darah. Plasma darah mengandung air, protein, nutrisi, gas, garam-garam, dan zat buangan. Sel-sel darah terdiri atas sel darah merah, sel darah putih, dan keping darah.
3. Golongan darah ABO ditentukan berdasarkan ada tidaknya protein aglutinogen pada sel darah. Berdasarkan hal tersebut terdapat empat golongan darah, yaitu A, B, AB, dan O. Selain golongan darah ABO, terdapat juga golongan darah sistem Rh.
4. Alat-alat peredaran darah manusia terdiri atas jantung dan pembuluh darah. Jantung manusia terdiri atas empat ruang, yaitu atrium kanan, ventrikel kanan, atrium kiri, dan ventrikel kiri. Pembuluh darah manusia dapat dibedakan atas pembuluh nadi (arteri) dan pembuluh balik (vena).
5. Sistem peredaran darah pada makhluk hidup multiseluler dapat dibedakan atas peredaran darah terbuka dan peredaran darah tertutup. Pada peredaran darah terbuka, darah yang mengalir tidak selalu berada dalam pembuluh darah. Adapun peredaran darah tertutup, darah mengalir dalam sistem pembuluh darah.
6. Jantung pada ikan sudah memiliki dua ruang, atrium dan ventikel. Pada Amphibia, jantungnya sudah memiliki tiga ruang, yaitu atrium kanan, atrium kiri, ventrikel. Jantung Reptilia sudah memiliki empat ruang, namun sekat antara ventrikel kanan dan kiri belum sempurna. Pada Aves dan Mammalia, jantungnya sudah memiliki empat ruang sehingga tidak akan terjadi pencampuran antara darah kaya O_2 dengan darah kaya CO_2.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari Bab Sistem Peredaran Darah, Anda harus dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit yang dapat terjadi pada sistem peredaran darah. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan yang terjadi pada sistem peredaran darah, Anda belum menguasai meteri Sistem Peredaran Darah dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

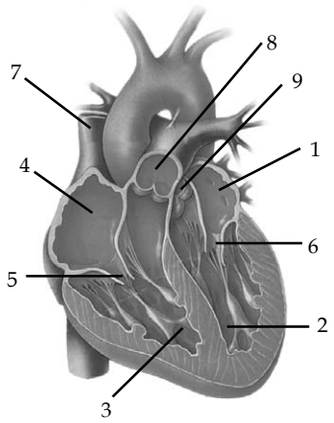
Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi Sistem Peredaran Darah? Menyenangkan, bukan? Banyak hal yang menarik tentang materi ini. Misalnya, Anda mengetahui tentang golongan darah. Anda pun pasti sudah memahami beberapa kelainan atau gangguan pada sistem peredaran darah.

Evaluasi Materi Bab 5

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Warna merah cerah pada darah manusia disebabkan oleh ....
   a. reaksi antara O_2 dengan hemoglobin
   b. leukosit yang mengandung hemoglobin
   c. plasma yang mengandung hemoglobin
   d. eritrosit yang mengandung hemoglobin
   e. reaksi antara CO_2 dan hemoglobin
2. Setelah mengalami proses pencernaan, sari makanan siap untuk diserap dan dibawa ke seluruh tubuh oleh darah. Bagian darah yang berperan dalam pengangkutan adalah ....
   a. plasma
   b. eritrosit
   c. leukosit
   d. trombosit
   e. limfosit
3. Komponen yang *tidak* termasuk plasma adalah ....
   a. air
   b. fibrinogen
   c. trombosit
   d. globulin
   e. albumin
4. Hal yang dapat memicu penghentian pendarahan darah adalah ....
   a. trombosit dan faktor-faktor lainnya pada plasma menyentuh permukaan yang kasar
   b. diproduksinya enzim trombin (trombokinase)
   c. diubahnya fibrinogen menjadi fibrin
   d. diubahnya fibrin menjadi fibrinogen
   e. aliran darah yang cepat melewati kapiler
5. Pernyataan yang benar tentang macam sel darah putih dengan peranannya adalah ....
   a. eosinofil memakan antigen dan mengontrol respon kebal
   b. neutrofil mengenali antigen dan menghasilkan antibodi
   c. basofil menembus pembuluh darah dan mengontrol respon kebal
   d. monosit memproduksi antibodi dan menembus pembuluh darah
   e. limfosit mengontrol respon kebal dan menghasilkan antibodi
6. Komponen pada darah yang memiliki jumlah paling banyak adalah ....
   a. eritrosit
   b. leukosit
   c. plasma darah
   d. trombosit
   e. keping darah
7. Penyebab aliran darah mengalir adalah ....
   a. kontraksi atrium kanan
   b. kontraksi ventrikel kanan
   c. kontraksi atrium kiri
   d. kontraksi ventrikel kiri
   e. kontraksi ventrikel kiri dan kanan secara bersamaan

Untuk soal nomor 8 hingga 11 perhatikan, gambar berikut.



8. Pada gambar, atrium ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 2 dan 3
   b. 1 dan 4
   c. 6 dan 5
   d. 1 dan 2
   e. 3 dan 4
9. Katup trikuspidalis dan katup bikuspidalis ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
   a. 1 dan 4
   b. 8 dan 9
   c. 4 dan 7
   d. 5 dan 6
   e. 2 dan 3
10. Ruang yang berfungsi sebagai tempat persinggahan darah sebelum darah masuk ke bilik adalah ....
    a. 1 dan 4
    b. 8 dan 9
    c. 4 dan 7
    d. 5 dan 6
    e. 2 dan 3
11. Perjalanan darah pada jantung ke paru-paru dan kembali ke jantung melalui ruang-ruangnya adalah ....
    a. 4, 3, 1, dan 2
    b. 4, 3, 2, dan 1
    c. 1, 2, 3, dan 4
    d. 2, 1, 4, dan 3
    e. 2, 1, 3, dan 4
12. Tekanan darah Pak Maman yang ditunjukkan oleh sphygmomanometer adalah 140/88 mmHg. Angka 88 menunjukan ....
    a. tekanan darah di ventrikel
    b. tekanan darah di atrium

c. darah yang keluar dari jantung
d. otot jantung waktu mengembang
e. jantung waktu menghisap darah dari pembuluh balik

13. Transfusi darah dari donor yang bergolongan darah A ke resipien yang bergolongan darah B menyebabkan aglutinasi karena ....
a. bertemunya aglutinogen B dengan aglutinin α
b. bertemunya aglutinogen A dengan aglutinin α
c. bertemunya aglutinogen B dengan aglutinin β
d. bertemunya aglutinogen A dengan aglutinin β
e. bertemunya aglutinin α dengan aglutinin β

14. Apabila dalam sel darah merah seseorang tidak terdapat aglutinogen, tetapi dalam plasmanya mengandung aglutinin α dan β, golongan darah orang tersebut adalah ....
a. O
b. AB
c. A
d. B
e. O dan AB

15. Seseorang yang menderita sakit akibat infeksi virus akan mengalami ....
a. peningkatan jumlah neutrofil dan makrofag untuk memakan virus
b. peningkatan jumlah limfosit untuk membuat antibodi
c. penurunan jumlah limfosit karena berinteraksi dengan toksin
d. penurunan jumlah neutrofil dan makrofag karena banyak yang mati
e. penurunan jumlah leukosit untuk merespon antigen

16. Kelainan berupa pengerasan dan penyempitan pembuluh darah akibat endapan senyawa lemak disebut ....
a. hemofilia
b. leukimia
c. varises
d. atherosklerosis
e. arteriosklerosis

17. Berikut yang *bukan* merupakan fungsi sistem sirkulasi pada vertebrata adalah ....
a. transpor nutrisi, oksigen, dan karbon dioksida
b. pengaturan suhu tubuh
c. melindungi tubuh dengan cara mengedarkan antibodi
d. mengeluarkan sisa-sisa metabolisme untuk dikeluarkan dari tubuh
e. melindungi kehilangan darah dengan mekanisme pembekuan darah

18. Hewan invertebrata yang mempunyai lima pasang lengkung aorta yang berfungsi sebagai jantung adalah ....
a. siput
b. cacing
c. serangga
d. Planaria
e. *Hydra* sp.

19. Di antara hewan invertebrata berikut, yang memiliki sistem transportasi terbuka adalah ....
a. serangga
b. cacing tanah
c. burung
d. buaya
e. ikan

20. Jantung katak terdiri atas ....
a. tiga atrium
b. dua ventrikel, satu atrium
c. satu ventrikel, satu atrium
d. satu ventrikel, dua atrium
e. dua ventrikel, dua atrium

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Apakah fungsi dari sistem peredaran darah?
2. Sebutkan dan jelaskan empat komponen utama penyusun sistem peredaran darah manusia.
3. Jantung apakah yang paling efektif mengantarkan oksigen ke seluruh tubuh, jantung dengan dua ruang seperti yang terdapat pada ikan atau jantung dengan empat ruang seperti yang dimiliki burung? Mengapa?
4. Jika orang dengan golongan darah AB mengalami kecelakaan, orang dengan golongan darah apa saja yang dapat menyumbangkan darahnya untuk orang tersebut? Mengapa?
5. Apakah yang dimaksud dengan sistol dan diastol? Bagaimana pengaruhnya terhadap denyut nadimu?

Soal Tantangan

Di media cetak maupun media elektronik, sering diberitakan bahwa semakin banyak orang yang menderita tekanan darah tinggi (hipertensi). Penderita hipertensi dianjurkan untuk menurunkan tekanan darahnya sampai pada tingkat aman. Selain itu, dianjurkan pula untuk menghindari makanan yang mengandung kolesterol tinggi. Menurut Anda, apa hubungan antara mengonsumsi makanan berkolesterol tinggi dan kelainan darah? Apa akibatnya jika terlalu sering mengonsumsi makanan berkolesterol tinggi?

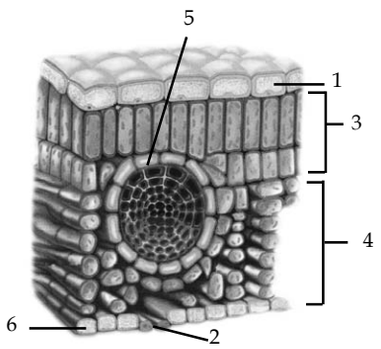
Evaluasi Materi Semester 1

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Fungsi vakuola makanan pada sel hewan adalah ....
   a. membantu sel ketika mencerna makanan
   b. tempat menyimpan makanan cadangan
   c. tempat menyimpan sisa-sisa metabolisme
   d. menjalankan reaksi oksidasi sel
   e. melaksanakan sintesis protein
2. Pernyataan yang paling tepat untuk retikulum endoplasma adalah ....
   a. organel terbesar di dalam sitoplasma
   b. organel kecil di dalam sel yang tersusun atas protein dan RNA
   c. sepasang badan silinder yang merupakan satu kesatuan
   d. sistem membran yang kompleks membentuk jaring-jaring kerja di sitoplasma
   e. berperan dalam sintesis protein, lemak, dan transpor materi
3. Salah satu kondisi yang terjadi pada proses transpor aktif adalah ....
   a. mekanismenya memerlukan energi
   b. tidak dipengaruhi oleh muatan listrik
   c. gerakannya berlangsung dua arah
   d. hanya terjadi pada molekul berukuran besar
   e. dibutuhkan protein pembawa partikel
4. Organel berikut yang hanya ditemukan pada tumbuhan adalah ....
   a. lisosom, vakuola, dan nukleus
   b. lisosom, nukleus, dan plastida
   c. vakuola, plastida, dan kloroplas
   d. nukleus, kloropas, dan retikulum endoplasma
   e. plastida, kloroplas, dan retikulum endoplasma
5. Perhatikan pernyataan berikut.
   1. Berkaitan erat dengan pembentukan sentriol
   2. Pembentukan silia dan flagel
   3. Pengerutan otot
   4. Mengandung klorofil
   5. Mencerna materi yang diambil secara endositosis
   6. Sebagai kerangka sel

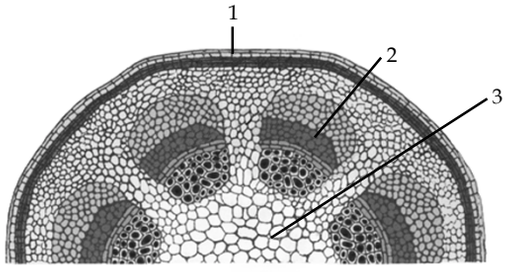
   Pernyataan yang berhubungan dengan mikrotubulus adalah yang bernomor ....
   a. 1, 2, 3
   b. 1, 2, 6
   c. 1, 3, 5
   d. 2, 3, 6.
   e. 2, 4, 6
6. Perbedaan yang paling utama antara sel tumbuhan dengan sel hewan adalah ....
   a. sel tumbuhan mempunyai kloroplas, plastida, dan membran sel, sedangkan sel hewan tidak mempunyai organel tersebut.
   b. sel tumbuhan mempunyai vakuola permanen, tilakoid, dan polisom, sedangkan sel hewan tidak mempunyai.
   c. sel tumbuhan mempunyai vakuola permanen, plastida, dan dinding sel, sedangkan sel hewan tidak punya.
   d. sel tumbuhan tidak mempunyai sentriol, sentrosom, dan vakuola, sedangkan sel hewan memiliki semua itu.
   e. sel tumbuhan mempunyai lamela tengah, selaput plasma, dan plastida, sedangkan sel hewan tidak punya.
7. Organel hewan yang berfungsi mengatur gerakan kromosom ketika membelah adalah ....
   a. lisosom
   b. mikrotubulus
   c. retikulum endoplasma
   d. sentriol
   e. badan Golgi
8. Jaringan pada daun tempat berlangsungnya proses fotosintesis adalah ....
   a. epidermis atas
   b. kutikula
   c. palisade
   d. mesofil bunga karang
   e. epidermis bawah
9. Pembuluh xilem berfungsi ....
   a. mengangkut hasil fotosintesis
   b. mengangkut garam mineral tanah
   c. menyimpan makanan cadangan
   d. melindungi jaringan sebelahnya
   e. menguatkan berdirinya tanaman

Untuk menjawab soal nomor 10 hingga nomor 13, perhatikan gambar berikut.

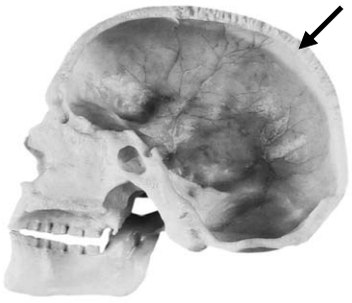


10. Gambar tersebut merupakan penampang organ ....
    a. daun
    b. batang
    c. akar
    d. bunga
    e. ujung batang
11. Berkas pembuluh ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
12. Jaringan epidermis ditunjukkan pada gambar oleh nomor ....
    a. 3 dan 4
    b. 1 dan 3
    c. 1 dan 2
    d. 1 dan 5
    e. 1 dan 6
13. Jaringan yang lebih banyak mengandung kloroplas dibandingkan jaringan lainnya yaitu ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

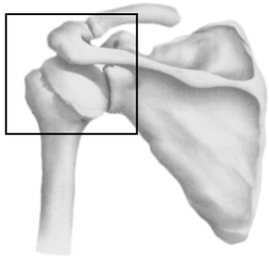
Untuk menjawab soal nomor 14 dan 15, perhatikan gambar berikut.



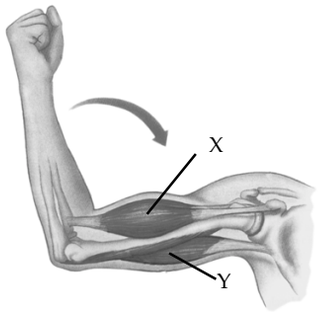
14. Gambar tersebut merupakan penampang sayatan ....
    a. batang monokotil
    b. batang dikotil
    c. akar monokotil
    d. akar dikotil
    e. daun
15. Nomor 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah sistem jaringan ....
    a. epidermis, jaringan pembuluh, jaringan dasar.
    b. epidermis, kambium, parenkim
    c. epidermis, xilem, korteks
    d. kutikula, kolenkim, parenkim
    e. kutikula, floem, endodermis
16. Jaringan tersusun atas ....
    a. organ-organ
    b. jenis sel yang berbeda
    c. jenis sel yang sama
    d. sistem organ dan jaringan
    e. individu dan sel
17. Bentuk tulang yang ditunjukkan oleh panah adalah ....



    a. tulang pipa
    b. tulang pipih
    c. tulang pendek
    d. tulang tak beraturan
    e. tulang kranial
18. Perhatikan gambar berikut.



    Hubungan antartulang pada gambar tersebut merupakan sendi ....
    a. sendi peluru
    b. sendi putar
    c. sendi pelana
    d. sendi luncur
    e. sendi kaku
19. Ketika lengan dibengkokkan, maka otot x dan y akan ...



    a. kontraksi dan relaksasi
    b. kontraksi dan kontraksi
    c. relaksasi dan kontraksi
    d. relaksasi dan relaksasi
    e. jawaban a dan c benar

20. Senyawa kimia berikut yang paling siap diuraikan menjadi energi untuk melakukan gerak otot adalah ....
    a. lemak
    b. protein
    c. maltosa
    d. glukosa
    e. glikogen
21. Skoliosis adalah salah satu bentuk kelainan pada tulang, penyebab dan akibatnya terhadap proses gerak adalah ....
    a. infeksi dan menyebabkan peradangan pada sendi
    b. kekurangan vitamin D dan menyebabkan kelumpuhan
    c. sikap duduk yang salah dan menyulitkan gerakan pada tubuh
    d. kekurangan cairan sendi dan menimbulkan rasa nyeri
    e. kekurangan zat kapur dan menyebabkan tulang tidak dapat digerakkan
22. Pada waktu otot berkontraksi ditandai dengan ....
    a. memendeknya otot sekitar 20% dari ukuran semula
    b. otot tampak menjadi lebih terang
    c. zona H menjadi lebih panjang
    d. zona I menjadi lebih pendek
    e. ukuran panjang aktomiosin bertambah
23. Sistem sirkulasi pada Planaria adalah ....
    a. difusi pada rongga gastrovaskular
    b. difusi pada seluruh permukaan tubuh
    c. sistem peredaran darah tertutup
    d. sistem peredaran darah terbuka
    e. sistem peredaran darah tunggal
24. Arteriosklerosis merupakan kelainan dalam sistem sirkulasi, yaitu ....
    a. tersumbatnya pembuluh darah karena benda yang tidak bergerak
    b. menyempitnya nadi tajuk dan jantung
    c. mengerasnya pembuluh nadi karena zat kapur
    d. mengerasnya pembuluh nadi karena zat lemak
    e. pelebaran pembuluh vena pada kaki
25. Pasangan aglutinogen dan aglutinin yang menunjukkan golongan darah O adalah ....

	Aglutinogen	Aglutinin
a.	A	α
b.	A	β
c.	tanpa aglutinogen	α dan β
d.	A dan B	tanpa aglutinin
e.	B	β

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik.
2. Sebutkan organel-organel yang terdapat dalam sel tumbuhan dan tidak terdapat dalam sel hewan.
3. Apakah fungsi dari jaringan xilem dan jaringan floem pada tumbuhan?
4. Bunga adalah organ pada tumbuhan. Apakah fungsi utama bunga pada tumbuhan? Apakah yang dimaksud bunga lengkap dan bunga tidak lengkap?
5. Uraikan dengan contoh bahwa organ pada hewan dibentuk oleh jaringan yang berbeda dan mempunyai fungsi tertentu.
6. Urutkan organisasi kehidupan pada hewan, dari mulai molekul dalam sel hingga individu utuh.
7. Terangkan proses gerak berdasarkan teori *sliding filament*.
8. Organ apakah yang termasuk dalam sistem gerak pada manusia?
9. Sebutkan dan jelaskan komponen-konponen yang ada dalam darah.
10. Sebutkan tiga contoh penyakit yang berhubungan dengan sistem peredaran darah.

Sumber: *Heath Biology* , 1985

6

Bab 6
Sistem Pencernaan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami sistem pencernaan pada manusia. Untuk itu, Anda harus mampu menjelaskan seluruh proses yang terjadi pada sistem pencernaan makanan. Selain itu, Anda harus mampu menjelaskan kaitannya dengan struktur sistem pencernaan makanan.

Setiap makhluk hidup memerlukan makanan agar dapat hidup dan melakukan berbagai kegiatan. Makanan tersebut berupa bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau hewan. Agar dapat diserap, makanan perlu dicerna, yaitu diuraikan menjadi molekul-molekul yang lebih kecil sehingga dapat diserap dan digunakan oleh sel-sel tubuh.

Zat-zat makanan apakah yang dibutuhkan oleh tubuh? Apakah makanan yang dimakan dapat langsung dimanfaatkan oleh tubuh? Organ-organ apakah yang berperan dalam sistem pencernaan makanan? Adakah penyakit atau kelainan yang terjadi pada sistem pencernaan makanan? Teknologi dan ilmu pengetahuan apakah yang dapat memecahkan masalah dalam sistem pencernaan makanan? Semua pertanyaan tersebut dapat Anda temukan jawabannya setelah Anda mempelajari bab sistem pencernaan berikut.

A. Zat-Zat Makanan
B. Sistem Pencernaan pada Manusia
C. Gangguan pada Sistem Pencernaan Manusia
D. Sistem Pencernaan pada Hewan

Soal *Prameteri*

1. Apakah manfaat makanan bagi manusia?
2. Zat gizi apa sajakah yang Anda ketahui terdapat pada makanan?
3. Apa sajakah organ penyusun sistem pencernaan manusia?

A Zat-Zat Makanan

Pada umumnya, orang lebih fokus pada jenis makanan berdasarkan rasanya dibandingkan nilai nutrisi yang dikandungnya. Padahal, makanan yang kita makan sangat penting untuk menyediakan zat yang dibutuhkan tubuh (**Gambar 6.1**). Apa yang terjadi jika makanan yang kita makan tidak mengandung nutrisi yang dibutuhkan? Pengetahuan dasar tentang nutrisi dapat membantu menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut sehingga kita dapat menyusun menu makan yang sehat untuk dikonsumsi setiap hari.

Makanan menyediakan energi yang kita butuhkan untuk melakukan beragam aktivitas. Makanan juga memberi bahan baku baru bagi tubuh untuk menyintesis berbagai jenis zat dan bahan, bahkan sebagai bahan dasar untuk mengganti organel atau sel yang rusak. Oleh karena itu, pengetahuan mengenai makanan yang baik sangat penting untuk kita.

Sumber: *Dokumentasi penerbit*

Gambar 6.1
Manusia memerlukan makanan untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya.

Nutrien adalah zat kimiawi yang dibutuhkan tubuh untuk menghasilkan energi, membangun sel-sel baru, atau berfungsi dalam reaksi-reaksi kimia lainnya. Nutrien dapat dibagi menjadi enam kelompok utama, yaitu **karbohidrat**, **protein**, **lemak**, **vitamin**, **mineral**, dan **air**. Nutrien-nutrien inilah yang memenuhi kebutuhan utama tubuh. Fungsi nutrien sebagai berikut.

1. Menyediakan energi, sebagai bahan bakar untuk aktivitas dan metabolisme seluler
2. Membangun komponen-komponen kimia, seperti asam amino untuk menciptakan molekul kompleks yang unik pada setiap hewan
3. Mineral dan vitamin yang berpartisipasi dalam bermacam-macam reaksi metabolik.

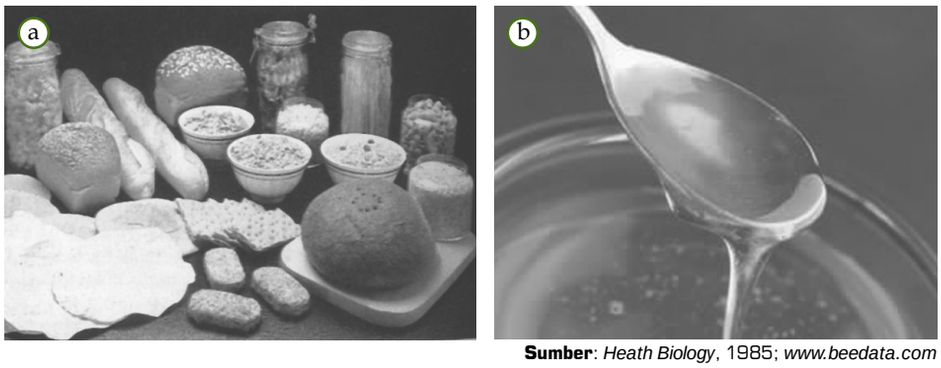
1. Karbohidrat

Karbohidrat adalah molekul kompleks yang terdiri atas **polisakarida**. Pada proses pencernaan enzimatik, polisakarida akan dihidrolisis menjadi **monosakarida** dan **disakarida**. Contoh polisakarida adalah **pati**, **glikogen**, dan **selulosa**. Pati (amilum atau zat tepung) adalah cadangan energi yang disimpan dalam umbi (misalnya pada ubi jalar), umbi akar (misalnya pada singkong), atau biji-bijian. Glikogen adalah molekul penyimpan energi yang banyak terdapat di dalam otot, hati hewan dan jamur. Adapun selulosa banyak terdapat di dinding sel tumbuhan. Manusia dapat memecah ikatan molekul-molekul glukosa pada pati (amilum) dan glikogen, tetapi tidak dapat mencerna selulosa.

Kata Kunci

- Disakarida
- Monosakarida
- Nutrien
- Polisakarida

Monosakarida yang terdapat pada makanan adalah **glukosa** dan **fruktosa**. Glukosa banyak terdapat dalam sayuran, sedangkan fruktosa banyak terdapat dalam buah-buahan (**Gambar 6.2**).



Sumber: *Heath Biology*, 1985; *www.beedata.com*

Gambar 6.2
(a) Berbagai macam sumber karbohidrat. (b) Madu banyak mengandung sukrosa.

Contoh disakarida adalah sukrosa. Contoh sukrosa yang paling mudah adalah gula yang biasa kita gunakan sehari-hari. Sukrosa merupakan glukosa dan fruktosa yang bergabung menjadi satu molekul. Sukrosa banyak terdapat dalam tebu, gula bit, dan madu.

Sebelum diserap oleh tubuh, fruktosa, galaktosa, dan monosakarida lainnya diubah menjadi glukosa oleh hati. Glukosa merupakan sumber energi utama dalam sel untuk menghasilkan energi siap guna yang disebut ATP (*adenosine triphosphate*).

Kelebihan glukosa oleh tubuh disimpan dalam sel otot dan hati dalam bentuk glikogen. Ketika dibutuhkan, glikogen dengan cepat diubah lagi menjadi glukosa. Namun, kemampuan hati dan jaringan otot dalam menyimpan glikogen terbatas. Oleh karena itu, kelebihan glukosa diubah menjadi lemak dan disimpan dalam jaringan adiposa.

Setiap satu gram karbohidrat akan menghasilkan 4,1 kilokalori. Satu kalori adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu kilogram air sebesar 1°C. Hingga saat ini, belum diketahui berapa jumlah karbohidrat yang sebaiknya dikonsumsi. Terlalu banyak mengonsumsi karbohidrat akan menghasilkan timbunan protein dan lemak.

Kegiatan 6.1

Uji Amilum

Tujuan

Membuktikan adanya amilum dalam makanan dan bahan makanan

Alat dan Bahan

Tiga buah tabung reaksi, 1 buah pipet, larutan iodium, gerusan nasi, roti, dan mentega

Langkah Kerja

1. Lakukan kegiatan ini di dalam suatu kelompok. Berikan label pada ke tiga tabung reaksi dengan diberi label a, b, dan c. Lalu, masukkan gerusan nasi, gerusan roti, dan mentega berturut-turut dalam tabung a, b, dan c.
2. Tetesi ketiga tabung tersebut dengan 5 tetes larutan iodium. Perhatikan ketiga tabung tersebut. Apa yang terjadi? Jika terjadi perubahan warna, warna apakah yang timbul pada tabung a, b, dan c? Diskusikan dengan teman kelompok Anda.
3. Apabila makanan yang diuji dan di tetesi iodium berwarna biru, makanan uji tersebut mengandung amilum.
4. Presentasikan hasil pengamatan dan diskusi Anda di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Zat makanan apakah yang paling banyak dimiliki nasi?
2. Bagaimana hasil pengujian pada tabung a? Mengapa demikian?
3. Berdasarkan hasil pengujian, makanan apa saja yang mengandung amilum?

Kata Kunci

- Asam lemak jenuh
- Asam lemak tak jenuh
- Trigliserida

2. Lemak

Sekitar 95% lemak dalam makanan manusia dalam bentuk *trigliserol* atau disebut juga **trigliserida**. Trigliserida terdiri atas tiga asam lemak yang terpaut pada molekul gliserol. Asam lemak dapat dibagi menjadi dua, yaitu **asam lemak tak jenuh** dan **asam lemak jenuh**. Asam lemak jenuh banyak terdapat dalam daging, susu, keju, mentega, dan telur. Lemak tak jenuh banyak terdapat dalam minyak kelapa, minyak kedelai, ikan, dan minyak jagung.

Lima persen jenis lemak sisanya, terdiri atas **kolesterol** dan **fosfolipid**, seperti lecitin. Kolesterol banyak ditemukan dalam konsentrasi tinggi pada otak, hati, dan kuning telur. Secara keseluruhan juga banyak ditemukan dalam susu, keju, mentega, dan daging (**Gambar 6.3**).

Dalam kondisi berlebih, asam lemak jenuh dapat meningkatkan kolesterol darah. Kadar kolesterol yang tinggi dapat memberikan masalah pada jantung dan pembuluh darah.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 6.3
Makanan yang banyak mengandung lemak.

Fosfolipid adalah komponen utama pembentuk membran sel, dan biasanya ditemukan pada banyak makanan. Sumber lecitin yang baik adalah putih telur.

Trigliserida adalah sumber energi penting yang dapat digunakan untuk memproduksi molekul ATP. Trigliserida menghasilkan energi lebih banyak dibandingkan dengan karbohidrat. Satu gram lemak secara keseluruhan dapat menghasilkan energi sebesar 9,3 kilokalori. Beberapa sel, seperti sel otot rangka mendapatkan energi utamanya dari trigliserida.

Lemak merupakan komponen pembangun sel. Selain itu, lemak dapat melarutkan vitamin A, D, E dan K sehingga membantu penyerapan vitamin tersebut oleh tubuh. Lemak juga dapat melindungi alat-alat tubuh dan dapat menjaga suhu tubuh stabil.

Setelah makan, trigliserida berlebih yang tidak digunakan, akan disimpan dalam jaringan adiposa atau dalam hati. Jika diperlukan, trigliserida akan dipecah, asam lemak akan dilepas dalam darah sehingga dapat digunakan oleh berbagai macam jaringan dalam tubuh. Sebagai penyimpan energi, jaringan adiposa banyak terdapat di bawah kulit untuk isolator pencegah hilangnya panas tubuh.

Kolesterol merupakan komponen dalam membran plasma. Kolesterol dapat dimodifikasi menjadi bentuk molekul penting lainnya, seperti garam empedu dan hormon steroid. Garam empedu sangat penting untuk pencernaan dan absorpsi lemak. Sementara itu, hormon steroid terdiri atas hormon-hormon, seperti estrogen, progesteron, dan testosteron.

Kata Kunci

- Asam amino esensial
- Asam amino nonesensial
- Kolesterol

Kegiatan 6.2

Uji Lemak

Tujuan

Membuktikan adanya lemak dalam makanan

Alat dan Bahan

Beberapa lembar kertas putih polos, nasi, kacang tanah, roti, dan minyak goreng

Langkah Kerja

1. Lakukan kegiatan ini secara berkelompok. Ambillah oleh Anda beberapa butir nasi. Kemudian, hancurkan di atas kertas putih.
2. Ambil kertas baru dan lakukan hal serupa pada kacang tanah, dan roti (bagian dalam roti). Untuk minyak goreng cukup dioleskan pada kertas.
3. Bersihkan kertas-kertas dari sisa makanan lalu amati kertas-kertas tersebut. Terawangkan ke cahaya, bisa cahaya lampu atau matahari. Apa yang terjadi pada kertas yang diolesi minyak goreng? Diskusikan dengan teman kelompok Anda.
4. Apabila kertas terlihat agak tembus pandang, berarti makanan yang disajikan mengandung lemak.
5. Presentasikan hasil diskusi Anda di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Kandungan zat makanan apa yang paling banyak dimiliki minyak goreng?
2. Bagaimana hasil tes kertas minyak goreng tersebut?
3. Menurut Anda, berdasarkan pengujian tersebut makanan manakah yang mengandung lemak?

3. Protein

Protein dibentuk oleh banyak asam amino yang panjang dan membentuk rantai kompleks. Protein dalam tubuh manusia dibangun oleh 20 asam amino yang berbeda. Asam amino dapat dibagi menjadi dua, yaitu **asam amino esensial** dan **asam amino nonesensial**. Asam amino esensial merupakan asam amino yang tidak dapat disintesis sendiri dalam tubuh. Tubuh kita memperoleh asam amino dari makanan yang kita makan. Terdapat sepuluh

asam amino esensial, yaitu **isoleusin**, **leusin**, **lisin**, **fenilalanin**, **metionin**, **treonin**, **triptofan**, **valin**, **histidin**, dan **arginin** (hanya diperlukan oleh balita). Sebaliknya, asam amino nonesensial adalah asam amino yang dapat disintesis sendiri di dalam tubuh kita.

Jenis kandungan protein pada makanan dibagi menjadi dua, yaitu protein lengkap dan protein tidak lengkap. **Protein lengkap** adalah protein yang mengandung semua asam amino esensial, sedangkan **protein tidak lengkap** adalah protein yang hanya mengandung sebagian asam amino esensial. Protein lengkap banyak terdapat dalam daging, ikan, unggas-unggasan, susu, keju, dan telur. Protein tidak lengkap banyak terdapat dalam daun sayuran hijau, padi-padian, dan kacang-kacangan (**Gambar 6.4**).

Sel dalam makhluk hidup disusun oleh protein. Dalam membran sel, terdapat protein yang berfungsi menjadi molekul reseptor dan fasilitator bagi molekul-molekul tertentu ketika melewati membran plasma. Sintesis protein dalam pembentukan enzim dan hormon membutuhkan asam-asam amino yang telah diuraikan pada proses pencernaan protein. Protein dalam darah juga berfungsi dalam mempertahankan pH darah (sebagai *buffer*). Protein yang berlebih dapat disimpan dalam bentuk lemak dan glikogen. Meskipun bukan sebagai penghasil energi utama, 1 gram protein dapat menghasilkan energi sebesar 4,1 kilokalori.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 6.4

Jenis makanan yang mengandung protein, yaitu daging dan kacang-kacangan.

4. Vitamin dan Mineral

Vitamin dibutuhkan dalam jumlah yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan bahan makanan yang lain. Vitamin membantu enzim dalam mengkatalis reaksi-reaksi kimia tertentu dalam tubuh. Vitamin juga penting bagi pertumbuhan, kesehatan, dan reproduksi. Kebanyakan vitamin tidak dapat diproduksi sendiri sehingga kita harus memperolehnya dari luar melalui makanan. Jika seseorang mengalami kekurangan vitamin dia akan mengalami **avitaminosis**.

Vitamin mudah rusak atau kehilangan fungsinya jika mengalami pemanasan berlebih. Pada umumnya, penderita avitaminosis tidak memperoleh vitamin karena kesalahan dalam mengolah makanan.

Vitamin dapat dikelompokkan dalam dua kelompok besar, yaitu **vitamin yang larut dalam air** dan **vitamin yang larut dalam lemak**. Sebagian besar vitamin larut dalam air, hanya vitamin **A**, **D**, **E**, dan **K** yang larut dalam lemak. Oleh karena larut dalam lemak, waktu retensi (waktu tinggal) vitamin-vitamin tersebut lebih lama.

Vitamin terdapat dalam jumlah yang sedikit pada makanan, tetapi sangat penting untuk metabolisme yang normal. Pada umumnya, vitamin tidak dapat diproduksi sendiri dalam tubuh sehingga harus kita dapatkan dalam makanan kita. Kekurangan salah satu vitamin dalam makanan, dapat menyebabkan penyakit tertentu.

Vitamin dipecah secara katabolisme, tetapi digunakan tubuh dalam bentuk aslinya atau dalam bentuk modifikasinya. Ketika struktur kimia vitamin rusak, vitamin kehilangan fungsinya. Vitamin seperti *riboflavin*, *asam pantotenat*, *niasin*, dan *biotin* sangat penting untuk memproduksi energi. Sementara itu, *asam folat* dan vitamin B_{12} terlibat dalam sintesis asam nukleat. *Retinol*, *thiamin*, dan vitamin C, D dan E sangat penting untuk pertumbuhan. Vitamin K sangat penting untuk sintesis protein pembeku darah.

Vitamin yang larut dalam lemak, seperti vitamin A, D, E dan K diabsorpsi di sepanjang usus oleh lemak. Beberapa vitamin tersebut disimpan dalam waktu yang lama di dalam tubuh. Oleh karena itu, vitamin dapat terakumulasi hingga mencapai titik toksik yang disebut **hipervitaminosis**. Vitamin yang larut dalam

Wawasan Biologi

Bagaimana orang yang tidak mengonsumsi daging (vegetarian) memperoleh asam amino esensial? Apakah mereka akan mengalami kekurangan protein?

Para vegetarian mengatasi hal tersebut dengan cara menganekaragamkan bahan pangan yang dimakannya. Beberapa bahan pangan yang tidak lengkap asam aminonya akan saling melengkapi. Itulah sebabnya, seorang vegetarian masih dapat memenuhi kebutuhan asam amino esensialnya dan tetap hidup sehat.

Kata Kunci

- Avitaminosis
- Hipervitaminosis

air contohnya adalah vitamin B dan C. Vitamin ini diserap bersama air di sepanjang usus dan tinggal dalam waktu yang singkat dalam tubuh sebelum akhirnya dikeluarkan. Berikut tabel sumber, fungsi, dan gejala kekurangan beberapa vitamin.

Tabel 6.1 Sumber, Fungsi, dan Gejala Kekurangan Beberapa Vitamin

Vitamin	Sumber	Fungsi	Gejala Kekurangan
A. Larut dalam lemak			
Vitamin A	Putih telur, mentega, sayuran hijau, dan minyak hati ikan	Pertumbuhan, kulit sehat, dan mata	Rabun senja, perubahan kulit, dan pertumbuhan yang terhambat
Vitamin D	Susu, hati, telur, dan minyak ikan	Pertumbuhan, menjaga membran sel, fungsi reproduksi	Kelainan pertumbuan tulang dan gigi
Vitamin E (tokoferol)	Minyak sayur, mentega, susu, dan sayuran	Pembekuan darah, fungsi hati	Belum diketahui
Vitamin K	Sayuran hijau, tomat, dan minyak kedelai	Metabolisme karbohidrat, otot dan fungsi saraf	Pendarahan
B. Larut dalam air			
Vitamin B_1 (thiamin)	Ikan laut, daging sapi, sereal, susu, dan kacang kedelai	Metabolisme karbohidrat, pertumbuhan jaringan otot, dan fungsi saraf	Beri-beri, pertumbuhan yang terhambat, kelainan saraf
Vitamin B_2 (riboflavin)	Susu, telur, daging sapi, ragi, dan kacang kedelai.	Metabolisme karbonat, pertumbuhan	Beri-beri, pertumbuhan yang terhambat, penuaan dini
Vitamin B3 (niasin)	Sayuran hijau, selai kacang, kentang, sereal, ikan, daging, dan tomat	Pertumbuhan, metabolisme karbonat, pencernaan makanan, fungsi saraf	Gangguan pencernaan dan saraf
Vitamin B_{12}	Hati	Produksi sel darah merah, fungsi saraf	Anemia
Vitamin C (asam askorbat)	Kentang, jeruk, tomat, dan sayuran	Pertumbuhan, kesehatan gusi	Radang gusi, sariawan, pendarahan kulit

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Mineral merupakan komponen dari enzim. Mineral menambah kekuatan pada tulang dan gigi, serta sangat penting untuk aktivitas saraf dan otot. Mineral berfungsi juga sebagai penyangga (*buffer*) dan terlibat dalam proses perubahan energi serta osmosis. Mineral didapat dalam bentuk aslinya atau dalam kombinasi dengan molekul organik lain. Sumber mineral dapat berasal dari hewan maupun tumbuhan. Mineral diserap dari tumbuhan, tetapi dalam jumlah yang sangat sedikit karena biasanya mineral terdapat dalam serat tumbuhan. Contoh makanan yang banyak mengandung mineral adalah sereal, roti, lemak, dan gula. Berikut tabel contoh beberapa mineral beserta sumber, fungsi, dan gejala kekurangannya.

Tabel 6.2 Sumber, Fungsi, dan Gejala Kekurangan Beberapa Mineral

Mineral	Sumber	Fungsi	Gejala Kekurangan
Kalsium	Susu dan produk olahannya, sayuran hijau	Formasi tulang dan gigi, penjalaran saraf, kontraksi	Osteoporosis, rakhitis
Fosfor	Sebagian besar makanan	Pertumbuhan tulang, transfer energi dalam sel	
Iodin (iodium)	Ikan laut, garam beriodium	Aktivitas tiroid	Gondok
Natrium	Daging dan garam	Transmisi saraf, kontraksi otot	Dehidrasi, kejang-kejang
Klorin	Garam	Pembentukan HCl	Kontraksi otot abnormal
Kalium	Buah-buahan	Pengaturan detak jantung, keseimbangan cairan tubuh	Disfungsi jantung
Magnesium	Kacang-kacangan, sayuran hijau, ikan laut, cokelat	Katalis untuk pembentukan ATP	Kelelahan, keseimbangan mental
Zat besi	Daging, sayuran hijau	Pembentukan hemoglobin	Anemia

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Soal Penguasaan *Materi* 6.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah fungsi makanan bagi tubuh?
2. Sebutkan jenis-jenis makanan yang penting bagi tubuh.
3. Apa yang terjadi jika kita kekurangan vitamin A?
4. Apa yang dimaksud dengan asam amino esensial dan asam amino nonesensial?

B Sistem Pencernaan pada Manusia

Makanan merupakan struktur kompleks yang terbuat dari protein, karbohidrat, lemak, dan zat-zat lain. Oleh karena itu, makanan tersebut harus dicerna terlebih dahulu sebelum diserap dan digunakan tubuh. Melalui proses mencerna, makanan dipecah menjadi partikel yang lebih kecil untuk selanjutnya diserap tubuh.

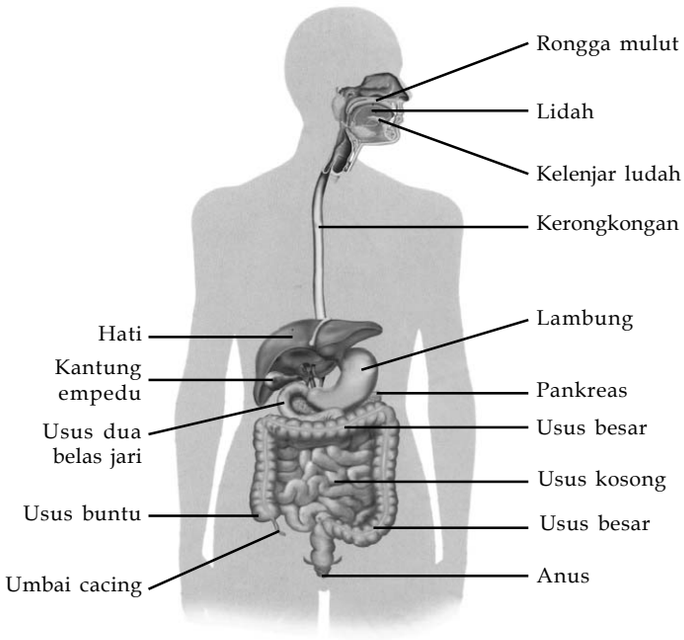
Proses mencerna dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu secara **kimiawi** dan secara **mekanik**. Pencernaan secara kimiawi menggunakan enzim sebagai pengurai makanan. Adapun pencernaan secara mekanik memecah makanan menjadi partikel yang lebih kecil secara fisik tanpa melibatkan enzim.

Wawasan Biologi

Pencernaan eksternal (*external digestion*) merupakan pencernaan yang terjadi di luar tubuh makhluk hidup. Ketika laba-laba menangkap lalat, ia menyuntikkan enzim pada korbannya. Enzim ini mencerna jaringan dalam lalat. Setelah itu, laba-laba akan mengisap cairan bernutrisi hasil kerja enzim tersebut.

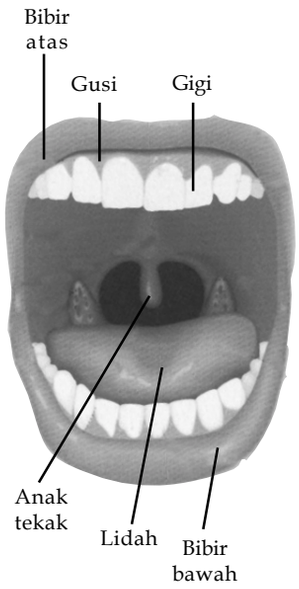
Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Sistem pencernaan makanan tersusun atas alat-alat pencernaan dan enzim pencernaan. Alat-alat pencernaan terdiri atas **mulut**, **kerongkongan** (esofagus), **lambung** (ventrikulus), **usus halus** (intestinum), **usus besar** (colon), dan **anus**. Adapun enzim pencernaan dihasilkan oleh kelenjar pencernaan, yaitu kelenjar ludah, hati, pankreas, dan empedu.



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 6.5
Jalur pencernaan makanan pada manusia dimulai dari mulut hingga kolon.



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 6.6
Di rongga mulut terdapat lidah yang membalikkan dan memutar makanan sehingga makanan dapat dikunyah secara merata.

1. Rongga Mulut

Makanan dicerna secara mekanik dan kimiawi di dalam rongga mulut. Di dalam rongga mulut, terdapat **lidah**, **gigi**, dan **kelenjar ludah** yang menyekresikan **air liur** (**Gambar 6.6**). Masing-masing memiliki peran dalam proses pencernaan makanan.

a. Lidah

Lidah berperan dalam membantu proses pencernaan makanan secara mekanik. Ketika makan, lidah bergerak membalik dan memutar makanan sehingga makanan dapat dikunyah secara merata. Lidah juga mendorong makanan untuk membantu proses menelan.

Lidah memiliki struktur yang khas, yaitu papila. Papila-papila ini memiliki ujung-ujung pengecap yang berhubungan dengan jaringan saraf sensorik. Melalui papila-papila ini, kita memperoleh informasi mengenai rasa (asin, manis, pahit, dan asam) dan suhu (panas atau dingin) pada makanan yang kita makan.

Informasi tersebut dapat menjadi peringatan awal, mengenai makanan yang kita makan. Beberapa jenis bahan yang kita makan mungkin dapat berbahaya bagi tubuh kita jika terlalu panas atau terlalu asam.

b. Gigi

Gigi adalah organ utama yang berperan dalam pencernaan mekanik dalam rongga mulut. Pada bayi, gigi akan tumbuh pertama kali pada usia sekitar enam bulan. Gigi yang tumbuh pertama kali tersebut dinamakan **gigi susu**. Gigi susu tersebut berangsur-angsur akan digantikan oleh gigi sulung pada usia sekitar 6–14 tahun. Setelah itu, gigi sulung berangsur-angsur digantikan gigi tetap. Pada anak-anak terdapat 20 gigi susu, sedangkan pada orang dewasa terdapat 32 gigi tetap. Perhatikan **Gambar 6.7**. Berikut susunan gigi susu dan gigi tetap.

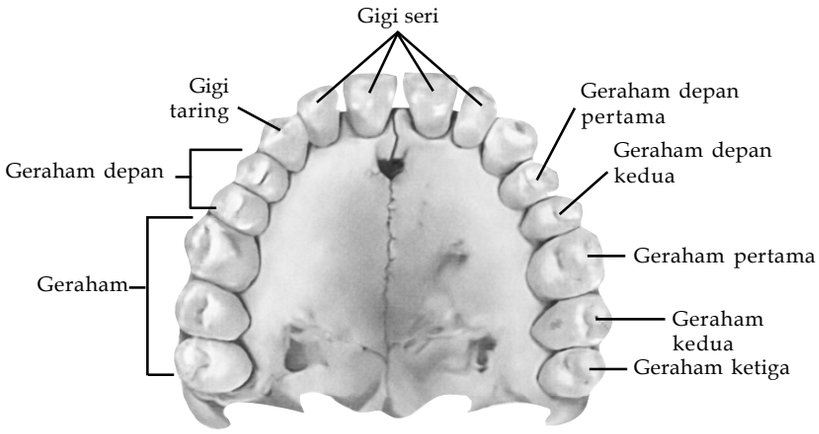
Susunan Gigi Susu

Jenis	P	C	I	I	C	P
Rahang atas	2	1	2	2	1	2
Rahang bawah	2	1	2	2	1	2

Susunan Gigi Tetap

Jenis Gigi	M	P	C	I	I	C	P	M
Rahang atas	3	2	1	2	2	1	2	3
Rahang bawah	3	2	1	2	2	1	2	3

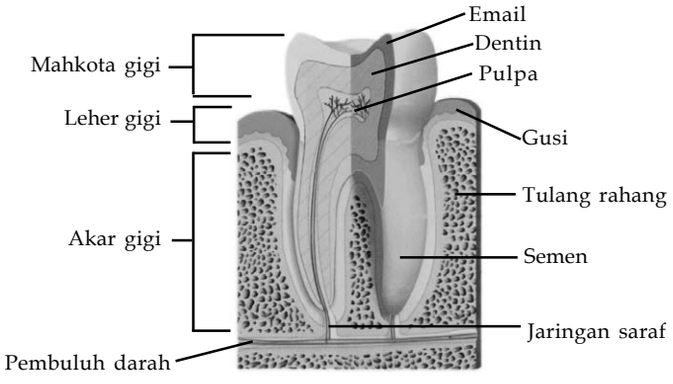
Keterangan:
I : insisivus = gigi seri (untuk memotong)
C : caninus = gigi taring (untuk menyobek)
P : premolar = geraham depan (untuk mengunyah)
M : molar = geraham belakang (untuk mengunyah hingga halus)



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 6.7
Susunan gigi pada orang dewasa.

Gigi terdiri atas beberapa bagian, yaitu bagian **mahkota**, **leher**, dan **akar gigi** (**Gambar 6.8**). Bagian gigi yang terlihat merupakan bagian mahkota, sedangkan bagian leher tertutup oleh lapisan gusi. Gigi dilapisi oleh lapisan **email**. Email merupakan lapisan paling keras pada tubuh manusia, sebagian besar dibangun oleh kalsium. Di bagian bawah lapisan email terdapat dentin. Di dalam lapisan dentin tersebut terdapat rongga pulpa, tempat pembuluh darah dan saraf berada.



Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Gambar 6.8
Gigi terdiri atas beberapa bagian, yaitu mahkota, leher, dan akar gigi.

Bagian apa sa a yang termasuk ke dalam mahkota gigi?

c. Kelenjar Ludah

Kelenjar ludah menyekresikan air liur yang mengandung **enzim ptialin** (amilase). Enzim tersebut berperan dalam pencernaan enzimatik yang berlangsung di mulut. Amilase mengubah amilum menjadi glukosa.

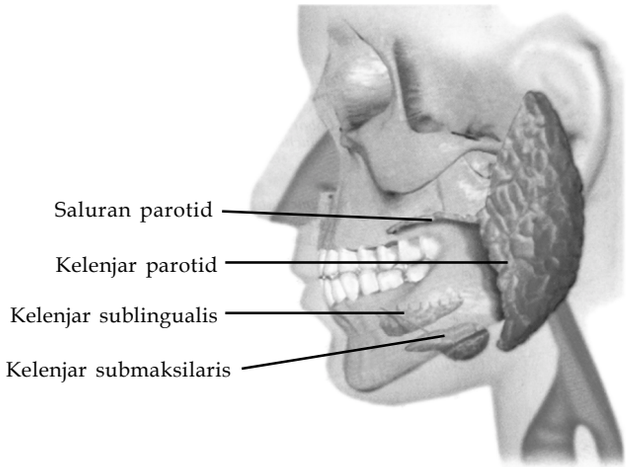
Selain enzim, ludah juga mengandung zat antibakteri (lisozim) sehingga makanan yang masuk ke dalam tubuh mengandung lebih sedikit bakteri yang dapat membahayakan kesehatan kita. Cairan ludah juga membantu melarutkan makanan dan melumasi rongga mulut.

Ludah dihasilkan oleh tiga pasang kelenjar ludah yang terdapat di dalam mulut (**Gambar 6.9**), yaitu:

1) glandula parotid, yang berada di mulut bagian belakang, di dekat telinga;
2) glandula submaksilaris, berada di rahang bawah;
3) glandula sublingualis, berada di bawah pangkal lidah.

Kata Kunci

- Enzim ptialin
- Gerak peristaltik

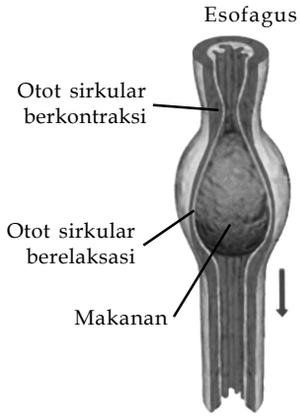


Sumber: *Human Anatomy*, 1996

Gambar 6.9
Manusia mempunyai tiga pasang kelenjar ludah.

2. Kerongkongan (Esofagus)

Kerongkongan berbentuk seperti tabung dengan panjang kira-kira 25 cm yang menghubungkan mulut dengan lambung. Kerongkongan ikut berperan dalam mendorong makanan menuju lambung. Kerongkongan dilengkapi sepertiga otot lurik dan dua pertiga otot halus untuk tugas tersebut. Otot-otot tersebut tersusun memanjang dan melingkar sehingga mampu melakukan serangkaian kontraksi yang membuat makanan terdorong menuju lambung. Gerakan ini disebut **gerakan peristaltik** (**Gambar 6.10**).



Sumber: *Human Anatomy*, 1996

Gambar 6.10
Gerak peristaltik pada esofagus. Esofagus adalah saluran makanan yang menghubungkan mulut dan lambung.

3. Lambung

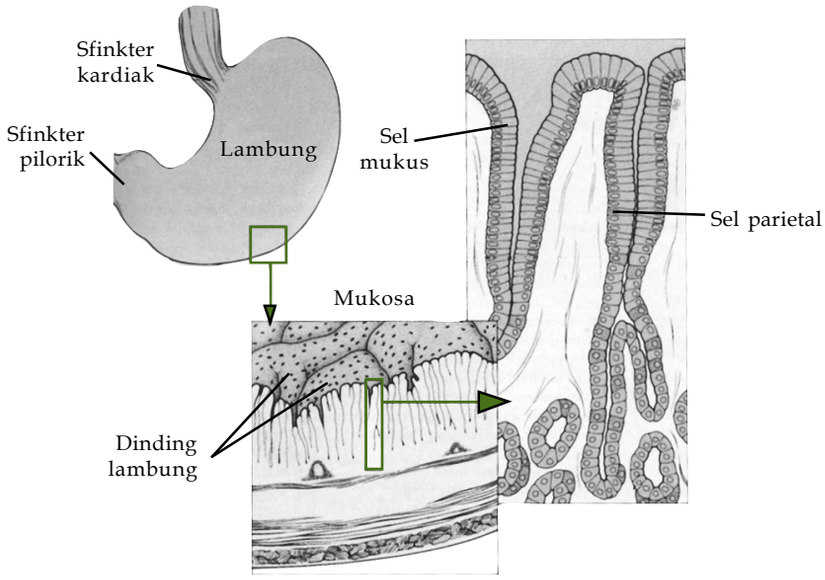
Lambung pada manusia menyerupai kantung otot yang mampu menampung bahan makanan sebanyak 2 liter hingga 4 liter. Makanan masuk ke lambung melalui **sfinkter kardiak** yang merupakan otot melingkar antara esofagus dan lambung. Otot tersebut tertutup ketika tidak ada makanan yang masuk ke lambung. Lambung dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

a. **kardiak**, bagian lambung yang terletak di bagian atas, dekat hati;
b. **fundus**, bagian lambung yang membulat, terletak di tengah;
c. **pilorus**, bagian ujung lambung yang terletak di dekat usus halus.

Lambung dapat mencerna makanan secara mekanik. Lambung memiliki tiga lapis otot halus yang tersusun memanjang (bagian luar), melingkar (bagian tengah), dan miring (bagian dalam). Kontraksi dinding lambung menghasilkan gerakan peristaltik yang menghancurkan makanan dan mencampurkannya dengan enzim-enzim yang dihasilkan oleh dinding lambung.

Lambung menyimpan makanan dan menyalurkannya secara bertahap ke usus halus dengan kecepatan yang sesuai dengan tingkat pencernaan dan absorpsi makanan. Oleh karena itu, manusia dapat makan dalam jumlah yang relatif banyak. Pada karnivora, kemampuan ini berkembang secara ekstrim. Misalnya, macan dapat memakan daging sebanyak 18 kg sekali makan, lalu mencernanya dan tidak makan selama beberapa hari ke depan.

Dinding lambung disusun oleh lapisan epitel sel selapis batang. Kontraksi otot lambung menyebabkan beberapa sel pada dinding lambung menyekresikan **gastrin**. Gastrin merangsang sel-sel kelejar di dinding lambung menyekresikan asam lambung. Asam lambung tersebut terdiri atas HCl, enzim-enzim pencernaan, dan lendir (mukus). Perhatikan **Gambar 6.12**.



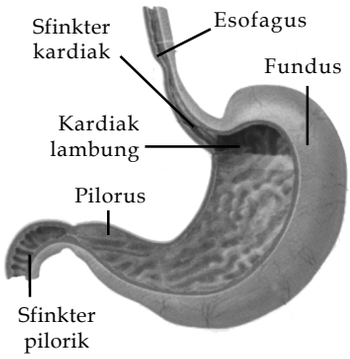
Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Lendir selain berfungsi mencampur makanan dengan enzim, juga berfungsi melindungi dinding lambung dari asam lambung. Dinding lambung sering mengalami pergantian karena sering rusak oleh HCl yang dihasilkannya.

HCl berperan dalam membunuh mikroorganisme yang terkandung dalam makanan yang tidak mati oleh ludah dalam mulut. HCl juga mengaktivasi sel-sel kelenjar lain di dinding lambung untuk menghasilkan **pepsinogen**. Dalam suasana yang asam (pH 1 hingga 3), pepsinogen akan berubah menjadi enzim yang aktif, yaitu **pepsin**. Pepsin akan mengubah protein menjadi protease dan pepton. Selain pepsin, beberapa enzim lain yang dihasilkan antara lain adalah **renin** yang berfungsi menggumpalkan kasein dalam susu, dan **lipase** yang berfungsi mencerna lemak.

Makanan di lambung yang telah berbentuk cairan asam disebut **kim** (**chyme**). Melalui gerakan peristaltik, kim didorong menuju usus halus melewati **sfinkter pilorik**, yaitu otot yang berada di ujung lambung.

Lambung juga menjadi persinggahan sementara makanan sebelum masuk ke usus halus. Lambung dapat mengatur berapa volume makanan yang harus dikeluarkan ke usus halus untuk mengoptimalkan proses penyerapan makanan.



Sumber: *Human Anatomy*, 1996

Gambar 6.11

Lambung dibagi menjadi tiga bagian, kardiak, fundus, dan pilorus.

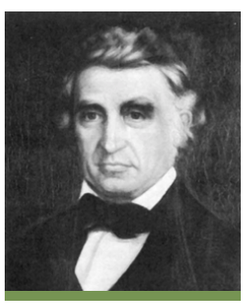
Kata Kunci

- Gastrin
- Pepsin
- Renin
- Lipase

Gambar 6.12

Sel mukus melindungi dinding lambung. Dinding lambung menyekresikan berbagai macam enzim pencernaan.

Tokoh Biologi



William Beaumont (1785 – 1853)

William Beaumont adalah seorang ahli bedah angkatan darat AS. Pada tahun 1822, Beaumont berhasil mengidentifikasikan asam hidroklorida (asam lambung) dan gerak peristaltik lambung.

Sumber: *Jendela Iptek: Tubuh Manusia* 1997

4. Usus Halus (Intestinum)

Dalam usus halus terjadi dua peristiwa penting, yaitu pencernaan secara enzimatik dan penyerapan sari-sari makanan ke dalam sel darah. Usus halus terbagi tiga bagian, yaitu **duodenum** (usus dua belas jari), **jejunum** (usus kosong), dan **ileum** (usus penyerapan).

Duodenum disebut usus duabelas jari karena memiliki panjang sekitar 12 jari orang dewasa. Sementara itu jejunum disebut usus kosong karena pada orang yang telah meninggal dunia, bagian usus ini kosong. Ileum disebut usus penyerapan karena pada bagian tersebut zat-zat makanan diserap oleh tubuh.

Enzim-enzim yang berperan di usus halus berasal dari hati, pankreas, dan sel-sel di dinding usus halus tersebut (**Gambar 6.13**). Enzim-enzim tersebut memecah molekul-molekul kompleks makanan menjadi molekul yang lebih sederhana dan mengabsorpsinya dalam aliran darah.

Hati menghasilkan cairan empedu, suatu cairan yang merupakan campuran dari garam empedu, air, garam-garam lain, dan kolesterol. Empedu dihasilkan hati untuk kemudian disimpan di dalam kantung empedu. Ketika dibutuhkan, empedu akan dialirkan dari kantung empedu menuju usus halus melewati saluran yang disebut *ductus hepaticus* (saluran empedu).

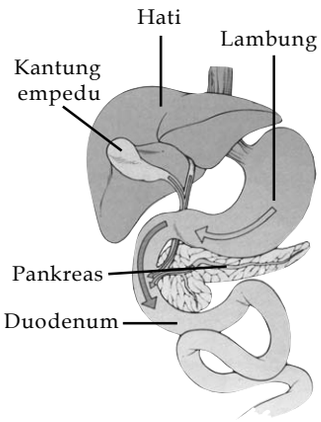
Garam empedu disintesis di hati dari kolesterol dan asam amino. Meskipun berperan dalam memecah lemak, garam empedu tidak termasuk enzim. Garam empedu bekerja mirip deterjen atau agen pengemulsi yang memecah gumpalan lemak pada kim menjadi partikel-partikel yang lebih kecil.

Partikel-partikel ini kemudian diuraikan lagi oleh enzim **lipase** yang dihasilkan oleh pankreas. Pankreas terletak di antara lambung dan usus halus. Selain lipase, pankreas juga menghasilkan **sodium bikarbonat** ($NaHCO_3$), **amilase**, dan beberapa **protease** yang terdiri atas **tripsin**, **kemotripsin**, dan **karboksipeptidase**. Bersama dengan air, sekresi pankreas ini sering disebut "*pancreas juice*".

Sodium bikarbonat menaikkan pH hingga 7 sampai 8 untuk memberikan suasana basa pada bubur kim yang dihasilkan dari lambung. Pada suasana basa ini, enzim-enzim yang dihasilkan pankreas dapat bekerja optimum.

Masing-masing enzim tersebut bereaksi terhadap molekul makanan yang berbeda. Amilase berperan dalam memecah amilum (zat tepung) menjadi maltosa. Lipase memecah lemak (lipid) menjadi gliserol dan asam lemak. Dinding usus halus menghasilkan tripsinogen dan kemotripsinogen yang akan menjadi enzim aktif tripsin dan kemotripsin ketika memasuki rongga usus halus. Tripsin dan kemotripsin memecah protein dan polipeptida menjadi rantai-rantai peptida yang lebih pendek. Karboksipeptidase kemudian menghidrolisis peptida menjadi asam-asam amino.

Sel-sel epitel pada usus halus, selain mampu menyerap makanan juga menghasilkan enzim **aminopeptidase**, **sukrase**, **laktase**, dan **maltase** (fungsinya dapat dilihat pada **Tabel 6.3**). Jadi, segera setelah molekul-molekul makanan dicerna oleh enzim-enzim tersebut, molekul-molekul yang sederhana diserap ke dalam sel dan siap diangkut ke seluruh tubuh oleh pembuluh darah.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 6.13
Zat hasil sekresi hati dan pankreas masuk ke sistem pencernaan melalui duodenum.

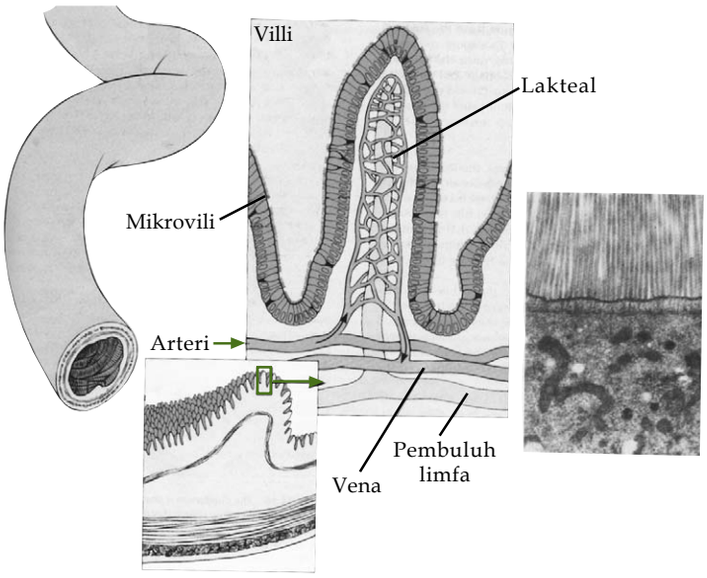
Kata Kunci
- Duodenum
- Ileum
- Jejunum

Tabel 6.3 Enzim dan Peranannya dalam Pencernaan Makanan

No.	Nama Enzim	Dihasilkan oleh	Organ Tempat Enzim Bekerja	Fungsi
1	Amilase (ptialin)	Kelenjar ludah	Mulut	Amilum → maltosa
2	Pepsin	Lambung	Lambung	Protein → polipeptida
3	Lipase	Pankreas	Usus halus	Lemak → gliserol dan asam lemak
4	Amilase pankreas	Pankreas	Usus halus	Amilum → maltosa
5	Tripsin	Pankreas	Usus halus	Protein → polipeptida
6	Kemotripsin	Pankreas	Usus halus	Protein → polipeptida
7	Karboksipeptidase	Pankreas	Usus halus	Polipeptida → asam amino
8	Laktase	Usus halus	Usus halus	Laktosa → glukosa dan galaktosa
9	Sukrase	Usus halus	Usus halus	Sukrosa → glukosa dan fruktosa
10	Aminopeptidase	Usus halus	Usus halus	Polipeptida → asam amino
11	Maltase	Usus halus	Usus halus	Maltosa → glukosa

Usus halus membentuk struktur yang disebut dengan **vili** (jonjot) dan **mikrovili usus** (**Gambar 6.14**). Struktur vili tersebut memperluas permukaan di dalam usus halus sehingga meningkatkan penyerapan.

Seperti juga pada lambung, usus halus mempunyai otot-otot polos yang letaknya bertumpuk dan bersilangan. Ketika otot-otot ini berkontraksi, kim teraduk dan bersentuhan dengan dinding usus sehingga terdorong melewati usus halus yang panjangnya mencapai delapan meter. Sebagian zat diserap, sedangkan zat yang tidak dapat diserap terdorong menuju usus besar akibat gerakan otot-otot usus halus.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Kata Kunci

- Kolon
- Rektum

Gambar 6.14

Dinding usus halus terspesialisasi untuk mengabsorpsi molekul-molekul kecil yang dihasilkan dari proses pencernaan.

5. Usus Besar

Usus besar dibagi menjadi dua bagian, yaitu **kolon** dan **rektum** (**Gambar 6.16**). Makanan yang tidak dapat dicerna dan tidak dapat diserap oleh usus halus, seperti serat pada sayuran dan buah-buahan serta lemak dan protein yang tidak dapat terurai, semuanya akan bercampur dengan air dan akan masuk ke dalam kolon. Di dalam kolon, terdapat berbagai jenis bakteri,

salah satunya adalah *Escherichia coli* yang hidup bersimbiosis dengan manusia. *Escherichia coli* (*E. coli*) mencerna makanan yang tidak dapat dicerna enzim usus. *E.coli* menyekresikan beberapa zat seperti *thiamin* (vitamin B_1), *riboflavin* (vitamin B_3), vitamin B_{12}, *biotin* (vitamin H), dan vitamin K. Zat-zat tersebut kemudian diserap oleh dinding kolon.

Di kolon, kotoran (**feses**) yang semisolid dihasilkan. Adanya gerakan peristaltik kolon menyebabkan feses tersebut terdorong ke bagian usus besar selanjutnya, yaitu rektum. Di dalam rektum terjadi penyerapan air dan mineral yang masih dikandung feses semisolid tersebut. Hasilnya adalah feses yang solid. Ketika rektum penuh, akan timbul keinginan ingin buang air besar (**defekasi**) sebagai mekanisme untuk membuang sisa makanan yang tidak dapat dicerna.

Kata Kunci

Defekasi

Tugas Ilmiah 6.1

Makanan merupakan zat kompleks yang terdiri atas berbagai macam zat makanan. Pernahkah Anda membayangkan perjalanan makanan tersebut hingga diserap tubuh? Sekarang, tugas Anda membuat sebuah bagan perjalanan makanan (contohnya, nasi goreng) beserta zat-zat yang dikandungnya. Jelaskan dalam bagan tersebut tempat terjadinya pencernaan mekanik dan enzimatik beserta enzim-enzim yang terlibat. Jelaskan pula alur pemecahan dan tempat penyerapan zat-zat makanan tersebut. Buat bagan ini bersama kelompok Anda dalam waktu satu minggu.

Soal Penguasaan *Materi* 6.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

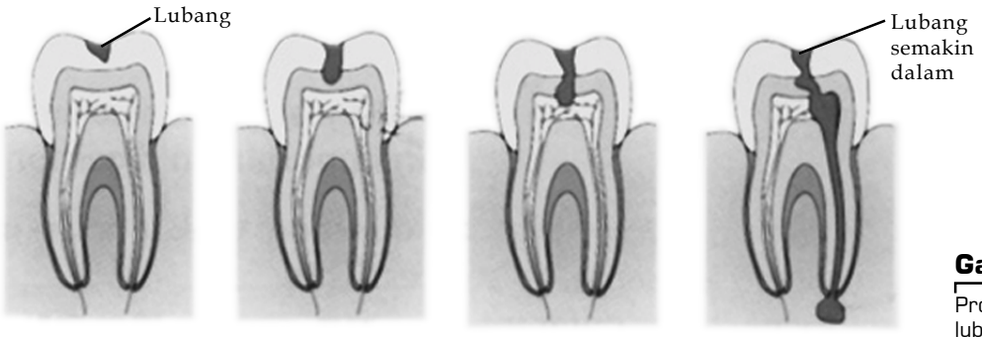
1. Organ-organ apa sajakah yang termasuk dalam sistem pencernaan manusia?
2. Sebutkan fungsi dari organ-organ tersebut.
3. Enzim-enzim apa sajakah yang terlibat dalam mencerna karbohidrat?

C Gangguan pada Sistem Pencernaan Manusia

Gangguan sistem pencernaan pada manusia sangat banyak, menyangkut berbagai organ yang terkait dengan sistem pencernaan. Penyebabnya bermacam-macam, dapat terjadi karena luka di bagian dalam yang terinfeksi oleh virus atau bakteri, hingga kelainan kerja fisiologis tubuh. Oleh karena itu, kita harus bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena diberi tubuh yang sehat. Di antara gangguan tersebut, yang umum terjadi antara lain sebagai berikut.

1. Karies pada Gigi (*Dental Caries*)

Orang mengenal karies gigi sebagai "gigi berlubang". Lubang terbentuk karena lapisan email gigi terkikis oleh asam yang dihasilkan oleh bakteri. Ketika sisa-sisa makanan tertinggal di sela-sela gigi, sisa-sisa makanan tersebut akan menjadi media pertumbuhan bakteri. Bakteri mencerna sisa makanan tersebut dan menghasilkan asam. Asam inilah yang mengikis lapisan email gigi (**Gambar 6.15**).



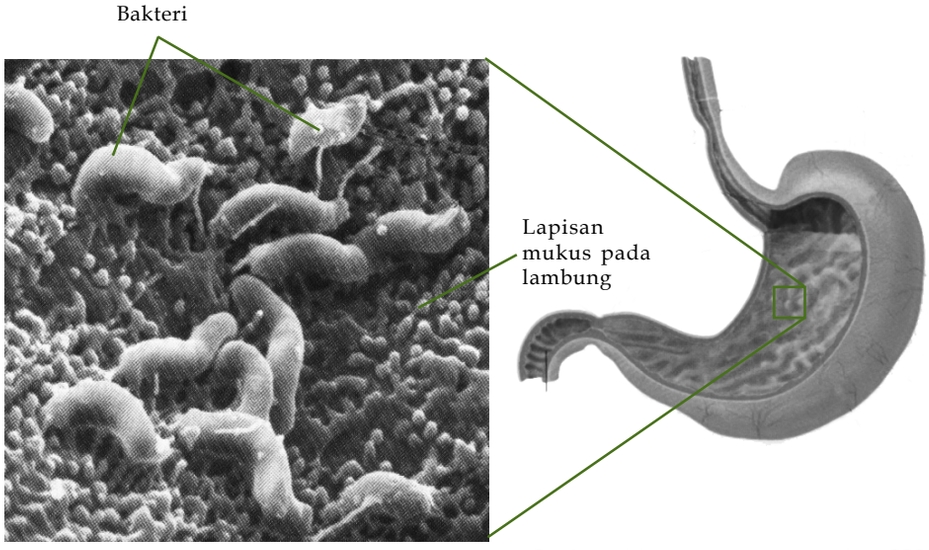
Sumber: *Biology for ou*, 2002

Gambar 6.15
Proses gigi berlubang. Jika lubang telah mencapai saraf, akan terasa sangat sakit.

Jika lubang ini telah mencapai bagian rongga pulpa, tempat jaringan saraf dan pembuluh darah, gigi akan terasa sakit dan mengganggu. Untuk mencegahnya, gosoklah gigimu setelah makan.

2. Ulkus (Tukak Lambung/Mag)

Mag adalah peradangan yang terjadi pada dinding lambung. Hal tersebut disebabkan asam (HCl) yang dihasilkan lambung terlalu banyak sehingga mengikis dinding lambung. Selain itu, penelitian terbaru menunjukkan bahwa ulkus dapat disebabkan oleh bakteri (**Gambar 6.16**). Makan yang teratur dapat mencegah terjadinya mag.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 6.16
Ulkus dapat disebabkan oleh bakteri yang ada di lapisan mukus lambung.

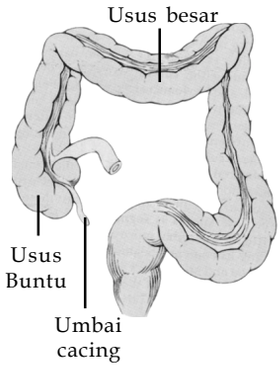
3. Diare

Diare merupakan gangguan yang disebabkan infeksi pada kolon. Infeksi ini terjadi karena bakteri tertentu (misalnya *E.coli*, *V.cholerae*, dan *Aeromonas* sp.) melimpah jumlahnya. Hal tersebut mengganggu proses penyerapan air sehingga feses keluar dalam bentuk cair.

Usus buntu

4. Sembelit (Konstipasi)

Jika pada kasus diare air tidak terserap sempurna, kasus sembelit terjadi sebaliknya, air justru terlalu banyak terserap. Gerak peristaltik usus halus yang terlalu lambat juga dapat menjadi penyebabnya. Semakin lama feses berada di dalam usus besar, semakin banyak air yang terserap sehingga feses menjadi sangat keras dan sukar dikeluarkan.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 6.17
Usus buntu pada usus besar.

Mengonsumsi makanan yang kaya serat, seperti buah-buahan dan sayur-sayuran dapat mengurangi gangguan ini. Serat tidak tercerna oleh tubuh kita dan cenderung mampu menyimpan air dibandingkan jenis makanan yang lain.

5. Radang Usus Buntu (*Appendicitis*)

Radang usus buntu sering disebabkan oleh bakteri. Hal ini dapat terjadi karena adanya penyumbatan usus buntu oleh tinja yang mengeras atau zat-zat asing lainnya (misalnya, biji-bijian). *Appendicitis* dapat menyebabkan usus buntu bengkak, membusuk, dan pecah.

Tugas Ilmiah 6.2

Carilah artikel-artikel mengenai penyakit pada sistem pencernaan manusia yang sering diderita oleh masyarakat Indonesia, seperti kekurangan gizi dan mag. Dari artikel-artikel yang dikumpulkan tersebut, buatlah suatu rangkuman mengenai penyebab dan cara penanggulangan penyakit-penyakit tersebut. Diskusikanlah hasilnya di depan kelas.

Soal Penguasaan *Materi* 6.3

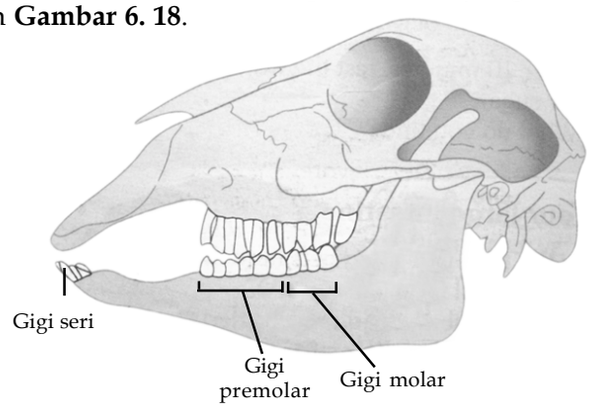
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan gangguan dan penyakit yang sering terjadi pada sistem pencernaan makanan manusia.
2. Bagaimana penanganan gangguan dan penyakit tersebut?
3. Mengapa kita sebaiknya memiliki pola makan teratur?

D Sistem Pencernaan pada Hewan

Sistem pencernaan pada vertebrata telah berkembang dan terspesialisasi sesuai dengan makanan yang akan dicernanya. Pada sistem pencernaan manusia, makanan yang kaya serat tidak dapat dicerna. Bagaimana sistem pencernaan sapi dan kerbau yang makanan utamanya adalah rumput? Rumput sangat kaya selulosa (serat), bagaimana hewan-hewan tersebut mencernanya? Sekarang, kita akan mempelajari bagaimana sistem pencernaan makanan pada hewan-hewan pemamah biak (**ruminansia**).

Gigi hewan pemamah biak memiliki bentuk khusus. Gigi seri (*den sinsisivus*) dan gigi taringnya (*dens caninus*) memiliki bentuk spesifik yang digunakan untuk merenggut rumput. Gigi premolar (geraham depan) dan molar (geraham belakang) yang berfungsi menghancurkan makanan pada hewan pemamah biak memiliki lapisan email yang melintang dan tajam. Perhatikan **Gambar 6. 18**.



Sumber: *Biology for ou*, 2002

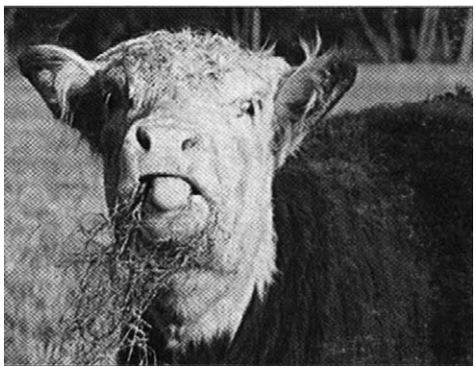
Gambar 6.18
Gigi herbivora memiliki gigi premolar dan molar yang sangat kuat.

Hewan pemamah biak memiliki struktur esofagus terspesialisasi menjadi tiga ruangan berbeda, yaitu **rumen**, **retikulum**, dan **omasum**. Setelah omasum terdapat ruang **abomasum** yang merupakan lambung sesungguhnya.

Rumput atau dedaunan yang dimakan dicampur air liur, dikunyah sebentar kemudian ditelan. Setelah melalui esofagus, makanan akan tiba ke bagian lambung yang pertama, yaitu rumen.

Rumen adalah tempat simbiosis antara hewan pemamah biak dan jenis-jenis Flagellata (dari jenis *Copromonas subtitis*) dan bakteri (dari genus Cytophaga dan Bacterium) penghasil enzim selulase yang dapat mengurai selulosa.

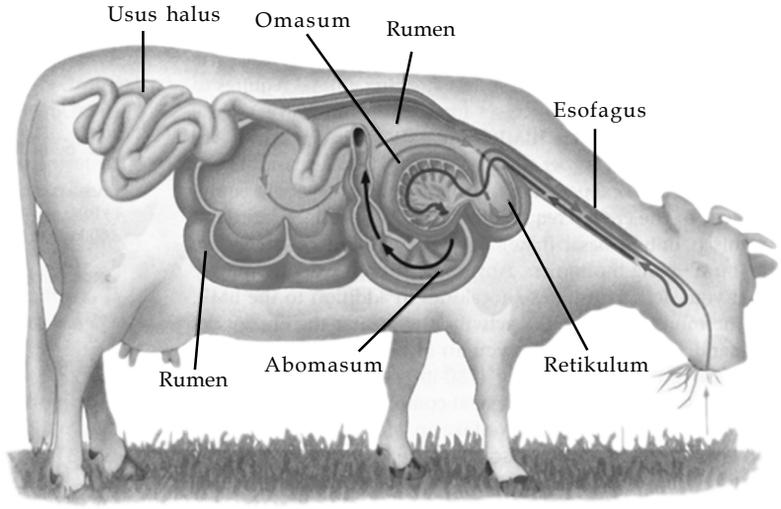
Pernahkah kalian memperhatikan seekor sapi atau kerbau yang sedang berbaring di bawah pohon sambil mengunyah sesuatu, padahal ia sudah makan sebelumnya? Pada saat itu, makanan yang telah diproses di rumen dikembalikan ke rongga mulut untuk dikunyah kembali. Selanjutnya, ditelan kembali melewati rumen dan retikulum memasuki omasum (**Gambar 6.19**).



Sumber: *Biology for ou*, 2002

Gambar 6.19
Sapi mengunyah makanan yang telah dikembalikan dari rumen untuk dikunyah kembali.

Di dalam omasum, air diserap. Makanan yang mengandung banyak bakteri simbiosis ini akhirnya melewati omasum menuju abomasum untuk dicerna oleh enzim pencernaan. Karena aktivitas bakteri, nutrien yang diserap oleh hewan pemamah biak lebih kaya dibandingkan rumput yang awalnya mereka makan. Setelah melewati abomasum, dengan gerak peristaltik, makanan menuju usus halus untuk diserap. Sisa makanan yang tidak terpakai akan dikeluarkan menuju anus. Perhatikan **Gambar 6. 20**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 6.20
Sistem pencernaan pada hewan ruminansia.

Soal Penguasaan *Materi* 6.4

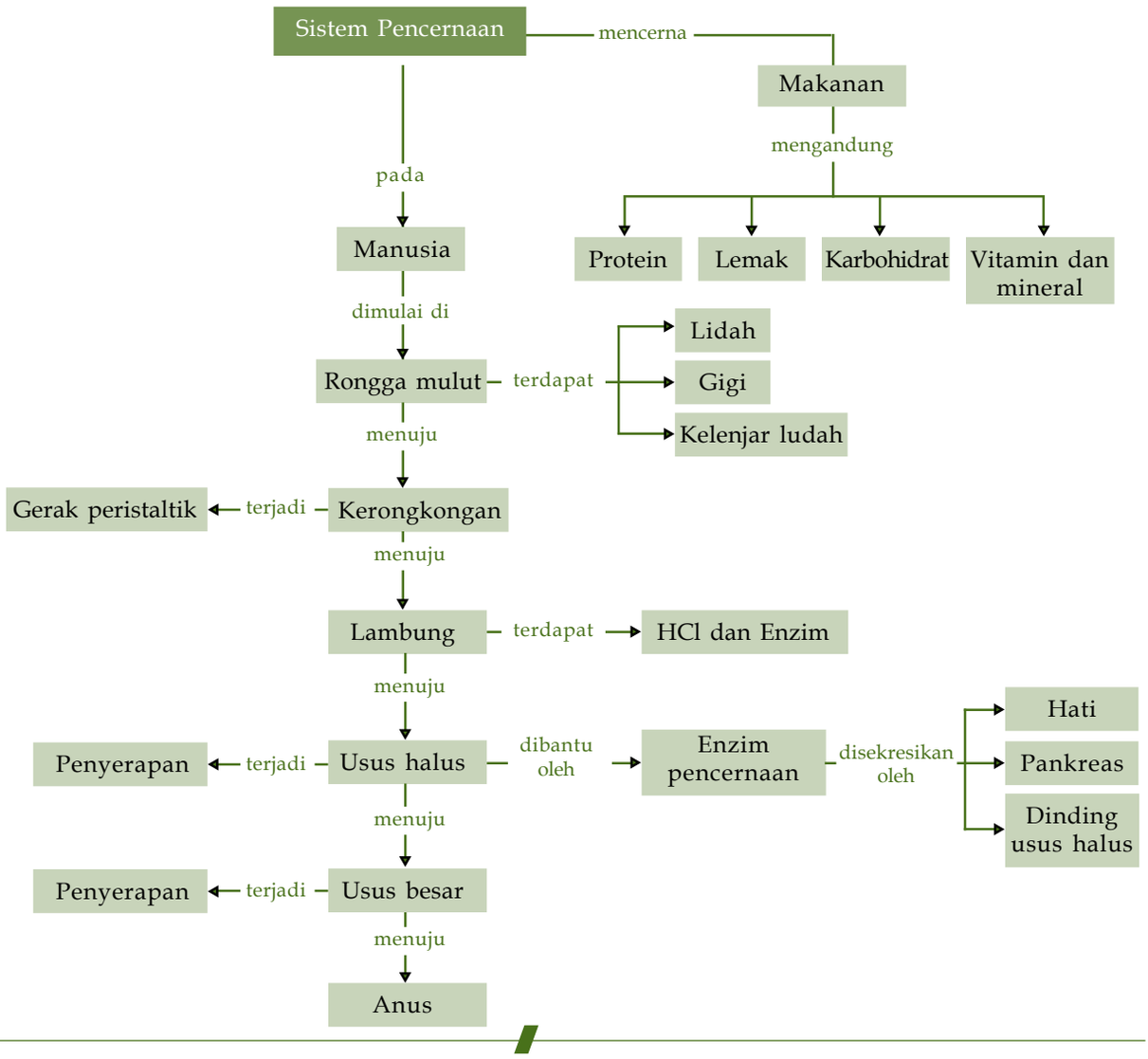
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan lambung pada manusia dan hewan pemamah biak?
2. Mengapa hewan pemamah biak dapat mencerna rumput yang kaya akan selulosa?
3. Apa yang menyebabkan kebutuhan nutrien hewan pemamah biak dapat terpenuhi, meskipun ia hanya mengonsumsi rumput?

Rangkuman

1. Makanan dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan utama tubuh. Secara umum makanan mengandung karbohidrat, lemak, protein, vitamin, dan mineral. Semua zat-zat tersebut dibutuhkan oleh tubuh untuk melakukan aktivitasnya.
2. Proses pencernaan manusia dilakukan secara mekanik dan kimiawi. Makanan dihancurkan secara mekanik dan enzimatik di dalam mulut. Kemudian, makanan yang sudah hancur tersebut dicerna secara mekanik dan enzimatik di dalam lambung. Dari lambung, makanan masuk ke dalam usus halus dan mengalami pencernaan enzimatik. Selain itu, di usus halus makanan mulai diserap. Setelah dari usus halus, makanan yang masih tersisa diteruskan ke usus besar. Di usus besar, air yang masih tersisa dan beberapa zat penting lainnya diserap kembali. Sisa-sisa makanan yang sudah tidak dapat dicerna dibuang melalui anus.
3. Terdapat perbedaan sistem pencernaan pada hewan ruminansia, seperti sapi dan kambing. Hewan-hewan tersebut memiliki ruang rumen, retikulum, omasum, dan abomasum. Makanan yang telah masuk rumen dapat dikembalikan ke rongga mulut untuk dikunyah sampai beberapa kali. Berkat bakteri yang bersimbiosis dalam rumen, hewan pemamah biak dapat mencerna selulosa.

Peta Konsep



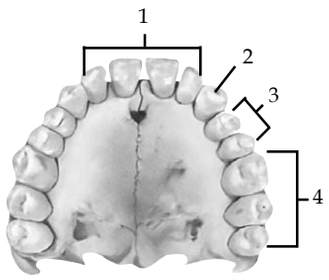
Kaji Diri

Setelah mempelajari Bab Sistem Pencernaan, Anda diharapkan dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan yang dapat terjadi pada sistem pencernaan makanan. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan pada sistem percernaan, Anda belum mengusai materi Bab Sistem Pencernaan dengan baik. Rangkum dan tulislah materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda. Belajarlah dengan lebih baik lagi.

Evaluasi Materi Bab 6

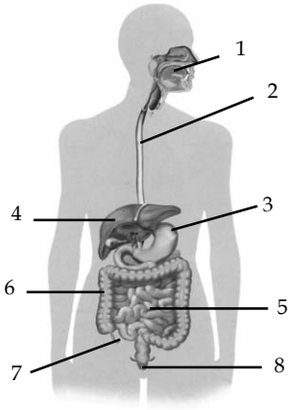
A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Kekurangan protein pada makanan menyebabkan busung lapar. Protein selain merupakan penyusun enzim, juga berfungsi dalam ....
   a. menyusun penimbun lemak
   b. merusak zat yang bersifat racun
   c. memelihara keseimbangan tekanan osmosis darah
   d. menjaga keseimbangan energi
   e. memelihara ketegangan suatu sel
2. Zat makanan yang menghasilkan energi tertinggi untuk satuan berat yang sama adalah ....
   a. protein
   b. vitamin
   c. lemak
   d. karbohidrat
   e. serat kasar
3. Berikut adalah vitamin yang dapat larut di dalam lemak, *kecuali* ....
   a. vitamin C
   b. vitamin A
   c. vitamin D
   d. vitamin K
   e. vitamin E
4. Pada orang dewasa, jumlah giginya mencapai ....
   a. 24
   b. 32
   c. 34
   d. 22
   e. 30
5. Jonjot usus halus berfungsi memperluas bidang penyerapan sari makanan. Berikut yang diserap oleh jonjot usus halus antara lain ....
   a. protein dan lemak
   b. glukosa dan asam amino
   c. zat pati dan vitamin
   d. asam amino dan lemak
   e. sukrosa dan fruktosa
6. Enzim yang dapat mengemulsikan lemak menjadi asam lemak dan gliserol adalah ....
   a. erepsin
   b. renin
   c. lipase
   d. katalase
   e. ptialin
7. Pencernaan mekanik yang terjadi di rongga mulut dibantu oleh pencernaan enzimatik menggunakan ....
   a. enzim renin
   b. enzim lipase
   c. enzim katalase
   d. enzim ptialin
   e. enzim tripsin
8. Di antara karakteristik berikut yang *bukan* merupakan karakteristik cairan empedu adalah ....
   a. diproduksi oleh kandung kemih
   b. campuran dari garam-garam khusus, air dan kolesterol
   c. berperan sebagai agen pengemulsi
   d. membantu pencernaan lemak oleh lipase
   e. bekerja dalam usus halus
9. Perhatikan gambar susunan gigi orang dewasa berikut.



   Bagian yang berfungsi memotong makanan ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 3 dan 4
10. Susunan gigi yang *tidak* terdapat pada anak-anak adalah ....
    a. *insisivus*
    b. molar
    c. *caninus*
    d. premolar
    e. gigi susu

Untuk menjawab soal nomor 11 hingga nomor 15, perhatikan gambar berikut.



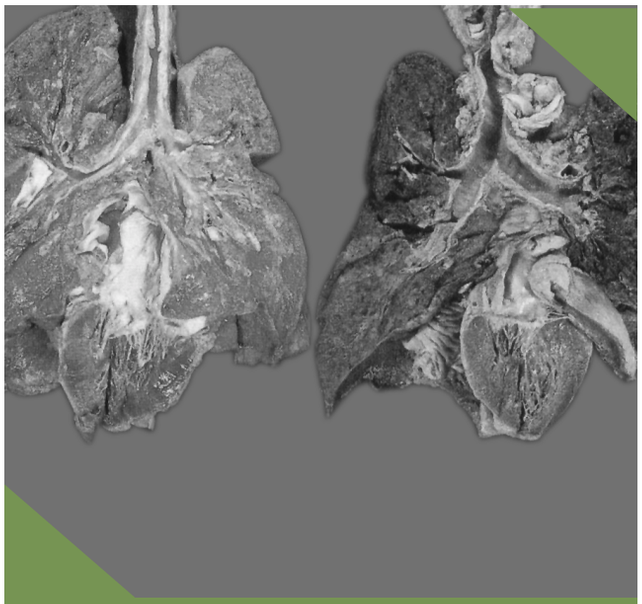
11. Organ yang berfungsi mensekresikan HCl, enzim pencernaan, dan lendir, ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 1 d. 4
    b. 2 e. 5
    c. 3
12. Penyerapan zat-zat makanan dimulai dari organ nomor ....
    a. 3 d. 6
    b. 4 e. 7
    c. 5
13. Usus buntu ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 4 d. 7
    b. 5 e. 8
    c. 6
14. Organ yang berfungsi menghasilkan enzim lipase ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 3 dan 5 d. 5 dan 9
    b. 3 dan 7 e. 2 dan 3
    c. 5 dan 8
15. Tempat penyerapan kembali air terjadi pada organ nomor ....
    a. 5 d. 8
    b. 6 e. 9
    c. 7
16. Campuran makanan yang bersifat asam di dalam lambung disebut ....
    a. kolesitokinin d. bubur kim
    b. cairan empedu e. sekretin
    c. cairan limfa
17. Naiknya kandungan glukosa di dalam darah, menunjukkan bahwa makanan telah mencapai ....
    a. mulut d. usus halus
    b. faring e. usus besar
    c. lambung
18. Manusia tidak memiliki enzim yang dapat menguraikan kitin, polisakarida kompleks yang membentuk eksoskeleton pada udang dan kepiting. Manusia juga tidak memiliki enzim yang dapat mencerna ....
    a. peptida d. sukrosa
    b. tepung e. lemak
    c. selulosa
19. Perbedaan utama antara sistem pencernaan pada hewan pemamah biak dengan manusia, terletak pada susunan dan fungsi dari ....
    a. usus dan anus
    b. gigi dan kerongkongan
    c. usus halus dan usus besar
    d. lidah dan mulut
    e. gigi dan usus
20. Ciri utama hewan pemamah biak adalah ....
    a. tidak memiliki taring
    b. memakan rumput dan dedaunan
    c. berkaki empat
    d. betina mampu menghasilkan susu
    e. gigi geraham berkembang dengan baik

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Makanan apa saja yang kaya akan protein, lemak, dan karbohidrat?
2. Kelainan dan gangguan apa saja yang dapat menyerang sistem pencernaan?
3. Jelaskan apa yang dimaksud pemamah biak.
4. Bagaimana makanan berserat dapat melancarkan proses buang air besar? Dari mana kita mendapatkan makanan berserat?
5. Mengapa kita harus memakan makanan yang beraneka ragam? Jelaskan.

Soal Tantangan

1. Untuk memenuhi kebutuhan vitamin A, setiap bulan Februari dan Agustus pemerintah Indonesia mengadakan pemberian vitamin A gratis untuk balita. Mengapa pemerintah mengadakan program tersebut? Apa cara Anda untuk memenuhi kebutuhan vitamin A? Apa akibat yang terjadi pada tubuh jika kekurangan vitamin A?
2. Pada 24 Agustus 2004, terjadi keracunan makanan di Tabanan, Bali yang menimpa siswa sekolah dasar sebanyak 159 orang. Selain itu, beberapa peristiwa juga terjadi di tempat-tempat lain di Indonesia. Mengapa dapat terjadi keracunan makanan? Bagaimana saran Anda agar tidak terjadi peristiwa keracunan makanan?



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Bab 7
Sistem Pernapasan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami sistem pernapasan pada manusia. Anda dapat memahaminya jika mampu menjelaskan organ-organ, proses, serta kelainan pada sistem pernapasan manusia.

Ikan hidup di air dan memperoleh oksigen dari air yang berada di sekitar tubuhnya. Ikan memiliki insang yang terspesialisasi untuk mengikat oksigen yang terkandung dalam air. Kadar oksigen di udara bebas lebih tinggi dibandingkan dengan kadar oksigen dalam air. Agar dapat memperoleh oksigen, insang terdiri atas lembaran-lembaran insang. Lembaran insang ini khusus untuk menyaring oksigen dari air. Fungsi lembaran insang dalam mengikat oksigen tidak dapat dilakukan jika insang dalam keadaan kering.

Berbeda dengan ikan, manusia memanfaatkan langsung oksigen yang berada di udara bebas. Manusia pun tidak mempunyai insang, tetapi mempunyai paru-paru. Sebenarnya, untuk apa ikan, manusia, atau makhluk hidup lainnya menghirup oksigen? Apakah pernapasan itu? Digunakan untuk apa oksigen yang diikat melalui proses pernapasan? Apakah alat-alat pernapasan pada semua makhluk hidup sama?

Pada bab berikut, Anda akan mempelajari sistem pernapasan pada manusia dan beberapa hewan tertentu. Melalui diskusi, tugas, dan kegiatan, Anda diharapkan dapat memahami bab ini secara lebih mendalam.

A. Sistem Pernapasan pada Manusia
B. Kelainan dan Gangguan pada Sistem Pernapasan Manusia
C. Sistem Pernapasan pada Hewan

Soal *Pramateri*

1. Apakah fungsi pernapasan bagi makhluk hidup?
2. Apakah yang dihirup manusia untuk bernapas?

A Sistem Pernapasan pada Manusia

Pernapasan dapat memiliki beberapa makna. Pernapasan dapat berarti hanya bernapas, memasukkan dan mengeluarkan udara dari paru-paru. Bagi ilmuwan biologi, pernapasan merupakan seluruh proses sel pada suatu organisme dalam menerima oksigen dan melepaskan karbon dioksida. Oleh karena itu, menurut McLaren & Rotundo (1985: 579), pernapasan dapat dibedakan dalam tiga bentuk, yaitu **pernapasan eksternal** (*external respiration*), **pernapasan internal** (*internal respiration*), dan **pernapasan seluler** (*cellular respiration*).

Pernapasan eksternal merupakan pertukaran udara yang terjadi di dalam paru-paru. Dalam proses ini, oksigen masuk ke dalam darah dan karbon dioksida keluar menuju atmosfer.

Pertukaran udara antara darah dan sel-sel dalam tubuh disebut pernapasan internal. Oksigen dan karbon dioksida bergerak berlawanan. Oksigen berdifusi dari darah ke dalam sel. Sementara itu, karbon dioksida berdifusi ke luar sel menuju darah.

Pernapasan seluler merupakan proses kimia yang terjadi dalam mitokondria di dalam sel. Dalam proses ini, oksigen bereaksi dengan molekul makanan (glukosa) sehingga energi dihasilkan. Energi ini tersimpan dalam ATP. Karbon dioksida dan air dihasilkan sebagai hasil sampingan.

Dalam bab ini, hanya akan dibahas mengenai pernapasan eksternal dan pernapasan internal, serta organ-organ yang terlibat. Apa saja organ-organ itu? Apa fungsinya?

Pernapasan eksternal pada manusia dapat dibagi menjadi beberapa tahap, yaitu **fase inspirasi** dan **ekspirasi**, serta fase pertukaran udara di jaringan tubuh dan paru-paru (pernapasan internal).

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.1
(a) Pernapasan eksternal, (b) pernapasan internal, dan (c) pernapasan selular.
Apakah perbedaan ketiga pernapasan tersebut?

1. Organ-Organ Pernapasan

Agar proses pernapasan dapat berlangsung, diperlukan alat-alat pernapasan. Alat-alat ini secara berurutan dimulai dari hidung, faring, laring, trakea, dan paru-paru.

a. Hidung

Perjalanan udara memasuki paru-paru dimulai ketika udara melewati lubang hidung. Di lubang hidung, udara disaring oleh rambut-rambut di lubang hidung. Udara juga menjadi lebih hangat ketika melewati rongga hidung bagian dalam. Di rongga hidung bagian dalam, terdapat juga ujung-ujung saraf yang dapat menangkap zat-zat kimia yang terkandung dalam udara sehingga kita mengenal berbagai macam bau. Ujung-ujung saraf penciuman tersebut kemudian akan mengirimkan impuls ke otak.

b. Faring

Setelah melalui rongga hidung, udara akan melewati faring. Faring adalah percabangan antara saluran pencernaan (esofagus) dan saluran pernapasan (laring dan trakea). Pada percabangan ini, terdapat klep **epiglotis** yang mencegah makanan memasuki trakea.

c. Trakea

Dari faring, udara melewati laring, tempat pita suara berada. Dari laring, udara memasuki **trakea**.

Trakea terdiri atas susunan cincin-cincin tulang rawan. Cincin-cincin ini memungkinkan trakea tetap mempertahankan bentuknya. Dinding trakea dilapisi oleh epitel berlapis banyak palsu bersilia. Epitel ini menyekresikan lendir di dinding trakea. Lendir ini berfungsi menahan benda asing yang

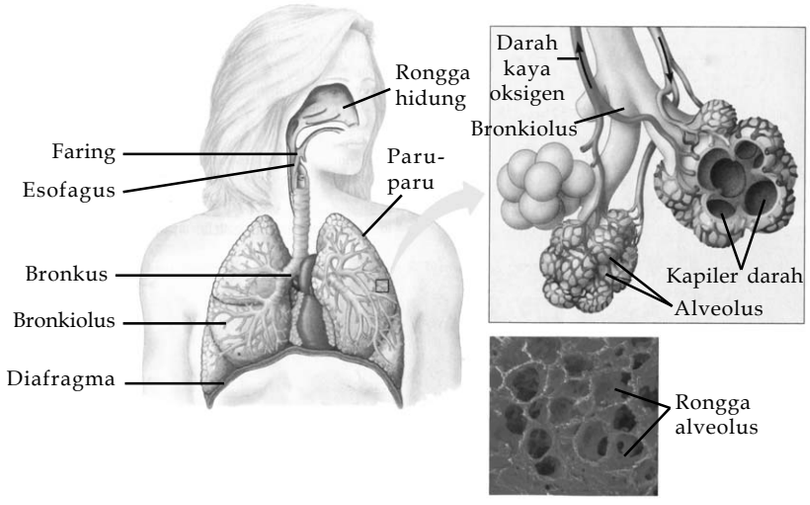
masuk, sebelum akhirnya dikeluarkan dengan gerakan silia yang terdapat pada membran sel epitel.

d. Bronkus dan Bronkiolus

Setelah melalui trakea, saluran bercabang dua. Kedua cabang tersebut dinamakan **bronkus**. Setiap bronkus terhubung dengan paru-paru sebelah kanan dan kiri. Bronkus bercabang-cabang lagi, cabang yang lebih kecil disebut **bronkiolus**. Dinding bronkus juga dilapisi lapisan sel epitel selapis silindris bersilia.

e. Alveolus

Bronkiolus bermuara pada alveoli (tunggal: alveolus), struktur berbentuk bola-bola mungil yang diliputi oleh pembuluh-pembuluh darah. Epitel pipih yang melapisi alveoli memudahkan darah di dalam kapiler-kapiler darah mengikat oksigen dari udara dalam rongga alveolus.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.2
Organ-organ yang berperan dalam sistem pernapasan pada manusia, dimulai dari faring sampai alveoli.

2. Fase Inspirasi dan Ekspirasi

Inspirasi merupakan proses ketika udara masuk ke dalam saluran pernapasan, sedangkan **ekspirasi** merupakan proses ketika udara keluar dari saluran pernapasan. Inspirasi terjadi ketika kita menghirup napas dan ekspirasi terjadi ketika kita mengembuskan napas atau mengeluarkan udara dari paru-paru kita. Terdapat dua macam pernapasan, yaitu pernapasan dada dan pernapasan perut. Apakah perbedaannya?

Inspirasi terjadi ketika otot antartulang rusuk berkontraksi. Tulang rusuk akan terangkat dan rongga dada membesar. Tekanan udara di dalam rongga dada menurun sehingga terjadi aliran udara dari lingkungan ke dalam saluran pernapasan. Ekspirasi terjadi ketika otot antartulang rusuk mengendur (relaksasi) yang menyebabkan mengecilnya rongga dada. Pernapasan seperti ini disebut **pernapasan dada**.

Pada **pernapasan perut**, selama inspirasi otot diafragma berkontraksi sehingga posisi permukaan diafragma menjadi mendatar. Akibatnya, volume rongga dada dan paru-paru membesar. Membesarnya volume paru-paru menyebabkan tekanan udara di dalamnya menjadi lebih rendah daripada tekanan udara di luar paru-paru sehingga udara masuk ke paru-paru.

Sebaliknya, selama ekspirasi, otot diafragma mengalami relaksasi sehingga menyebabkan posisi permukaan diafragma menjadi melengkung ke atas. Akibatnya, volume rongga dada dan rongga paru-paru menjadi

Wawasan Biologi

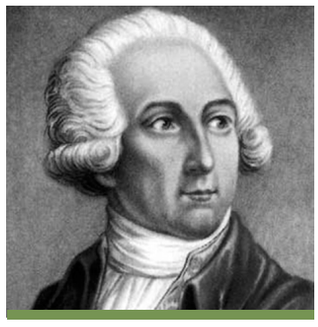
Di daerah dataran tinggi, seperti pegunungan dan bukit, tekanan udaranya lebih rendah daripada tekanan udara di dataran rendah. Beberapa orang yang telah lama hidup di dataran tinggi memiliki paru-paru yang relatif lebih besar. Hal ini sebagai adaptasi rendahnya konsentrasi oksigen lingkungan sekitarnya.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Kata Kunci

- Ekspirasi
- Inspirasi

Tokoh **Biologi**

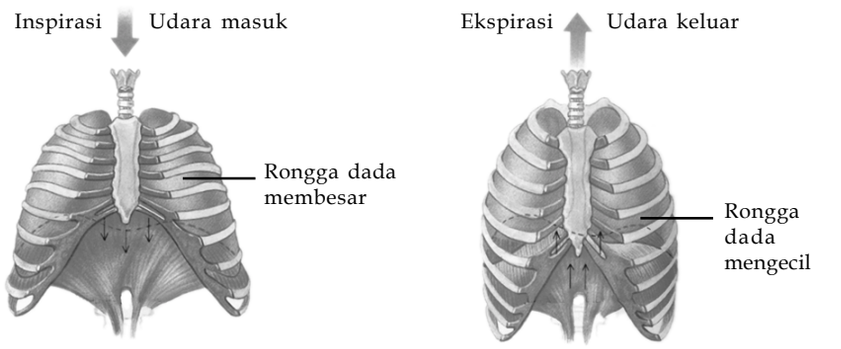


Antoine Lavoisier (1743 – 1794)

Ia melakukan banyak percobaan kimia yang sangat berarti di bidang fisiologi. Ia menamai "oksigen" yang berasal dari kata Yunani yang berarti pembuat asam.

Sumber: *Jendela Iptek: Kehidupan* 1997

mengecil sehingga tekanan udara di dalam paru-paru lebih tinggi daripada tekanan udara di luar paru-paru. Perbedaan tekanan udara ini menyebabkan keluarnya udara dari dalam paru-paru.



Gambar 7.3
Ketika terjadi inspirasi, otot diafragma berkontraksi. Adapun ketika terjadi ekspirasi, otot diafragma berelaksasi.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

3. Volume Udara dalam Paru-paru

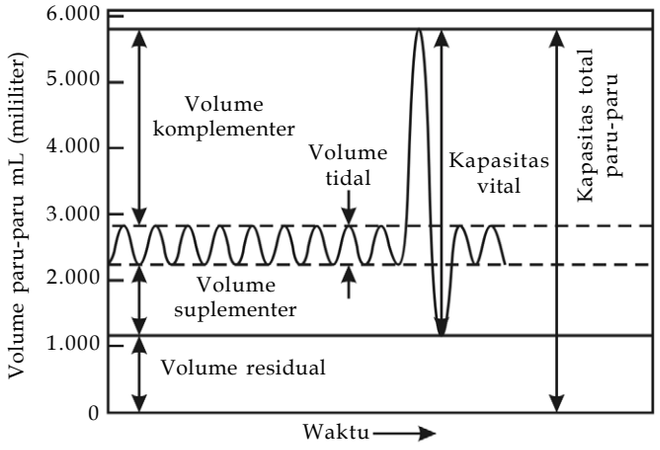
Volume udara di dalam paru-paru dapat dibedakan menjadi **volume tidal**, **volume komplementer**, **volume suplementer**, **kapasitas vital**, dan **volume residual**.

Secara normal, manusia menghirup dan mengeluarkan udara sekitar 500 mL. Volume tersebut dinamakan **volume tidal**. Volume udara yang masih dapat dihirup setelah inspirasi biasa disebut **volume komplementer**. Besarnya sekitar 3.000 mL. Adapun udara yang masih dapat dihembuskan setelah ekspirasi biasa disebut **volume suplementer**, besarnya sekitar 1.500 mL.

Kata Kunci
- Medula oblongata
- Volume komplemeter
- Volume residual
- Volume suplementer
- Volume tidal
- Volume vital

Manusia juga dapat mengambil napas yang panjang dan mengembuskannya sampai batas maksimum. Volume udara yang demikian disebut **kapasitas vital**. Kapasitas vital dapat berbeda nilainya pada setiap individu. Pada umumnya, nilainya berkisar antara 3.400 mL pada wanita dan 4.80 mL pada pria. Mengapa bisa berbeda?

Ketika kita mengembuskan napas semaksimal mungkin, tidak semua udara keluar dari paru-paru kita. Volume udara yang tersisa ini sangat bervariasi pada setiap individu. Volume udara yang tetap berada di dalam paru-paru ini disebut **volume residual**. Jadi, jika volume residual dijumlahkan dengan kapasitas vital, hasilnya adalah **kapasitas total paru-paru**. Perhatikan **Gambar 7.4**.



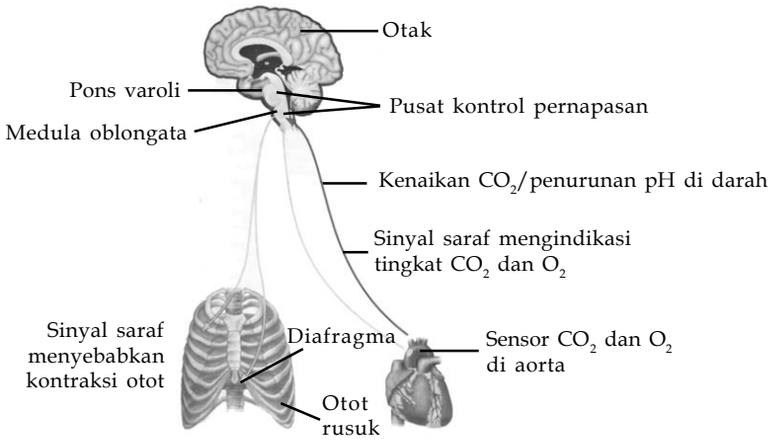
Gambar 7.4
Volume udara di dalam paru-paru dapat dibedakan menjadi volume tidal, kapasitas vital, dan volume residual. Sementara itu, kapasitas total paru-paru adalah volume residual dijumlahkan dengan kapasitas vital.

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

4. Kecepatan Bernapas

Sistem pernapasan tidak terlepas dari pengaturan oleh sistem saraf. Kita dapat menahan napas selama beberapa menit. Namun, kemudian kita akan merasakan dorongan yang sangat kuat untuk menarik napas.

Bagian otak yang berperan dalam mengatur pernapasan adalah bagian **medula oblongata** (**Gambar 7.5**). Ketika kandungan O_2 dalam darah sedikit, medula oblongata akan mengirimkan impuls kepada otot tulang rusuk atau diafragma untuk berkontraksi.

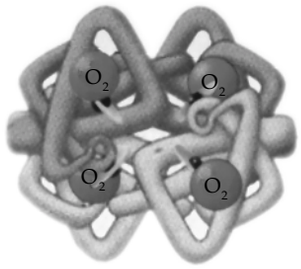


Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Gambar 7.5
Bagian otak yang berperan dalam mengatur pernapasan adalah medula oblongata.

Ketika darah banyak mengandung CO_2, pH darah akan mengalami perubahan. Perubahan pH ini dideteksi oleh medula oblongata. Sebagai respons, medula oblongata mengirimkan impuls pada otot tulang rusuk untuk berkontraksi lebih cepat atau lebih pendek sehingga volume rongga dada menjadi lebih besar dan napas menjadi lebih dalam. Dengan demikian, lebih banyak oksigen yang dapat diikat oleh darah dalam kapiler. Selain medula oblongata, bagian lain dari sistem saraf yang ikut mengatur pernapasan adalah bagian **pons varoli** di otak.

Pada umumnya, laju pernapasan sesuai dengan laju penambahan karbon dioksida dalam darah atau laju pengurangan oksigen dalam darah dan jaringan. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis aktivitas. Ketika melakukan aktivitas berat, kita akan terengah-engah. Hal tersebut terjadi karena peningkatan metabolisme dalam jaringan, terutama otot sehingga terjadi peningkatan kadar karbon dioksida dalam darah.

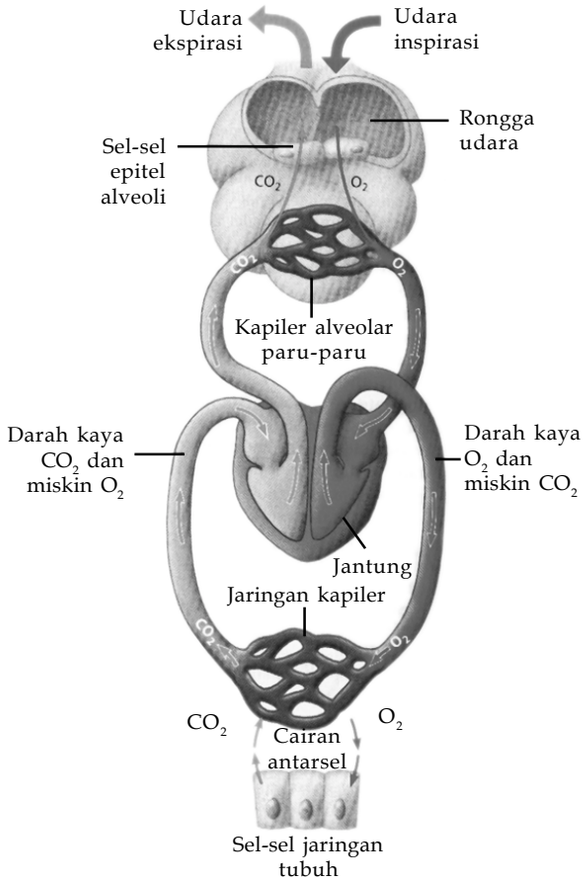


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.6
Struktur hemoglobin. Hemoglobin dapat mengikat empat molekul oksigen.

5. Fase Pertukaran Udara di Jaringan Tubuh dan Paru-paru

Pada prinsipnya, pertukaran gas yang terjadi di jaringan tubuh dan paru-paru terjadi secara difusi mengikuti perbedaan tekanan. Udara yang sampai alveoli memiliki tekanan O_2 yang lebih tinggi dan tekanan CO_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan darah dalam pembuluh arteri yang melewati alveoli. Jika tekanan udara 1 atmosfer (760 mmHg), dan volume O_2 adalah 21%, tekanan parsial O_2 (PO_2) di udara bebas adalah 0,21 x 760 mmHg, yaitu sekitar 160 mmHg. Sementara itu, tekanan parsial CO_2 (PCO_2) diketahui adalah sekitar 0,23 mmHg. Akibatnya, O_2 dari udara berdifusi melewati epitel alveoli dan kapiler ke dalam darah di dalam kapiler (Campbell, 1998: 845).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.7
Pada prinsipnya, pertukaran gas di jaringan tubuh dan paru-paru terjadi secara difusi mengikuti perbedaan tekanan.

Dalam darah, oksigen diikat oleh **hemoglobin**. Hemoglobin adalah protein yang terdiri atas hemin dan globin. Hemin memiliki unsur besi (Fe) yang menjadi pusat dari molekul hemoglobin. Dalam unsur besi ini, terjadi pengikatan oksigen (proses oksigenasi) sehingga terbentuk **oksihemoglobin** (HbO_2). Setiap molekul hemoglobin dapat mengikat 4 molekul O_2 (**Gambar 7.6**). Namun, kemampuan mengikat oksigen ini bergantung pada tekanan oksigen (tekanan udara) di lingkungan luar.

Pada saat yang bersamaan dengan difusi oksigen, terjadi juga difusi CO_2 dengan arah yang berlawanan, yaitu dari darah ke udara dalam rongga alveoli. Ketika darah meninggalkan kapiler di alveoli, darah tersebut telah memiliki tekanan O_2 yang lebih tinggi dan tekanan CO_2 yang lebih rendah.

Jantung memompa darah dari paru-paru ke seluruh tubuh. Pertukaran gas di dalam jaringan terjadi dengan prinsip yang sama dengan yang telah diuraikan sebelumnya. Jaringan (sel) memiliki tekanan CO_2 yang lebih tinggi dan tekanan O_2 yang lebih rendah dibandingkan dengan darah. Penumpukan CO_2 terjadi sebagai akibat dari metabolisme sel.

Perbedaan tekanan menyebabkan oksigen dalam darah dilepaskan dari oksihemoglobin. Karbon dioksida dalam sel akan berdifusi keluar darah. Akibat perbedaan tekanan parsial dan kelarutan, kurang dari 5% CO_2 akan tetap berada dalam sel. Di dalam darah, CO_2 dapat bereaksi dengan H_2O dan membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Asam karbonat juga dapat berdisosiasi menjadi asam bikarbonat (HCO_3^-) dengan melepaskan satu atom H^+. Atom hidrogen tersebut kemudian ditangkap oleh hemoglobin.

Sebagian kecil CO_2, yaitu sekitar 30%, berikatan dengan salah satu protein dalam hemoglobin. Sementara itu, 65% CO_2 diangkut dalam bentuk ion HCO_3^- melalui proses berantai yang disebut dengan proses pertukaran klorida. Dengan bantuan enzim karbonat anhidrase dalam eritrosit, CO_2 bereaksi dengan H_2O membentuk asam karbonat (H_2CO_3). Asam karbonat dapat berdisosiasi menjadi asam bikarbonat (HCO_3^-) dengan melepaskan satu atom H^+. Asam bikarbonat akan keluar dari eritrosit ke plasma darah. Kedudukan ion bikarbonat akan digantikan oleh ion Cl^-. Dinamika pengikatan dan pelepasan antara asam karbonat dan ion Cl^- dengan ion H^+ menyebabkan perubahan pada sistem buffer pada darah dan turunnya pH darah. Reaksinya sebagai berikut.

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow HCO_3^- + H^+$$

Ketika darah sampai ke paru-paru, terjadi reaksi yang sama hanya saja dengan arah yang berlawanan.

$$HCO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$$

Kata Kunci

- Asam bikarbonat
- Asam karbonat
- Oksihemoglobin

Soal Penguasaan *Materi* 7.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan organ-organ yang terkait dalam proses pernapasan pada manusia.
2. Bagaimana proses pertukaran udara di jaringan tubuh dan paru-paru?
3. Faktor apa saja yang memengaruhi kecepatan pernapasan?

B Kelainan dan Gangguan pada Sistem Pernapasan Manusia

Kelainan dan gangguan pada sistem pernapasan dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu terjadi gangguan pada proses pengikatan oksigen dan kelainan pada saluran pernapasan sehingga mengganggu aliran udara.

Gangguan pada proses pengikatan oksigen yang sering terjadi adalah **asfiksi**. Hal tersebut terjadi karena adanya kompetisi antara oksigen dan zat lain yang dapat berikatan dengan hemoglobin. Contohnya pada keracunan gas **karbon monoksida** (CO). Karbon monoksida lebih mudah berikatan dengan hemoglobin dibandingkan dengan oksigen. Hal ini menyebabkan hemoglobin mengikat karbon monoksida, bukan oksigen. Jika sebagian besar darah berikatan dengan karbon monoksida, jaringan dalam tubuh akan kekurangan oksigen.

Gangguan pengikatan oksigen juga terjadi jika paru-paru terisi oleh zat lain, seperti air pada kasus orang yang tenggelam. Pada peristiwa tenggelam, alveolus terisi oleh air sehingga darah tidak mendapatkan pasokan oksigen yang memadai.

Wawasan Biologi

Soe Hok Gie mahasiswa pejuang angkatan '66, meninggal di Gunung Semeru. Ia dan kawan-kawannya meninggal karena keracunan gas karbon monoksida (CO) yang berasal dari kawah. Karbon monoksida adalah gas yang tidak berwarna dan berbau.

Karbon monoksida juga mempunyai berat molekul yang lebih ringan dibandingkan dengan O_2. Hal tersebut diperparah dengan tekanan udara yang kecil di ketinggian 3.676 meter di atas permukaan laut.

1. Gangguan pada Sistem Pernapasan

Selain gangguan yang bersifat fisik, terdapat gangguan saluran pernapasan yang disebabkan infeksi bakteri atau virus. Pada umumnya gangguan ini menyebabkan peradangan karena adanya respons sistem kekebalan tubuh. Peradangan ini diberi nama bergantung pada tempat terjadinya peradangan. Oleh karena itu, kita harus senantiasa bersyukur atas kesehatan yang kita miliki saat ini.

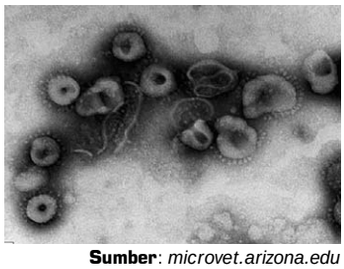
a. Faringitis

Faringitis merupakan radang pada faring karena infeksi. Peradangan juga dapat terjadi karena terlalu banyak merokok, ditandai dengan rasa sakit saat menelan dan rasa kering di kerongkongan.

b. Bronkitis

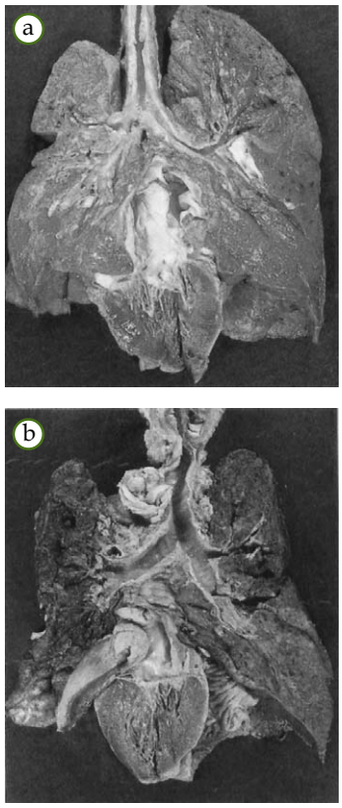
Bronkitis berupa peradangan pada selaput lendir dari saluran bronkial. Sementara itu, **pleuritis** adalah peradangan pada pleura, lapisan pelindung yang membungkus paru-paru. **Laringitis** adalah pembengkakan di laring, sedangkan **sinusitis** adalah pembengkakan pada sinus atau rongga hidung.

Peradangan-peradangan tersebut dapat terjadi karena berbagai hal, di antaranya karena infeksi oleh mikroorganisme. Peradangan juga dapat terjadi karena tubuh merespons terhadap zat atau benda asing yang masuk ke dalam tubuh sehingga terjadi reaksi alergik. Gejala-gejala peradangan tersebut secara umum adalah batuk-batuk, demam, sulit menelan, dan sakit di dada.



Sumber: *microvet.arizona.edu*

Gambar 7.8
Virus SARS. Penyakit ini pernah menyerang negara-negara di Asia Tenggara termasuk Indonesia.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.9
(a) Paru-paru yang sehat dan (b) paru-paru yang terkena kanker. Merokok dapat memicu kanker paru-paru.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.10
Penggunaan bronkoskop.

c. Dipteri

Dipteri merupakan infeksi pada saluran pernapasan bagian atas. Pada umumnya, disebabkan oleh *Corynebacterium diphterial*. Pada tingkat lanjut, penderitanya dapat mengalami kerusakan selaput jantung, demam, lumpuh, bahkan meninggal dunia.

d. SARS

SARS (*Severe Acute Respiratory Syndrome*) adalah sebuah penyakit pernapasan yang disebabkan oleh virus *Coronavirus* dari ordo Coronaviridae (perhatikan **Gambar 7.8**). Virus ini menginfeksi saluran pernapasan. Gejalanya berbeda-beda pada tiap penderita, misalnya pusing, muntah-muntah, disertai panas tinggi dan batuk.

Sementara itu, gangguan yang tidak disebabkan oleh infeksi antara lain **rinitis**, yaitu peradangan pada membran lendir (mukosa) rongga hidung. Banyaknya lendir yang disekresikan, mengakibatkan peradangan. Biasanya, terjadi karena alergi terhadap suatu benda, seperti debu atau bulu hewan.

e. Asma

Asma merupakan gangguan pada sistem pernapasan dengan gejala sukar bernapas. Gangguan asma disebabkan bagian otot polos pada trakea berkontraksi sehingga saluran trakea menyempit. Asma dapat disebabkan alergi atau faktor psikis (emosi).

f. Emfisema

Emfisema merupakan peradangan pada permukaan dalam alveolus. Akibatnya, paru-paru menggelembung sehingga mengganggu efektivitas pengikatan oksigen dan penderita sulit bernapas.

g. Kanker Paru-paru

Kanker paru-paru disebabkan oleh kelainan sel pada epitel bronkial. Sel ini tumbuh dengan cepat membentuk tumor ganas (perhatikan **Gambar 7.9**). Kelainan sel ini disebabkan epitel bronkial terlalu sering menerima bahan-bahan karsinogenik (penyebab kanker) yang banyak terkandung di dalam rokok yang dihisap penderita. Tahukah Anda bahan karsinogenik apa saja yang terdapat di dalam rokok?

2. Contoh Teknologi yang Berhubungan dengan Sistem Pernapasan

Teknologi yang berhubungan dengan sistem pernapasan dari yang paling sederhana, yaitu tabung oksigen dan regulator oksigen sampai robot buatan yang telah banyak membantu orang yang mengalami gangguan pada sistem pernapasan.

Penderita asma ketika kambuh dan mengalami kesulitan bernapas sering terbantu dengan alat regulator oksigen yang dihubungkan dengan tabung oksigen. Bahkan, sekarang telah banyak dijual oksigen murni dalam tabung-tabung kecil untuk orang yang membutuhkannya.

Selain regulator oksigen, terdapat teknologi yang dapat membantu mendeteksi penyakit asma, yaitu PSA (*pulmonary sound analizer*). Dengan PSA, tingkat keparahan penyakit asma seseorang dapat diketahui.

Bronkoskop (*bronchoscope*) juga merupakan teknologi yang berhubungan dengan sistem pernapasan. Bronkoskop dapat digunakan untuk mengambil contoh jaringan dan lendir dalam saluran pernapasan yang diduga ada gangguan atau kelainan. Selain itu, bronkoskop dapat digunakan untuk mengetahui secara rinci keadaan saluran trakea, bronkus, dan bronkiolus (**Gambar 7.10**).

Jerman telah menciptakan sebuah robot yang diberi nama RONAF (*robotergestuetzte navigation zum fraesen*). Robot ini digunakan sebagai navigator dalam pembedahan pasien yang mengalami ganguan sistem respirasi.

Tugas Ilmiah 7.1

Carilah informasi mengenai penyakit-penyakit pada sistem pernapasan manusia yang sering diderita oleh masyarakat Indonesia, seperti TBC dan kanker paru-paru. Bahas mengenai penyebab dan cara penanggulangannya. Selain itu, Anda dapat mencari teknologi-teknologi terbaru di bidang kesehatan sistem pernapasan manusia. Anda dapat mencari informasi tersebut di surat kabar dan internet. Buatlah dalam bentuk laporan yang menarik. Karya yang paling baik akan di tempelkan di mading sekolah.

Soal Penguasaan *Materi* 7.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan contoh-contoh kelainan dan penyakit pada sistem pernapasan manusia.
2. Teknologi apa yang dapat membantu mendeteksi keadaan saluran pernapasan?
3. Jelaskan beberapa kerugian merokok.

C Sistem Pernapasan pada Hewan

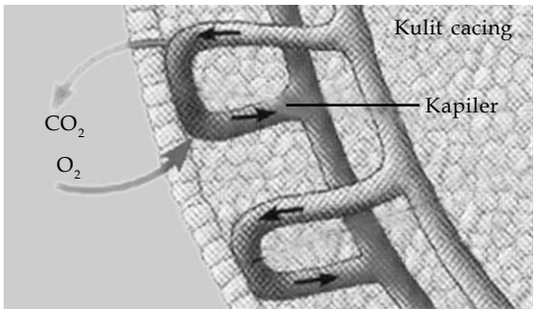
Pernapasan adalah pertukaran gas yang dibutuhkan untuk metabolisme dalam tubuh. Hewan memiliki alat-alat pernapasan yang berbeda-beda. Mammalia, Reptilia, dan Amphibia memiliki saluran pernapasan berupa paru-paru. Cacing (Annelida) dan Amphibia memiliki kulit yang berfungsi juga sebagai tempat pertukaran gas. Ikan mengambil oksigen yang berada di lingkungannya (air) dengan menggunakan sistem insang.

Sebagian besar Arthropoda, terutama serangga, telah memiliki sistem saluran pernapasan. Meskipun demikian, terdapat kelebihan dan kekurangan pada setiap mekanisme pernapasan yang dimiliki oleh setiap makhluk. Misalnya, katak yang memiliki dua jenis mekanisme respirasi, tetap tidak dapat berada lama di darat karena adanya ancaman dehidrasi.

Paru-paru tidak mampu mengikat udara yang terlarut dalam air, tetapi sistem pernapasan ini menguntungkan untuk hidup di daratan karena letaknya di dalam saluran pernapasan sehingga paru-paru terhindar dari penguapan air yang berlebihan. Berikut akan dibahas mengenai sistem pernapasan pada beberapa hewan.

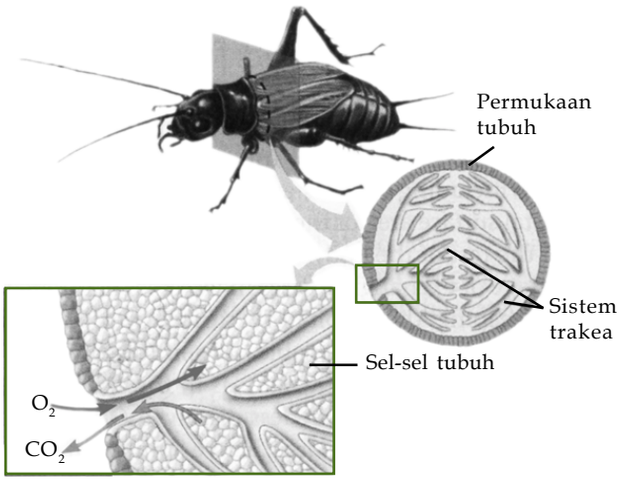
1. Cacing (Annelida)

Cacing menggunakan permukaan tubuhnya untuk bernapas. Hewan ini memanfaatkan permukaan kulitnya untuk bernapas. Oleh karena itu, kulit cacing tanah selalu basah untuk memudahkan terjadinya pertukaran udara. Di bawah permukaan kulitnya yang basah tersebut, ternyata terdapat kapiler-kapiler darah. Melalui kapiler ini, oksigen berdifusi masuk ke dalam kulit, lalu ditangkap dan diedarkan oleh sistem peredaran darah. Sebaliknya, karbon dioksida yang terkandung dalam darah dilepaskan dan berdifusi keluar tubuh.



Gambar 7.11
Cacing menggunakan seluruh permukaan tubuhnya untuk bernapas.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.12
Sistem pernapasan serangga disebut sistem trakea.

2. Serangga (Insecta)

Serangga adalah kelompok Arthropoda yang paling banyak jenisnya. Meskipun serangga memiliki sistem peredaran darah terbuka, namun sistem pernapasan serangga langsung mencapai jaringannya lewat saluran yang disebut **sistem trakea**.

Sistem trakea memiliki saluran-saluran tempat pertukaran udara yang bermuara di **stigma** atau **spirakel**, yaitu berupa lubang kecil yang berada di kedua tepi setiap ruas tubuh serangga. Spirakel memiliki bulu-bulu untuk menyaring kotoran. Spirakel juga memiliki katup. Dengan cara mengontraksikan otot-otot yang berhubungan dengan katup-katup tersebut, serangga dapat mengatur membuka dan menutupnya spirakel.

Dalam tubuh serangga, terdapat trakea yang memanjang di sepanjang tubuhnya. Trakea itu bercabang-cabang menjadi saluran-saluran udara yang sangat kecil yang disebut **trakeolus**. Trakeolus bersentuhan langsung dengan jaringan dalam tubuh serangga. Ujung trakeolus memiliki cairan. Pada cairan inilah, oksigen dalam udara yang masuk ke dalam sistem trakea, berdifusi masuk ke dalam sel-sel jaringannya. Sebaliknya, karbon dioksida juga keluar melalui trakeolus (Perhatikan **Gambar 7.12**).

Kata Kunci
- Sistem trakea
- Spirakel
- Trakeolus

Kegiatan 7.1

Kecepatan Pernapasan Serangga

Tujuan
Mengamati faktor yang memengaruhi laju pernapasan

Alat dan Bahan
Respirometer; timbangan; 2 ekor serangga (semut dan belalang atau serangga kecil lainnya); kristal KOH atau NaOH; tinta atau eosin; vaselin; dan kapas atau tisu.

Langkah Kerja
1. Lakukan kegiatan ini secara berkelompok menurut jenis hewan yang diamati. Timbanglah berat badan serangga yang Anda miliki. Catat berat setiap serangga.
2. Bungkuslah kristal KOH atau NaOH dengan kapas, lalu masukkan dalam tabung respirometer. Setelah itu, masukkan serangga yang telah ditimbang dalam respirometer. Oleskan vaselin pada sambungan respirometer.
3. Masukkan setetes eosin pada ujung respirometer. Amati dan catat perubahan kedudukan eosin pada pipa skala setiap 2 menit selama 10 menit.
4. Lakukan kegiatan tersebut pada serangga lainnya. Kemudian, catat hasilnya dalam tabel seperti berikut.

No.	Jenis Serangga	Berat	Kedudukan Eosin pada 2 Menit					Rata-rata
			I	II	III	IV	V	
1 2 3								

5. Diskusikan hasilnya bersama teman kelompok Anda, lalu buatlah kesimpulannya dalam suatu presentasi.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Serangga apakah yang paling berat dan Anda uji dalam kegiatan ini?
2. Bagimanakah hasil pengujian serangga paling berat dibandingkan hasil pengujian serangga lainnya?
3. Kesimpulan apakah yang Anda dapatkan setelah melakukan kegiatan ini?

3. Ikan (Pisces)

Insang adalah organ pernapasan utama pada ikan. Beberapa hewan lain juga memiliki insang untuk bernapas, di antaranya udang, kepiting, cacing laut, serta bintang laut.

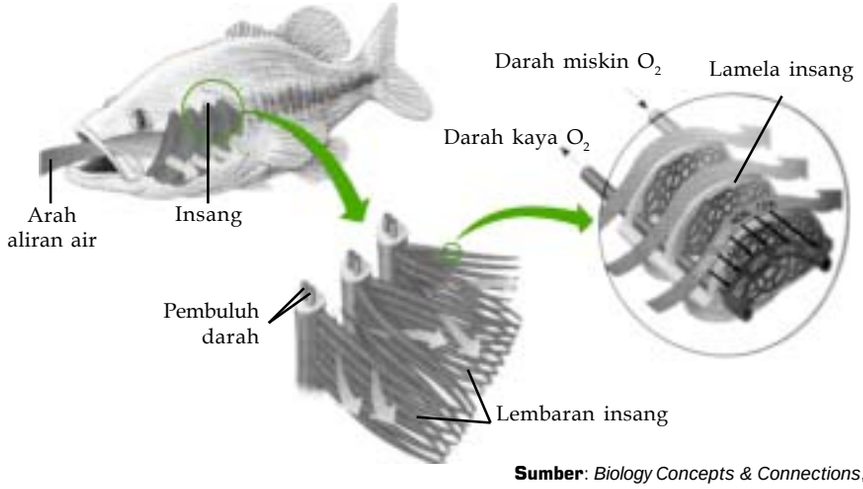
Air berperan sebagai media pernapasan. Oksigen yang terkandung di dalam air yang jumlahnya sangat sedikit, disaring oleh lembaran-lembaran insang. Namun, konsentrasi oksigen di dalam air dapat berubah sejalan dengan naiknya suhu dan salinitas air. Bahan-bahan pencemar organik yang diuraikan oleh bakteri dan jamur juga dapat mengurangi jumlah oksigen dalam air.

Lembaran-lembaran insang tersebut dipenuhi oleh pembuluh-pembuluh darah. Air mengalir melewati lembaran-lembaran insang tersebut sehingga oksigen yang terlarut di dalamnya dapat berdifusi masuk ke dalam pembuluh darah. Perhatikan **Gambar 7.13**.

Air masuk melalui mulut dan keluar melalui operkulum insang. Proses inspirasi terjadi ketika volume rongga mulut membesar sehingga tekanan di dalam rongga mulut meningkat dan air mengalir masuk ketika mulut terbuka. Air tertahan di dalam mulut karena selaput yang membatasi rongga mulut dan insang masih tertutup.

Kata Kunci

- Insang
- Operkulum



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.13
Proses pertukaran gas terjadi di permukaan insang.

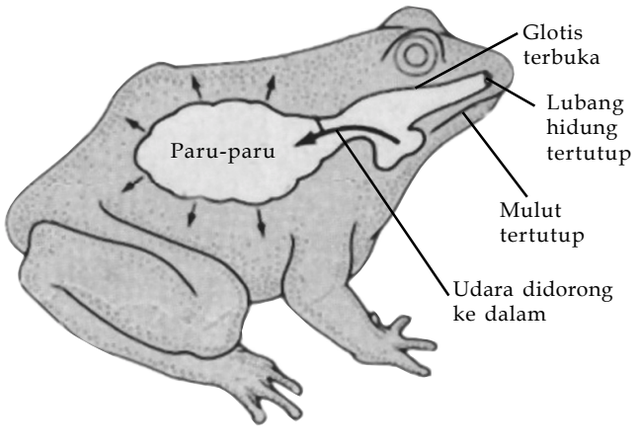
Ketika selaput terbuka, air mengalir melewati lamela insang. Pada saat itulah, terjadi proses pertukaran gas di permukaan insang. Darah melepaskan CO_2 ke dalam air dan mengikat O_2 yang terdapat dalam air.

Pada jenis-jenis ikan tertentu, seperti lele, mampu hidup di dalam air kotor. Insangnya memiliki perluasan berupa lipatan-lipatan (labirin) yang membentuk rongga. Rongga labirin dapat menyimpan oksigen sehingga ketika ikan tersebut berada di dalam air yang kotor atau bahkan dalam lumpur, ikan tersebut masih dapat bernapas.

4. Katak (Amphibia)

Sepasang paru-paru pada katak berbentuk seperti balon elastis tipis yang diliputi kapiler darah. Dinding bagian dalam paru-paru ini memiliki lipatan-lipatan yang berperan sebagai perluasan. Paru-paru ini dihubungkan dengan semacam bronkus pendek yang berhubungan dengan rongga mulut.

Katak tidak memiliki tulang rusuk dan diafragma. Mekanisme inspirasi dan ekspirasi terjadi karena kontraksi atau relaksasinya otot-otot rahang bawah dan otot perut (**Gambar 7.14**).



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 7.14
Katak tidak memiliki tulang rusuk dan diagfragma. Mekanisme inspirasi dan ekspirasi terjadi karena kontraksi otot-otot rahang bawah dan otot perut.

Rongga mulut membesar ketika otot rahang bawah (submaksilaris) mengendur, dan otot sternohioideus di bagian bawah rahang berkontraksi. Hal ini menyebabkan peningkatan tekanan dalam rongga mulut sehingga terjadi aliran udara melalui rongga mulut dan *koane*. Ketika otot submaksilaris dan otot *genio hioideus* berkontraksi, rongga mulut mengecil. Koane menutup dan celah faring membuka sehingga udara terdorong masuk ke dalam paru-paru. Kemudian, di dalam paru-paru terjadi pertukaran gas.

Pada proses ekspirasi, otot submaksilaris kembali berelaksasi dan otot sternohioideus serta otot-otot perut berkontrasi sehingga menekan paru-paru dan mendorong udara kaya CO_2 keluar rongga mulut. Segera setelah celah faring menutup dan koane membuka, otot submaksilaris dan otot geniohioideus berkontraksi sehingga rongga mulut mengecil. Akibatnya, udara yang kaya CO_2 tertekan keluar.

Pernapasan dengan menggunakan kulit dapat berlangsung ketika berada di darat maupun di air. Kulit katak tipis dengan lendir yang dihasilkan oleh kelenjar pada kulitnya. Selain itu, memiliki banyak kapiler yang merupakan perkembangan dari sistem pernapasan menggunakan insang luar.

Pada saat berada dalam stadium larva, organ yang dimiliki bukanlah paru-paru, tetapi insang luar. Insang luar berupa lipatan-lipatan kulit yang mengandung banyak pembuluh darah. Pada salamander, salah satu jenis Amphibia, insang luar ini tetap ada hingga hewan tersebut dewasa.

5. Burung (Aves)

Pada prinsipnya, sistem respirasi burung mirip dengan sistem respirasi pada Mammalia. Perbedaannya, burung memiliki 6 pasang kantung udara (*saccus pneumatikus*). Kantung udara ini terbentuk sebagai semacam perluasan dari paru-paru. Namun, pertukaran gas tetap terjadi di dalam paru-paru, sedangkan kantung udara berfungsi menampung udara cadangan.

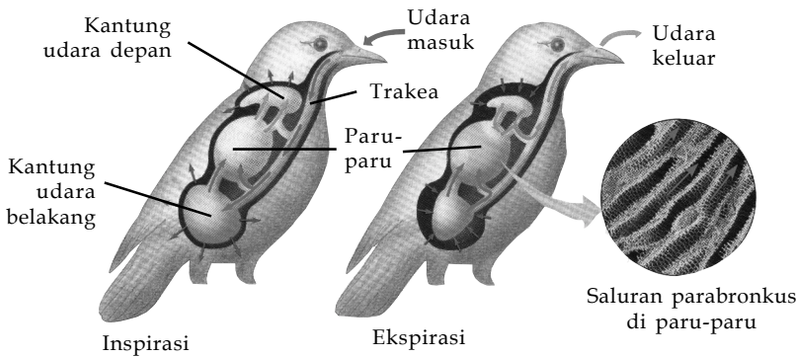
Berdasarkan letaknya terhadap paru-paru, beberapa kantung udara disebut kantung udara posterior (di belakang paru-paru, meliputi dua pasang kantung udara di perut) dan anterior (di depan paru-paru, meliputi sepasang di rongga dada dan sepasang di pangkal leher). Kantung udara anterior di antaranya terletak di pangkal leher, rongga dada (di antara tulang selangka), dan di antara tulang korakoid. Kantung udara posterior di antaranya terletak di pangkal leher di bawah sayap (ketiak), dan dua pasang di rongga perut.

Kantung-kantung udara ini berfungsi:

a. membantu pernapasan, terutama pada saat terbang;
b. membantu memperkeras suara saat berkicau;

c. mencegah hilangnya panas tubuh yang terlalu besar dan melindungi dari kedinginan;
d. memperbesar atau memperkecil berat jenis tubuh burung perenang pada waktu burung tersebut berenang.

Paru-paru burung berbeda dengan paru-paru manusia. Selain ukurannya yang cukup kecil jika dibandingkan dengan ukuran tubuhnya, struktur bagian dalamnya pun berbeda. Alveoli yang merupakan bagian ujung dalam saluran pernapasan manusia, digantikan oleh saluran-saluran kecil yang disebut **parabronkus**. Saluran-saluran kecil tersebut dibungkus oleh pembuluh-pembuluh darah. Pertukaran udara terjadi di dalam saluran parabronkus.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.15
Organ respirasi pada burung terdapat perbedaan antara fase inspirasi dan ekspirasi pada bagian paru-paru.
Apa perbedaannya dengan paru-paru Mammalia?

Pada saat burung tidak terbang, proses inspirasi terjadi dengan memperbesar rongga dada. Pembesaran rongga dada diikuti dengan aliran udara dari luar tubuh melewati hidung, faring, trakea, dan bronkus. Sebagian besar udara diteruskan ke kantung-kantung udara posterior, sedangkan sebagian lagi langsung melewati paru-paru.

Saat rongga dada mengecil, terjadi ekspirasi. Udara dari kantung udara posterior mengalir ke kantung udara interior, melewati parabronkus. Dalam parabronkus terjadi pertukaran gas. Udara kaya CO_2 ditampung sementara dalam kantung-kantung udara anterior.

Kata Kunci
Kantung udara

Saat inspirasi berikutnya, udara mengalir lagi mengisi kantung udara posterior dan paru-paru. Ketika ekspirasi, udara mengalir melewati paru-paru mengisi kantung udara anterior, sedangkan udara hasil pernapasan pertama dikeluarkan. Secara kontinu, paru-paru burung dilewati udara pada saat inspirasi dan ekspirasi.

Pada saat burung terbang, mekanisme perbesaran rongga dada tidak dapat dilakukan karena tulang dada dan tulang rusuk merupakan tempat perlekatan untuk otot-otot terbang.

Aliran udara ke dalam paru-paru terjadi ketika burung mengepakkan sayap. Pada saat sayap diangkat ke atas, kantung udara di ketiak mengembang sehingga terjadi proses inspirasi. Ketika sayap turun, kantung udara di antara tulang korakoid mengembang dan kantung udara ketiak terjepit sehingga udara mengalir ke dalam kantung udara di antara tulang korakoid melewati paru-paru. Saat itulah terjadi proses pertukaran gas.

Soal Penguasaan *Materi* 7.3

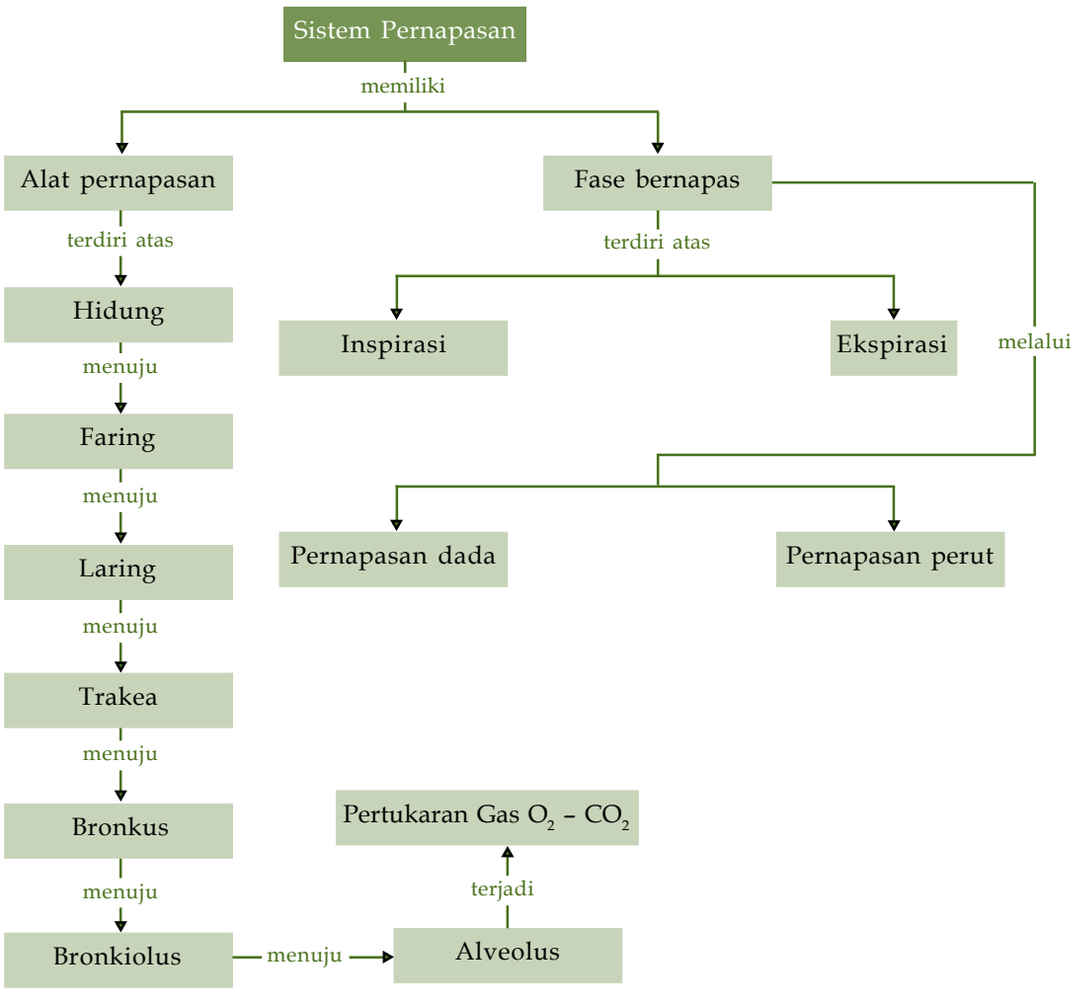
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan antara struktur dan fungsi organ pernapasan pada manusia dan ikan.
2. Apa fungsi kantung-kantung udara pada burung?
3. Jelaskan fungsi kulit bagi Amphibia.

Rangkuman

1. Sistem pernapasan pada manusia disusun oleh rongga hidung, faring, laring, trakea, bronkus, dan paru-paru. Di dalam paru-paru kanan dan kiri bronkus bercabang menjadi bronkiolus. Bronkiolus ini bercabang hingga alveolus.
2. Pernapasan pada manusia dapat dibedakan menjadi dua tahap, yaitu inspirasi dan ekspirasi. Inspirasi merupakan proses masuknya udara ke dalam paru-paru, sedangkan ekspirasi merupakan proses keluarnya udara dari paru-paru.
3. Pertukaran O_2 dan CO_2 yang terjadi di jaringan tubuh dan paru-paru terjadi secara difusi dan bergantung pada perbedaan tekanan.
4. Volume udara di dalam paru-paru dapat dibedakan menjadi volume tidal, volume komplementer, volume suplementer, volume residual, dan kapasitas vital paru-paru.
5. Cacing menggunakan seluruh permukaan tubuhnya untuk bernapas. Serangga sudah memiliki sistem pernapasan yang disebut sistem trakea. Ikan bernapas menggunakan sistem insang. Selain ikan, hewan lain seperti udang, kepiting, cacing laut, serta bintang laut bernapas menggunakan insang. Katak dewasa menggunakan paru-paru dan kulit untuk bernapas. Adapun larva katak (berudu) menggunakan insang luar. Pada salamander, insang luar tetap ada hingga dewasa. Burung memiliki paru-paru yang dibantu oleh kantung-kantung udara.

Peta Konsep



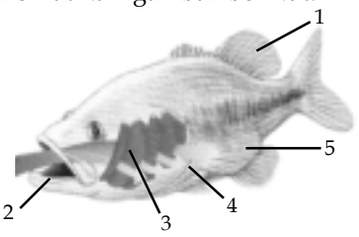
Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Sistem Pernapasan, Anda dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit yang dapat terjadi pada sistem pernapasan pada manusia dan hewan. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan pada sistem pernapasan, Anda belum menguasai materi bab Sistem Pernapasan dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

Evaluasi Materi Bab 7

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Pernapasan seluler terjadi di ....
   a. paru-paru
   b. darah
   c. kulit
   d. sel
   e. mitokondria
2. Perbedaan antara pernapasan eksternal dengan pernapasan internal adalah ....
   a. pernapasan eksternal adalah pertukaran O_2 dan CO_2 di paru-paru, pernapasan internal pertukaran O_2 dan CO_2 di sel-sel tubuh
   b. pernapasan eksternal terjadi pada sel tubuh, pernapasan internal terjadi di paru-paru
   c. pernapasan eksternal ialah pertukaran O_2 dan CO_2 di arteri, pernapasan internal pertukaran O_2 dan CO_2 di vena
   d. pernapasan eksternal adalah pertukaran O_2 dan CO_2 di dalam pembuluh darah, pernapasan internal pertukaran O_2 dan CO_2 di paru-paru
   e. pernapasan eksternal terjadi pertukaran udara pada hidung dan mulut, pernapasan internal terjadi pertukaran O_2 dan CO_2 di paru-paru
3. Sistem yang berhubungan langsung dengan sistem pernapasan adalah sistem ....
   a. pencernaan
   b. ekskresi
   c. sirkulasi
   d. otot
   e. regulasi
4. Sewaktu mengeluarkan napas, otot tulang rusuk berelaksasi, tulang dada turun sehingga rongga dada mengecil, berarti tekanan udara membesar dan udara keluar dari paru-paru. Pernapasan ini disebut ....
   a. pernapasan dalam
   b. pernapasan luar dan dalam
   c. pernapasan seluler
   d. pernapasan perut
   e. pernapasan dada
5. Energi yang dihasilkan dari pernapasan seluler adalah berupa ....
   a. ATP
   b. penarikan ion H^+ dari substrat
   c. enzim
   d. glikogen
   e. mitokondria
6. Bagian otak yang berfungsi mengatur pernapasan adalah ....
   a. pons varoli
   b. saraf sumsum tulang belakang
   c. medula oblongata
   d. sistem saraf
   e. medula oblongata dan pons varoli
7. Struktur organ pernapasan yang merupakan percabangan saluran menuju paru-paru kanan dan kiri adalah ....
   a. bronkus
   b. bronkiolus
   c. alveoli
   d. trakea
   e. faring
8. Pada serangga, pertukaran udara di sistem trakea bermuara di ....
   a. alveolus
   b. bronkiolus
   c. trakealus
   d. stigma
   e. kulitnya
9. Perhatikan gambar berikut.



   Pada ikan, oksigen untuk bernapas didapatkan dari air, oksigen yang terkandung dalam air akan disaring oleh bagian nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
10. Sistem pernapasan pada manusia disusun oleh beberapa organ, bagian yang paling efektif untuk terjadi difusi oksigen dan karbon dioksida adalah ....

a. rongga hidung
b. laring
c. pleura
d. alveolus
e. trakeolus

Untuk soal nomor 11 hingga nomor 12, perhatikan daftar alat-alat pernapasan berikut.

1. pulmo
2. alveolus
3. bronkiolus
4. trakea
5. bronkus

11. Bagian yang terdapat dalam paru-paru adalah ....
    a. 1 dan 2
    b. 2 dan 3
    c. 1 dan 3
    d. 3 dan 4
    e. 4 dan 5
12. Urutan masuknya udara ke paru-paru adalah ....
    a. 4 - 5 - 3 - 2
    b. 4 - 3 - 5 - 2
    c. 1 - 2 - 3 - 4
    d. 4 - 5 - 2 - 1
    e. 5 - 3 - 2 - 1
13. Penyakit pernapasan yang disebabkan oleh *Coronavirus* adalah ....
    a. faringitis
    b. bronkitis
    c. SARS
    d. asma
    e. emfisema
14. Kelainan berupa pembengkakan pada rongga hidung disebut ....
    a. asam
    b. sinusitis
    c. emfisema
    d. bronkitis
    e. difteri
15. Alat yang berfungsi untuk mengetahui keadaan saluran pernapasan secara rinci tanpa melakukan operasi adalah ....
    a. PSA (*pulmonary sound analyzer*)
    b. stetoskop
    c. robot RONAF
    d. tabung oksigen
    e. bronkoskop
16. Bagian sistem pernapasan yang berperan dalam pertukaran gas adalah ....
    a. laring
    b. bronki
    c. alveoli
    d. trakea
    e. faring
17. Bagaimana oksigen diangkut dalam darah?
    a. Terlarut dalam plasma
    b. Terikat pada hemoglobin
    c. Dalam bentuk CO_2
    d. Sebagai bikarbonat
    e. Terlarut dalam air
18. Pada sistem pernapasan burung terdapat kantung udara. Pada waktu burung menarik napas, udara akan mengalir melalui ....
    a. hidung, trakea, paru-paru, kantung udara
    b. hidung, trakea, kantung udara, paru-paru
    c. hidung, kantung udara, paru-paru, trakea
    d. hidung, kantung udara, trakea, paru-paru
    e. hidung, paru-paru, trakea, kantung udara
19. Hewan yang menggunakan sistem trakea sebagai sistem pernapasannya adalah ....
    a. Mollusca
    b. Insecta
    c. cacing
    d. siput
    e. ikan
20. Pasangan berikut yang *tidak* benar adalah ....
    a. ikan bernapas dengan insang
    b. burung bernapas dengan sistem parabronkus
    c. Mammalia bernapas dengan paru-paru
    d. ular bernapas dengan kulit yang lembap
    e. Insecta bernapas dengan sistem trakea

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan antara fase inspirasi dan ekspirasi pada pernapasan dada? Jelaskan.
2. Apakah yang menyebabkan terjadinya pertukaran gas antara CO_2 dan O_2 di jaringan tubuh dan paru-paru?
3. Pada kasus korban tenggelam, seringkali disebutkan bahwa paru-parunya terisi air. Mengapa korban meninggal dunia jika paru-parunya terisi air?
4. Sebutkan dan jelaskan tiga kelainan atau penyakit pada sistem pernapasan.
5. Jelaskan perbedaan organ pernapasan antara manusia dan burung.

Soal Tantangan

Sebagian besar ahli kesehatan sependapat bahwa merokok tidak menguntungkan terhadap kesehatan. Kegiatan merokok justru membahayakan kesehatan, seperti kanker paru-paru, jantung koroner, impotensi, keguguran, dan masih banyak penyakit lainnya yang disebabkan oleh kandungan rokok. Di kemasan rokok sudah tertera jelas bahwa merokok dapat membahayakan kesehatan. Sekitar 90% penderita kanker paru-paru di Indonesia disebabkan oleh merokok. Bagaimanakah usaha Anda sebagai pelajar agar setiap orang mengetahui bahwa kegiatan merokok selain membahayakan kesehatan dirinya juga dapat mengganggu kesehatan orang lain yang ada di sekitarnya?

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Bab 8
Sistem Ekskresi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menjelaskan sistem ekskresi pada manusia. Syarat bagi Anda untuk menjelaskannya adalah mampu memahami organ-organ, proses, serta kelainan pada sistem ekskresi manusia.

Setiap hari kita menghasilkan urine 1–1,5 liter. Sementara itu, ikan air tawar mengeluarkan urine setara dengan total volume darahnya setiap 2 jam sampai 3 jam. Adapun kanguru mengeluarkan urine hanya beberapa mililiter urine setiap harinya. Apa yang membuat volume urine yang dikeluarkan masing-masing makhluk hidup berbeda?

Selain urine, manusia pun mengeluarkan keringat dan uap air. Di manakah keringat dibentuk? Melalui apakah uap air dikeluarkan? Kenapa kita harus membuang zat-zat tertentu dari tubuh?

Semua jawaban pertanyaan-pertanyaan di atas dapat Anda temukan jawabannya setelah mempelajari bab berikut. Tanyakanlah kepada guru apabila ada hal-hal yang tidak Anda pahami. Selain itu, Anda akan menemukan keajaiban-keajaiban tubuh manusia yang merupakan anugerah Tuhan Yang Maha Esa.

A. Sistem Ekskresi pada Manusia
B. Gangguan pada Sistem Ekskresi
C. Sistem Ekskresi pada Hewan

Soal *Prameteri*

1. Apakah yang dimaksud dengan ekskresi?
2. Apa saja alat-alat ekskresi pada manusia?

A Sistem Ekskresi pada Manusia

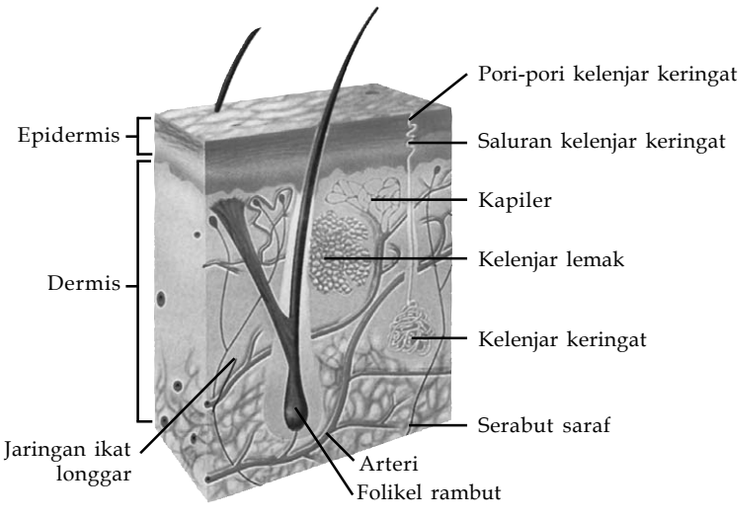
Di dalam tubuh manusia terjadi metabolisme. Metabolisme merupakan proses molekul suatu zat dalam sel dari bentuk sederhana ke bentuk kompleks atau sebaliknya. Metabolisme tidak menghasilkan bahan-bahan yang bermanfaat bagi tubuh. Jika bahan-bahan tersebut terus berada di dalam tubuh kita, akan terjadi ketidakseimbangan kimia di dalam tubuh kita. Ketidakseimbangan tersebut akan mengganggu proses-proses metabolisme yang lain.

Proses pengeluaran bahan-bahan sisa metabolisme ini disebut **ekskresi**. Ekskresi membantu menjaga homeostasis dengan mempertahankan lingkungan dalam tubuh agar tetap stabil dan bebas dari materi-materi yang membahayakan. Bahan-bahan hasil metabolisme yang harus dikeluarkan dari dalam tubuh di antaranya adalah karbon dioksida, kelebihan air, dan urea. Karbon dioksida dihasilkan di antaranya dari proses respirasi seluler, sedangkan urea adalah zat kimia yang berasal dari hasil pemecahan protein. Alat-alat ekskresi yang ada pada manusia adalah **kulit**, **paru-paru**, **hati**, dan **ginjal**.

1. Kulit

Sebagai alat ekskresi, kulit mengeluarkan keringat. Keringat terdiri atas air dan garam-garam mineral (terutama NaCl, itu sebabnya keringat terasa asin), serta sedikit sampah buangan, seperti urea, asam urat, dan amonia. Keringat dikeluarkan tubuh dalam jumlah besar ketika melakukan kegiatan berat dan berada di lingkungan yang panas. Pengeluaran keringat juga dipengaruhi oleh makanan, keadaan kesehatan, dan emosi.

Kulit dibagi menjadi dua lapisan utama, yaitu **epidermis** dan **dermis** (**Gambar 8.1**). Epidermis merupakan lapisan kulit paling luar dan lebih tipis dibandingkan lapisan dermis. Epidermis terdiri atas beberapa lapisan, yaitu **stratum korneum** (lapisan tanduk), **stratum lusidum**, **stratum granulosum**, dan **stratum germinativum** (Kurnadi, 1995 : 234).

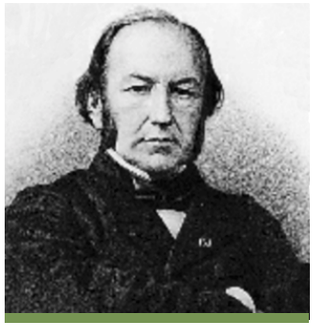


Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 8.1
Sayatan melintang pada kulit manusia. Pada lapisan dermis terdapat kelenjar keringat dan kelenjar lemak.

Stratum korneum adalah lapisan sel-sel epidermis (sel epitel selapis pipih) yang mati dan menumpuk menjadi berlapis-lapis. **Stratum lusidum** merupakan lapisan bening di bawah stratum korneum. **Stratum granulosum** adalah lapisan sel yang mengandung pigmen melanin yang berpengaruh terhadap warna kulit. **Stratum germinativum** adalah lapisan yang membelah terus-menerus dan mendesak lapisan sel lama ke atas, serta menggantikan sel-sel di lapisan stratum korneum.

Tokoh **Biologi**



Claude Bernard (1813 – 1878)

Claude Bernard merupakan seorang ahli fisiologi kelahiran Perancis. Ia meneliti cara tubuh mempertahankan keseimbangan konsentrasi cairan tubuh. Hal tersebut merupakan dasar homeostasis.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Lapisan kulit bagian bawah adalah dermis. Di lapisan dermis terdapat serabut saraf dan pembuluh darah. Selain itu, di lapisan dermis terdapat struktur lain, seperti kelenjar keringat, rambut, dan kelenjar minyak. Minyak yang dihasilkan oleh kelenjar di sekitar folikel rambut berfungsi menjaga permukaan kulit agar tetap lembap.

Kelenjar keringat dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian pangkal berbentuk gulungan anyaman yang terletak di dermis, dan bagian saluran yang berujung di permukaan kulit (epidermis). Bagian pangkal yang bergulung tersebut dikelilingi oleh kapiler darah. Melalui kapiler darah tersebut kelenjar keringat menyerap cairan di jaringan. Cairan tersebut kemudian dikeluarkan sebagai keringat.

Ekskresi keringat berkaitan juga dengan upaya tubuh dalam menjaga kestabilan suhu tubuh. Ketika suhu tubuh naik, suhu darah akan meningkat dan merangsang kelenjar hipotalamus di otak. Hormon yang disekresikan kelenjar ini masuk ke darah dan merangsang pembuluh darah untuk melebar sehingga kecepatan aliran darah menurun dan kelenjar keringat memproduksi keringat. Dengan demikian, suhu tubuh akan menurun.

Wawasan Biologi

Termoregulasi merupakan pengaturan suhu tubuh. Hewan-hewan umumnya mampu melakukannya. Pada hewan endoterm, seperti manusia yang mampu menghasilkan panas sendiri, pengaturan suhu tubuh dapat dilakukan dengan cara berkeringat jika panas dan menggigil jika tubuh kedinginan.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

2. Paru-paru

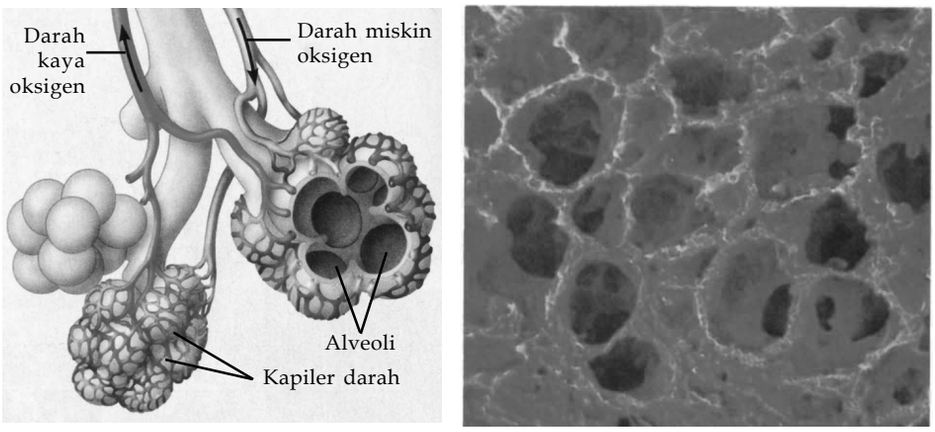
Paru-paru berperan dalam proses ekskresi karena paru-paru mengeluarkan gas karbon dioksida dan air melalui proses respirasi.

Dalam paru-paru, terdapat alveoli tempat terjadinya pertukaran gas antara oksigen dan karbon dioksida. Dinding alveoli dan kapiler sangat tipis dan basah sehingga memudahkan pertukaran gas (**Gambar 8.2**).

Setelah udara masuk ke alveolus, oksigen masuk melalui dinding alveolus dan segera memasuki dinding kapiler darah. Sebaliknya, karbon dioksida dan air terlepas dari darah dan masuk ke alveoli untuk selanjutnya dikeluarkan dari dalam tubuh.

Kata Kunci

- Alveoli
- Bilirubin
- Ginjal
- Kulit
- Paru-paru



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 8.2

Struktur alveoli. Di sinilah terjadi pertukaran gas O_2 dan CO_2.

3. Hati

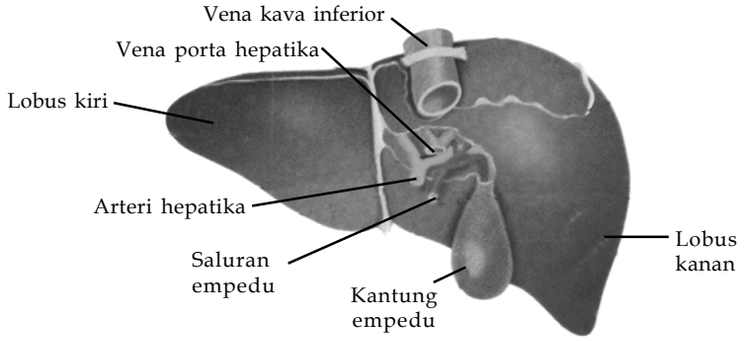
Hati termasuk dalam sistem ekskresi karena hati mengeluarkan empedu (**Gambar 8.3**). Setiap hari, hati menyekresi sekitar 600–1.000 mL cairan empedu. Cairan empedu terdiri atas kolesterol, lemak, hormon pelarut lemak, dan lesitin. Fungsi cairan empedu, di antaranya mengemulsi lemak dalam usus halus. Cairan empedu tersebut disimpan dalam kantung empedu untuk disalurkan ke dalam usus halus.

Sebagai bagian dari sistem ekskresi, hati menghasilkan produk ekskretori, seperti zat pewarna cairan empedu (*bile pigmen*), yaitu **bilirubin**. Bilirubin berasal dari pemecahan hemoglobin darah yang berlangsung dalam hati.

Sel darah merah yang telah rusak dan mati dirombak oleh hati melalui sel-sel khusus yang disebut **histiosit**. Hemoglobin dalam sel darah merah dipecah menjadi hemin, globin, dan zat besi. Globin dan zat besi disimpan kembali di hati untuk selanjutnya dikembalikan ke limfa dan sumsum tulang belakang dan digunakan dalam pembentukan hemoglobin baru. Hemin digunakan sebagai zat warna empedu yang disebut bilirubin. Bilirubin berwarna hijau biru. Zat tersebut selanjutnya disalurkan ke usus dua belas jari dan dioksidasi menjadi urobilin yang berwarna kuning kecokelatan. Zat warna inilah yang memberi warna pada urine dan feses.

Kata Kunci

- Histiosit
- Nefron



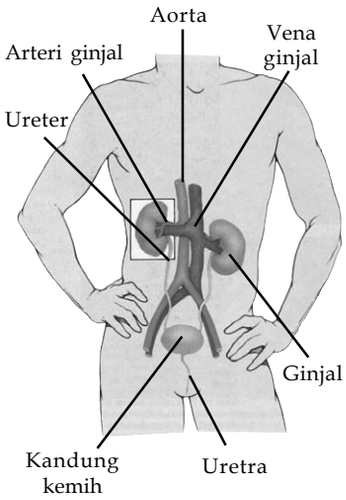
Sumber: *Human Anatomy*, 1993

Gambar 8.3
Hati termasuk organ pada sistem ekskresi karena mengeluarkan cairan empedu.
Di manakah letak hati manusia?

4. Ginjal

Ginjal adalah organ utama dalam sistem ekskresi. Ginjal mengeluarkan urea, kelebihan air, dan material sampah lainnya dalam bentuk urine. Urine dialirkan melalui ureter menuju kantung urine. Keinginan untuk mengeluarkan urine muncul ketika kantung urine terisi penuh. Urine dikeluarkan dari tubuh melalui uretra.

Ginjal manusia berbentuk seperti kacang dengan panjang kira-kira 13 cm, lebar 8 cm, dan tebal 2,5 cm. Ginjal berukuran lebih kurang seukuran dengan kepalan tangan Anda. Ukuran organ tersebut memang kecil, tetapi mempunyai fungsi dan efektivitas kerja yang sangat mengagumkan. Manusia mempunyai dua buah ginjal yang terletak di sebelah kanan dan kiri tubuhnya (**Gambar 8.4**). Dari bagian luar ke dalam, ginjal terdiri atas tiga lapisan, yaitu **korteks renalis** (korteks), **medula renalis** (medula) dan **pelvis renalis**.



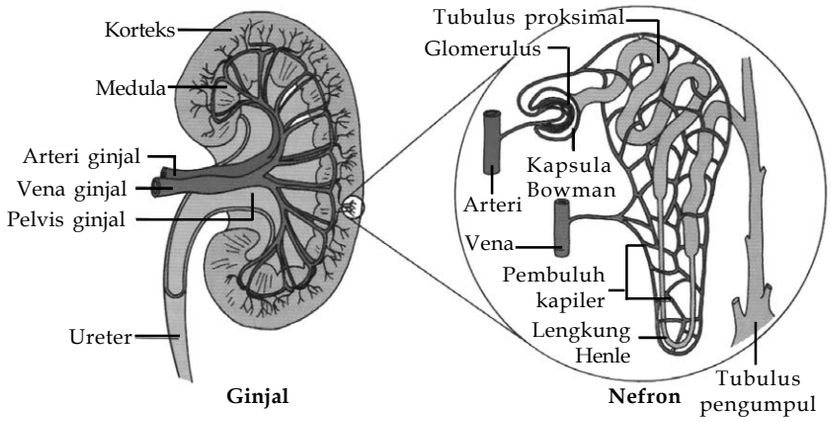
Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 8.4
Manusia memiliki 2 buah ginjal, yaitu ginjal kanan dan ginjal kiri.

Unit fungsional terkecil dari ginjal disebut **nefron**. Nefron terletak di korteks renalis dan medula renalis. Nefron terdiri atas tiga bagian utama, yaitu **glomerulus** (tempat darah disaring), **kapsula Bowman**, dua buah tubulus panjang. Tubulus tersebut dibagi menjadi **tubulus kontortus proksimal**, **lengkung Henle**, **tubulus kontortus distal**, dan yang terakhir adalah **tubulus pengumpul** (**Gambar 8.5**).

Glomerulus adalah untaian pembuluh kapiler yang dinding-dindingnya bertautan dengan dinding kapsula Bowman. Kapiler yang membentuk glomerulus adalah percabangan dari arteriol aferen.

Kapsula Bowman sendiri berhubungan dengan tubulus kontortus proksimal, lengkung Henle, dan tubulus kontortus distal hingga tubulus pengumpul.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 8.5
Sayatan melintang ginjal, menunjukkan struktur bagian dalam ginjal.

Urine dibentuk dengan serangkaian proses yang rumit dan sangat efektif. Secara umum, terdapat tiga peristiwa penting dalam pembentukan urine, yaitu **penyaringan** (**filtrasi**), **penyerapan** (**reabsorpsi**), dan **pengumpulan** (**augmentasi**).

a. Penyaringan Darah (Filtrasi)

Proses filtrasi terjadi di antara glomerulus dan kapsula Bowman. Ketika darah dari arteriol aferen memasuki glomerulus, tekanan darah menjadi tinggi. Hal tersebut menyebabkan air dan molekul-molekul yang tidak larut dalam darah melewati dinding kapiler pada glomerulus. Kemudian, air dan molekul-molekul memasuki lempeng filtrasi dari kapsula Bowman. Hasil filtrasi ini disebut **filtrat glomerulus** atau **urine primer**. Filtrat ini akan dipindahkan melalui tubulus kontortus proksimal, lengkung Henle, tubulus kontortus distal, kemudian menuju tubulus pengumpul.

Kata Kunci
- Augmentasi
- Filtrasi
- Reabsorpsi
- Urine primer
- Urine sekunder

b. Penyerapan Kembali (Reabsorpsi)

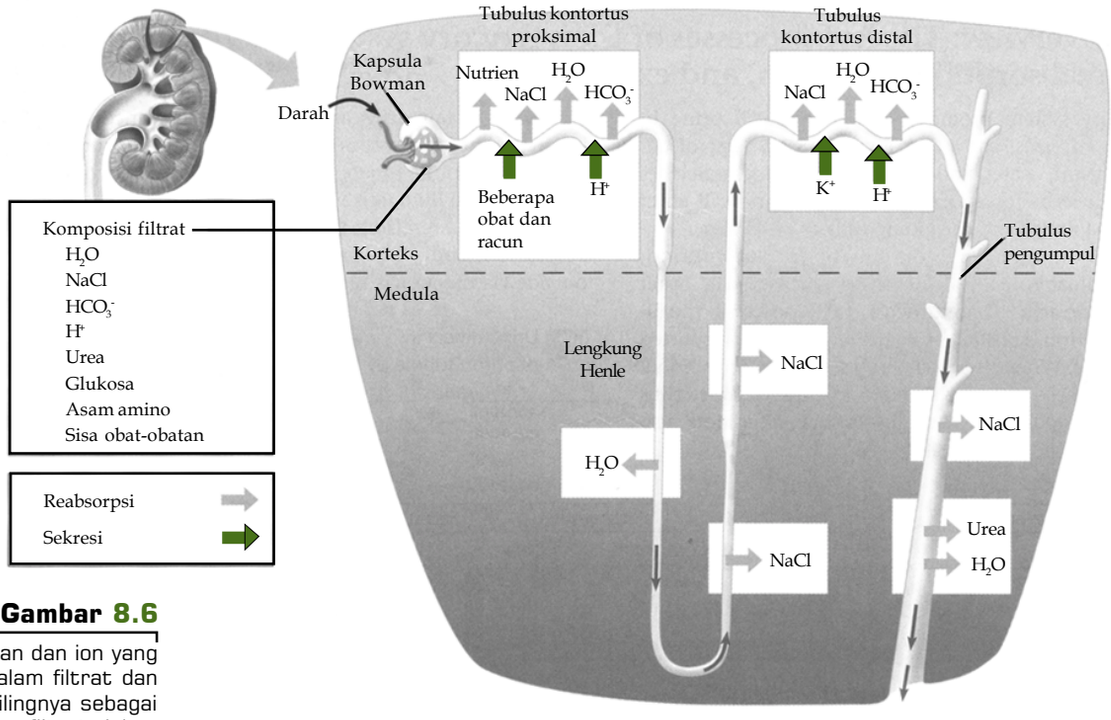
Ketika filtrat dipindahkan, darah di arteriol eferen glomerulus menjadi sangat pekat. Hal tersebut terjadi karena hilangnya begitu banyak air. Selain itu, filtrasi mengandung substansi-substansi besar yang tidak dapat melewati dinding kapiler glomerulus, seperti sel darah, protein-protein besar, dan kepingan-kepingan lemak.

Sementara itu, urine primer yang dihasilkan dari kapsula Bowman, memasuki tubulus kontortus proksimal. Di titik pertautan antara kapiler-kapiler yang melingkupi tubulus, diserap glukosa dan asam amino serta ion Na^+.

Urine primer yang memasuki lengkung Henle telah lebih isotonik dengan darah di kapiler. Pada lengkung Henle terjadi penyerapan garam NaCl dan air.

Penyerapan berlanjut di tubulus kontortus distal. Di sini terjadi penyerapan urea, kreatinin, bahan obat-obatan, H^+, dan NH_4^-. Sementara itu, garam NaCl dan air serta ion HCO_3^- kembali diserap. Perhatikan **Gambar 8.6**.

Urine yang dihasilkan dari tubulus kontortus distal, disebut **urine sekunder**. Hasil reabsorpsi ini mengandung air, garam, urea, dan pigmen empedu yang memberikan bau dan warna pada urine.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 8.6

Pergerakan cairan dan ion yang terjadi dalam filtrat dan lingkungan sekelilingnya sebagai perpindahan filtrat dalam nefron.

Di bagian manakah reabsorpsi banyak ter adi?

c. Pengumpulan (Augmentasi)

Urine sekunder dari tubulus kontortus distal akan memasuki tubulus pengumpul. Di tubulus ini, masih terjadi penyerapan kembali air, garam NaCl, dan urea sehingga terbentuk urine yang harus dibuang dari tubuh.

Dari tubulus pengumpul, urine memasuki pelvis renalis, lalu mengalir menuju ureter menuju kandung kemih (vesika urinaria). Ketika kandung kemih penuh, orang akan merasakan keinginan untuk buang air kecil.

Beberapa hal yang memengaruhi volume urine, di antaranya zat-zat diuretik, suhu, konsentrasi darah, dan emosi. Jika sering mengonsumsi kopi dan teh, zat diuretik (kafein) yang dikandungnya akan menghambat reabsorpsi air sehingga volume urine meningkat.

Pada saat terjadi peningkatan suhu, kapiler di kulit melebar dan air berdifusi keluar serta kelenjar keringat menjadi aktif. Saat volume air turun, penyerapan air di ginjal berkurang sehingga volume urine menurun. Begitu pula halnya ketika konsentrasi darah meningkat, atau ketika darah menjadi lebih cair karena banyak mengonsumsi cairan. Emosi tertentu merangsang peningkatan atau pengurangan volume urine, contohnya orang menjadi lebih sering buang air kecil pada saat gugup, tegang, atau takut.

Kegiatan 8.1

Uji Glukosa dalam Urine

Tujuan

Menguji adanya kandungan glukosa dalam urine

Alat dan Bahan

Dua buah tabung reaksi, gelas kimia 250 mL, kaki tiga, pemanas spirtus, air, dan larutan Benedict

Langkah Kerja

1. Masukkan 5 mL–6 mL larutan Benedict ke dalam 2 tabung reaksi. Masukkan tabung reaksi tersebut dalam gelas kimia berisi air, lalu panaskan gelas kimia berisi air menggunakan kaki tiga (tripod) dan pemanas spiritus. Panaskan selama sekitar 10 menit.
2. Masukkan 8–10 tetes urine dalam tabung reaksi pertama dan 8–10 tetes air gula pada tabung reaksi kedua. Biarkan selama beberapa menit dalam penangas.
3. Diskusikan hasil pengamatan Anda bersama kelompok.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Apakah yang terjadi setelah urine dan air gula dimasukkan dalam tabung reaksi yang dipanaskan?
2. Jika terjadi perubahan warna, menunjukkan apakah hal tersebut?
3. Apakah urine normal mengandung gula? Jika mengandung gula, bagian ginjal saluran apakah yang terganggu kerjanya?

Soal Penguasaan *Materi* 8.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan, fungsi sistem ekskresi pada manusia.
2. Jelaskan proses pembentukan urine.
3. Mengapa paru-paru, hati, dan kulit termasuk sistem ekskresi manusia?

B Gangguan pada Sistem Ekskresi

Kata Kunci

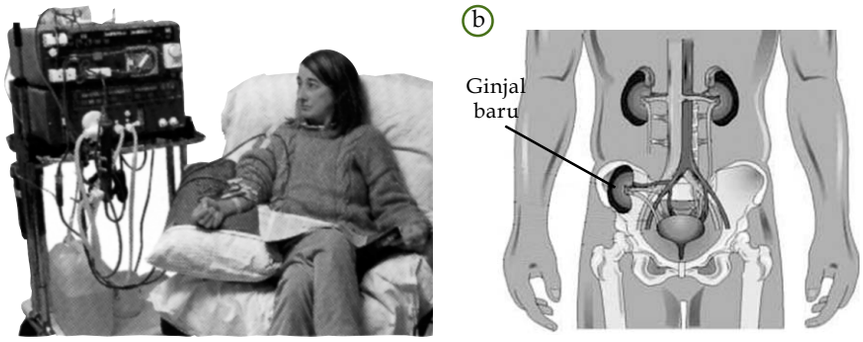
- Batu ginjal
- Gagal ginjal
- Glomerulonefritis
- Hematuria
- Sistilis

Gangguan pada sistem ekskresi yang umum terjadi antara lain sebagai berikut.

1. **Sistitis** (*Cystitis*) adalah peradangan yang terjadi di kantung urinaria. Biasanya, terjadi karena infeksi oleh bakteri yang masuk ke dalam tubuh.
2. **Hematuria**, terjadi ketika ditemukan eritrosit dalam urine. Penyebabnya bermacam-macam, seperti adanya batu dalam ginjal, tumor di renal pelvis, ureter, kandung kemih, kelenjar prostat atau uretra.
3. **Glomerulonefritis** adalah peradangan yang terjadi di glomerulus sehingga proses filtrasi darah terganggu.
4. **Batu ginjal** adalah adanya objek keras yang ditemukan di pelvis renalis ginjal. Komposisi batu ginjal adalah asam urat, kalsium oksalat, dan kalsium fosfat. Batu ginjal terjadi karena terlalu banyak mengonsumsi garam mineral, tetapi sedikit mengonsumsi air. Batu ginjal tersebut sering mengakibatkan iritasi dan pendarahan pada bagian ginjal yang kontak dengannya.
5. **Gagal ginjal**, terjadi karena ketidakmampuan ginjal untuk melakukan fungsinya secara normal. Hal ini dapat terjadi karena senyawa toksik, seperti merkuri, arsenik, karbon tetraklorida, insektisida, antibiotik, dan obat penghilang sakit pada tingkat yang tinggi. Gagal ginjal dapat diatasi dengan **dialisis**. Kita lebih mengenalnya sebagai proses cuci darah. Jika kerusakan ginjal sangat parah, dapat dilakukan transplantasi ginjal yang baru (**Gambar 8.7**).

Tugas Ilmiah 8.1

Dewasa ini di Indonesia ramai dibicarakan mengenai penjualan organ ginjal. Buatlah makalah mengenai hal tersebut dikaitkan dengan aspek biologis, sosiologis, dan etika kedokteran. Anda dapat mencari sumber melalui surat kabar atau internet. Presentasikan makalah Anda tersebut di depan kelas untuk ditanggapi.



Gambar 8.7
(a) Pasien gagal ginjal yang sedang dicuci darahnya oleh mesin dialisis. (b) Posisi ginjal hasil transplantasi

Sumber: *Jendela Iptek: Ilmu Kedokteran*, 1997; *www.healtatoz.com*

6. **Dermatitis** adalah suatu peradangan yang terjadi di kulit, yang berulang-ulang dan sering kambuh. Contoh dermatitis yang umum adalah eksim.
7. **Prostatis** adalah peradangan di prostat. Akibat peradangan tersebut, penderitanya sulit buang air seni.
8. **Impetigo** adalah penyakit kulit yang disebabkan oleh infeksi bakteri. Penyakit ini terjadi pada anak-anak, terutama pada mereka yang kekurangan gizi. Impetigo ditandai dengan kulit yang berbintik-bintik berisi nanah yang biasanya timbul di wajah dan tangan.
9. **Penyakit kuning** yang disebabkan oleh tersumbatnya saluran empedu karena adanya penumpukan kolesterol dan membentuk batu empedu. Feses penderita akan berwarna cokelat abu-abu, sedangkan darahnya kekuningan karena cairan empedu masuk ke aliran darah.
10. **Glikosuria, hematuria**, dan **albuminaria**. Glikosuria adalah kelainan yang dicirikan dengan ditemukannya glukosa pada urine. Hal tersebut menunjukkan adanya kelainan pada tubulus ginjal. Hematuria adalah kelainan dengan tanda ditemukannya sel darah merah di dalam urine. Penyebabnya adalah peradangan pada ginjal atau karena iritasi akibat bergesekan dengan batu ginjal. Albuminaria adalah kelainan, yang ditandai dengan ditemukannya zat putih telur (albumin) dalam urine. Hal tersebut disebabkan kerusakan membran pada kapsula Bowman yang menyebabkan protein berukuran besar seperti albumin dapat lolos dari filtrasi.

Soal Penguasaan *Materi* 8.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan empat contoh kelainan yang terjadi pada sistem ekskresi manusia.
2. Bagaimana cara menanggulangi gagal ginjal?
3. Apa yang dapat dilakukan untuk mencegah penyakit atau kelainan pada ginjal?

C Sistem Ekskresi pada Hewan

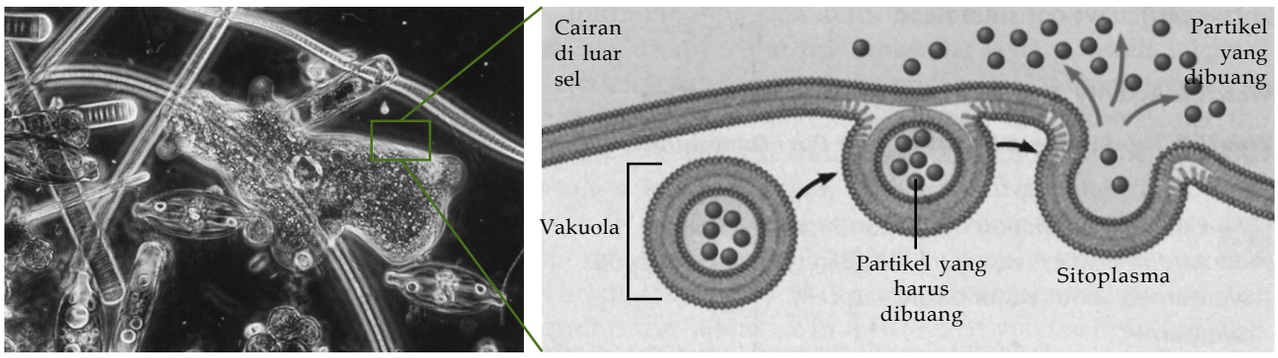
Kesetimbangan kimia dalam tubuh menjadi salah satu syarat utama untuk dapat bertahan hidup. Berikut akan dibahas mengenai mekanisme ekskresi pada beberapa hewan.

1. Sistem Ekskresi pada Hewan Invertebrata

Sistem ekskresi pada hewan invertebrata lebih sederhana dibandingkan hewan vertebrata. Berikut ini beberapa penjelasan mengenai sistem ekskresi beberapa hewan invertebrata.

a. Makhluk Hidup Satu Sel (Protozoa)

Makhluk hidup satu sel mengeluarkan sisa-sisa metabolismenya dengan cara difusi. Karbon dioksida hasil respirasi seluler dikeluarkan dengan cara difusi. Selain itu, ada cara lain, yaitu dengan membentuk vakuola yang berisi sisa metabolisme (**Gambar 8.8**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

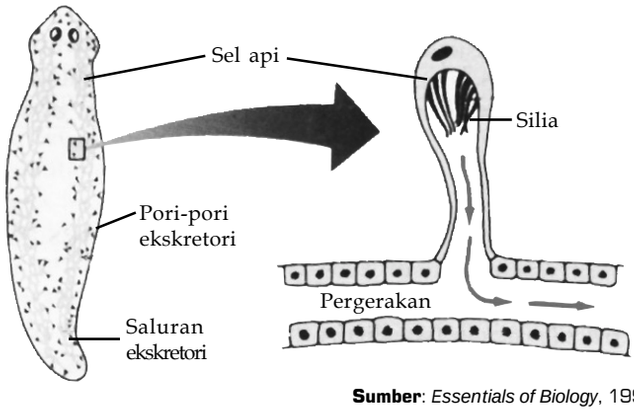
Gambar 8.8
Makhluk hidup satu sel membentuk vakuola yang berisi sisa metabolisme, lalu mengeluarkannya dari dalam sel.

Pada hewan Coelenterata dan Porifera yang hidup sebagai koloni sel-sel, mekanisme ekskresinya dengan cara mendifusikan zat-zat yang akan dibuang dari satu sel ke sel yang lain hingga akhirnya dilepaskan ke lingkungan.

b. Planaria

Organ ekskresi yang paling sederhana dapat ditemukan pada cacing pipih atau planaria. Organ tersebut bernama **protonefridia**, berupa jaringan pipa yang bercabang-cabang di sepanjang tubuhnya. Jaringan pipa tersebut dinamakan **nefridiofor**. Ujung dari cabang nefridiofor disebut sel api (*flame cell*). Disebut demikian karena ujung sel tersebut terus bergerak menyerap dan menyaring sisa metabolisme pada sel-sel di sekitarnya. Kemudian, mengalirkannya melalui nefridiofor menuju pembuluh ekskretori (**Gambar 8.9**).

Kata Kunci
- Difusi
- Nefostrom
- Nefridiofor
- Sel api



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

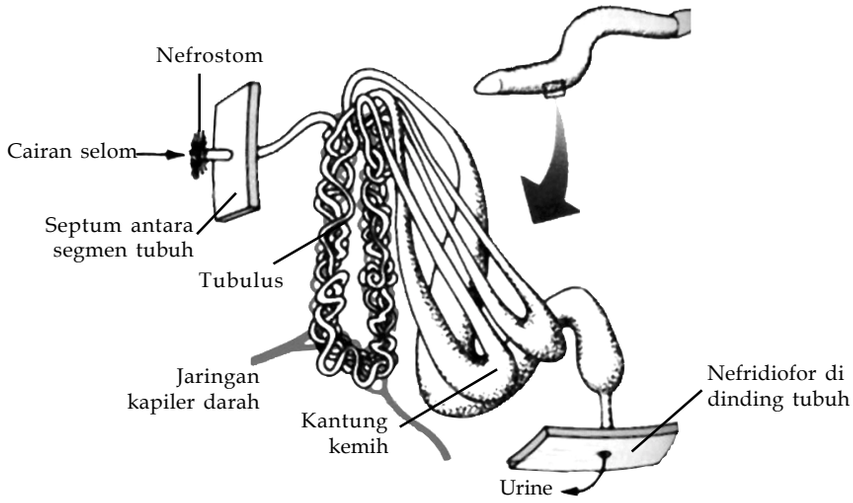
Gambar 8.9
Sistem ekskresi pada planaria.

c. Cacing Tanah

Cacing tanah, moluska, dan beberapa hewan invertebrata lainnya memiliki struktur ginjal sederhana yang disebut **nefridia**. Struktur tersebut terdapat di setiap segmen tubuhnya. Dalam cairan tubuh cacing tanah yang memenuhi rongga tubuhnya, terkandung sisa metabolisme maupun nutrien. Cairan inilah yang disaring oleh ujung tabung berbentuk corong dengan silia yang disebut **nefrostom**.

Dari nefrostom, hasil yang disaring tersebut kemudian dibawa melewati tubulus sederhana yang juga diselaputi oleh kapiler-kapiler darah. Pada tubulus ini, terjadi proses reabsorpsi bahan-bahan yang penting, seperti garam-garam dan nutrien terlarut. Air dan zat-zat buangan dikumpulkan

dalam tubulus pengumpul, suatu wadah yang merupakan bagian dari nefridia untuk selanjutnya dikeluarkan melalui lubang ekskretori di dinding tubuh, yang biasa disebut **nefridiofor** (**Gambar 8.10**)



Gambar 8.10
Cacing tanah memiliki struktur ginjal sederhana yang disebut nefridia.

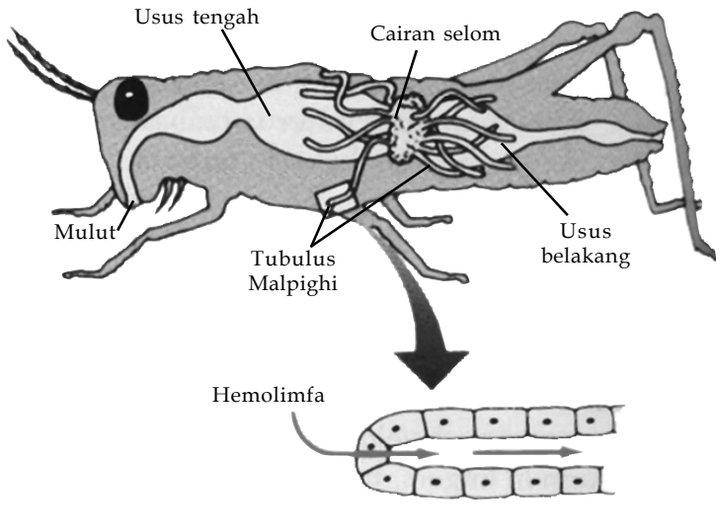
Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

d. Serangga

Alat ekskresi pada serangga, contohnya belalang adalah **tubulus Malpighi** (**Gambar 8.11**). Badan Malpighi berbentuk buluh-buluh halus yang terikat pada ujung usus posterior belalang dan berwarna kekuningan.

Zat-zat buangan diambil dari cairan tubuh (hemolimfa) oleh saluran Malpighi di bagian ujung. Kemudian, cairan masuk ke bagian proksimal lalu masuk ke usus belakang dan dikeluarkan bersama feses dalam bentuk kristal-kristal asam urat (Hopson & Wessells, 1990: 598).

Kata Kunci
- Mesorefros
- Metarefros
- Pronefros
- Tubulus Malpighi



Gambar 8.11
Badan Malpighi pada belalang.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

2. Sistem Ekskresi pada Hewan Vertebrata

Pada vertebrata terdapat beberapa tipe ginjal. Di antaranya adalah **pronefros**, **mesonefros**, dan **metanefros**. Pronefros adalah tipe ginjal yang berkembang pada fase embrio atau larva. Pada tahap selanjutnya, ginjal pronefros digantikan oleh tipe ginjal mesonefros. Ketika hewan dewasa,

ginjal mesonefros digantikan oleh ginjal metanefros. Pada Mammalia, Reptilia, dan Aves tipe ginjal yang dimiliki adalah mesonefros. Namun, setelah dewasa mesonefros akan diganti oleh metanefros.

a. Pisces (Ikan)

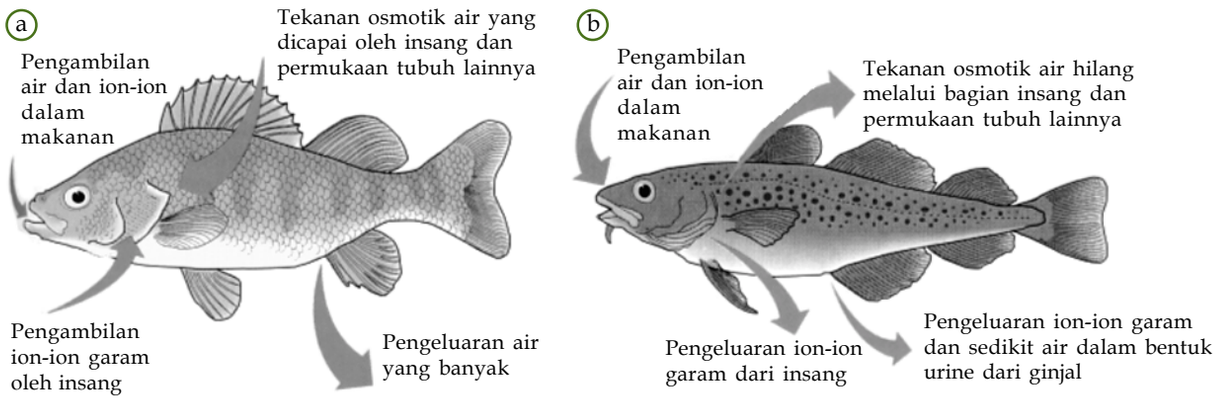
Ginjal pada ikan adalah sepasang ginjal sederhana yang disebut mesonefros. Setelah dewasa, mesonefros akan berkembang menjadi ginjal opistonefros. Tubulus ginjal pada ikan mengalami modifikasi menjadi saluran yang berperan dalam transport spermatozoa (duktus eferen) ke arah kloaka.

Ikan memiliki bentuk ginjal yang berbeda, sebagai bentuk adaptasi terhadap lingkungan sekitarnya. Pada ikan air tawar, kondisi lingkungan sekitar yang hipotonis membuat jaringan ikan sangat mudah mengalami kelebihan cairan. Ginjal ikan air tawar memiliki kemiripan dengan ginjal manusia.

Mekanisme filtrasi dan reabsorpsi juga terjadi pada ginjal ikan. Mineral dan zat-zat makanan lebih banyak diabsorbsi, sedangkan air hanya sedikit diserap. Dengan sedikit minum dan mengeluarkan urine dalam volume besar, ikan air tawar menjaga jaringan tubuhnya agar tetap dalam keadaan hipertonik. Ekskresi amonia dilakukan dengan cara difusi melalui insangnya.

Ikan yang hidup di air laut, memiliki cara adaptasi yang berbeda. Ikan air laut sangat mudah mengalami dehidrasi karena air dalam tubuhnya akan cenderung mengalir keluar ke lingkungan sekitar melalui insang, mengikuti perbedaan tekanan osmotik.

Ikan air laut tidak memiliki glomerulus sehingga mekanisme filtrasi tidak terjadi dan reabsorpsi pada tubulus juga terjadi dalam skala yang kecil. Oleh karena itu, ikan air laut beradaptasi dengan banyak meminum air laut, melakukan **desalinasi** (menghilangkan kadar garam dengan melepaskannya lewat insang), dan menghasilkan sedikit urine (**Gambar 8.12**). Urine yang dihasilkan akan dikeluarkan melalui lubang di dekat anus. Hal ini berbeda dengan pengeluaran urine dari ikan *Chondrichthyes*, misalnya hiu. Ikan hiu mengeluarkan urine melalui seluruh permukaan kulitnya.



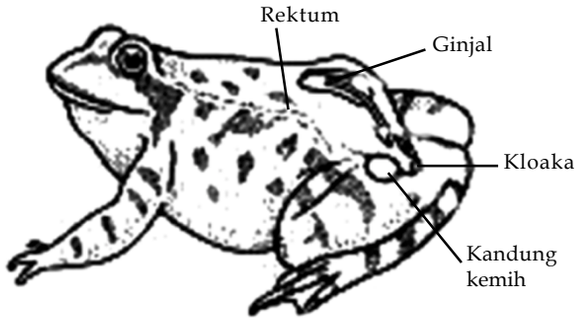
Sumber: *Biology Concepts & C nnections* 2006

Gambar 8.12
Sistem ekskresi pada (a) ikan air tawar dan (b) ikan air laut.
Apa perbedaan ekskresi pada kedua ikan ini?

b. Amphibia (Katak)

Tipe ginjal pada Amphibia adalah tipe ginjal opistonefros. Katak jantan memiliki saluran ginjal dan saluran kelamin yang bersatu dan berakhir di kloaka. Namun, hal tersebut tidak terjadi pada katak betina. Ginjal pada katak seperti halnya pada ikan, juga menjadi salah satu organ yang sangat berperan dalam pengaturan kadar air dalam tubuhnya.

Kulit Amphibia yang tipis dapat menyebabkan Amphibia kekurangan cairan jika terlalu lama berada di darat. Begitu pula jika katak berada terlalu lama dalam air tawar. Air dengan sangat mudah masuk secara osmosis ke dalam jaringan tubuh melalui kulitnya.



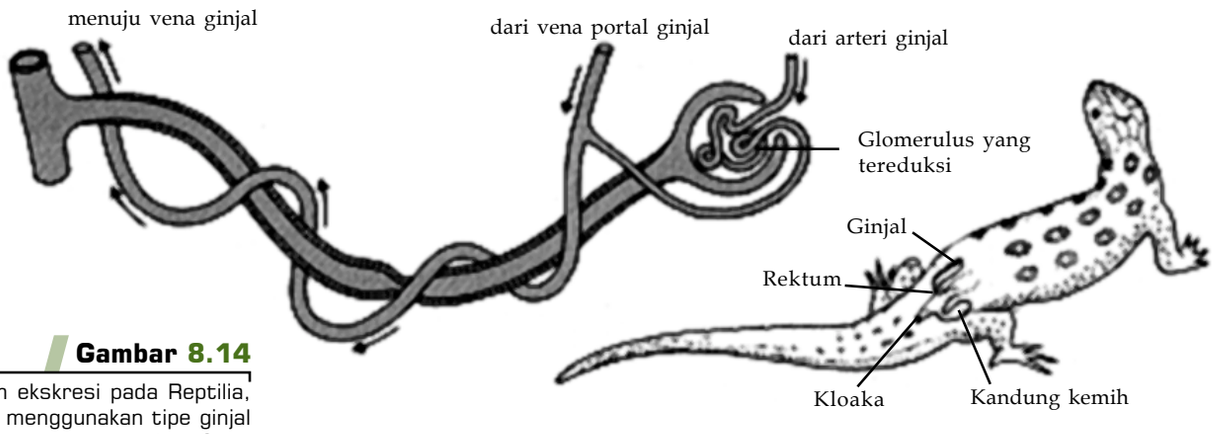
Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 8.13
Sistem ekskresi pada Amphibia dibandingkan sistem ekskresi pada ikan air tawar.

Katak dapat mengatur laju filtrasi dengan bantuan hormon, sesuai dengan kondisi air di sekitarnya. Ketika berada dalam air dengan jangka waktu yang lama, katak mengeluarkan urine dalam volume yang besar. Namun, kandung kemih katak dapat dengan mudah terisi air. Air tersebut dapat diserap oleh dinding kandung kemihnya sebagai cadangan air ketika katak berada di darat untuk waktu yang lama.

c. Reptilia

Tipe ginjal pada Reptilia adalah metanefros. Pada saat embrio, Reptilia memiliki ginjal tipe pronefros, kemudian pada saat dewasa berubah menjadi mesonefros hingga metanefros (**Gambar 8.14**).



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 8.14
Sistem ekskresi pada Reptilia, menggunakan tipe ginjal metanefros.

Hasil ekskresi pada Reptilia adalah asam urat. Asam urat ini tidak terlalu toksik jika dibandingkan dengan amonia yang dihasilkan oleh Mammalia. Asam urat dapat juga diekskresikan tanpa disertai air dalam volume yang besar. Asam urat tersebut dapat diekskresikan dalam bentuk pasta berwarna putih.

Beberapa jenis Reptilia juga menghasilkan amonia. Misalnya, pada buaya dan kura-kura. Penyu yang hidup di lautan memiliki kelenjar ekskresi untuk mengeluarkan garam yang dikandung dalam tubuhnya. Muara kelenjar ini adalah di dekat mata. Hasil ekskresi yang dihasilkan berupa air yang mengandung garam. Ketika penyu sedang bertelur, kita seringkali melihatnya mengeluarkan semacam air mata. Namun, yang kita lihat sebenarnya adalah hasil ekskresi garam. Ular, buaya, dan aligator tidak memiliki kandung kemih sehingga asam urat yang dihasilkan ginjalnya keluar bersama feses melalui kloaka.

d. Aves (Burung)

Burung memiliki ginjal dengan tipe metanefros. Burung tidak memiliki kandung kemih sehingga urine dan fesesnya bersatu dan keluar melalui lubang kloaka. Urine pada burung diekskresikan dalam bentuk asam urat.

Metabolisme burung sangat cepat. Dengan demikian, sistem ekskresi juga harus memiliki dinamika yang sangat tinggi. Peningkatan efektivitas ini terlihat pada jumlah nefron yang dimiliki oleh ginjal burung. Setiap 1 mm^3 ginjal burung, terdapat 100–500 nefron. Jumlah tersebut hampir 100 kali lipat jumlah nefron pada manusia.

Jenis burung laut juga memiliki kelenjar ekskresi garam yang bermuara pada ujung matanya. Hal tersebut untuk mengimbangi pola makannya yang memangsa ikan laut dengan kadar garam tinggi.

Soal Penguasaan *Materi* 8.3

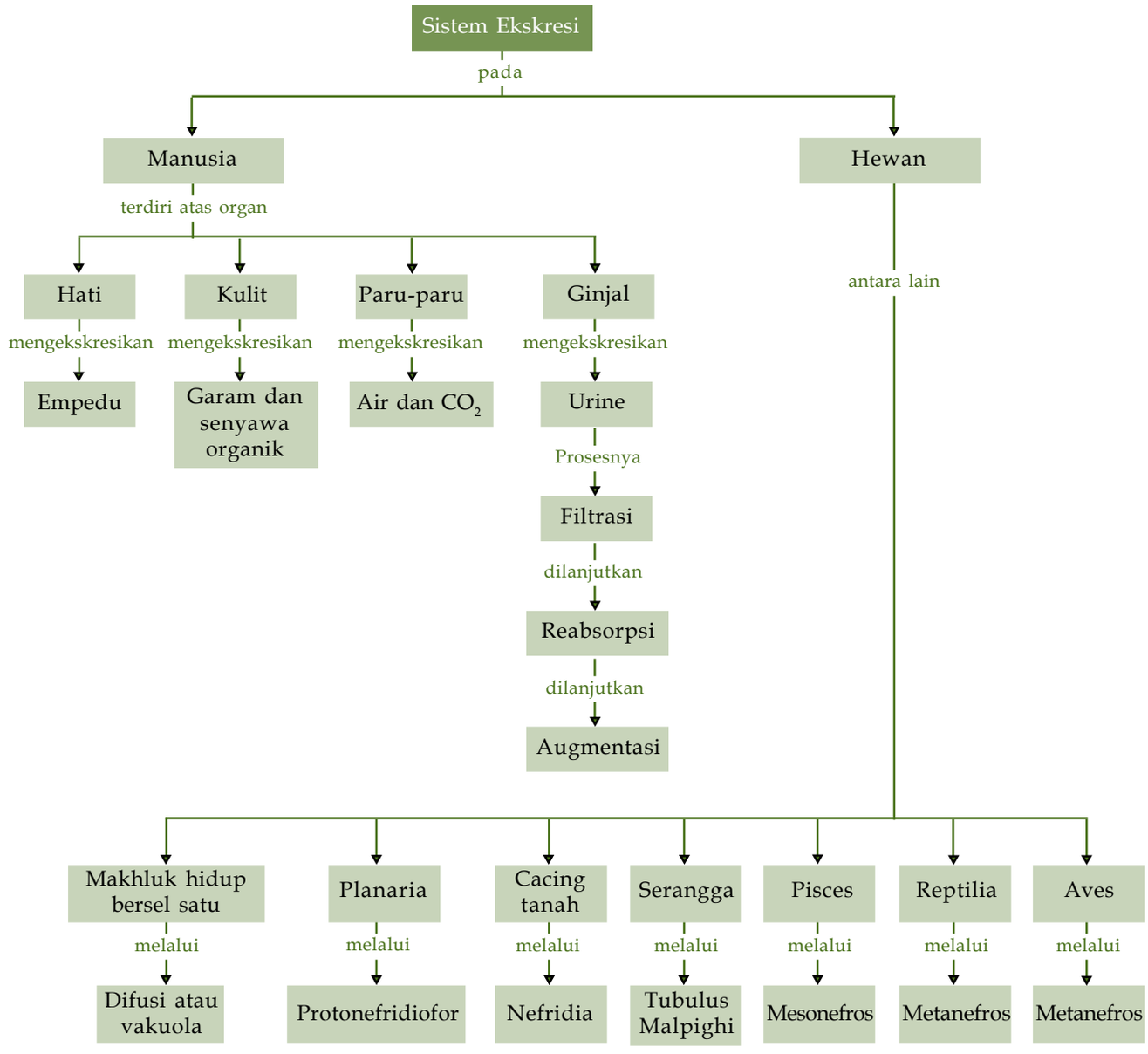
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan sistem ekskresi pada makhluk hidup satu sel.
2. Sebutkan alat ekskresi pada planaria, cacing tanah, dan serangga.
3. Jelaskan perbedaan cara adaptasi menyeimbangkan tekanan osmotik pada ikan air tawar dan ikan air laut.

Rangkuman

1. Sistem ekskresi berfungsi mengeluarkan sisa hasil metabolisme yang sudah tidak diperlukan tubuh. Jika tidak dikeluarkan, zat buangan tersebut dapat meracuni tubuh.
2. Sistem ekskresi pada manusia terdiri atas organ kulit, hati, paru-paru, dan ginjal. Kulit mengekskresikan keringat. Hati mengekskresikan cairan empedu. Paru-paru mengekskresikan CO_2 dan air. Adapun ginjal mengeksresikan urine.
3. Proses pembentukan urine melalui tiga tahap, yaitu tahap filtrasi, reabsorsi, dan augmentasi.
4. Hewan satu sel mengekresikan zat sisa secara difusi dan pembentukan vakuola. Cacing pipih menggunakan alat ekskresi berupa protonefridia. Cacing tanah memiliki alat ekskresi berupa metanefridia. Adapun serangga memiliki alat ekskresi berupa badan Malpighi.
5. Terdapat beberapa kelainan dan penyakit yang terjadi pada sistem ekskresi manusia, antara lain sistitis, hematuria, glomerulonefritis, batu ginjal, gagal ginjal, dermatitis, prostatis, impetigo, dan penyakit kuning.
6. Ikan memiliki ginjal sederhana yang disebut opistonefros. Amphibia memiliki ginjal tipe opistonefros. Pada Reptilia, Aves, dan Mammalia memiliki perkembangan ginjal mulai dari pronefros, mesonefros dan metanefros. Reptilia dan Aves menghasilkan ekskret dalam bentuk asam urat.

Peta Konsep



Kaji Diri

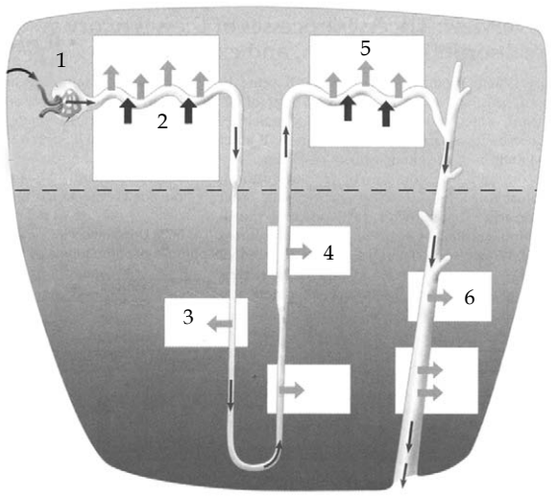
Apakah Anda telah memahami materi bab ini dengan baik? Setelah mempelajari bab Sistem Ekskresi, Anda harus dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit yang dapat terjadi pada sistem ekskresi. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit yang dapat terjadi pada sistem ekskresi, Anda belum menguasai materi Bab Sistem Ekskresi dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

Banyak manfaat yang dapat Anda peroleh setelah mempelajari bab ini. Anda dapat memahami proses terbentuknya urine. Anda pun paham kenapa Anda berkeringat. Hal yang cukup penting adalah Anda dapat menjaga kesehatan paru-paru, hati, kulit, dan ginjal.

Evaluasi Materi Bab 8

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Proses pengeluaran zat-zat sisa metabolisme yang sudah tidak digunakan lagi oleh sel-sel dan darah, dikeluarkan oleh tubuh bersama urine, keringat, dan pernapasan. Proses pengeluaran ini disebut ....
   a. sekresi
   b. ekskresi
   c. respirasi
   d. defekasi
   e. katabolisme
2. Kulit kita berperan sebagai berikut, *kecuali* ....
   a. perasa dan peraba
   b. menjaga suhu
   c. proteksi (pelindung)
   d. ekskresi
   e. respirasi
3. Organ tubuh yang mempunyai fungsi filtrasi, reabsorpsi, dan augmentasi adalah ....
   a. hati
   b. kulit
   c. paru-paru
   d. usus halus
   e. ginjal
4. Proses pengeluaran oleh sel atau kelenjar yang menghasilkan cairan yang masih diperlukan tubuh disebut ....
   a. defekasi
   b. inspirasi
   c. filtrasi
   d. ekskresi
   e. sekresi
5. Lapisan kulit yang mengandung pigmen adalah ....
   a. stratum korneum
   b. stratum granulosum
   c. stratum germinativum
   d. stratum lusidium
   e. lapisan epidermis
6. Sisa metabolisme protein yang dikeluarkan oleh tubuh melalui urine adalah ....
   a. asam nitrat
   b. urea
   c. asam amino
   d. molekul protein
   e. asam nitrit
7. Dari hasil pengujian urine Amir, ternyata ditemukan glukosa. Hasil ini menunjukkan adanya kelainan fungsi ginjal pada proses ....
   a. sekresi
   b. filtrasi
   c. reabsorpsi
   d. augmentasi
   e. defekasi
8. Perhatikan gambar nefron berikut.

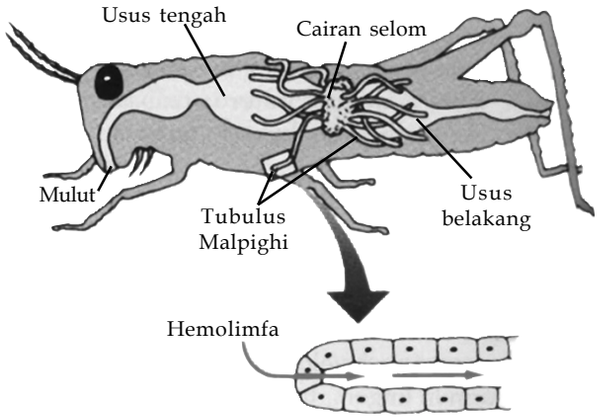


   Bagian yang akan menyerap kembali unsur yang masih berguna, kemudian dihasilkan urine sekunder adalah yang bernomor ....
   a. 1, 2, 3
   b. 1, 3, 6
   c. 2, 3, 4
   d. 3, 4, 6
   e. 4, 5, 6
9. Dinding yang terbuat dari bahan yang bersifat permeabel terhadap air dan bergantung dari kebutuhan untuk menyimpan air adalah ....
   a. ureter
   b. tubulus proksimal
   c. glomerulus
   d. uretra
   e. tubulus kolektivus
10. Fungsi glomerulus dan kapsula Bowman dalam proses pembentukan urine adalah ....
    a. reabsorpsi air ke dalam darah
    b. menghilangkan amonia dari tubuh
    c. reabsorpsi garam dan asam amino
    d. menyaring darah dan menangkap filtrat
    e. mengkonsentratkan urine
11. Proses berikut yang *tidak* terjadi di nefron dan tubulus kolektivus adalah ....
    a. filtrasi
    b. eliminasi urea dari tubuh
    c. reabsorbsi nutrien
    d. augmentasi
    e. konsentrasi urine

12. Hal berikut dapat memengaruhi pengeluaran urine, *kecuali* ....
    a. senyum
    b. ketakutan
    c. kedinginan
    d. gugup
    e. berkeringat
13. Penyakit yang disebabkan penyumbatan saluran empedu karena penumpukan kolesterol disebut ....
    a. dermatitis
    b. prostatis
    c. gagal ginjal
    d. penyakit kuning
    e. albumin
14. Pada penderita diabetes mellitus, urine mengandung ....
    a. urea
    b. glukosa
    c. albumin
    d. air
    e. garam mineral
15. Organ ekskresi pada serangga adalah ....
    a. tubulus Malpighi
    b. ginjal
    c. pronefros
    d. mesonefros
    e. metanefros

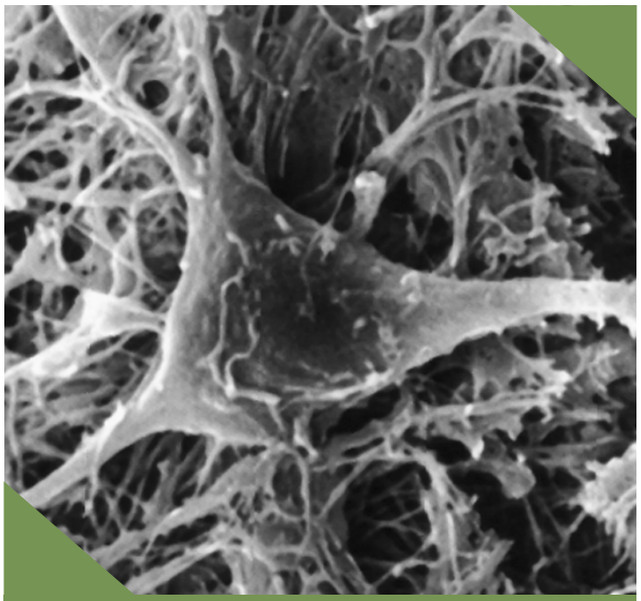
B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Sebutkan organ-organ pada sistem ekskresi manusia.
2. Pada proses pembentukan urine, terdapat tiga tahap pembentukannya. Jelaskan ketiga tahap tersebut.
3. Berikan dua contoh teknologi yang berhubungan dengan sistem ekskresi. Jelaskan.
4. Jelaskan tiga kelainan yang dapat terjadi pada sistem ekskresi?
5. Jelaskan sistem ekskresi pada belalang.



Soal Tantangan

1. Dewasa ini, banyak bermunculan produk-produk kosmetik berupa deodoran (penghilang bau keringat di ketiak). Bagaimana cara kerja deodoran tersebut sehingga dapat menghilangkan bau keringat? Menurut Anda, adakah pengaruh produk tersebut terhadap fungsi fisiologis kelenjar keringat pada tubuh, khususnya di ketiak?
2. Fungsi ginjal sebagai alat ekskresi sangat vital bagi tubuh. Untuk itu, jelaskan beberapa cara atau kegiatan dalam kehidupan sehari-hari yang bertujuan untuk menjaga agar ginjal tetap sehat dan dapat berfungsi secara normal sampai usia lanjut.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Bab 9
Sistem Regulasi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menjelaskan seluk-beluk tubuh manusia. Hal itu dapat Anda kuasai jika mampu memahami organ, proses, serta kelainan pada sistem regulasi manusia.

A. Sistem Saraf
B. Sistem Hormon
C. Sistem Indra
D. Gangguan pada Sistem Regulasi

Mungkin Anda pernah merasa kagum terhadap kemampuan seseorang yang dapat mempertahankan keseimbangan berat badannya di atas seutas tali atau galah pada permainan sirkus. Pemain tersebut mampu mempertahankan keseimbangan badannya dalam melintasi tali atau galah yang cukup panjang.

Hal tersebut menunjukkan kepada kita bahwa terdapat sistem regulasi dalam setiap kegiatan yang kita lakukan. Sistem regulasi tersebut meliputi penerimaan pesan oleh sistem indra, serta penyampaian dan pengolahan pesan oleh sistem saraf. Selain itu, terdapat dukungan keseimbangan cairan tubuh oleh sistem hormon. Hal itulah sebagian anugerah yang diberikan Tuhan kepada kita.

Sistem indra berperan penting dalam pengenalan semua informasi yang ada di lingkungan sekitar, seperti panas, cahaya, dingin, ketinggian, getaran, rasa, dan suara. Bagaimana informasi-informasi yang diterima dari lingkungan oleh sistem indra itu diolah? Bagaimana peranan sistem saraf dalam pengolahan informasi tersebut? Bagaimana peranan sistem hormon dalam sistem regulasi ini? Semuanya akan kita bahas pada bab berikut ini.

Soal *Pramateri*

1. Dapatkah Anda menyebutkan bagian-bagian otak?
2. Apakah yang dimaksud dengan hormon?
3. Alat indra apa sajakah yang Anda miliki?

Tokoh Biologi

Johannes Purkinje (1787 – 1869)

Johannes Purkinje lahir di Libochovice, Bohemia (Chechna). Ia adalah orang pertama yang menemukan sel Purkinje, yaitu neuron besar yang terdapat di otak.

Sumber: *www.wikipedia.org*

Kata Kunci

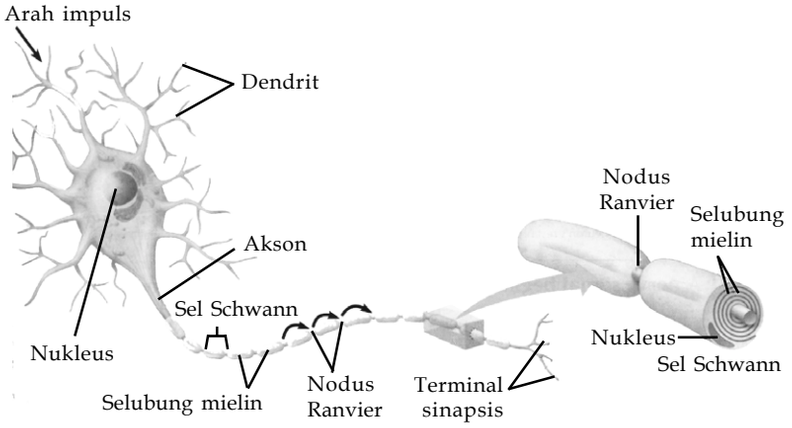
- Akson
- Neuron
- Nodus Ranvier
- Selubung mielin
- Sel Schwann

A Sistem Saraf

Informasi lingkungan dari reseptor tubuh atau indra menuju pusat pengolahan informasi misalnya otak, memerlukan suatu media. Media tersebut berupa sel, yaitu **sel saraf** (**sel neuron**). Jadi, sel tersebut berfungsi mengantarkan informasi dari reseptor ke sistem pengolahan informasi, kemudian menyampaikan tanggapannya ke **efektor**. Adapun efektor berupa sel atau organ yang digunakan hewan untuk bereaksi terhadap rangsangan. Informasi yang disampaikan disebut **impuls saraf**. Sistem saraf tersusun atas sel-sel saraf dan sel-sel pendukungnya (neuroglia). Sel-sel neuroglia merupakan jaringan penyokong, sebagai isolasi dan tempat makanan cadangan karena banyak mengandung glikogen.

1. Sel Saraf

Sistem saraf dibangun oleh sel-sel saraf. Sel saraf atau neuron merupakan sebuah sel dengan struktur yang khas. Untuk mendukung kinerja menyampaikan sinyal ke sel lainnya, sel neuron membentuk sebuah juluran-juluran sitoplasma yang disebut **dendrit**. Dendrit inilah yang menjadi perantara bagi pergerakan sinyal dari organ reseptor ke pusat pengolahan saraf. Jika simpul ini hilang atau rusak, seseorang akan mengalami kepikunan (jika terjadi di otak), atau mati rasa (jika terjadi di bagian organ lain).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 9.1
Sel saraf memiliki dendrit, selubung mielin, nodus Ranvier, sel Schwann, badan sel, dan inti sel.

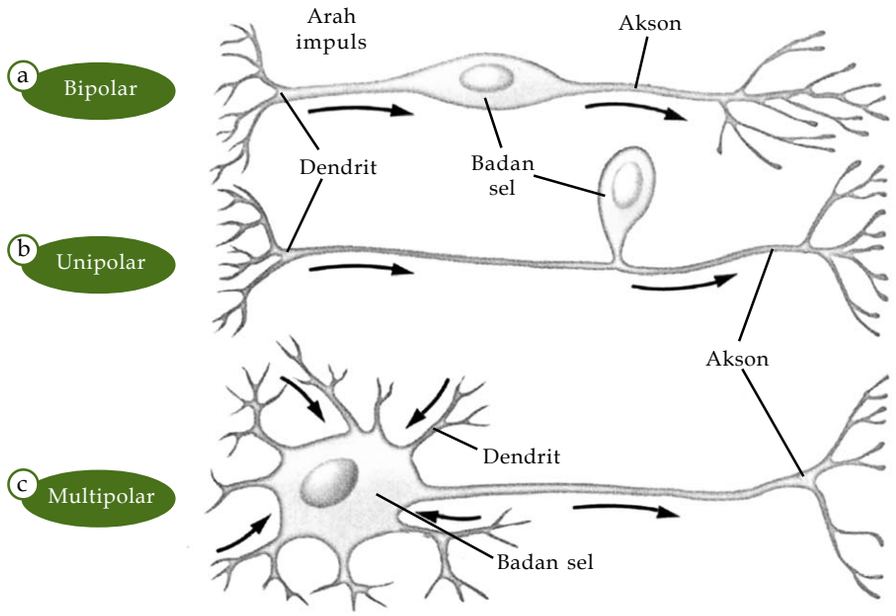
Sebuah sel saraf terdiri atas dendrit, selubung mielin, nodus Ranvier, sel Schwann, badan sel, dan inti sel (**Gambar 9.1**). **Akson** (**neurit**) merupakan bagian sel saraf yang merupakan perpanjangan dari sitoplasma dalam bentuk tunggal. Akson dibungkus oleh sebuah lapisan lemak yang disebut **selubung mielin**. Selubung mielin adalah bagian khusus dari membran plasma sel aksesoris neuron yang disebut **sel Schwann**.

Sel Schwann berfungsi melindungi akson dari kerusakan, luka, atau tekanan. Sel Schwann termasuk neuroglia. Sel Schwann tersusun beraturan pada akson. Namun, terdapat bagian akson yang tidak tertutup oleh Sel Schwann yang disebut **nodus Ranvier**. Nodus Ranvier sangat berguna dalam mekanisme penghantaran impuls atau rangsang. Badan sel saraf mengandung inti sel, neurofibril, badan Golgi, mitokondria, dan sitoplasma.

Berdasaran fungsinya sel saraf dapat dibedakan atas sel **saraf sensorik** (saraf aferen), sel **saraf motorik** (saraf eferen), dan sel **saraf interneuron** (saraf konektor, asosiasi, atau ajustor). Sel saraf sensorik membawa informasi dari reseptor yang berhubungan langsung dengan lingkungan. Sel saraf

motorik membawa informasi ke otot atau kelenjar dan membuat mereka bergerak atau bereaksi. Adapun sel saraf interneuron merupakan penghubung informasi antara sel saraf sensorik dan sel saraf motorik.

Berdasarkan strukturnya, sel saraf dibedakan atas **neuron bipolar**, **neuron unipolar**, dan **neuron multipolar** (Guttman, 1999: 875). Neuron bipolar memiliki dua juluran dari badan selnya, menjadi dendrit dan akson. Neuron unipolar memiliki satu juluran dari badan sel yang bercabang menjadi dendrit dan akson. Adapun neuron multipolar memiliki banyak juluran dendrit dari badan selnya dan memiliki satu juluran akson (**Gambar 9.2**).



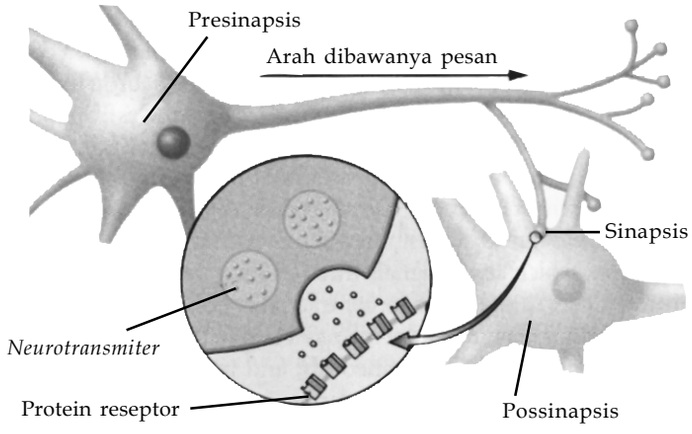
Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 9.2
Beberapa struktur sel saraf. (a) Bipolar, (b) unipolar, dan (c) multipolar

Ukuran inti sel saraf pada umumnya lebih besar daripada sel lainnya di tubuh. Sel-sel saraf atau neuron akan bergabung membentuk suatu simpul saraf yang disebut **ganglion**.

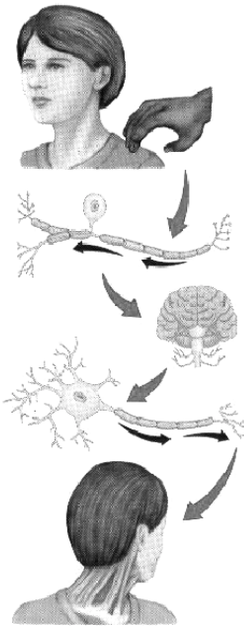
Rangsang bergerak dari sel saraf ke sel saraf lainnya, bermula dari dendrit menuju akson. Oleh karena itu, dalam pergerakan tersebut kita akan menemukan hubungan antarneuron melalui kontak juluran dendrit dan akson. Bagian yang berhubungan dengan sel saraf lain tersebut dikenal dengan nama **sinapsis** (**Gambar 9.3**).

Kata Kunci
- Ganglion
- Sinapsis



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 9.3
Sinyal informasi melewati sinapsis dari presinapsis sel ke possinaptis sel. Neurotransmiter dikeluarkan dari ujung akson. Arah perambatan transmiter melalui sinapsis adalah satu arah.



Sumber: *www.sirinet.net*

Gambar 9.4
Skema hubungan kerja sel saraf sensorik-interneuron-motorik.

Arah perambatan dari sinapsis sangat khas, yaitu hanya terjadi dalam satu arah. Perhatikan **Gambar 9.4**. Jadi, pergerakan impuls saraf hampir sama dengan pergerakan arus listrik searah. Sel saraf menghubungkan antara sel penerima rangsang dan pusat informasi serta menghantarkan perintah pada organ target dalam satu arah. Secara umum, neuron memiliki beberapa fungsi sebagai berikut.

1. Menghubungkan impuls ke pusat saraf atau neuron sensorik (neuron aferen). Pada neuron sensorik, bagian dendritnya akan berhubungan dengan organ reseptor, sedangkan aksonnya berhubungan dengan neuron lain.
2. Menyampaikan impuls dari pusat saraf ke organ target atau neuron motorik (neuron eferen). Dendrit akan berhubungan dengan sistem saraf pusat, sedangkan aksonnya berhubungan dengan organ efektor.
3. Menghubungkan antara neuron sensorik dan motorik atau disebut **interneuron**. Bagian interneuron yang menghubungkan antarneuron di otak dinamakan **neuron konektor**. Sementara itu, interneuron di sumsum tulang belakang disebut **neuron ajustor**.

2. Komunikasi Neuron

Kata Kunci
Neurotransmitter

Neuron-neuron yang berhubungan dalam sebuah sinapsis mempunyai mekanisme khas dalam menyampaikan perambatan impuls. Antara neuron dan neuron tidak terjadi hubungan langsung karena terdapat sebuah celah sempit yang berfungsi untuk menghantarkan impuls di sinapsis. Celah ini disebut dengan **celah sinaptik** yang akan meneruskan impuls dari neuron ke neuron lainnya melalui sebuah perantara yang disebut **neurotransmitter**. Neurotransmitter merupakan sebuah cairan kimia dalam tubuh, seperti asetilkolin, serotonin, atau noradrenalin yang berfungsi menghantarkan impuls. Sinapsis terdapat di antara akson neuron yang satu dengan dendrit atau badan sel atau akson dari neuron lain.

Agar dapat menghantarkan impuls, akson harus mencapai potensial tertentu yang lebih negatif hingga mencapai suatu ambang batas. Pada saat ambang batas ini, keadaan potensial di dalam akson dinamakan **potensial aksi**. Jadi, neuron dapat merambatkan impuls jika mencapai potensial aksi.

Potensial ini sebenarnya terbentuk dari perbedaan muatan yang dimiliki oleh ion-ion yang berada di dalam sel, yaitu Cl^-, A^-, Na^+, dan K^+ yang berada di luar dan di dalam sel. Ion A^- (anorganik) hanya terdapat di cairan intraseluler. Pada saat istirahat, ion Cl^- dan Na^+ lebih banyak terdapat di luar sel (ekstraseluler) dibandingkan ion A^- dan K^+ yang berada di dalam sel (intraseluler).

Membran selubung mielin adalah sebuah membran yang semipermeabel yang dapat ditembus oleh ion-ion dengan mekanisme transpor aktif atau pompa ion. Adanya rangsang akan mengubah susunan potensial listrik yang ada sehingga terjadi pergerakan keluar-masuknya ion.

Neuron yang berada dalam keadaan istirahat dengan potensial di dalam selnya lebih negatif dibandingkan potensial di bagian luar disebut dalam keadaan **polarisasi** atau potensial istirahat. Perubahan potensial atau depolarisasi akan terjadi jika ada perubahan muatan dalam membran. Ion Na^+ dan Cl^- akan bergerak masuk ke dalam sel pada saat adanya impuls.

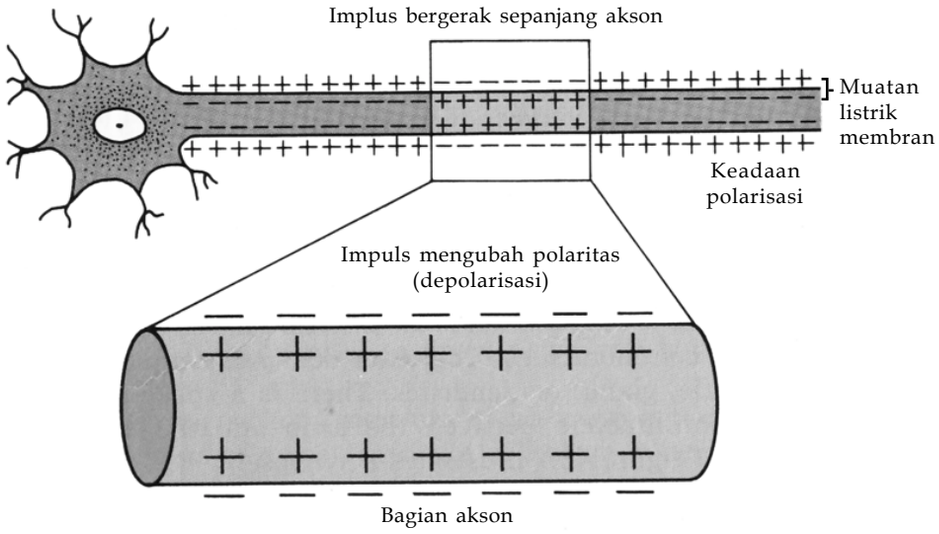
Wawasan Biologi

Pergerakan impuls saraf sangat bervariasi pada setiap spesies makhluk hidup. Pada seekor lobster, pergerakan impuls saraf dapat mencapai 6–12 meter/detik, pada katak 28–30 meter/detik, dan pada Mammalia mencapai 120 meter/detik.

Sumber: *eneral oology*, 1978

Daerah yang mengalami **depolarisasi** akan membentuk suatu aliran listrik sehingga menjadi depolarisasi. Bagian yang terdepolarisasi ini akan kembali membentuk aliran listrik dengan daerah lainnya yang masih dalam keadaan polarisasi sehingga menjadi terdepolarisasi. Begitu seterusnya sehingga terjadi penjalaran listrik atau yang dikenal dengan **impuls saraf** (**Gambar 9.5**).

Kata Kunci
- Depolarisasi
- Impuls

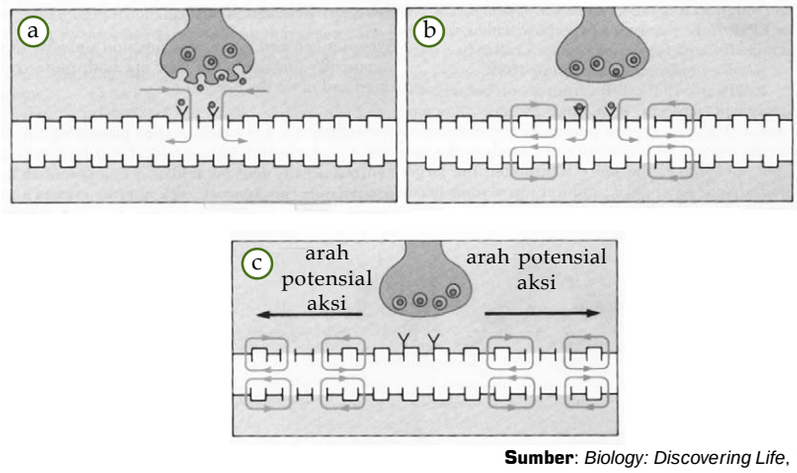


Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 9.5
Perjalanan impuls pada saraf. Selama penjalaran impuls saraf, polaritas membran sel menjadi terbalik. Impuls saraf bergerak sepanjang akson.

Ketika impuls mencapai ujung akson. Impuls tersebut harus melewati sinapsis menuju otot, kelenjar, atau saraf lainnya. Misalkan sebuah neuron memiliki hubungan sinapsis dengan neuron lain, akson dari neuron pertama akan melepaskan neuronsmitter yang akan menyebabkan penjalaran impuls pada neuron kedua. Misalkan, sebuah neuron memiliki hubungan sinapsis dengan sebuah sel otot. Untuk membuat otot tersebut berkontraksi, sinyal impuls harus mencapai sel otot. Bagaimanakah caranya?

Ketika impuls mencapai ujung akson, akson akan mengekresikan neurotransmitter, yaitu asetilkolin. Molekul asetilkolin berfungsi melewati sinapsis sel otot. Ketika mereka berikatan dengan reseptor molekul pada membran sel, sel otot akan berkontraksi. Asetilkolin tidak akan aktif selamanya. Sel otot mengeluarkan enzim yang disebut **asetilkolinterase**. Enzim ini membuat asetilkolin tidak aktif dan sel otot relaksasi. Sel otot akan berinteraksi kembali jika asetilkolin dilepaskan kembali oleh akson (**Gambar 9.6**).



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 9.6
(a) Ujung akson melepaskan asetilkolin. (b) Asetilkolin diterima reseptor menyebabkan terjadinya potensial aksi. (c) Terjadi potensial aksi yang akan membuat sel otot berkontraksi.

Arah impuls saraf hanya terjadi dalam satu arah, baik dari dendrit menuju akson ataupun antarneuron. Jika bekerja terus-menerus, sel saraf akan mengalami kelelahan. Contohnya, ketika kita membaui sesuatu yang tidak enak, lama-kelamaan bau tersebut tidak akan sekeras pada awalnya.

Kecepatan rambat impuls dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya sebagai berikut.

a. Diameter serabut saraf
   Sel saraf dengan diameter besar akan lebih cepat merambatkan impuls dibandingkan dengan sel saraf dengan diameter yang lebih kecil.

b. Selubung mielin
   Daerah akson yang tertutup mielin akan menghantarkan impuls lebih cepat dibandingkan dengan akson yag tidak tertutup mielin.

c. Suhu
   Hingga ambang batas tertentu kenaikan suhu akan mempercepat penghantaran impuls dibandingkan ketika suhu rendah. Hal tersebut dibuktikan dengan lebih cepatnya perambatan impuls pada hewan homoioterm, seperti Mammalia dibandingkan hewan berdarah dingin poikiloterm, seperti Reptilia atau Amphibia.

Impuls saraf yang telah mencapai sinapsis, diteruskan oleh cairan kimia yang disebut neurotransmitter. Saat ini, telah diketahui 50 jenis neurotransmitter dan neuropeptida (suatu molekul protein kecil yang berfungsi seperti neurotransmitter). Beberapa neurotransmitter yang dikenal luas adalah sebagai berikut.

a. Asetilkolin
   Asetilkolin banyak ditemukan di otak dan merupakan satu-satunya neurotransmitter yang ditemukan di sinapsis dan otot.

b. Dopamin
   Neurotransmitter ini dikeluarkan oleh bagian neuron yang mengalami kerusakan. Dopamin akan banyak ditemukan pada sinapsis penderita penyakit Parkinson. Penyakit Parkinson, seperti yang diderita oleh petinju legendaris Mohammad Ali, adalah jenis penyakit dengan ciri-ciri susah mengendalikan pergerakan dan goncangan pada tangan (*tremor*).

c. Serotonin
   Serotonin merupakan jenis neurotransmitter yang ada di otak dan sumsum tulang belakang. Serotonin bertugas dalam penghambatan impuls rasa sakit. Selain itu, serotonin juga diduga memengaruhi tidur dan perasaan kita (*mood*).

d. Norepinefrin
   Norepinefrin banyak dikeluarkan pada sinapsis yang berhubungan dengan alat kerja organ dalam, seperti jantung, hati, paru-paru, serta alat pencernaan. Struktur kimianya mirip dengan hormon adrenalin yang bekerja pada saat kondisi tubuh tertekan (*stress*).

e. Neuropeptida
   Contoh neuropeptida adalah opioid yang banyak berpengaruh dalam pengaturan kondisi tubuh, seperti rasa lapar, temperatur tubuh, rasa marah, dan perasaan-perasaan lain yang ditimbulkan secara emosional.

3. Susunan Saraf Manusia

Dalam tubuh manusia, terdapat dua sistem susunan saraf, yaitu **sistem saraf pusat** dan **sistem saraf tepi**. Sistem saraf pusat terdiri atas **otak** dan **sumsum tulang belakang**. Sistem saraf tepi menghubungkan sistem saraf pusat dengan seluruh tubuh. Di sistem saraf tepi inilah, neuron sensorik dan motorik bekerja. Untuk lebih jelasnya, perhatikan bagan berikut.

Tokoh Biologi

Johannes Muller (1801 – 1858)

Johannes Muller adalah seorang ahli fisiologi asal Jerman. Ia salah seorang pelopor fisiologi. Ia meneliti sistem sirkulasi, alat-alat indra, dan sistem saraf manusia.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

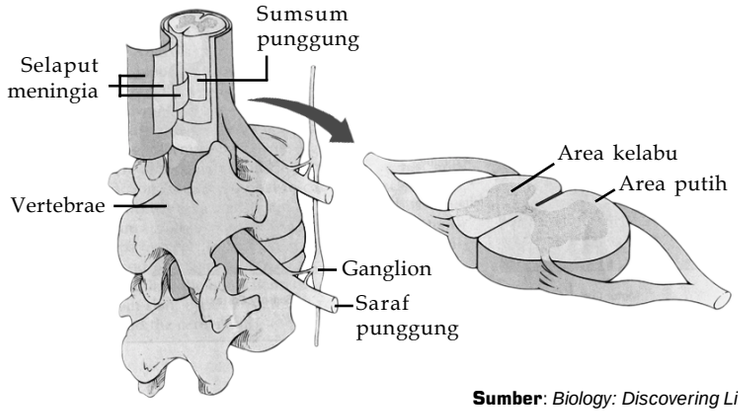
Gambar 9.7
Bagan pembagian kerja susunan saraf pada manusia.

a. Sistem Saraf Pusat

Sistem saraf pusat merupakan pusat dari seluruh kendali dan regulasi pada tubuh, baik gerakan sadar atau gerakan otonom. Dua organ utama yang menjadi penggerak sistem saraf pusat adalah **otak** dan **sumsum tulang belakang**. Otak manusia merupakan organ vital yang harus dilindungi oleh tulang tengkorak. Sementara itu, sumsum tulang belakang dilindungi oleh ruas-ruas tulang belakang.

Kata Kunci
- Otak
- Sumsum tulang belakang

Struktur khas dalam sistem saraf pusat adalah adanya **area kelabu** (*grey matter*) dan **area putih** (*white matter*) (**Gambar 9.8**). Area kelabu merupakan kumpulan dari akson yang dibungkus oleh selubung mielin, sedangkan area kelabu merupakan kumpulan dari badan sel dan dendrit yang dilingkupi oleh banyak sinapsis. Area putih terdapat di otak bagian dalam dan area kelabu terdapat di bagian luarnya (korteks). Sementara itu, pada sumsum tulang belakang berlaku sebaliknya.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

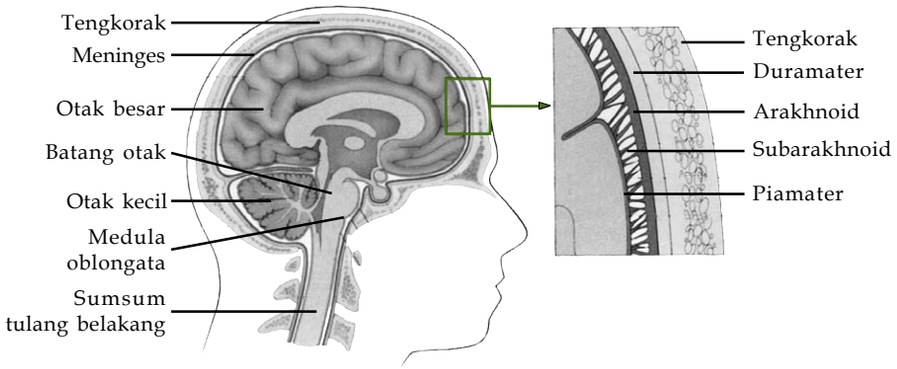
Gambar 9.8
Tampilan melintang pada sumsum punggung yang menunjukkan adanya area kelabu dan area putih.

Sistem saraf pusat dilindungi oleh jaringan ikat yang menjaga dan mendukung aktivitas sistem saraf pusat yang disebut **selaput meningia** (**meninges**). Selaput ini terdiri atas tiga bagian (**Gambar 9.9**), yaitu sebagai berikut.

1) Piamater
   Merupakan selaput paling dalam yang menyelimuti sistem saraf pusat. Lapisan ini banyak sekali mengandung pembuluh darah.
2) Arakhnoid
   Lapisan ini berupa selaput tipis yang berada di antara piamater dan duramater.

3) Duramater

Lapisan paling luar yang terhubung dengan tengkorak. Daerah di antara piamater dan arakhnoid diisi oleh cairan yang disebut **cairan serebrospinal**. Dengan adanya lapisan ini, otak akan lebih tahan terhadap goncangan dan benturan dengan kranium. Kadangkala seseorang mengalami infeksi pada lapisan meninges, baik pada cairannya ataupun lapisannya yang disebut **meningitis**.



Gambar 9.9
Sistem saraf pusat dilindungi oleh selaput meninges yang terdiri atas lapisan piamater, arakhoid, dan duramater. Selain itu, terdapat juga cairan serebrospinal yang turut berperan melindungi sistem saraf.

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

1) Otak

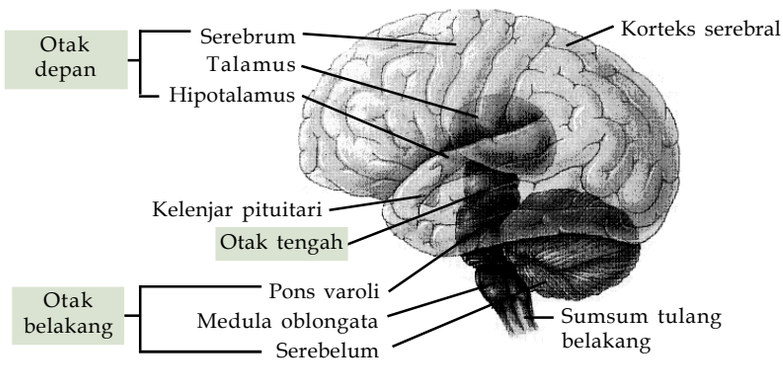
Otak merupakan organ yang telah terspesialisasi sangat kompleks. Berat total otak dewasa adalah sekitar 2% dari total berat badannya atau sekitar 1,4 kilogram dan mempunyai sekitar 12 miliar neuron. Pengolahan informasi di otak dilakukan pada bagian-bagian khusus sesuai dengan area penerjemahan neuron sensorik.

Permukaan otak tidak rata, tetapi berlekuk-lekuk sebagai pengembangan neuron yang berada di dalamnya. Semakin berkembang otak seseorang, semakin banyak lekukannya. Lekukan yang berarah ke dalam (lembah) disebut **sulkus** dan lekukan yang berarah ke atas (gunungan) dinamakan **girus**.

Kata Kunci
- Cairan serebrospinal
- Girus
- Sulkus

Otak mendapatkan impuls dari sumsum tulang belakang dan 12 pasang saraf kranial. Setiap saraf tersebut akan bermuara di bagian otak yang khusus.

Otak manusia dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu **otak depan**, **otak tengah**, dan **otak belakang** (**Gambar 9.10**). Para ahli mempercayai bahwa dalam perkembangannya, otak vertebrata terbagi menjadi tiga bagian yang mempunyai fungsi khas. Otak belakang berfungsi dalam menjaga tingkah laku, otak tengah berfungsi dalam penglihatan, dan otak depan berfungsi dalam penciuman (Campbell, *et al*, 2006: 578)



Gambar 9.10
Bagian-bagian dari otak manusia.

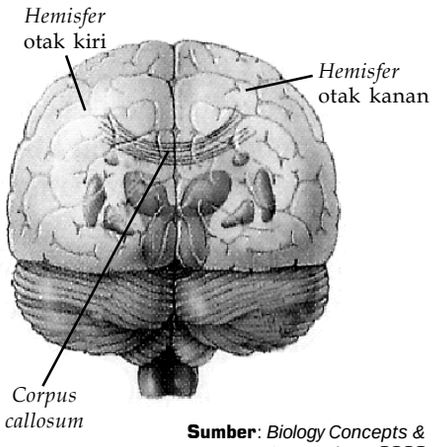
Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

a) Otak depan

Otak depan terdiri atas **otak besar** (**cerebrum**), **talamus**, dan **hipotalamus**. Otak besar merupakan bagian terbesar dari otak, yaitu mencakup 85% dari volume seluruh bagian otak. Bagian tertentu merupakan bagian paling penting dalam penerjemahan informasi yang Anda terima dari mata, hidung, telinga, dan bagian tubuh lainnya. Bagian otak besar terdiri atas dua belahan (*hemisfer*), yaitu belahan otak kiri dan otak kanan (**Gambar 9.11**). Setiap belahan tersebut akan mengatur kerja organ tubuh yang berbeda.

Otak kanan sangat berpengaruh terhadap kerja organ tubuh bagian kiri, serta bekerja lebih aktif untuk pengerjaan masalah yang berkaitan dengan seni atau kreativitas. Bagian otak kiri mempengaruhi kerja organ tubuh bagian kanan serta bekerja aktif pada saat Anda berpikir logika dan penguasaan bahasa atau komunikasi. Di antara bagian kiri dan kanan *hemisfer* otak, terdapat jembatan jaringan saraf penghubung yang disebut dengan *corpus callosum*.

Talamus mengandung badan sel neuron yang melanjutkan informasi menuju otak besar. Talamus memilih data menjadi beberapa kategori, misalnya semua sinyal sentuhan dari tangan. Talamus juga dapat menekan suatu sinyal dan memperbesar sinyal lainnya. Setelah itu talamus menghantarkan informasi menuju bagian otak yang sesuai untuk diterjemahkan dan ditanggapi.



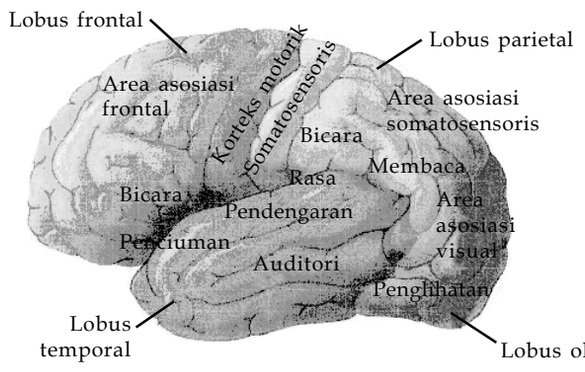
Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 9.11

Otak besar terdiri atas dua belahan, yaitu hemisfer otak kiri dan hemisfer otak kanan.

Hipotalamus mengontrol kelenjar hipofisis dan mengekspresikan berbagai macam hormon. Hipotalamus juga dapat mengontrol suhu tubuh, tekanan darah, rasa lapar, rasa haus, dan hasrat seksual. Hipotalamus juga dapat disebut sebagai pusat kecanduan karena dapat dipengaruhi oleh obat-obatan yang menimbulkan kecanduan, seperti amphetamin dan kokain. Pada bagian lain hipotalamus, terdapat kumpulan sel neuron yang berfungsi sebagai **jam biologis**. Jam biologis ini menjaga ritme tubuh harian, seperti siklus tidur dan bangun tidur.

Di bagian permukaan otak besar terdapat bagian yang disebut **telensefalon** serta **diensefalon**. Pada bagian diensefalon, terdapat banyak sumber kelenjar yang menyekresikan hormon, seperti hipotalamus dan **kelenjar pituitari** (**hipofisis**). Bagian telensefalon merupakan bagian luar yang mudah kita amati dari model torso.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 9.12

Pembagian fungsi otak yang berada dibelahan (hemisfer) otak besar.

Bagian manakah yang berfungsi dalam penglihatan?

Wawasan Biologi

Para peneliti memperhatikan hubungan antara kebiasaan merokok dan kelambanan kerja otak. Hal tersebut diduga disebabkan oleh kandungan racun tembakau yang ada di setiap batang rokok yang dihisap, yaitu nikotin.

Beberapa bagian dari hemisfer mempunyai tugas yang berbeda terhadap informasi yang masuk. Bagian-bagian tersebut adalah sebagai berikut.

(1) **Temporal**, berperan dalam mengolah informasi suara.
(2) **Oksipital**, berhubungan dengan pengolahan impuls cahaya dari penglihatan.

(3) **Parietal**, merupakan pusat pengaturan impuls dari kulit serta berhubungan dengan pengenalan posisi tubuh.
(4) **Frontal**, merupakan bagian yang penting dalam proses ingatan dan perencanaan kegiatan manusia (**Gambar 9.12**).

b) Otak tengah

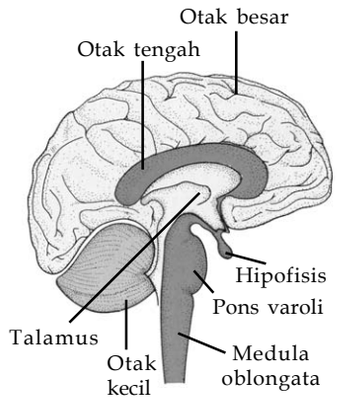
Otak tengah merupakan bagian terkecil otak yang berfungsi dalam sinkronisasi pergerakan kecil, pusat relaksasi dan motorik, serta pusat pengaturan refleks pupil pada mata. Pada bagian ini, banyak diproduksi neurotransmitter yang mengontrol pergerakan lembut. Jika terjadi kerusakan pada bagian ini, orang akan mengalami penyakit parkinson. Sebagai pusat relaksasi, bagian otak tengah banyak menghasilkan neurotransmitter dopamin.

Kata Kunci

- Cerebellum
- Medula oblongata
- Pons varoli

c) Otak belakang

Otak belakang tersusun atas **otak kecil** (**cerebellum**), **medula oblongata**, dan **pons varoli**. Otak kecil akan mengintegrasikan impuls saraf yang diterima dari sistem gerak sehingga berperan penting dalam menjaga keseimbangan tubuh pada saat beraktivitas. Kerja otak kecil berhubungan dengan sistem keseimbangan lainnya, seperti proprioreseptor dan saluran keseimbangan di telinga yang menjaga keseimbangan posisi tubuh. Informasi dari otot bagian kiri dan bagian kanan tubuh yang diolah di bagian otak besar akan diterima oleh otak kecil melalui jaringan saraf yang disebut **pons varoli**.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 9.13
Otak kecil, pons varoli, dan medula oblongata.

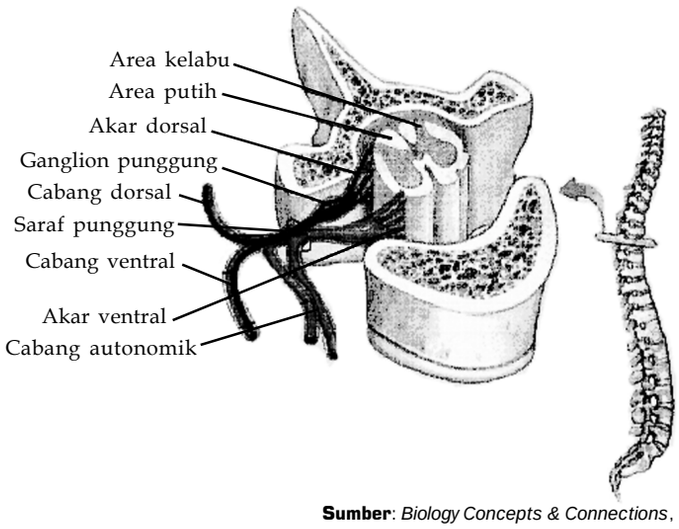
Di bagian otak kecil terdapat saluran yang menghubungkan antara otak dengan sumsum tulang belakang yang dinamakan **medula oblongata**. Batas antara medula oblongata dan sumsum tulang belakang tidak jelas. Oleh karena itu, medula oblongata sering disebut sebagai sumsum lanjutan. Perhatikan **Gambar 9.13**.

Pons varoli dan medula oblongata, selain berperan sebagai pengatur sistem sirkulasi, kecepatan detak jantung, dan pencernaan, juga berperan dalam pengaturan pernapasan. Bahkan, jika otak besar dan otak kecil seseorang rusak, ia masih dapat hidup karena detak jantung dan pernapasannya yang masih normal. Hal tersebut dikarenakan fungsi medula oblongata yang masih baik. Peristiwa ini umum terjadi pada seseorang yang mengalami koma yang berkepanjangan. Bersama otak tengah, pons varoli dan medula oblongata membentuk unit fungsional yang disebut batang otak (*brainstem*).

2) Sumsum tulang belakang

Sumsum tulang belakang merupakan salah satu bagian dari sistem saraf pusat manusia yang menghubungkan sistem saraf tepi dan sistem saraf pusat di otak. Sumsum tulang belakang pada laki-laki umumnya mempunyai panjang sekitar 45 cm, sedangkan pada wanita adalah 43 cm. Sumsum tulang belakang dilindungi oleh bagian-bagian tulang belakang, yaitu tulang **serviks**, **toraks**, **lumbar**, dan **sakral**. Setiap bagian tulang tersebut mempunyai dua fungsi jenis saraf dalam tubuh yang berlainan. Selain berfungsi menghubungkan impuls ke otak, sumsum tulang belakang berperan juga dalam mekanisme pergerakan refleks.

Ada 31 pasang saraf di tulang belakang yang tersebar mulai dari tengkorak hingga tulang ekor. Sel saraf tulang belakang terdiri atas bagian akar ventral dan akar dorsal. Sementara itu, sel saraf lainnya di tulang belakang hanya berfungsi sebagai sel saraf penghubung (interneuron) (**Gambar 9.14**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 9.14
Susunan saraf pusat di tulang belakang.

b. Sistem Saraf Tepi

Sistem saraf tepi merupakan bagian yang tak terpisahkan dari jalur rangsang dan tanggapan pada sistem saraf pusat. Dari diagram sebelumnya, dapat diketahui bahwa sistem saraf tepi dibangun oleh dua tipe sel saraf, yaitu **sel saraf somatik** dan **sel saraf otonom**. Kedua jenis sel saraf ini, dibangun oleh sistem saraf sensorik dan motorik sehingga menjadi perantara impuls antartubuh dengan sistem saraf pusat.

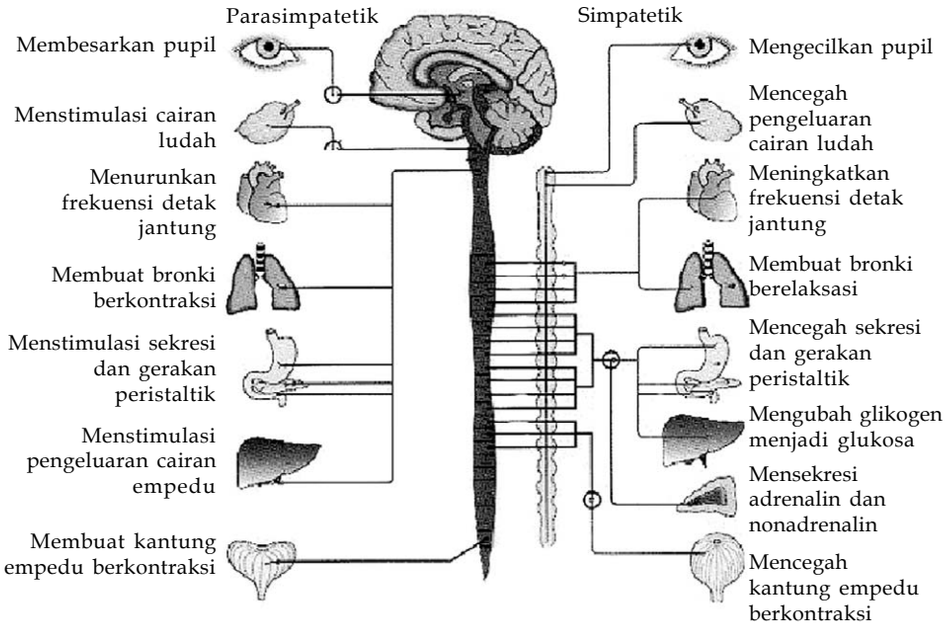
Sistem saraf somatik membawa pesan dari organ reseptor tubuh menuju sistem saraf pusat. Sistem saraf somatik terdiri atas 12 pasang **saraf kranial** di otak (**Tabel 9.1**) dan 31 pasang **saraf spinal**. Saraf kranial keluar dari otak. Umumnya saraf ini terhubung dengan organ atau jaringan di kepala dan muka. Adapun saraf spinal keluar dari sumsum tulang belakang.

Tabel 9.1 Dua Belas Pasang Saraf Kranial di Otak

No.	Nama Saraf	Tipe	Fungsi
1	Olfaktori	Sensorik	Penciuman
2	Optik	Sensorik	Penglihatan
3	Okulomotor	Motorik	Pergerakan otot bola mata dan kelopak mata
4	Troklear	Motorik	Pergerakan otot bola mata
5	Trigeminal	Campuran	Sensorik: sensasi di wajah dan mulut, motorik: mengunyah
6	Abdusena	Motorik	Pergerakan bola mata
7	Fasial	Campuran	Sensorik: rasa (kecap), motorik: pergerakan di wajah dan kelenjar pencernaan
8	Auditori	Sensorik	Pendengaran dan keseimbangan tubuh
9	Glosofaring	Campuran	Sensorik: rasa (kecap), motorik: menelan
10	Vagus	Campuran	Saraf utama untuk sistem pusat parasimpatik
11	Aksesori	Motorik	Menelan dan pergerakan leher
12	Hipoglossal	Motorik	Otot di lidah

Kata Kunci
- Saraf parasimpatetik
- Saraf simpatetik
- Sel saraf otonom
- Sel saraf somatik

Berbeda dengan sistem saraf somatik, sistem saraf otonom bekerja di luar kesadaran dan memengaruhi kerja otot organ dalam, seperti usus halus dan jantung. Sistem ini terbagi lagi menjadi sistem **saraf simpatetik** dan sistem **saraf parasimpatetik** (**Gambar 9.15**). Sistem saraf otonom disusun oleh saraf sensorik dan saraf motorik.



Gambar 9.15
Pembagian kerja sistem saraf simpatetik dan parasimpatetik.

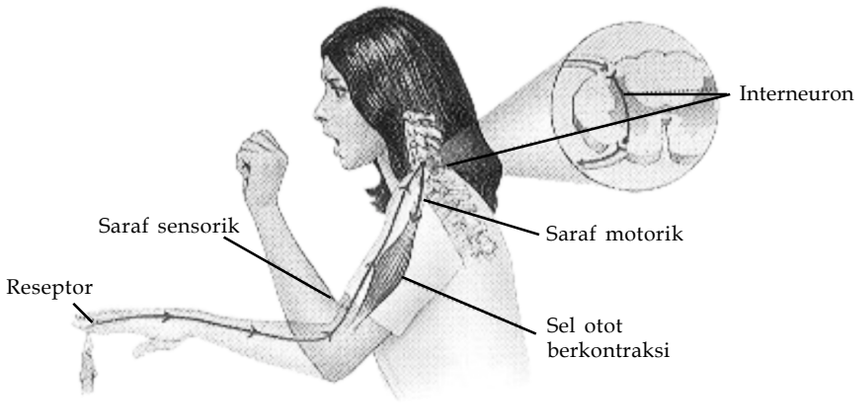
Sumber: *www.users.rcn.com*

Sistem saraf simpatetik dan parasimpatetik umumnya akan bekerja pada organ target yang sama dengan sifat bertolak belakang. Sistem saraf parasimpatetik mengatur banyak sistem kerja tubuh, seperti mengendurkan laju detak jantung, penyempitan pupil, dan kontraksi kandung kemih. Sementara itu, saraf simpatetik bekerja sebaliknya, seperti mempercepat detak jantung, pelebaran pupil, dan relaksasi kandung kemih.

c. Gerak Refleks

Pada saat Anda berjalan, secara tidak sengaja kaki Anda menginjak duri. Apakah Anda perlu berpikir untuk menentukan apa yang harus Anda perbuat pada saat duri menusuk Anda? Tentu tidak. Secara spontan, Anda akan melompat atau menghindar dari duri tersebut. Gerak tersebut dinamakan **gerak refleks**. Gerak refleks merupakan respons sel saraf motorik, sensorik, interneuron, efektor, dan organ-organ sensor secara cepat dalam waktu bersamaan. Gerak refleks berada di dalam jalur saraf tepi di bawah kendali sistem saraf somatik yang bekerja dalam kondisi tak sadar. Pada gerak refleks, jalur penghantaran impuls dipersingkat sehingga tidak perlu ada regulasi dari sistem saraf di otak. untuk lebih jelasnya, perhatikan berikut.

Kata Kunci
Gerak refleks



Gambar 9.16
Pada gerak refleks, jalur penghantar impuls dipersingkat sehingga tidak perlu adanya regulasi dari sistem saraf di otak.

Sumber: *www.sirinet.net*

Kegiatan 9.1

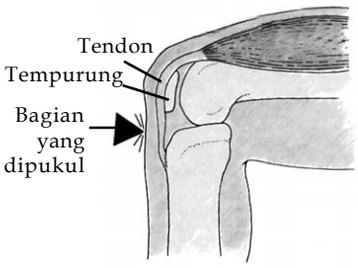
Gerak Refleks

Tujuan
Menunjukkan dan menjelaskan gerak refleks

Alat dan Bahan
Palu kejut atau palu karet

Langkah Kerja

1. Suruhlah salah satu teman kelompok Anda untuk duduk di kursi yang cukup tinggi hingga salah satu kakinya bebas menggantung.
2. Pukullah ligamen patella teman Anda dengan palu kejut. Ligamen patella terletak di bawah tempurung lutut. Jangan memukul terlalu keras dan posisikan dirimu di samping teman Anda yang sedang diuji.



Sumber: *Biological Science*, 1986

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Apa yang terjadi setelah ligamen patella teman Anda dipukul? Diskusikan hasilnya bersama teman kelompok Anda.
2. Jelaskan jalur refleks yang terjadi.

Soal Penguasaan *Materi* 9.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan struktur dan fungsi sel saraf.
2. Jelaskan proses merambatnya implus pada sistem saraf.
3. Bagaimana susunan sistem saraf pada manusia.

B Sistem Hormon

Selain sistem saraf, terdapat sistem kelenjar di dalam tubuh yang ikut menentukan keseimbangan dan regulasi, yaitu **sistem hormon**. Hormon merupakan suatu zat kimia yang diproduksi oleh tubuh, dalam konsentrasi kecil yang dapat menimbulkan efek fisiologis pada organ target. Hormon dihasilkan oleh **kelenjar endokrin** tubuh dan ditransportasikan dalam aliran darah.

Selain kelenjar endokrin, terdapat juga **kelenjar eksokrin** yang menyekresikan zat kimia. Perbedaannya terletak pada tempat kerja cairan kimia yang dihasilkannya. Kelenjar eksokrin disekresikan ke luar tubuh, seperti keringat dan enzim di mulut. Adapun hormon yang dihasilkan oleh kelenjar endokrin diedarkan di dalam tubuh oleh sistem peredaran darah.

Kata Kunci

- Hormon
- Kelenjar eksokrin
- Kelenjar endokrin

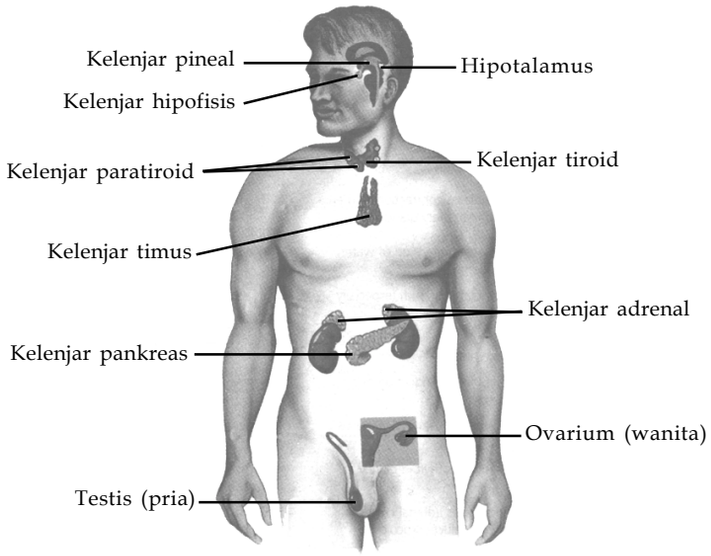
Hormon bekerja secara efektif jika dalam jumlah yang sesuai, jika jumlah hormon yang disekresikan berlebih atau kurang, akan timbul kelainan-kelainan pada tubuh. Hormon dan sistem saraf bersama-sama mengatur regulasi tubuh, yaitu sebagai berikut.

a. Mengatur kesetimbangan cairan tubuh dalam proses homeostatis (nutrisi, metabolisme, kesetimbangan garam dan air, kesetimbangan gula hingga ekskresi)
b. Bereaksi terhadap rangsang dari luar tubuh
c. Berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan
d. Pengaturan dan penyimpanan energi

Meskipun sama-sama berperan dalam sistem regulasi, tetapi terdapat perbedaan sistem kerja pada hormon dan saraf. Perbedaan tersebut terletak pada jeda waktu yang diperlukan oleh kedua sistem dalam menanggapi rangsang atau stimulus. Sistem saraf menanggapi rangsang dengan cepat, sedangkan sistem hormon menanggapi rangsang dengan lambat. Hal tersebut dapat dimengerti karena jalur perambatan rangsang berbeda pada saraf dan hormon. Oleh karena itu, hormon dapat dirasakan efek kerjanya 30 menit hingga beberapa jam setelah hormon disekresikan.

Seperti halnya saraf, hormon bekerja dengan sangat spesifik. Sel target atau organ target yang akan dituju harus dilengkapi dengan sebuah reseptor yang dikenal oleh hormon, jika tidak dikenali, hormon tidak akan bereaksi.

Beberapa bagian dalam tubuh tempat diproduksinya hormon disebut kelenjar endokrin. Hampir seluruh lokasi organ yang menghasilkan hormon ada di bagian dalam tubuh, tersembunyi, dan terlindungi sehingga cenderung aman dari pengaruh luar (**Gambar 9.17**).



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 9.17
Lokasi kelenjar endokrin di dalam tubuh manusia.

1. Hipotalamus dan Hipofisis

Hipotalamus mengontrol kerja dari kelenjar pituitari (kelenjar hipofisis). Kelenjar hipofisis disebut juga *master of gland* karena banyak menyekresikan hormon dan memengaruhi kerja hormon yang dihasilkan oleh kelenjar lain di dalam tubuh. Hipotalamus terletak di bagian dalam-bawah otak. Kelenjar hipotalamus memerintahkan kelenjar hipofisis bagian depan dan belakang untuk menghasilkan atau menghambat produksi hormon kelenjar endokrin lain sesuai dengan kebutuhan. Hipotalamus sangat penting karena menjadi penghubung dan pengatur komunikasi antara sistem hormon dan sistem saraf. Selain itu, berperan juga dalam mengatur pertumbuhan dan perkembangan manusia.

Hipotalamus dapat berkomunikasi dengan kelenjar hipofisis dengan dua cara, yaitu dengan impuls saraf atau dengan mengeluarkan hormon. Misalnya, jika tekanan darah turun, hipotalamus mengirimkan implus saraf ke kelenjar hipofisis bagian depan. Akbatnya, hipofisis menyekresikan ADH (*antidiuretic hormone*) yang menyebabkan tekanan darah naik. Hipotalamus juga dapat mengeluarkan hormon yang disebut *releasing hormone* dan *inhibiting hormone*.

Releasing hormone merangsang kelenjar hipofisis menyekresikan hormon tertentu. *Inhibiting hormone* menekan kelenjar hipofisis sehingga tidak menyekresikan hormon tertentu.

Dari 9 jenis hormon yang disekresikan kelenjar hipofisis, 7 hormon disekresikan bagian depan (anterior) hipofisis dan 2 lainnya oleh bagian belakang (posterior) hipofisis. Kelenjar hipofisis posterior tersusun atas jaringan saraf dan sebenarnya merupakan bagian dari hipotalamus. Kelenjar hipofisis anterior tersusun atas sel-sel endokrin yang menyintesis dan menyekresikan beberapa hormon ke dalam darah.

a. Hipofisis Anterior

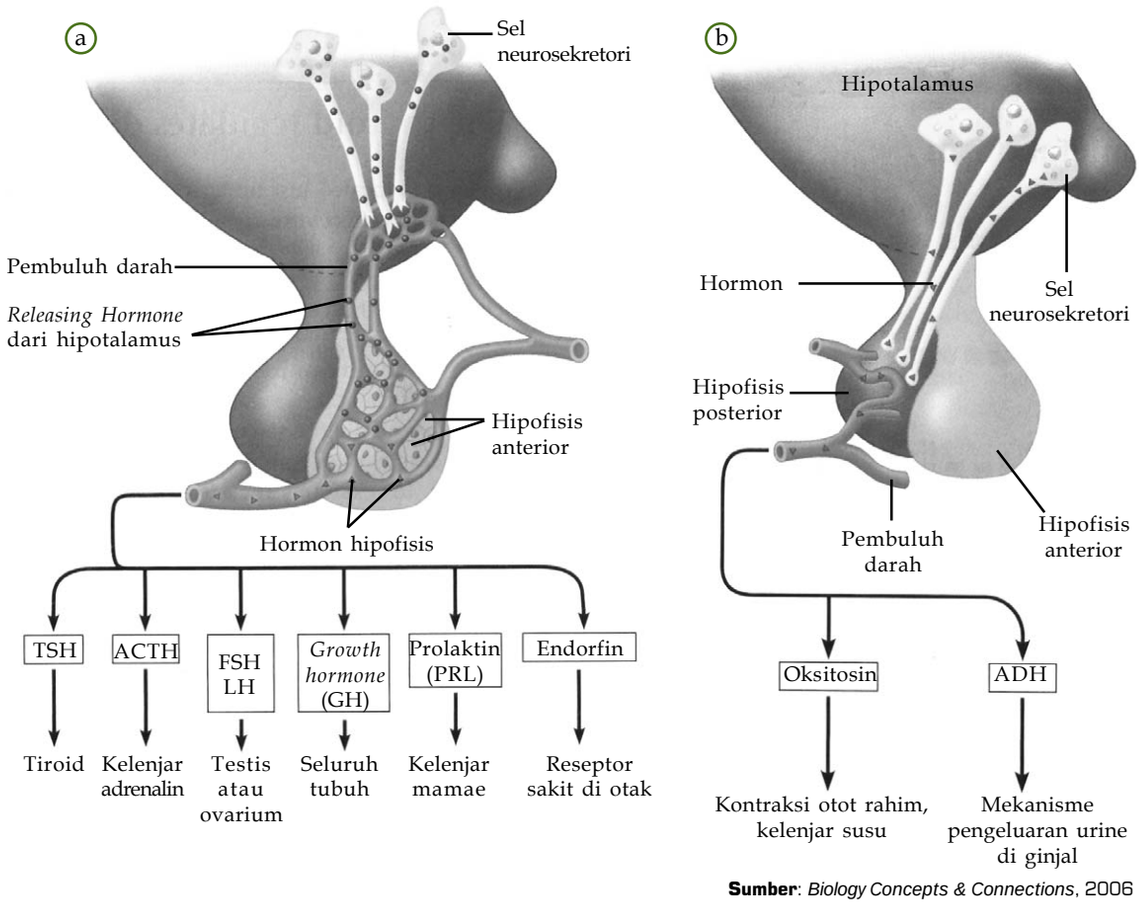
Bagian hipofisis anterior (depan) menghasilkan hormon-hormon sebagai berikut (Campbell, 1998: 925).

1) FSH (*folikel stimulating hormone*), berfungsi merangsang pematangan folikel de Graaf tempat sel telur berada.
2) LH (*lutenizing hormone*), yaitu hormon yang berperan dalam pematangan sel gonad pada wanita.
3) ACTH (*adrenocorticotropic hormone*), yaitu hormon yang berperan merangsang kelenjar adrenal untuk mengeluarkan hormon tertentu.
4) TSH (*tyroid stimulating hormone*), merangsang kelenjar tiroid mengeluarkan hormon tiroksin.
5) Prolaktin, hormon ini mengaktivasi air susu pada ibu yang sedang menyusui.
6) GH (*growth hormone*), merangsang pertumbuhan tulang dan bagian tubuh lainnya dan berperan membantu penyerapan nutrisi tubuh.
7) Endorfin, merupakan hormon yang berfungsi sebagai penghilang rasa sakit. Beberapa narkotika menghasilkan efek yang sama dengan endorfin.

Gambar 9.18

(a) Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis anterior. (b) Hormon oleh kelenjar hipofisis posterior.

Hormon apakah yang dihasilkan oleh hipofisis posterior?



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

b. Hipofisis Posterior

Bagian hipofisis (belakang) ini menghasilkan hormon-hormon sebagai berikut (**Gambar 9.18b**).

1) ADH (*antidiuretic hormone*), mengontrol keseimbangan cairan tubuh melalui mekanisme pengeluaran urine.
2) *Oxytocin*, merupakan hormon yang berperan dalam kontraksi otot rahim pada saat seorang wanita melahirkan.

2. Tiroid dan Paratiroid

Kata Kunci

- Paratiroid
- Tiroid

Kelenjar tiroid dan paratiroid berada di daerah leher. Sering disebut **kelenjar gondok** (tiroid) dan **kelenjar anak gondok** (paratiroid). Kelenjar tersebut berfungsi mengatur kesetimbangan kadar kalsium serta laju metabolisme tubuh.

a. Tiroid

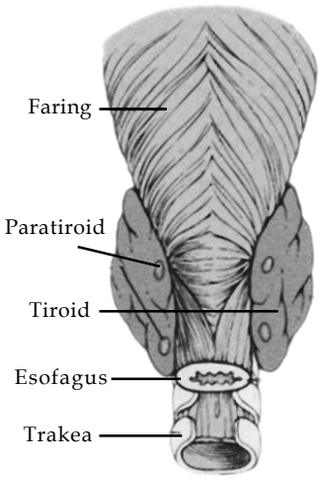
Kelenjar tiroid berada di daerah leher bagian bawah jakun. Terdapat dua lobus menyamping dan dihubungkan oleh bagian yang disebut **isthmus**. Kelenjar tiroid menghasilkan hormon **tiroksin** dan **kalsitonin**.

1) Tiroksin

Hormon ini mengontrol kecepatan metabolisme tubuh untuk menghasilkan energi. Meningkatnya jumlah hormon tiroksin di dalam darah meningkatkan kecepatan reaksi kimia dalam tubuh. Fungsi penting hormon tiroksin lainnya adalah berperan dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tubuh serta menjadi faktor penting dalam proses perkembangan otak pada anak. Hormon tiroksin akan aktif jika mendapat perintah dari TSH yang berada di hipofisis. Kerja hormon tiroksin banyak dipengaruhi oleh kadar iodin di dalam darah.

2. Kalsitonin

Kalsitonin berfungsi mengatur keseimbangan kadar kalsium di dalam darah sehingga mencegah kalsium keluar dari tulang.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 9.19
Kelenjar tiroid dan paratiroid berperan dalam pengaturan kesetimbangan kadar kalsium.

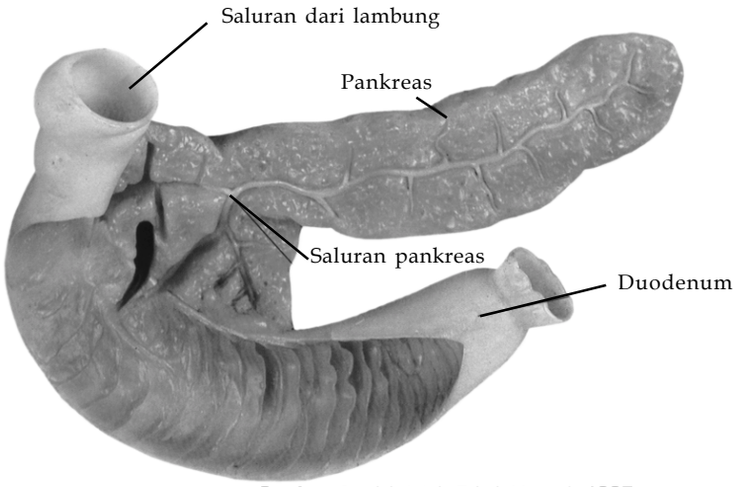
b. Paratiroid

Kelenjar paratiroid berada di bagian belakang kelenjar tiroid. Terdapat empat buah kelenjar paratiroid, 2 di sebelah kanan dan 2 di sebelah kiri (**Gambar 9.19**). Kelenjar paratiroid menghasilkan hormon paratiroid atau **parathormon** (PTH).

Parathormon merupakan hormon yang bersama dengan kalsitonin mengatur kadar kalsium tubuh. Kalsium banyak diperlukan tubuh, seperti untuk kerja saraf dan otot. Kebutuhan kalsium akan meningkat pada wanita hamil atau menyusui. Jika kadar kalsium dalam darah berkurang karena nutrisi makanan yang kurang kalsium, kebutuhan kalsium akan diambil dari tulang oleh parathormon. Jika kadar kalsium sudah cukup atau terlalu tinggi, hormon kalsitonin akan menghambat pelepasan kalsium dari tulang.

3. Pankreas

Pankreas merupakan kelenjar yang berfungsi sebagai kelenjar eksokrin maupun endokrin. Sebagai kelenjar eksokrin, pankreas menghasilkan enzim yang berperan dalam proses pencernaan makanan. Sementara itu, sebagai kelenjar endokrin, pankreas menghasilkan hormon. Hormon tersebut diproduksi di bagian pulau Langerhans. Di dalam pulau-pulau Langerhans terdapat sel beta yang menyekresikan **insulin** dan sel alfa yang menyekresikan **glukagon**.



Sumber: *Jendela Iptek: Tubuh Manusia*, 1997

Gambar 9.20
Pankreas menghasilkan enzim-enzim pencernaan dan hormon.

Kata Kunci
- Insulin
- Korteks
- Pankreas

a. Insulin

Insulin mengatur kadar gula dalam darah dengan cara menyimpan kelebihan glukosa tubuh menjadi glikogen di dalam hati. Insulin berfungsi juga mengatur metabolisme lemak.

b. Glukagon

Bersama dengan insulin, glukagon mengatur kadar gula dalam darah dengan cara merombak glikogen menjadi glukosa. Jika kita berpuasa atau beraktivitas berat tanpa didahului oleh asupan nutrisi, glukagon akan memecah glikogen menjadi glukosa sebagai sumber energi. Selain itu, glukagon juga dapat memecah lemak menjadi asam lemak yang siap digunakan dalam pembentukan energi.

4. Anak Ginjal (Adrenal)

Manusia memiliki dua kelenjar adrenal. Kelenjar tersebut berada di atas ginjal. Setiap kelenjar adrenal tersusun atas dua bagian. Bagian dalam disebut bagian **medula** dan bagian luar disebut bagian **korteks**. Kerja medula adrenal dipengaruhi oleh sistem saraf otonom, sedangkan korteks adrenal dipengaruhi oleh hormon ACTH dari hipofisis anterior.

a. Korteks

Pada kortek adrenal dihasilkan tiga macam hormon, yaitu *glucocorticoid*, *mineralocorticoid*, dan *Gonadocorticoid*.

1) *Glucocorticoid*

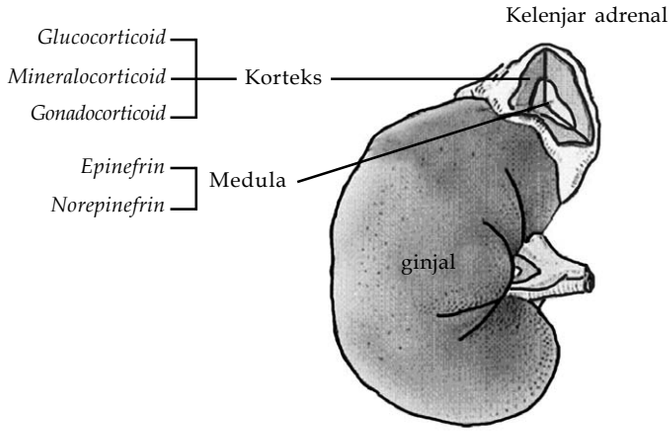
Glucocorticoid berfungsi sama dengan glukagon sehingga berpengaruh dalam pengaturan kadar glukosa tubuh. Kerjanya dipengaruhi oleh sekresi ACTH di hipofisis anterior. Hormon glucocorticoid bekerja pada saat tubuh dalam kondisi stres.

2) *Mineralocorticoid*

Hormon ini mengatur kadar garam dalam darah dengan cara pengaturan ekskresi urine dan keringat.

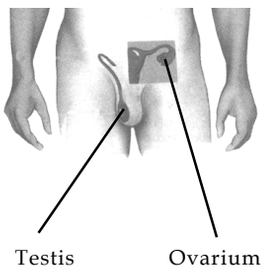
3) *Gonadocarticoid*

Hormon ini merupkan hormon sex, terdiri atas androge, entrogen, dan progesteron. Jumlah hormon yang dihasilkan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan hormon sex yang dihasilkan oleh testis dan ovarium. Androgen dan estrogen berperan dalam pembentukan ciri kelamin sekunder pria dan wanita.



Gambar 9.21
Kelenjar adrenal (anak ginjal) dan bagian-bagiannya

Sumber: www.emc.maricopa.edu



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 9.22
Testis dan ovarium.

Kata Kunci
Medula

b. Medula

Pada bagian medula, dihasilkan hormon epinefrin (*adrenalin*) dan *norephinefrin* (*noreadrenalin*). Ketika kondisi tubuh stres, kedua hormon tersebut akan menyiapkan kita dalam keadaan darurat sehingga meningkatkan laju metabolisme tubuh, menaikkan detak jantung, dan kadar glukosa tubuh. Anda juga dapat merasakan kerja hormon ini pada saat Anda melakukan kegiatan-kegiatan menegangkan, seperti berdiri di ketinggian atau berada dalam kondisi ketakutan.

5. Testis dan Ovarium

Testis dan ovarium merupakan sumber utama hormon seks (**Gambar 9.22**). Pada pria, testis menghasilkan hormon testosteron. Hormon tersebut berpengaruh dalam kematangan seksual pada pria termasuk ciri sekunder dan pematangan sel sperma.

Ovarium akan menghasilkan dua hormon yang penting, yaitu estrogen dan progesteron. Hormon tersebut bekerja sama mengatur ciri seks sekunder dan mengatur masa reproduksi (menstruasi) dan masa kehamilan.

Ciri seks sekunder mulai terlihat pada seseorang yang berada pada masa pubertas. Pada pria, ciri seks sekunder dapat berupa membesarnya suara, timbulnya rambut di sekitar kemaluan, tumbuhnya jakun, serta bahu yang melebar. Pada wanita ciri sekunder dapat dilihat dari tumbuhnya payudara, munculnya rambut di sekitar kemaluan, serta dimulainya siklus reproduksi wanita (siklus menstruasi).

6. Kelenjar Timus

Kelenjar timus terletak di bawah kelenjar tiroid dan paratiroid. Kelenjar tersebut ikut berperan dalam pengaturan pertumbuhan dengan menyekresikan hormon **somatotropin**. Selain itu, timus juga menghasilkan timosin yang mengatur produksi sel khusus dalam darah putih, yaitu sel T. Sel T sangat berpengaruh dalam mekanisme sistem pertahanan tubuh.

7. Saluran Pencernaan Makanan

Beberapa golongan hormon peptida dihasilkan dari kelenjar di usus halus yang akan membantu proses pencernaan seperti hormon **sekretin** dan hormon **kolesistokinin**. Sekretin merangsang pengeluaran getah pankreas, sedangkan kolesistokinin merangsang pengeluaran empedu.

Selain di usus halus, lambung juga dapat menghasilkan hormon yang membantu pencernaan makanan, yaitu hormon **gastrin**. Hormon ini merangsang pengeluaran getah lambung.

8. Kelenjar Pineal

Kelenjar pineal berukuran sebesar kacang tanah yang terletak di tengah otak. Kelenjar ini menyekresikan hormon melatonin yang membantu mengatur ritme tubuh sehari-hari, seperti jadwal tidur di malam hari dan bangun di pagi hari. Fungsi lainnya masih belum diketahui.

Soal Penguasaan *Materi* 9.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan hormon? Apakah fungsinya?
2. Sebutkan kelenjar-kelenjar endokrin yang ada di tubuh manusia.
3. Bagaimanakah hubungan hormon dan sistem saraf dalam mengatur tubuh?

C Sistem Indra

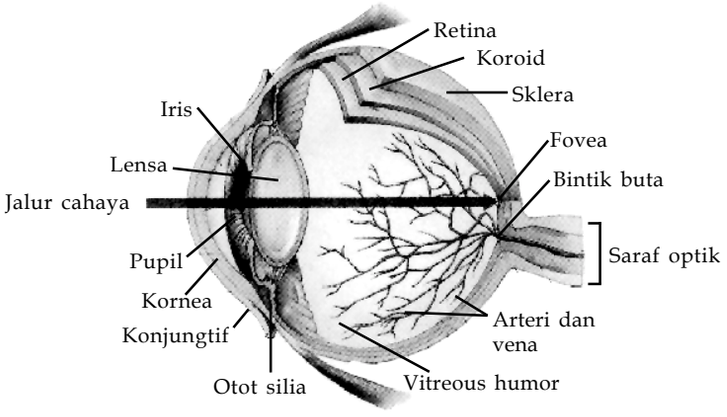
Masuknya rangsang atau impuls saraf ke dalam tubuh melalui sensor yang disebut indra. Impuls yang dapat diterima oleh indra tersebut dapat berupa panas, tekanan, cahaya, rangsang kimia, atau gelombang suara. Dalam tubuh terdapat lima sistem indra, yaitu **mata**, **telinga**, **hidung**, **kulit**, dan **lidah**.

1. Mata

Mata merupakan alat indra yang dapat menerima rangsang cahaya. Mata dapat dibedakan menjadi tiga lapisan berbeda, yaitu:

a. lapisan luar yang terdiri atas sklera dan kornea;
b. lapisan tengah yang berisi koroid, badan silia, dan iris;
c. lapisan dalam, tempat retina.

Bagian mata yang paling besar dan berwarna putih adalah **sklera**. Sklera merupakan tempat otot mata melekat, di dalamnya terdapat jaringan ikat yang berwarna putih. Perhatikan **Gambar 9.23**.



Sumber: *www.sirinet.net*

Gambar 9.23
Bagian-bagian dari mata manusia.

Lapisan bening di depan sklera, tempat cahaya masuk dinamakan **kornea**. Di dalam kornea terdapat cairan pengisi mata, yaitu *aqueos humor*.

Cahaya yang masuk mata diatur intensitasnya oleh sebuah kepingan yang bernama **iris**. Iris mempunyai banyak pembuluh darah dan mengandung pigmen warna yang menyebabkan adanya perbedaan warna pada mata.

Fungsi iris mirip dengan diafragma pada kamera foto. Jika intensitas cahaya tinggi, lubang tempat cahaya masuk dipersempit. Begitu pula sebaliknya. Pada iris, bagian lubang yang berubah sesuai dengan intensitas cahaya yang masuk dinamakan **pupil**. Pupil terletak di bagian tengah iris. Pupil inilah yang merupakan gerbang cahaya masuk ke mata. Pergerakan pupil didukung oleh otot halus yang berada di sekitar pupil.

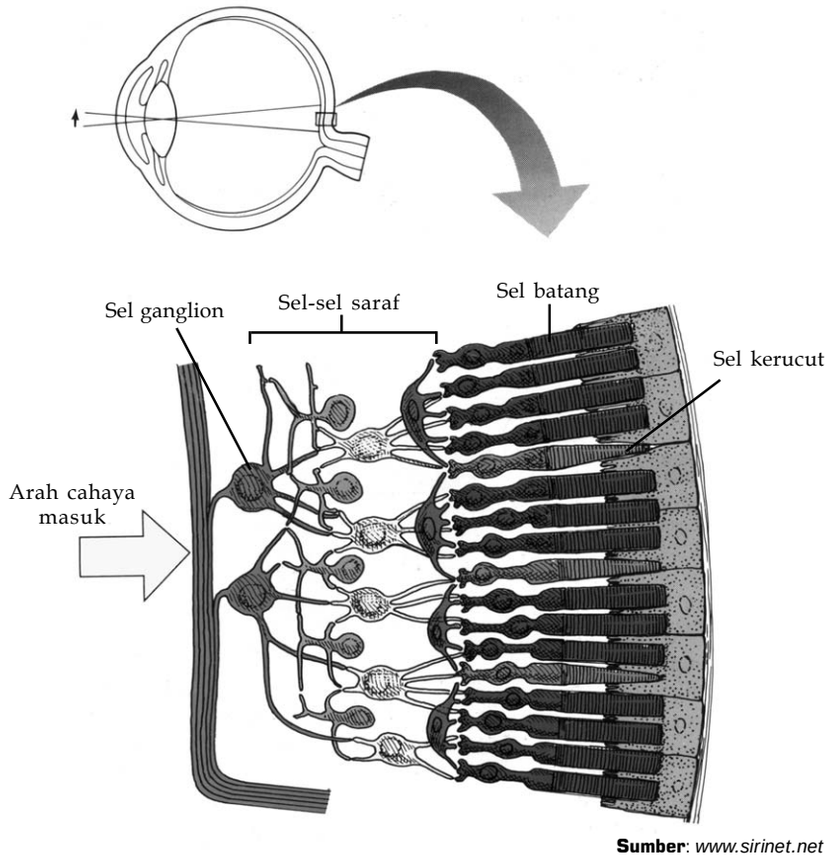
Di belakang iris terdapat sebuah lensa bikonveks untuk memfokuskan cahaya yang masuk sehingga bayangan yang dilihat jelas. Pergerakan lensa dilakukan oleh suatu otot mata. Lensa dibangun oleh protein yang disebut **protein kristalin**. Protein tersebut sangat jernih sehingga memungkinkan cahaya masuk ke dalam mata. Kemampuan mata untuk memfokuskan cahaya yang masuk disebut **daya akomodasi mata**. Seperti halnya kamera fotografi, mata mempunyai jarak fokus terdekat maksimal untuk dapat berakomodasi. Sementara itu, untuk pandangan jarak jauh fokus lensa mata tidak terbatas.

Di antara retina dan iris, terdapat cairan pengisi yang disebut **cairan vitreal**. Pada bagian retina inilah, rangsang cahaya diubah menjadi impuls saraf yang dikirim ke sistem saraf pusat. Bayangan yang dibiaskan oleh lensa mata akan jatuh di daerah sempit di retina yang disebut **fovea**.

Wawasan Biologi

Jika Anda melihat bintang redup di malam hari yang gelap, Anda tidak akan dapat melihatnya secara jelas dengan cara memfokuskan mata. Namun, Anda dapat melihatnya dari sudut mata. Hal ini terjadi karena populasi sel batang lebih banyak di luar daerah fovae. Dengan melihat bintang dari sudut mata, menyebabkan bayangan jatuh di luar daerah fovae dengan populasi sel batang lebih banyak sehingga bayangan bintang lebih jelas.

Sumber: *Biology*, 1998



Gambar 9.24
Sel batang dan sel kerucut pada retina mata

Sumber: *www.sirinet.net*

Pada retina terdapat **sel batang** yang sensitif terhadap cahaya redup dan tidak dapat membedakan warna. Selain itu, terdapat juga **sel kerucut** yang sensitif terhadap cahaya terang dan dapat membedakan warna. Sel batang dan sel kerucut banyak mengandung pigmen penglihatan **retinal** (turunan vitamin A) yang terikat pada protein membran yang disebut **opsin**. Struktur opsin berbeda-beda pada tiap jenis fotoreseptor dan kemampuan penyerapan cahaya retina bergantung pada jenis opsin yang dimiliki.

Kata Kunci

- Daya akomodasi mata
- Sel batang
- Sel kerucut

Sel batang memiliki jenis opsin tersendiri yang dipadukan dengan retinal menjadi pigmen penglihatan yang disebut **rhodopsin**. Pada saat rhodopsin menyerap cahaya, komponen kimiawi retina berubah bentuk dan memicu implus saraf ke otak. Saat gelap, enzim mengubah retina kembali ke bentuk semula dan bersama opsin membentuk rhodopsin. Cahaya terang mencegah pembentukan kembali rhodopsin dan sel batang menjadi tidak responsif. Pada saat inilah sel kerucut bekerja.

Terdapat tiga jenis sel kerucut dengan jenis opsin yang berbeda. Setiap opsin akan berpadu dengan retinal. Semua pigmen penglihatan pada sel kerucut ini disebut **photopsin. Tiga jenis** sel kerucut, yakni **sel kerucut merah**, **sel kerucut hijau**, dan **sel kerucut biru** bergantung pada jenis photopsinnya. Persepsi otak terhadap warna selain merah, hijau dan biru, bergantung pada rangsang yang didapat dari dua atau tiga jenis sel kerucut. Misalnya, jika sel kerucut merah dan hijau terangsang maka kita akan melihat warna kuning atau oranye.

Buta warna disebabkan oleh kerusakan atau tidak terdapatnya satu jenis sel kerucut atau lebih. Buta warna umumnya terjadi pada laki-laki karena merupakan kelainan turunan yang terpaut kromosom X.

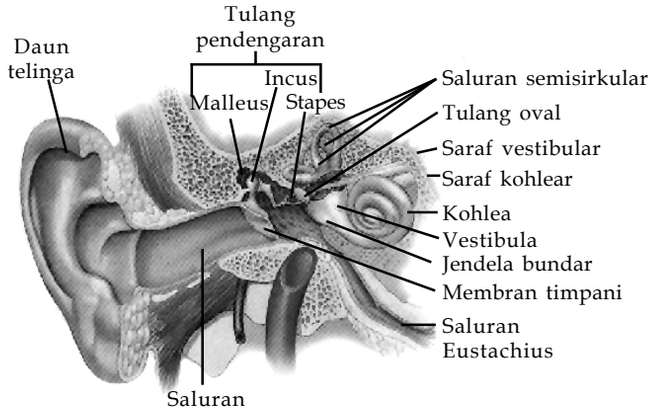
Di bagian fovea terdapat daerah yang peka terhadap cahaya disebut **bintik kuning**, sedangkan bagian yang tidak peka terhadap cahaya disebut **bintik buta**. Bayangan yang jatuh di daerah bintik buta tidak akan diterjemahkan oleh otak sebagai bayangan.

Kata Kunci

- Bintik buta
- Bintik kuning
- Opsin
- Photopsin
- Rhodopsin

2. Telinga

Telinga adalah organ yang terspesialisasi menerima rangsang berupa getaran. Selain berfungsi dalam indra pendengaran, telinga juga menentukan keseimbangan posisi kepala. Telinga dibagi menjadi tiga bagian, yaitu **bagian luar**, **bagian tengah**, dan **bagian dalam** (**Gambar 9.25**).



Sumber: *www.sirinet.net*

Gambar 9.25
Bagian telinga manusia.
Termasuk telinga bagian manakah tulang-tulang pendengaran?

a. Telinga Bagian Luar

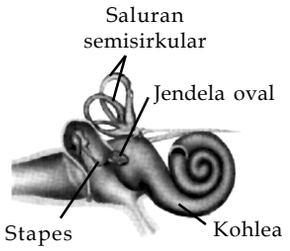
Telinga bagian luar terdiri atas daun telinga dan saluran pendengaran. Daun telinga berfungsi memaksimalkan daya tangkap getaran suara. Adapun saluran pendengaran merupakan bagian lubang telinga. Saluran pendengaran mempunyai mekanisme pencegahan masuknya benda asing. Mekanisme tersebut berupa rambut kecil penyaring udara dan melapisi saluran dengan suatu lapisan lilin. Dalam beraktivitas pasti akan selalu ada benda asing yang masuk ke dalam saluran telinga sehingga lapisan lilin menggumpalkannya menjadi kotoran telinga yang disebut dengan **serumen**.

b. Telinga Bagian Tengah

Membran timpani menjadi awal dari saluran telinga bagian tengah. Pada bagian ini, terdapat tulang-tulang kecil pendengaran yang terdiri atas. **Tulang martil** (**maleus**), **tulang landasan** (**incus**), dan tulang **sanggurdi** (**stapes**).

Tulang-tulang tersebut merupakan tulang terkecil yang berada dalam tubuh kita. Namun, ketiga jenis tulang berperan penting dalam perambatan getaran suara di dalam telinga. Dari membran timpani, getaran suara dirambatkan ke tulang martil, lalu ke tulang landasan, dan akhirnya ke tulang sanggurdi yang posisinya melekat dengan sebuah tingkap oval. Tingkap oval atau tingkap jorong tersebut merupakan sebuah membran tipis di dalam telinga.

Di bagian tengah telinga, terdapat saluran Eustachius yang menghubungkan saluran telinga tengah dengan saluran pencernaan di rongga mulut. Saluran tersebut menyeimbangkan tekanan udara yang berada di bagian luar dan dalam telinga sehingga membran timpani tidak terganggu (pecah).



Sumber: *www.sirinet.net*

Gambar 9.26
Saluran telinga bagian dalam sebagai jalur rambat suara.

c. Telinga Bagian Dalam

Di bawah tingkap oval, terdapat membran lainnya, yaitu **tingkap bundar**. Dari tingkap bundar, getaran dirambatkan ke bagian telinga dalam yang dimulai dari bagian rumah siput (*cochlea*). Di dalamnya terdapat suatu cairan yang dipisahkan oleh sebuah membran. Di dalam rumah siput terdapat juga rambut-rambut silia yang peka terhadap getaran, serta organ korti yang merupakan organ untuk pendengaran. Getaran akan dirambatkan menuju cairan di dalam rumah siput yang akan menggetarkan membran basal di dalamnya sehingga menyebabkan rambut getar mengalami depolarisasi. Dari bagian rambut getar, kemudian getaran yang datang dari luar diubah menjadi impuls saraf yang akan dikirim ke otak menuju saraf akustik.

d. Saluran Keseimbangan

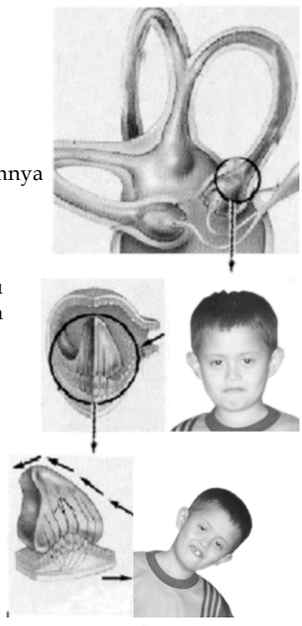
Saluran pendengaran menjadi salah satu organ keseimbangan tubuh. Hal tersebut karena dalam saluran pendengaran terdapat sebuah saluran kecil di atas rumah siput yang disebut **kanalis semisirkularis**. Kanalis semisiklularis terdiri atas tiga saluran setengah lingkaran. Satu saluran berada dalam posisi horizontal yang disebut **ampula**, sedangkan dua bagian lainnya dalam posisi vertikal, yaitu **skula** dan **utrikula**.

Di dalam kanalis semisirkularis terdapat cairan dan rambut getar yang berfungsi sebagai alat pengenal posisi sehingga kita dapat menjaga keseimbangan tubuh. Selain itu, di dalam saluran ini juga terdapat suatu protein dan kalsium karbonat yang ikut menentukan posisi tubuh, yaitu **otolit** (**Gambar 9.27**). Bersama dengan cairan yang berada di dalam kanalis semisirkularis, otak dapat memahami posisi tubuh kita dan mempertahankan keseimbangan posisi tubuh.

a. Setiap saluran semisirkular mempunyai pembesaran di ujungnya yang dilapisi sel-sel reseptor di dalamnya

b. Ketika kepalamu tegak, cairan dan rambut-rambut juga ikut tegak

c. Setiap perubahan menyebabkan cairan bergeser ke arah berlawanan



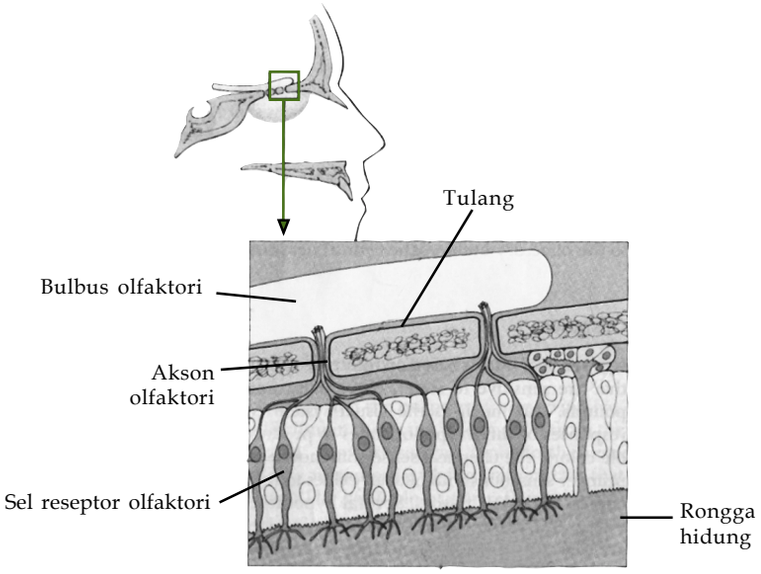
Sumber: *www.sirinet.net*, *Dokumentasi penerbit*

Gambar 9.27
Skema gerakan otolit yang ikut menentukan keseimbangan posisi tubuh ketika bergerak.

3. Hidung

Selain sebagai alat respirasi, hidung juga merupakan organ sensorik yang terspesialisasi untuk menangkap rangsang kimia. Di udara, rangsang kimia yang ringan dibawa dalam bentuk gas yang kemudian diterima oleh kemoreseptor berisi silia di hidung yang disebut **reseptor olfaktori** (**Gambar 9.28**).

Silia tersebut diminyaki oleh lapisan lendir. Pada lapisan membran silia, terdapat enzim yang akan mengkatalisis proses perubahan sinyal kimia menjadi impuls saraf sehingga menciptakan perubahan potensial aksi. Impuls saraf yang dihasilkan akan dikirim ke bagian otak, yaitu saraf kranial olfaktori I.



Sumber: *Biology: Dicovering Life*, 1991

Kata Kunci

- Kanalis semisirkularis
- Reseptor olfaktori

Gambar 9.28

Hidung adalah organ sensorik yang dapat menangkap rangsang kimia.

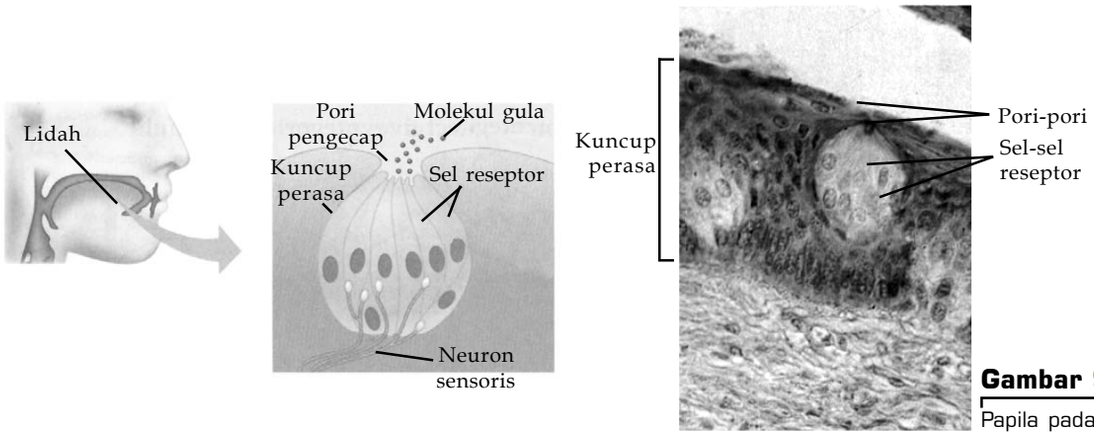
Di rongga hidung bagian manakah letak bulbus olfaktori?

4. Lidah

Lidah merupakan bagian dari reseptor kimia tubuh lainnya. Organ yang menerima rangsangan ini adalah ujung pengecap yang berada di lidah. Jumlah ujung pengecap ini dapat mencapai 10.000 buah yang tersembunyi di antara tonjolan-tonjolan lidah (papila). Perhatikan **Gambar 9.29**.

Setiap ujung pengecap, memiliki sensitivitas yang berbeda terhadap rasa. Pada dasarnya, rasa sangat beragam sekali, tapi hanya ada empat macam rasa yang umum kita kecap, yaitu manis, asin, asam, dan pahit. Setiap bagian di lidah mempunyai sensitivitas berbeda terhadap sensasi empat rasa tersebut.

Setiap sensasi rasa yang diberikan akan diterima oleh reseptor di dalam ujung pengecap yang akan membuat perbedaan potensial sehingga impuls saraf dapat dialirkan ke sistem saraf pusat. Bagian otak yang menerima rangsangan ini adalah saraf kranial VII (fasial) dan saraf kranial IX (glosofaringeal).



Gambar 9.29

Papila pada lidah manusia.

Sumber: *www.vh.org; Biology Concepts & Connections*, 2006

Wawasan Biologi

Reseptor-reseptor pada kulit dari jenis yang berbeda, tidak menyebar secara sama di permukaan tubuh. Reseptor rasa sakit 27 kali lebih banyak dibandingkan reseptor dingin.

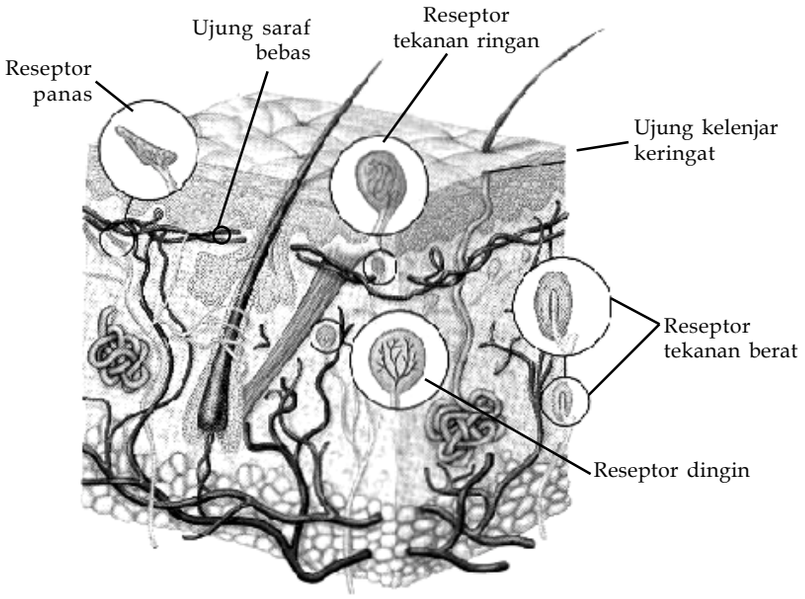
Sumber: *Heath Biology*, 1985

Sensasi rasa yang kita kecap dari sistem saraf pengecap, biasanya berhubungan dengan kerja dari sistem saraf penciuman di hidung. Oleh karena itu, pada saat kita pilek dan indra penciuman tersumbat, makanan yang kita makan seakan tidak memiliki rasa.

5. Kulit

Kulit merupakan reseptor tubuh yang paling luas dan paling pertama menerima informasi dari lingkungan. Di dalam kulit, tersimpan banyak sekali reseptor mekanis (*mechanoreceptor*) sehingga kita dapat merasakan dingin, panas, tekanan, hingga rasa sakit. Umumnya, reseptor berada di bawah folikel akar rambut sehingga diduga ada hubungan antara rambut di kulit dengan sensitivitas kulit terhadap rasa tertentu. Anda dapat membuktikan bagaimana rasa sakit akibat rambut kaki yang dicabut jika dibandingkan dengan rambut di kepala. Di bawah kulit, setidaknya ada lima jenis sel saraf reseptor yang menerima informasi berbeda (**Gambar 9.30**), yaitu:

a. **Ruffini**, peka terhadap rangsang suhu panas;
b. **Krause**, peka terhadap rangsang suhu dingin;
c. **Paccini**, peka terhadap rangsang tekanan, dan sentuhan;
d. **Meissner**, peka terhadap rangsang tekanan dan sentuhan;
e. Ujung saraf bebas, peka terhadap rangsang tekanan ringan dan rasa sakit.



Gambar 9.30
Jenis sel saraf sensoris yang berada di bawah kulit manusia.

Sumber: *www.sirinet.net*

Kerja kelima sel saraf tersebut dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe reseptor, yaitu termoreseptor (*Ruffini* dan *Krause*), mekanoreseptor (*Meisner* dan *Paccini*), dan reseptor rasa sakit (ujung saraf bebas). Mekanoreseptor banyak terdapat di ujung jari, bibir, telapak kaki, dan alat kelamin. Ujung-ujung reseptor rabaan juga terdapat pada folikel rambut di dalam lapisan dermis. Reseptor rasa sakit atau nyeri dibedakan dari mekanoreseptor karena memang mempunyai mekanisme kerja yang berbeda.

Reseptor rasa sakit dapat dikatakan sebagai reseptor kimia yang berada di luar hidung dan lidah. Reaksi kerja yang terjadi akibat sensasi rasa sakit di kulit diciptakan oleh pelepasan enzim dari jaringan yang rusak atau terluka sehingga akan mengubah protein tertentu di dalam darah menjadi suatu zat kimia, yaitu **bradikinin**, yang mengaktifkan reseptor rasa sakit.

Tugas Ilmiah 9.1

Diskusikan, mengapa bila kita menusukkan jarum dan menempelkan bara atau es pada titik yang sama di permukaan tubuh, sensasinya akan berbeda-beda?

Soal Penguasaan *Materi* 9.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan organ indra yang dimiliki oleh manusia.
2. Jelaskan bagian-bagian telinga.
3. Mengapa dalam merasakan rasa makanan, indra penciuman memiliki pengaruh terhadap persepsi rasa tersebut?

D Gangguan pada Sistem Regulasi

Gangguan pada sistem regulasi dapat terjadi pada sistem saraf, sistem hormon, dan sistem indra. Berikut ini beberapa gangguan yang umum dijumpai pada sistem regulasi.

1. Gangguan Sistem Saraf Pusat

Beberapa penyakit yang mengganggu sistem saraf pusat adalah stroke, meningitis, sklerosis ganda, polio paralitik, penyakit Parkinson, penyakit Leu Gehrig, dan sakit kepala migrain.

a. Stroke

Penyakit ini disebabkan oleh kerusakan pada otak yang dipicu oleh terhalangnya aliran darah atau hilangnya darah di pembuluh darah dalam otak. Masih ingatkah Anda materi sistem peredaran darah? Apa yang dapat menyebabkan kelainan pada aliran darah?

Penderita stroke mempunyai masalah dengan reaksi motorik (gerakan pada bagian tubuh tertentu) sehingga menyebabkan kelumpuhan. Jika bagian otak tidak mendapat suplai nutrisi, akan terjadi kematian pada bagian sel sarafnya. Jika semua bagian otak tidak mendapatkan nutrisi dalam waktu lima menit saja, dapat mengakibatkan kematian. Stroke disebut juga sebagai kematian sebagian sel saraf di otak.

b. Meningitis

Anda telah mengenal lapisan pelindung otak, yaitu meninges. Bagian ini tidak luput dari infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme. Penyakit infeksi atau radang pada lapisan meninges dinamakan **meningitis**.

c. Koma

Koma diartikan sebagai periode panjang seseorang pada kondisi tidak tersadarkan diri dan tidak dapat dirangsang bahkan dengan stimuli yang paling menyakitkan. Koma dapat diakibatkan oleh benturan pada otak.

d. Tremor

Tremor adalah kondisi tubuh dan alat gerak yang tidak dapat menahan goncangan tubuh. Penderita lanjutannya adalah penyakit Parkinson, yaitu kelainan otak yang ditandai dengan gemetar dan kesulitan berjalan, bergerak, dan regulasi.

e. Sklerosis ganda

Sklerosis ganda adalah salah satu penyakit utama pada sistem saraf pusat. Orang dengan penyakit ini mengalami pengurangan mielin yang mengakibatkan gangguan pada kemampuan saraf untuk menghantarkan

impuls elektrik dari dan ke otak. Beberapa gejalanya adalah lemas pada kaki dan lutut, hilangnya keseimbangan, penglihatan kabur, dan berkurangnya kemampuan berbicara.

f. Sakit kepala migrain

Sakit kepala migrain adalah sakit kepala yang terjadi pada salah satu sisi kepala.

g. Rabies

Rabies adalah penyakit infeksi akut pada susunan saraf pusat yang disebabkan oleh virus rabies. Rabies ditularkan melalui gigitan hewan penular rabies, seperti anjing, kucing, dan kera (**Gambar 9.31**). Setelah memperbanyak diri dalam neuron-neuron sentral, virus bergerak ke arah perifer dalam serabut saraf eferen, saraf volunter, maupun saraf otonom. Dengan demikian, virus tersebut menyerang hampir setiap organ dan jaringan di dalam tubuh, dan berkembang biak dalam jaringan-jaringan seperti kelenjar ludah dan ginjal.

Wawasan Biologi

Pada Mei 2004,WHO (*orld Health rganization*) melaporkan bahwa sekitar 18.000 orang India meninggal karena rabies setiap tahunnya. Hal ini setara dengan satu kematian setiap 30 menit.

Sumber:*www.animalindiatrust.com*

Gambar 9.31
Hewan penyebar rabies. Rabies dapat ditularkan antara lain oleh monyet dan anjing.

Sumber: *www.animalindiatrust.com*

2. Gangguan pada Sistem Hormon

Terlalu banyak atau terlalu sedikit hormon dapat menyebabkan kelainan pada tubuh. Contohnya, jika kelenjar pituitari memproduksi terlalu banyak hormon tumbuh, seorang anak dapat menjadi sangat tinggi. Jika kelenjar tersebut memproduksi terlalu sedikit, anak itu menjadi kerdil. Beberapa contoh lain gangguan yang diakibatkan oleh hormon adalah sebagai berikut.

a. Defisiensi Adrenal

Beberapa orang mempunyai permasalahan dengan produksi kelenjar adrenal sehingga tubuhnya lemah, mudah lelah, sakit pada daerah perut, mual-mual, dan dehidrasi. Kondisi tersebut disebabkan berkurangnya fungsi korteks adrenal yang menyebabkan berkurangnya produksi hormon adrenal kortikosteroid. Perawatan yang dapat dilakukan adalah dengan memberikan pengganti hormon kortikosteroid.

b. Sindrom Cushing

Penggunaan obat-obatan tertentu untuk mengobati suatu penyakit, ternyata dapat menyebabkan timbulnya penyakit baru. Sindrom cushing disebabkan oleh jumlah hormon glukokortikoid yang berlebih pada tubuh. Pada anak-anak, biasanya terjadi jika mereka mengonsumsi obat-obatan kortikosteroid sintetis (seperti prednisone) dalam dosis yang besar untuk menyembuhkan penyakit autoimun, seperti lupus. Gejala yang muncul dalam jangka waktu panjang adalah obesitas, kegagalan tumbuh, lemahnya otot-otot, kulit mudah teriritasi, jerawat, tekanan darah tinggi, dan perubahan psikologi. Terapi penyembuhan yang dapat dilakukan adalah dengan operasi, terapi radiasi, kemoterapi, atau obat-obatan yang menghalangi produksi hormon.

c. Diabetes

Terdapat dua jenis diabetes, yakni diabetes tipe 1 dan diabetes tipe 2.

1) Diabetes tipe 1

Diabetes tipe 1 disebabkan pankreas gagal memproduksi cukup insulin. Gejalanya adalah terus-menerus haus, lapar, buang air kecil, dan hilangnya berat badan. Pada anak-anak dan remaja, kondisi tersebut biasanya disebabkan antibodi menyerang dan menghancurkan sel pankreas yang memproduksi insulin. Penyakit tersebut dapat menimbulkan komplikasi jangka panjang, seperti masalah ginjal, kerusakan saraf, kebutaan, dan penyakit jantung koroner dini dan stroke. Untuk mengontrol kandungan gula dalam darah dan mengurangi risiko komplikasi diabetes, penderitanya memerlukan suntikan insulin secara teratur.

2) Diabetes tipe 2

Diabetes tipe 2 disebabkan tubuh tidak dapat memproduksi insulin dalam jumlah yang normal. Anak-anak dan remaja yang mengidap penyakit ini akan kelebihan berat badan. Gejala dan komplikasi yang timbul serupa dengan diabetes tipe 1. Beberapa penderita dapat mengontrol kadar gula dalam darah dengan diet, berolahraga, dan mengonsumsi obat-obatan. Namun, banyak pula yang memerlukan suntikan insulin seperti penderita diabetes tipe 1.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 9.32
Insulin. Kini insulin dapat diproduksi menggunakan bakteri. Insulin digunakan oleh para penderita diabetes.

d. Masalah Hormon Tumbuh

Kelenjar pituitari yang gagal memproduksi sejumlah hormon tumbuh yang diperlukan, membuat pertumbuhan seorang anak terganggu. Hormon tumbuh yang diproduksi secara berlebihan pada masa pertumbuhan akan membuat tulang dan bagian tubuh lain tumbuh secara berlebihan dan menyebabkan **gigantisme**. Hipoglikemi (kadar gula rendah) juga dapat timbul pada anak yang kekurangan hormon tumbuh, biasanya pada bayi dan anak kecil.

e. Tiroid

Kelainan yang berkaitan dengan hormon tiroid, yakni hipertirodisme dan hipotirodisme.

1) Hipertiroidisme

Hipertiroid merupakan kondisi kadar hormon tiroid dalam darah sangat tinggi. Gejala yang timbul berupa hilangnya berat badan, gugup, tremor, keringat berlebih, laju detak jantung dan tekanan darah tinggi, mata yang menonjol, dan hiperaktif. Penyakit ini dapat diobati dengan pengobatan, pembuangan atau penghancuran kelenjar tiroid dengan operasi atau terapi radiasi.

2) Hipotiroidisme

Hipotiroidisme merupakan kebalikan dari hipertiroid, yaitu kadar hormon tiroid dalam darah sangat rendah. Hal tersebut menyebabkan lambatnya proses-proses dalam tubuh sehingga tubuh menjadi lemah, laju detak jantung rendah, keringnya kulit, dan penambahan berat badan. Karena kadar hormon tiroid dalam darah rendah, kelenjar tiroid berusaha memproduksinya. Hal tersebut berakibat pada membengkaknya kelenjar tiroid yang dikenal dengan penyakit gondok (**Gambar 9.33**).

Untuk mencegah dan mengobatinya, pasien diberi zat yodium sehingga produksi hormon tiroidnya kembali normal. Selain itu, hipotiroid pada anak-anak dapat menyebabkan lambatnya pertumbuhan (kekerdilan) dan tertundanya pubertas. Kondisi ini disebut **kretinisme**. Bayi-bayi yang dilahirkan dengan tidak adanya atau tidak sempurnanya kelenjar tiroid dapat

Sumber: *www.sets.families.com*

Gambar 9.33
Penyakit gondok. Hal ini terjadi pada seseorang yang kurang mengonsumsi yodium.

Wawasan Biologi

Untuk menyembuhkan rabun jauh dan rabun dekat kini telah dikembangkan cara pengobatan baru yang disebut LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis). Teknologi ini secara permanen mengubah bentuk kornea menggunakan laser sehingga memperbaiki fokus cahaya mata.

Sumber:*www.asklasikdoctor. com*

mengidap hipotiroidisme. Kondisi tersebut dapat diobati dengan pemberian pengganti hormon tiroid secara oral.

f. Pubertas Dini

Perubahan tubuh yang berhubungan dengan pubertas dapat timbul secara dini pada anak-anak jika hormon pituitari yang menstimulasi gonad meningkat secara dini. Pengobatan melalui suntikan dapat dilakukan untuk menekan sekresi hormon-hormon pituitari (gonadotropin) dan menahan kemajuan perkembangan seksual pada anak-anak sebelum waktunya.

3. Gangguan pada Sistem Indra

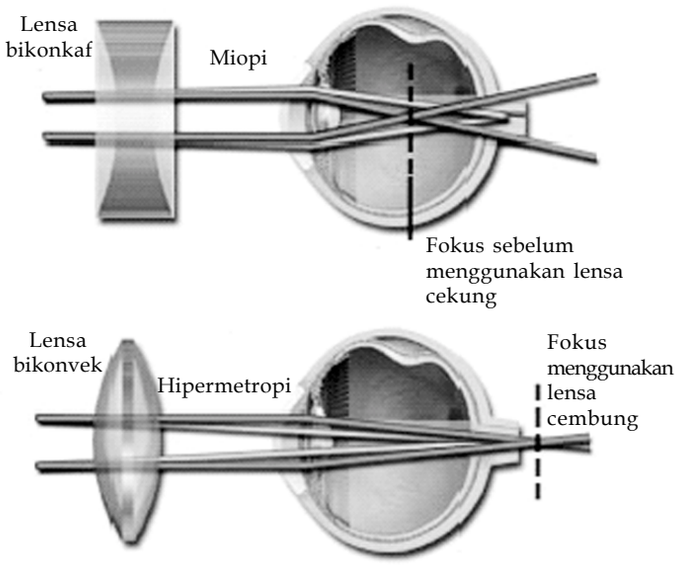
Beberapa kelainan yang terjadi pada sistem indra di antaranya adalah sebagai berikut.

a. Rabun Jauh

Rabun jauh (miopi) disebabkan daya akomodasi mata berubah sehingga tidak dapat memfokuskan bayangan tepat di bintik kuning. Orang yang menderita rabun jauh tidak dapat melihat objek yang berada jauh karena bayangan yang masuk ke mata jatuh di depan bintik kuning. Penderitanya dapat ditolong dengan menggunakan lensa cekung (bikonkaf).

b. Rabun Dekat

Rabun dekat (hipermetropi) disebabkan daya akomodasi mata yang menurun, penderitanya tidak dapat melihat dengan jelas objek yang jaraknya dekat dengan mata. Umumnya, penderita rabun dekat berhubungan dengan penuaan. Semakin tua usia seseorang, semakin berkurang daya akomodasi mata sehingga terjadi hipermetropi. Penderitanya dapat ditolong dengan menggunakan lensa cembung (bikonveks) (**Gambar 9.34**).



Gambar 9.34
Penderita miopi dan hipermetropi yang dapat ditolong dengan lensa kaca mata.

Sumber: *www.micro.magnet.fsu.edu*

c. Presbiopi

Presbiopi merupakan gabungan dari rabun jauh dan dekat sehingga benda yang terlalu jauh ataupun terlalu dekat tidak dapat difokuskan. Penderitanya dapat dibantu dengan menggunakan lensa progresif.

Tugas Ilmiah 9.2

Dewasa ini masyarakat Indonesia, terutama anak-anak, banyak yang menderita autis. Diskusikan hal tersebut dikaitkan dengan sistem saraf. Anda dapat mencari informasi melalui artikel-artikel di surat kabar atau internet.

Soal Penguasaan *Materi* 9.4

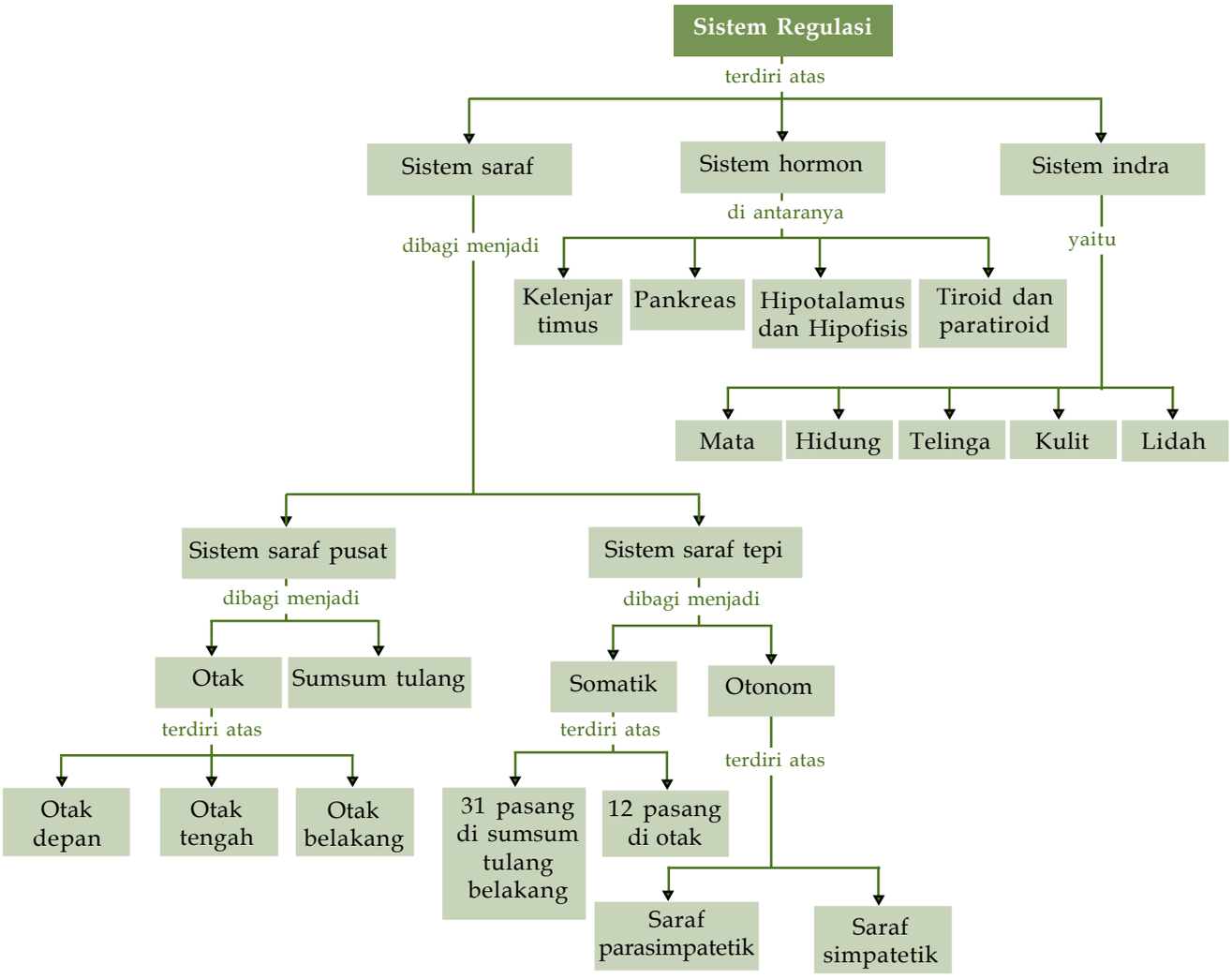
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan contoh gangguan pada sistem saraf pusat.
2. Jelaskan perbedaan diabetes tipe 1 dan tipe 2.
3. Apa yang harus dilakukan untuk mengobati kelainan pada sistem indra jika mengalami kelainan hipermetropi dan miopi?

Rangkuman

1. Sistem regulasi pada manusia terdiri atas sistem saraf, sistem hormon, dan sistem indra. Sistem saraf berfungsi mengatur dan mengoordinasikan aktivitas tubuh. Sistem hormon memiliki fungsi regulasi mirip sistem saraf, namun dengan cara menyekresikan hormon dan memerlukan waktu yang relatif lebih lama. Sistem indra menerima segala rangsang dari luar tubuh untuk diterjemahkan dan ditanggapi.
2. Sistem saraf terdiri atas sel-sel saraf (neuron). Sistem saraf dapat dibedakan menjadi sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang. Sistem saraf tepi terdiri atas sistem saraf somatik dan sistem saraf otonom.
3. Sistem hormon terdiri atas kelenjar-kelenjar yang menghasilkan hormon, antara lain kelenjar timus, pankreas, hipotalamus, hipofisis, tiroid, dan paratiroid.
4. Sistem indra menangkap semua rangsang dari lingkungan. Sistem indra terdiri atas mata, hidung, telinga, kulit, dan lidah.

Peta Konsep



Kaji Diri

Apakah Anda sudah memahami materi tentang Sistem Saraf? Apakah Anda sudah memahami Sistem Hormon? Bagaimana dengan materi Sistem Indra? Setelah mempelajari Bab Sistem Regulasi, Anda harus dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses penyakit pada sistem regulasi manusia. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit pada sistem regulasi manusia, berarti Anda belum menguasai Bab Sistem Regulasi dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda. Adakah manfaat bagi Anda setelah mempelajari bab ini?

Evaluasi Materi Bab 9

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Sel saraf yang sifatnya membawa rangsang dari pusat saraf menuju alat-alat panca indra disebut ....
   a. neuron
   b. motorik
   c. sensorik
   d. ganglion
   e. sensibel

2. Saraf parasimpatetik berpengaruh terhadap aktivitas beberapa organ tubuh, *kecuali* ....
   a. kontraksi pembuluh darah
   b. pengecilan pupil
   c. peningkatan sekresi kelenjar saliva
   d. pengecilan bronkus
   e. kontraksi dinding usus

3. Urutan jalan rangsangan pada busur refleks mengikut pola ....
   a. reseptor - serabut saraf sensorik - saraf tulang belakang - serabut saraf motorik - efektor
   b. reseptor - serabut saraf motorik - saraf tulang belakang - serabut saraf sensorik - efektor
   c. reseptor - saraf tulang belakang - serabut saraf sensorik - serabut saraf motorik - efektor
   d. reseptor - serabut saraf sensorik - otak - serabut saraf motorik - efektor
   e. reseptor - serabut saraf sensorik- serabut saraf motorik - konektor - efektor

4. Dari berbagai macam hormon yang anda kenal, ada di antaranya yang dihasilkan oleh pankreas, yaitu ....
   a. tripsin
   b. erepsin
   c. insulin
   d. amilase
   e. pepsin

5. Adrenalin adalah hormon yang berfungsi ....
   a. mengatur metabolisme
   b. memengaruhi kerja hormon lainnya
   c. merangsang kerja usus
   d. mengatur metabolisme senyawa fosfat
   e. menurunkan tekanan darah

6. Hormon yang mengatur terhadap pematangan ciri seks sekunder adalah ....
   a. aldosteron
   b. epineprin
   c. tiroksin
   d. testosteron
   e. insulin

7. Berikut adalah beberapa jenis hormon yang dihasilkan oleh manusia.
   1. Adrenalin
   2. Insulin
   3. Estrogen
   4. Tiroksin
   5. Progesteron
   6. Testosteron
   7. Prolaktin
   8. Gastrin

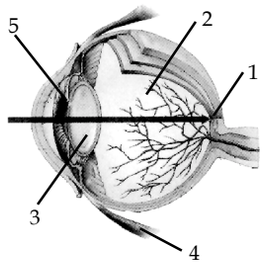
   Hormon-hormon yang berperan dalam kegiatan reproduksi adalah ....
   a. 1, 3, 4
   b. 2, 5, 7
   c. 3, 6, 8
   d. 4, 6, 8
   e. 3, 5, 6

8. Tumbuhnya kumis dan membesarnya suara pada pria remaja dipengaruhi hormon. Peranan hormon dalam peristiwa di atas ....
   a. memengaruhi pertumbuhan
   b. mengatur kegiatan alat-alat tubuh
   c. memengaruhi tumbuhnya sifat kelamin sekunder
   d. memacu pemasakan spermatozoid
   e. memengaruhi daya tahan tubuh

9. Uji refleks sering dilakukan dengan cara memukulkan benda lunak perlahan-lahan ke bagian bawah tempurung lutut sehingga secara tidak sadar tungkai bawah bergerak ke depan. Busur refleks yang menghasilkan gerakan itu mempunyai jalur sebagai berikut ....
   a. lutut - saraf motorik - sumsum tulang belakang - saraf sensorik- kaki
   b. lutut - saraf sensorik- sumsum tulang belakang - saraf motorik - kaki
   c. lutut - saraf sensorik- otak - saraf motorik - kaki
   d. lutut - saraf motorik - otak - saraf sensorik- kaki
   e. lutut - saraf sensoris konektor menyilang - saraf motorik kaki

10. Kelainan mata yang dapat diatasi dengan menggunakan kacamata lensa cekung adalah ....
    a. miopi
    b. hipermetropi
    c. presbiopi
    d. emetropi
    e. trakoma

11. Perhatikan penampang mata berikut ini.



    Bagian yang berfungsi menggerakkan bola mata adalah ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

12. Kelenjar endokrin ikut menentukan ciri-ciri fungsional organisme terutama yang menyangkut fungsi berikut, *kecuali*…..
    a. nutrisi
    b. respirasi
    c. ekskresi
    d. regulasi
    e. iritabilitas

13. Hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tubuh manusia adalah…..

a. parathormon
b. adrenalin
c. kortison
d. tiroksin
e. oksitoksin

14. Metabolisme kalsium diatur oleh hormon yang dihasilkan kelenjar….
a. anak gondok
b. anak ginjal
c. gondok
d. timus
e. pankreas

15. Salah satu cacat tubuh akibat kekurangan hormon adalah kretinisme. Defisiesi hormon yang menyebabkan kretinisme tersebut adalah ....
a. hipofisis
b. prolaktin
c. tiroksin
d. paratiroid
e. somatotrop

16. Penderita penyakit gondok disebabkan oleh ....
a. rusaknya sistem indra
b. kekurangan vitamin E pada gizinya
c. virus
d. kekurangan yodium
e. bakteri

17. Jika orang sedang marah, jantungnya berdebar-debar, pernapasan lebih cepat, dan gerakan-gerakannya serba cepat. Hal tersebut disebabkan pengaruh hormon…..
a. insulin
b. sekskretin
c. adrenalin
d. tiroksin
e. asetilkolin

18. Hormon yang merangsang pengeluaran getah pankreas adalah ....
a. sekretin
b. kolesistokinin
c. gastrin
d. somatrotopin
e. epineprin

19. Apa yang akan terjadi dalam organ hati apabila kadar gula dalam tubuh terlalu tinggi, maka hati akan bertugas….
a. mengeluarkan hormon insulin untuk menurunkan kadar gula dalam darah
b. mengeluarkan hormon adrenalin untuk menurunkan kadar gula dalam darah
c. menyimpan gula dalam bentuk glikogen (gula otot)
d. mengubah gula menjadi bilirubin
e. menyimpan gula dalam biliverdin

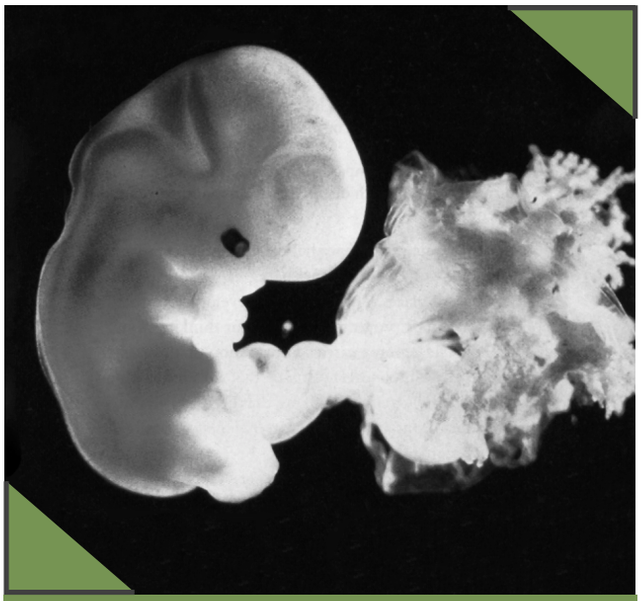
20. Lapisan luar pada mata merupakan tempat terdapatnya ....
a. retina
b. koroid
c. sklera
d. kornea
e. pupil

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Terangkan oleh Anda apa yang mendasari perbedaan dan persamaan cara kerja sistem regulasi antara sistem saraf dan sistem hormon, buatlah dalam tabel.
2. Sebutkan tiga lapisan selaput pembungkus otak. Penyakit apa yang dapat terjadi pada selaput ini?
3. Jelaskan mekanisme penjalaran impuls pada refleks.
4. Jelaskan tiga contoh gangguan pada sistem hormon.
5. Dalam beberapa kasus, kita sering mendengar seseorang yang selalu mencari sensasi dari kegiatan-kegiatan yang menegangkan, seperti melompat dari ketinggian atau berperahu di arus deras. Dari beberapa contoh kejadian tersebut, dapatkah Anda mencoba menganalisis apa penyebab seseorang melakukan dan menyenangi kegiatan-kegiatan seperti itu? Mekanisme apa yang menurut Anda membuat seseorang kadangkala ketagihan dengan aktivitasnya tersebut?

Soal Tantangan

Malnutrisi beberapa senyawa penting yang diperlukan oleh tubuh dapat menyebabkan gangguan fungsi dari beberapa organ tubuh, misalnya gondok dan rabun senja. Hasil penelitian WHO (*World Health Organization*) mengungkapkan bahwa kekurangan iodium yang dikonsumsi melalui makanan dapat menurunkan tingkat kecerdasan anak-anak usia sekolah. WHO juga mengungkapkan bahwa di Indonesia banyak produk garam berlabel iodium ternyata tidak mengandung iodium. Untuk mengatasi hal ini, bagaimanakah Anda memenuhi kebutuhan iodium yang diperlukan oleh tubuh, mengingat pentingnya senyawa ini. Sebutkan jenis-jenis makanan yang dapat digunakan untuk mengatasi kelainan tersebut.



Sumber: *Biology* 1999

Bab 10
Sistem Reproduksi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menjelaskan sistem reproduksi pada manusia. Syarat bagi Anda untuk dapat menjelaskannya adalah mampu mendeskripsikan struktur, fungsi, dan proses pada sistem reproduksi manusia.

Semua makhluk hidup harus berkembang biak agar dapat mempertahankan jenisnya. Cara perkembangbiakan pada makhluk hidup ini dinamakan **reproduksi**. Sistem organ yang mendukung peran reproduksi tersebut dinamakan **sistem reproduksi**. Kerja sistem reproduksi berkaitan erat dengan proses kedewasaan.

Anda dapat merasakan perubahan yang terjadi pada diri Anda sendiri, yaitu perubahan yang terjadi ketika Anda memasuki masa **pubertas** (akil balig). Apakah masa pubertas itu? Pada umur berapa orang mengalami pubertas? Mengapa perkembangbiakan pada manusia berkaitan dengan pubertas?

Pada bab berikut, Anda akan mempelajari tentang perkembangbiakan pada manusia. Selain itu, Anda akan mempelajari proses penciptaan manusia yang sangat luar biasa. Hal itu merupakan suatu kebesaran Tuhan Yang Maha Esa. Pelajarilah bab ini dengan baik.

A. Sistem Reproduksi Pria
B. Sistem Reproduksi Wanita
C. Penyakit pada Sistem Reproduksi dan Teknologi Reproduksi

Soal *Pramateri*

1. Apa sajakah organ kelamin pria?
2. Apa sajakah organ kelamin wanita?

A Sistem Reproduksi Pria

Kerja sistem reproduksi pada manusia, erat kaitannya dengan proses kedewasaan, baik pada manusia atau organisme lainnya. Anda juga dapat mengamati perubahan yang terjadi pada diri Anda sendiri, yaitu perubahan yang terjadi pada saat Anda memasuki masa kematangan seksual.

Masyarakat umum menyebut hal ini sebagai **pubertas**. Pubertas merupakan kejadian yang normal pada manusia. Ketika memasuki tahap ini, Anda diberi isyarat bahwa Anda telah memasuki masa subur atau aktif reproduksi.

Ketika mencapai masa pubertas, hormon berperan memicu seorang lelaki atau wanita memasuki masa reproduksi. Pada pria, masa pubertas dipicu oleh hormon testosteron dan androgen pada usia sekitar 13–15 tahun. Hormon tersebut menyebabkan munculnya ciri-ciri primer dan sekunder kematangan seksual pada pria, yaitu:

a. mulai aktif memproduksi sel sperma;
b. suara semakin membesar;
c. tumbuh rambut-rambut di sekitar alat kelamin dan bagian lain, seperti kumis dan janggut;
d. terbentuk jakun dan bahu yang melebar.

Wawasan Biologi

Kematangan seksual disebut juga perkembangan seksual sekunder. Perkembangan seksual sekunder hewan, jelas terlihat pada burung. Burung jantan biasanya memiliki warna dan bulu yang menarik perhatian pasangan betinanya.

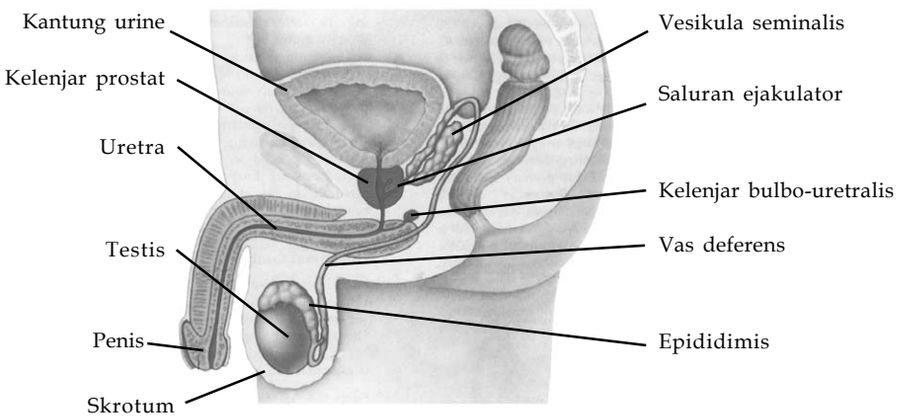
Sumber: *Concise Encyclopedia ature* 1994

Tugas Ilmiah 10.1

Seringkali kata "pubertas" dikonotasikan dengan hal-hal negatif. Remaja yang bersikap dan bertingkah laku aneh dimaklumi karena sedang mengalami pubertas. Setujukah Anda jika pubertas dihubungkan dengan sikap dan tingkah laku yang negatif? Menurut Anda, mengapa hal tersebut dapat terjadi? Adakah hubungan antara pubertas dengan perubahan hormonal? Carilah literatur sebanyak-banyaknya, lalu diskusikan dengan teman-teman Anda. Anda dapat bertanya kepada orang yang Anda anggap ahli di bidang ini.

1. Organ Reproduksi Pria

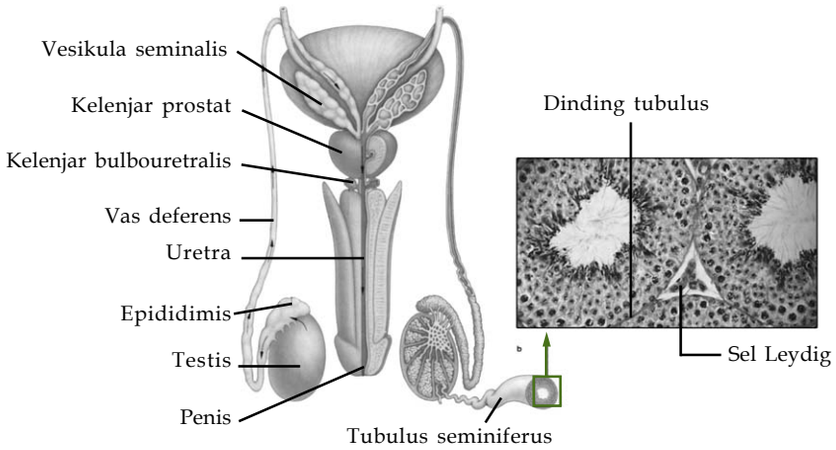
Sel sperma yang menjadi alat perkembangbiakan manusia dan menjadi alat pembuahan sel telur betina merupakan sel kelamin yang diproduksi oleh pria. Sel sperma diproduksi di bagian testis yang terlindung oleh sebuah jaringan ikat berbentuk kantung yang disebut **skrotum**. Tempat tersebut cukup nyaman bagi testis untuk melakukan perkembangan sel sperma (**Gambar 10.1**).



Gambar 10.1
Bagian-bagian alat reproduksi pria.

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Di dalam testis, terdapat kumparan tempat sel sperma diproduksi yang disebut **tubulus seminiferus**. Jika direntangkan, panjang saluran tersebut dapat mencapai 20 meter. Di antara tubulus-tubulus tersebut, terdapat **sel interstitial** (**sel Leydig**) yang menyintesis hormon testosteron. Di dalam dinding tubulus seminiferus terdapat bakal sel sperma yang disebut **spermatogonia**. Selain itu, terdapat juga sel yang berukuran lebih besar yang disebut dengan **sel sertoli**. Sel ini bertugas memberikan pasokan nutrisi untuk pertumbuhan spermatogonia. Untuk menjadi sel sperma, spermatogonia yang diploid harus mengalami beberapa kali pembelahan sel hingga akhirnya menghasilkan 4 sel sperma yang haploid, proses ini disebut **spermatogenesis**.



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

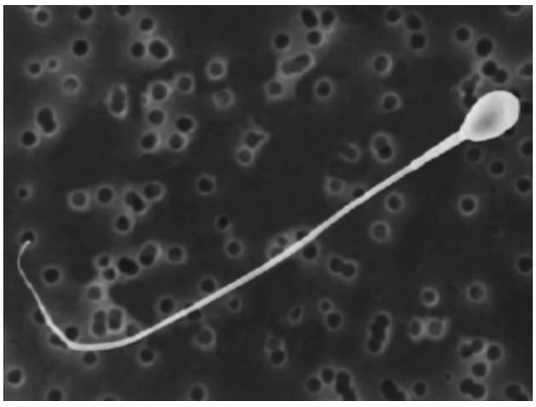
Kata Kunci

- Epididimis
- Sel sertoli
- Spermatogonia
- Testis
- Tubulus seminiferus

Gambar 10.2
Sel Leydig memproduksi testosteron yang mengatur spermatogenis.

Dalam perjalanan keluarnya sperma dari dalam tubuh pria, terdapat beberapa struktur saluran. Struktur dimulai dari **epididimis** yang merupakan gabungan dari beberapa tubulus seminiferus. Epididimis akan bemuara di sebuah saluran yang disebut **vas deferens**. Saluran vas deferens membawa sel sperma keluar dari skrotum ke rongga perut. Epididimis dan vas deferens ini merupakan salah satu kantung cadangan yang menyimpan sel sperma sementara waktu dan tempat pendewasan sel sperma sebelum dikeluarkan.

Vas deferens akan berlanjut di saluran yang sama dengan saluran ekskresi, yaitu **uretra** di kandung kemih. Di pertemuan dua saluran tersebut, terdapat mekanisme yang mengatur pembuangan urine dan berfungsi juga dalam penyaluran sel sperma. Uretra berujung di penis. Proses keluarnya sel sperma dari penis disebut **ejakulasi**. **Penis** merupakan organ reproduksi eksternal yang berfungsi dalam senggama untuk mengantarkan sperma ke dalam tubuh wanita.



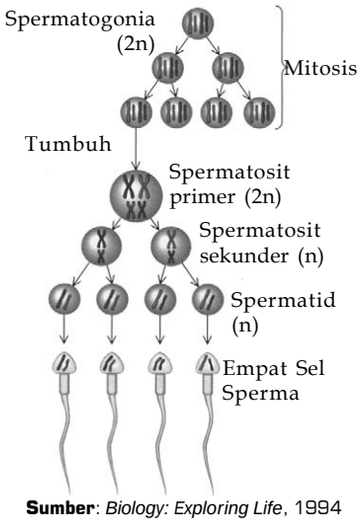
Sumber: *www.emc.maricopa edu*

Gambar 10.3
Sebuah sel sperma.

Sperma keluar tidak hanya dalam bentuk sel sperma saja, tetapi diikuti cairan yang mengakomodasi pergerakan sel sperma di dalam saluran reproduksi pria ataupun saluran reproduksi wanita. Sel sperma dan cairan yang diejakulasikan ini disebut **semen**. Terdapat tiga buah kelenjar aksesoris yang berfungsi dalam pembentukan cairan dalam semen, yaitu sebagai berikut.

a. **Vesikula seminalis**, menghasilkan cairan sebagai sumber energi untuk sperma.
b. **Kelenjar prostat**, memberikan suasana basa pada cairan semen.
c. **Kelenjar bulbo-uretralis**, menyekresikan cairan seperti lendir yang berfungsi melicinkan (*lubrikasi*) dalam pergerakan sel sperma.

Bagi sperma, cairan semen yang dihasilkan mempunyai fungsi memberikan media dan energi bagi sperma untuk pergerakannya di saluran vagina. Semen juga akan menetralkan cairan asam vagina yang dapat membunuh bakteri.



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

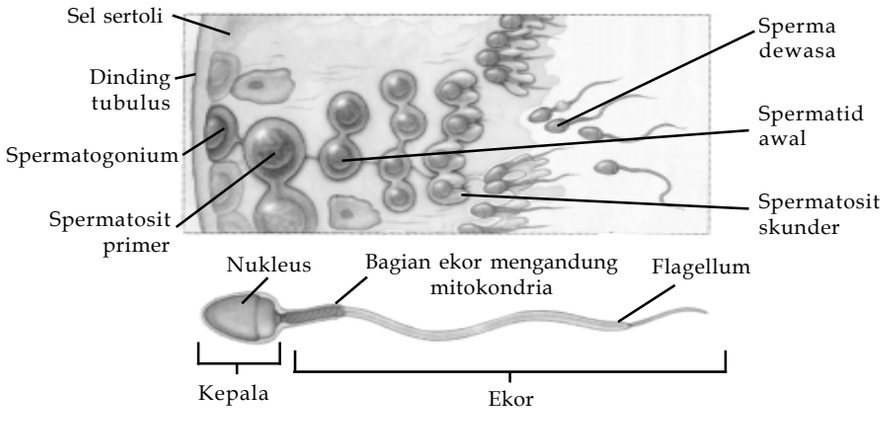
Gambar 10.4
Spermatogenesis terjadi di dalam testis yang akhirnya menghasilkan spermatozoa.

2. Spermatogenesis

Sel sperma yang berfungsi dalam reproduksi, harus mengalami perkembangan dan pembelahan. Proses pembelahan tersebut terjadi secara mitosis dan meiosis. Sebagai alat reproduksi, sel sperma harus haploid sehingga setelah pembuahan, akan tetap dihasilkan individu yang diploid. Begitu juga halnya dengan pembentukan sel telur yang haploid.

Pembelahan mitosis hanya terjadi pada spermatogonia untuk memperbanyak bakal sel sperma menjadi spermatosit primer. Mulai dari spermatosit, terjadi pembelahan meiosis yang pertama dan menghasilkan sel anak haploid yang disebut **spermatosit sekunder**. Selanjutnya, terjadi pembelahan meiosis yang kedua dan menghasilkan **sel spermatid**. Setelah mengalami pematangan, sel spermatid akan menjadi **sel sperma** (**Gambar 10.4**).

Produksi sel sperma di tubuh pria dilakukan sepanjang hidupnya, siklus waktunya adalah tiga hari. Proses pematangan sel sperma dipicu oleh hadirnya hormon testosteron di testis, tepatnya di bagian sel interstitial. Setiap hari, seorang pria dewasa memproduksi 100 juta sel spermatid yang disimpan di duktus epididimis, lalu menuju vas deferens untuk mengalami pematangan. Pematangan sel spermatid pada manusia, umumnya terjadi dalam waktu sekitar dua minggu.



Sel sperma matang

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Gambar 10.5
Spermatogenesis terjadi di testis

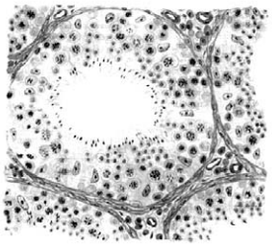
Kegiatan 10.1

Spermatogenesis

Tujuan
Mengamati tahap-tahap spermatogenesis

Alat dan Bahan
Awetan preparat irisan melintang tubulus seminiferus Mammalia, mikroskop, dan alat gambar.

Langkah Kerja
1. Amati awetan preparat irisan melintang tubulus seminiferus dengan menggunakan mikroskop.
2. Gunakan pembesaran yang terkecil terlebih dahulu. Setelah objek yang akan diamati jelas, gunakan pembesaran yang lebih tinggi agar objek dapat terlihat detailnya.
3. Gambar bagian-bagian dari tubulus seminiferus di buku latihan Anda. Jangan lupa untuk mencantumkan keterangan gambar.
   Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan gambar berikut.



4. Diskusikan bersama kelompok Anda mengenai tahap-tahap spermatogenesis.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.
1. Dapatkah Anda melihat secara jelas tahap-tahap spermatogenesis?
2. Bagian manakah yang menunjukkan sperma dewasa?

Soal Penguasaan *Materi* **10.1**

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.
1. Sebutkan-baian-bagian dari organ reproduksi pria.
2. Sebutkan tiga buah kelenjar aksesoris pada organ reproduksi pria.
3. Jelaskan secara singkat mengenai spermatogenesis.

B Sistem Reproduksi Wanita

Pada wanita, hormon yang berperan dalam pendewasaan seksual primer dan sekunder adalah hormon estrogen, biasanya terjadi pada usia 11–13 tahun. Ciri-ciri seksual sekunder pada wanita adalah mulai tumbuhnya bagian-bagian khas seorang wanita, seperti payudara, pinggul, serta tumbuh rambut di sekitar kelamin dan ketiak. Hormon pada wanita juga banyak memengaruhi siklus reproduksi dan proses kehamilan.

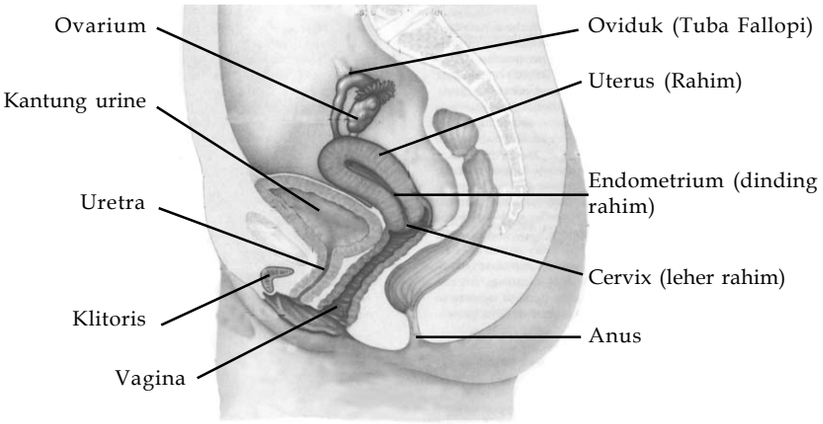
Manusia berkembang biak secara generatif atau seksual karena pembuahan hanya dapat terjadi jika sel kelamin jantan (sperma) membuahi sel kelamin betina (sel telur). Dalam Biologi, seks didefinisikan sebagai keseluruhan struktur dan fungsi yang mencirikan perbedaan antara jantan dan betina. Oleh karena alat-alat seksual manusia terpisah antara jantan dan betina, organ reproduksi manusia disebut berumah dua atau **dioecius**.

1. Organ Reproduksi Wanita

Organ reproduksi wanita dimulai dari tempat pembentukan sel telur yang disebut **ovarium**. Ovarium ada sepasang dan setiap bulannya bergantian menghasilkan sel telur. Pada manusia, sel telur berkembang di sebuah kantung khusus yang disebut **folikel de Graaf**. Di kantung ini, sel telur mengalami pertumbuhan hingga akhirnya dikeluarkan dari ovarium. Proses keluarnya sel telur dari ovarium disebut **ovulasi**.

Sel telur yang diovulasikan akan bergerak menuju dinding rahim melalui sebuah saluran yang dinamakan **tuba Fallopi**. Di saluran inilah umumnya fertilisasi oleh sperma terjadi. Sel telur yang dibuahi atau yang tidak dibuahi akan mencapai uterus dalam jangka waktu satu minggu. Dinding uterus mengandung banyak pembuluh darah yang menyediakan suplai makanan dan oksigen bagi calon bayi.

Rahim mempunyai ukuran panjang sekitar 7 cm dan lebar sekitar 4–5 cm. Namun, akan mampu menampung bayi dengan panjang 45 cm dan berat hingga 4 kg. Jika tidak terjadi pembuahan, dinding endometrium rahim akan meluruh sehingga terjadilah menstruasi pada wanita. Proses tersebut dipengaruhi oleh hormon-hormon yang saling bekerja sama untuk mempersiapkan kehamilan.



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Gambar 10.6
Organ reproduksi pada wanita beserta bagian-bagiannya.

Organ reproduksi wanita bagian luar adalah **vagina** (**Gambar 10.6**). Vagina merupakan saluran dengan dinding tebal, tempat masuknya sperma dan keluarnya bayi ketika dilahirkan. Proses masuknya sel sperma didahului dengan masuknya penis pada lubang vagina. Proses ini dinamakan dengan **coitus** atau **senggama**.

Vagina memiliki beberapa aksesoris yang terdiri atas klitoris, bagian kulit penutup vagina, serta selaput dara (**hymen**). Bagian kulit penutup bagian luar dengan kulit yang lebih tebal dinamakan **labia mayor** dan bagian kulit penutup di bagian dalam disebut **labia minor**. Selaput dara merupakan jaringan kulit tipis yang melindungi vagina pada saat membuka. Bagian tersebut mudah sekali terkoyak oleh gesekan, baik oleh benda keras maupun proses senggama.

Sebelum memasuki rahim, terdapat saluran reproduksi yang disebut **leher rahim** (**cervix**). Pada bagian ini, disekresikan cairan yang berguna mencegah masuknya bakteri dan kuman lainnya penyebab infeksi. Pada masa

Tokoh Biologi

Gabriello Fallopio (1523 – 1562)

Gabriello Fallopio adalah seorang ahli anatomi asal Italia. Ia menemukan saluran yang menghubungkan ovarium dan uterus. Namanya diabadikan sebagai nama saluran tersebut.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Kata Kunci

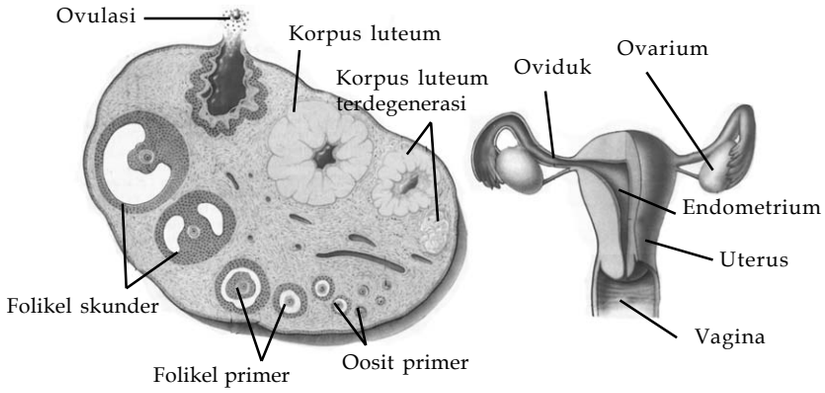
- Ovarium
- Tuba Fallopi
- Vagina

ovulasi, cairan ini akan sangat kondusif terhadap pergerakan sperma. Namun, setelah masa ovulasi cairan tersebut biasanya akan mengental untuk mencegah masuknya sel sperma.

2. Oogenesis

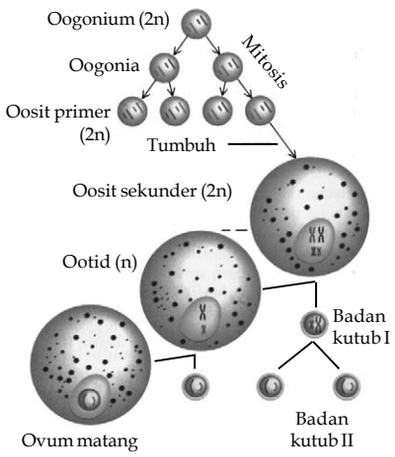
Berbeda dengan sel sperma yang diproduksi seumur hidup oleh pria, sel telur pada wanita terbatas jumlahnya. Jumlah sel telur wanita, pada usia tujuh tahun adalah sekitar 300.000. Akan tetapi, jumlah tersebut berkurang seiring waktu. Selama masa reproduksi, sel telur yang akan dilepaskan hanya sekitar 400–500 buah sel telur (Starr and Taggart, 1995: 780). Sel telur tersebut diovulasikan setiap bulan mulai dari masa aktif reproduksi saat menstruasi kali pertama. Jadi, kurang lebih wanita akan mengalami masa subur dalam waktu 33 hingga 41 tahun atau dalam rentang usia 12 hingga 45–63 tahun.

Oosit primer telah dibentuk pada saat organogenesis bayi di dalam rahim dan telah mencapai tahap profase I. Setelah oosit terbentuk, oosit mengalami masa penantian (**arestasi**) hingga akhirnya wanita tersebut mulai memasuki masa subur yang ditandai dengan menstruasi. Kemudian, oosit melanjutkan pembelahan meiosisnya menjadi dua buah oosit sekunder. Salah satu dari oosit tersebut, akan mengalami degenerasi sehingga hanya ada satu oosit yang akan berkembang. Oosit degeneratif (**badan polar**) hasil meiosis I tidak akan ikut dalam meiosis II. Oosit sekunder, lalu akan mengalami pembelahan meiosis kedua menghasilkan satu buah oosit fungsional. Oosit fungsional tersebut kemudian yang akan diovulasikan setiap bulan (dalam periode lebih kurang 28 hari) selama masa subur wanita (**Gambar 10.8**).



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Gambar 10.7
Oogenesis terjadi di ovarium



Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 10.7
Oogenesis terjadi di dalam ovarium yang akan menghasilkan ovum.

3. Menstruasi

Pada siklus ovulasi, sel telur yang tidak dibuahi harus dikeluarkan dari dalam tubuh bersamaan dengan pendukung implantasi bayi di dinding rahim, yaitu **endometrium**. Proses peluruhan dinding rahim dan dibuangnya sel telur yang tidak dibuahi ini, disebut **menstruasi**.

Secara hormonal, proses ini diawali dengan diproduksinya hormon gonadotropin (*gonadotropin releasing hormone*) yang akan memerintahkan pituitari untuk menghasilkan hormon FSH (*folikel stimulating hormone*) dan LH (*luteinizing hormone*). FSH dan LH ini akan menginisiasi (merangsang) pembentukan folikel tempat pematangan sel telur di dalam ovarium. Folikel yang berkembang akan menghasilkan hormon estrogen.

FSH, LH, dan hormon estrogen akan berpengaruh terhadap pematangan sel telur selama lebih kurang dua minggu hingga tiba waktu ovulasi. Estrogen yang dihasilkan akan berpengaruh pada perkembangan folikel, merangsang

Wawasan Biologi

Dengan menghitung masa subur (ovulasi) pada wanita pasangannya. Pasangan suami istri dapat mengatur kehamilan. Cara ini merupakan salah satu bentuk kontrasepsi yang telah lama digunakan.

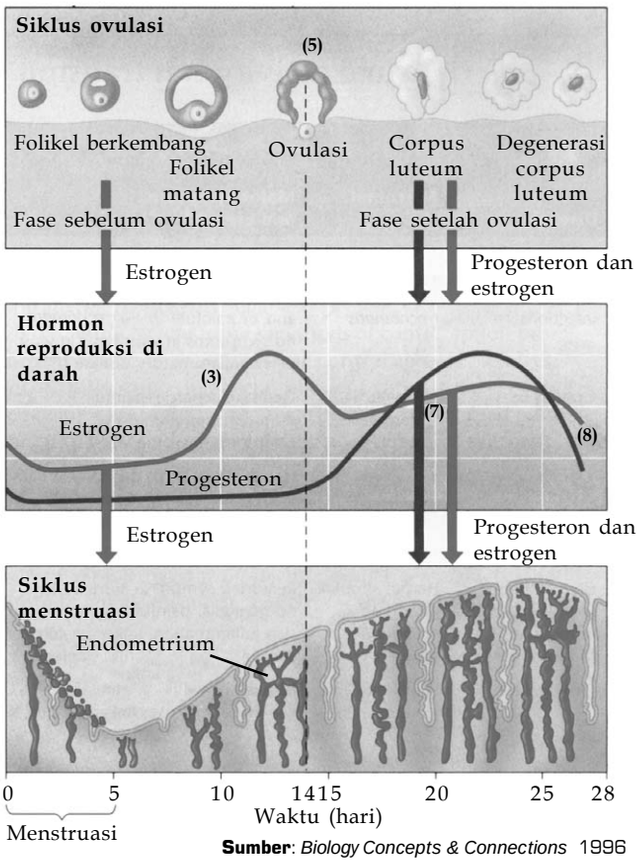
Kata Kunci

- Corpus luteum
- FSH
- LH
- Progesteron
- Estrogen
- Ovulasi

pembentukan endometrium, serta merangsang diproduksinya FSH dan LH lebih banyak. Hormon FSH dan LH yang melimpah di hari ke-12 siklus menstruasi akan memengaruhi masa meiosis II hingga terjadi ovulasi. Ovulasi terjadi di hari ke-14 dan pada waktu ini seorang wanita dikatakan berada dalam keadaan subur. Masa subur tersebut berlangsung selama lebih kurang 24 jam saja.

Folikel yang telah ditinggalkan oleh sel telur disebut **badan kuning** atau **corpus luteum** yang menghasilkan hormon estrogen serta progesteron. Kedua hormon ini bekerja menghambat sintesis FSH dan LH sehingga jumlahnya menjadi lebih sedikit. Selain itu, mengakibatkan penghambatan pematangan folikel lain di ovarium.

Estrogen dan progesteron bersama-sama mempersiapkan kehamilan dengan mempertebal dinding endometrium hingga mencapai ketebalan 5 mm. Jika tidak terjadi kehamilan atau fertilisasi, corpus luteum akan berdegenerasi sehingga produksi estrogen dan progesteron menurun. Jika kedua hormon ini menurun, tidak ada lagi yang mempertahankan keberadaan endometrium sehingga endometrium mengalami degenerasi. Proses ini terjadi di hari ke-27 atau 28 dan terjadilah menstruasi.



Sumber: *Biology Concepts & Connections* 1996

Gambar 10.9
Siklus menstruasi. Siklus ini dipengaruhi oleh hormon estrogen dan progesteron.
ada hari keberapa ter adi menstruasi?

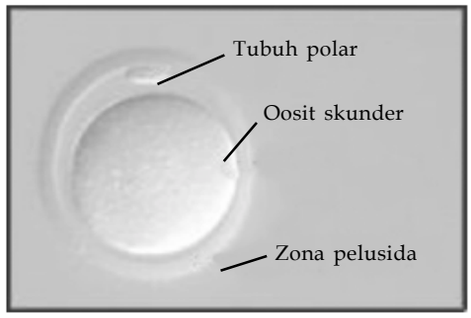
Dengan hilangnya estrogen dan progesteron, hormon gonadotropin dengan leluasa dapat memerintahkan pituitari hipofisis untuk kembali memproduksi FSH dan LH dan memulai siklus menstruasi kembali.

4. Fertilisasi dan Kehamilan

Fertilisasi terjadi jika sel telur bertemu dengan sel sperma. Pada manusia, proses tersebut didahului dengan proses senggama. Penis harus berada dalam keadaan tegak (**ereksi**), agar dapat mengantarkan sperma ke dalam vagina. Penis ereksi disebabkan oleh melebarnya arteri dan menutupnya pembuluh

vena di penis. Dengan demikian ada banyak aliran darah yang masuk dan sedikit darah yang dikeluarkan (ditahan dalam pembuluh darah penis). Pembuluh darah juga akan memenuhi jaringan di dalam penis sehingga penis mengalami pemanjangan dan berubah menjadi lebih keras. Jika penis sudah ereksi, proses senggama dapat dilakukan. Pada saat penis memasuki vagina, reseptor di penis akan menerima rangsangan sentuhan yang menyebabkan dikeluarkannya semen yang berisi jutaan sel sperma. Proses keluarnya semen tersebut dinamakan **ejakulasi**.

Pada lelaki normal, dalam satu kali ejakulasi akan dikeluarkan 300 juta – 400 juta sel sperma. Pergerakan sel sperma di dalam vagina dibantu oleh semen dan cairan pelicin yang dihasilkan oleh *cervix*. Cairan pelicin tersebut akan disekresikan oleh kelenjar di *cervix* jika seorang wanita telah siap melakukan senggama atau mendapat rangsangan seksual. Sel sperma akan berenang menuju oviduk atau tuba Fallopi tempat sel telur berada setelah masa ovulasi. Oviduk atau tuba Fallopi merupakan tempat fertilisasi pada manusia.



Sumber: *Biology Concepts & Connections* 2006

Gambar 10.10

Sel telur dalam keadaan siap dibuahi.

Pergerakan sel sperma didukung oleh ekor sperma yang banyak mengandung mitokondria penghasil ATP. Sel telur yang diovulasikan umumnya masih berada pada tahap meiosis II dan belum sepenuhnya menjadi oosit. Dengan adanya peleburan sel sperma, proses meiosis II dapat dipercepat. Sel telur yang telah siap dibuahi akan membentuk zona pelindung yang dinamakan **corona radiata** di bagian luar serta sebuah cairan bening di dalamnya yang disebut **zona pelusida**.

Sel sperma yang telah mencapai sel telur akan berlomba untuk dapat memasuki zona pelusida (**Gambar 10.10**). Zona pelusida mempunyai reseptor yang bersifat "spesies spesifik", yaitu hanya dapat dilalui oleh sel sperma dari satu species. Akrosom sperma mempunyai enzim litik yang mampu menembus corona radiata dan zona pelusida.

Pada saat sel sperma menembus corona radiata, akrosom sperma akan meluluh. Sel telur kemudian akan segera menyelesaikan tahap meiosis II menghasilkan inti fungsional yang haploid. Bagian inti sel sperma ini kemudian bersatu dengan membran sel telur untuk melakukan fusi materi genetik. Gerakan ini mirip dengan mekanisme endositosis pada sel. Setelah terjadi peleburan atau fertilisasi ini, corona radiata akan menebal sehingga tidak ada lagi sel sperma lain yang dapat masuk. Pada saat ini sel tersebut sudah dibuahi dan berubah menjadi zigot. Zigot akan membelah secara mitosis menjadi **morula**.

Sumber: *Biology Concepts & Connections* 2006

Gambar 10.11

Sel telur yang dikelilingi oleh sperma.

Zigot ini kemudian melakukan pembelahan sel selama perjalanannya di oviduk menuju rahim. Pergerakan zigot menuju rahim (uterus) tersebut memakan waktu 4 hari. Dalam waktu 1 minggu, zigot telah berbentuk seperti bola yang dinamakan **blastula**. Blastula memiliki rongga yang disebut **blastosol**. Masa sel di bagian dalam blastosol, akan menjadi bakal embrio. Bagian lengket dari blastosol tersebut kemudian akan menempel di endometrium. Proses tersebut dinamakan **implantasi**.

Blastula selanjutnya berkembang membentuk tiga lapisan, yaitu lapisan luar (**ektoderm**), lapisan tengah (**mesoderm**), dan lapisan dalam (**endoderm**). Tahap ini disebut **gastrulasi** yang terjadi sekitar minggu ketiga. Selanjutnya, ektoderm akan membentuk sistem saraf, kulit, mata, dan hidung. Mesoderm membentuk otot, tulang, jantung, pembuluh darah, ginjal, limfa, dan organ reproduksi. Sementara itu, endoderm akan membentuk organ-organ serta kelenjar yang berhubungan dengan sistem pernapasan. Peristiwa ini disebut dengan **organogenesis**. Organogenesis dimulai dari minggu keempat hingga minggu kedelapan dan penyempurnaan pada minggu kesembilan (**Gambar 10.12**).

Kata Kunci

- Ejakulasi
- Corona radiata
- Zona pelusida
- Implantasi
- Organogenesis

Gambar 10.12
Perkembangan zigot hingga menjadi janin yang dimulai dari umur (a) 2 minggu, (b) 5 minggu, (c) 9 minggu, dan (d) 20 minggu.

Dari gambar tersebut sadarkah Anda akan kebesaran Tuhan ang Maha Esa?

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Embrio akan melepaskan hormon *corionic gonadotropin* (hormon yang mirip dengan LH) yang akan dibawa ke ovarium untuk mencegah luluhnya corpus luteum. Dengan demikian, estrogen dan progesteron tetap dihasilkan sehingga dapat mempertahankan persiapan kehamilan di rahim dengan mempertahankan ketebalan endometrium. Dari manakah embrio memperoleh suplai makanan?

Kehamilan terjadi mulai dari fertilisasi hingga kelahiran. Pada manusia, rata-rata kehamilan terjadi selama 266 hari (38 minggu) dari fertilisasi atau 40 minggu dari siklus menstruasi terakhir hari pertama. Kelahiran bayi terjadi melalui serangkaian kontraksi uterus yang beraturan. Beberapa hormon, seperti estrogen, oksitosin, dan prostaglandin berperan dalam proses ini.

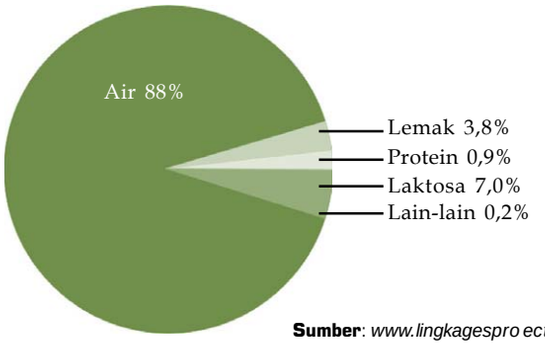
Secara umum, proses kelahiran terjadi melalui tahap pembukaan *cervix*, tahap pengeluaran bayi, dan tahap pelepasan plasenta (**Gambar 10.13**).

Gambar 10.13
Tiga tahap kelahiran.

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

5. Pemberian ASI (Air Susu Ibu)

Semenjak bayi dilahirkan, ia tidak lagi diberi nutrisi melalui plasenta. Namun, sang ibu masih dapat memberi makan bayi dengan memproduksi dan menyekresikan susu dari payudaranya. Di dalam payudara, terkandung **kelenjar mamae**. Kelenjar mamae (kelenjar susu) berada di lapisan kulit dan menyekresikan campuran lemak, protein, dan karbohidrat yang dikenal dengan air susu. Berikut tabel kandungan nutrien dalam ASI.



Sumber: *www.lingkagespro ect.org*

Gambar 10.14
Persentase kandungan ASI

Tabel 10.1 Beberapa Zat yang Dikandung Kolostrum dan ASI

No.	Kandungan	Manfaat
1.	Kolostrum	
	• Immunoglobulin A	Zat kekebalan untuk melindungi bayi dan berbagai penyakit terutama diare.
	• Protein, vitamin A, karbohidrat, dan lemak	Sesuai kebutuhan gizi bayi pada hari-hari pertama kelahiran.
2.	ASI	
	• Taurin	Asam amino, berfungsi sebagai neurotransmiter dan proses pematangan otak
	• Decosahexanoic Acid (DHA) dan Arachidonic Acid (AA)	Asam lemak tak jenuh rantai panjang untuk pembentukan sel-sel otak yang optimal. Dapat dibentuk oleh tubuh dari substansi pembentuknya (*precursor*), yaitu masing-masing dari omega 3 (asam linolenat) dan omega 6 (asam linoleat).
	• Immunoglobulin A (Ig.A)	*Ig.A* tidak diserap, tetapi dapat melumpuhkan bakteri patogen *E.coli* dan berbagai virus pencernaan.
	• Laktoferin	Sejenis protein komponen zat kekebalan tubuh
	• Lisozim	Enzim yang melindungi bayi terhadap bakteri *E.coli* dan *Salmonella* serta virus.
	• Sel darah putih	Pada ASI 2 minggu pertama terdapat lebih dari 4000 sel/mL. Terdiri atas 3 macam, yaitu *Bronchus Asociated Lympocyte Tissue* (BALT)/antibodi pernapasan; *Gut Asociated Lympocyte Tissue* (GALT)/antibodi saluran pernapasan; dan *Mammary Asociated Lympocyte Tissue* (MALT)/antibodi jaringan payudara ibu.
	• Faktor bifidus	Menunjang pertumbuhan bakteri *Lactobacillus bifidus* yang menjaga flora usus bayi.

Kelenjar mamae mengalami pematangan pada wanita sewaktu mengalami pubertas. Namun, hanya setelah wanita melahirkan saja kelenjar mamae mengalami perkembangan dan pematangan akhir menjadi kelenjar yang menyekresikan air susu. Sekresi kelenjar mamae ini merupakan respons terhadap hormon progesteron dan estrogen.

Pada bulan ke tiga atau ke empat kehamilan, kelenjar mamae mulai menyintesis dan menyimpan cairan kuning yang disebut **kolostrum**, dalam jumlah yang sedikit. Kolostrum akan menjadi makanan pertama bagi bayi.

Sumber: *Biology Concepts & Connections* 2006

Gambar 10.15
Ibu menyusui anaknya. Pemberian ASI eksklusif sangat dianjurkan.

Kolostrum mengandung banyak antibodi ibu yang akan membantu bayi dari infeksi. Selain itu, mengandung banyak protein yang dapat mencegah diare. Beberapa hari setelah dilahirkan, bayi akan mulai disusui. Proses menyusui jika dikombinasikan dengan hormon prolaktin dari kelenjar hipofisis akan menstimulasi sintesis ASI.

Sewaktu plasenta dipisahkan antara bayi dan ibunya, progesteron dan estrogen dari plasenta tidak dapat lagi menghambat pengeluaran prolaktin. Setelah produksi susu dimulai, hubungan fisiologi dan psikologi antara ibu dan anak terjadi. Bayi secara insting mengisap puting payudara, menyebabkan terjadinya pengiriman impuls kepada otak ibu untuk menghasilkan prolaktin dan oksitosin dari kelenjar hipofisis. Prolaktin merangsang produksi ASI lebih banyak, sedangkan oksitosin merangsang sekresi ASI.

Pemberian ASI saja atau yang dikenal dengan **ASI eksklusif**, selama 6 bulan pertama dianjurkan oleh badan kesehatan dunia (WHO). Hal ini didasarkan pada bukti ilmiah tentang manfaat ASI bagi daya tahan tubuh bayi, pertumbuhan, dan perkembangannya. Pemberian ASI eksklusif selama 6 bulan pertama tidak memerlukan penambahan cairan atau makanan lain. Rata-rata kebutuhan cairan bayi sehat sehari berkisar 800–100 mL/kg berat badan dalam minggu pertama usianya. Pada usia 3–6 bulan, sekitar 140–160 mL/kg berat badan. Jumlah ini dapat dipenuhi cukup dari ASI eksklusif dan tidak dibatasi (sesuai 'permintaan' bayi, siang dan malam). Selain itu, pemberian ASI eksklusif selama 6 bulan dapat menghemat pengeluaran rumah tangga.

6. Pemeriksaan Sebelum Kehamilan: Faktor Rh

Pemeriksaan kondisi pasangan sebelum menikah sangat baik dilakukan untuk mengurangi risiko yang akan timbul pada bayi. Salah satu pemeriksaan yang umum dilakukan adalah pemeriksaan golongan rhesus (Rh) darah calon ibu dan anak. Walaupun tidak mungkin untuk menggagalkan pernikahan yang akan dilaksanakan, tetapi dengan pemeriksaan ini diharapkan calon orangtua dapat melakukan perencanaan yang matang terhadap keluarga yang akan dibentuknya kelak.

Terdapat 85% manusia memiliki protein tertentu dalam darahnya yang menentukan sifat Rh darahnya (positif atau negatif). Rh positif bersifat dominan terhadap Rh negatif sehingga apabila seorang wanita mempunyai Rh negatif dan suaminya mempunyai Rh positif, anaknya akan mempunyai Rh positif. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya penolakan bayi oleh tubuh ibu. Hal ini telah Anda pelajari dalam Bab Sistem Peredaran Darah.

Pada kehamilan pertama, penolakan tubuh ibu tidak terlalu tampak. Rh positif yang dikandung oleh anak pada kehamilan pertama belum direspons secara maksimal oleh sistem imun tubuh ibu. Namun, telah dipersiapkan jika terjadi serangan Rh positif yang kedua. Oleh karena itu, pada kehamilan kedua, bayi akan diserang oleh sistem imunitas tubuh ibu karena dianggap Rh positif adalah protein asing yang harus dilawan. Antibodi tubuh ibu ini akan membuat darah bayi menggumpal sehingga dapat mengakibatkan kematian pada bayi. Kasus kematian bayi akibat ketidakcocokan Rh ini disebut **eritroblastosis fetalis**.

Wawasan Biologi

Masyarakat umumnya berpendapat bahwa plasenta dapat mencegah zat-zat berbahaya dari ibu memasuki tubuh janin yang dikandungnya. Namun, para ilmuwan mengetahui bahwa plasenta tidak berfungsi sebagai pelindung. Apapun yang terdapat dalam darah ibu dapat memasuki janin. Virus, obat-obatan, dan alkohol termasuk zat yang dapat memengaruhi janin.

Sumber: *Heath Biology* 1985

Kata Kunci

- ASI eksklusif
- Eritroblastosis fetalis

Soal Penguasaan *Materi* 10.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan bagian-bagian pada organ reproduksi wanita.
2. Jelaskan secara singkat proses oogenesis
3. Hormon apa saja yang berperan dalam proses menstruasi.
4. Bagaimana terjadinya fertilisasi.

C Penyakit pada Sistem Reproduksi dan Teknologi Reproduksi

Sejak tahun 1960-an, ada kecenderungan naiknya penyebaran penyakit kelamin menular yang disebabkan perubahan perilaku seksual. Selain itu, kelainan yang terjadi pada sistem reproduksi lainnya pun mulai terungkap seiring dengan berkembangnya pengetahuan di bidang kedokteran, seperti kasus ketidakcocokan darah dan kelainan genetis.

1. Penyakit pada Sistem Reproduksi

Beberapa kasus kegagalan embriogenesis di dalam kandungan sang ibu, membuat kecacatan fisik pada alat reproduksi seperti adanya kelamin ganda (hermafrodit) atau bahkan tidak mempunyai kelamin sama sekali. Pada beberapa kasus, terjadi kembar siam yang dempet pada bagian kepala, dada, atau bagian tubuh lainnya. Mengapa hal tersebut dapat terjadi?

Kesehatan reproduksi erat kaitannya dengan perilaku seksual. Umumnya, penyakit pada sistem reproduksi bersifat menular. Infeksi ditularkan melalui hubungan seksual atau melalui pertukaran cairan tubuh secara langsung.

Penderita penyakit seksual menular pada wanita akan lebih parah akibatnya jika dibandingkan dengan pria. Hal tersebut menyangkut saluran reproduksi bayi. Beberapa jenis penyakit menular dapat menulari bayi yang berada di dalam kandungan, baik melalui plasenta atau pada saat kontak fisik sewaktu proses kelahiran.

Efek yang tampak pada bayi antara lain bayi yang lahir dengan berat badan di bawah normal, infeksi pada mata, paru-paru, darah, kerusakan jaringan otak sehingga mengakibatkan kelumpuhan, kebutaan, dan infeksi saluran dalam lainnya. Beberapa penyakit pada sistem reproduksi manusia adalah sebagai berikut.

a. Herpes

Herpes merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus herpes. Gejalanya tidak tampak secara langsung. Umumnya, ditandai dengan timbulnya bintik-bintik merah, rasa sakit ketika urinasi, dan (buang air kecil) gatal-gatal di sekitar alat kelamin. Lama-kelamaan, penyakit ini dapat membuat kelelahan pada otot dan menyerang jaringan saraf pusat (**Gambar 10.16**).

Sumber: *www.con temporarypediatrics.com*

Gambar 10.16

Penderita herpes. Pada penderita herpes timbul bintik-bintik merah di bagian tubuhnya.

b. Gonorrhea

Gonorrhea disebabkan oleh bakteri *Neisseria gonorrhoeae*. Di masyarakat, penyakit kelamin ini dikenal juga dengan nama raja singa. Bakteri penyebab gonorrhea tidak dapat hidup di luar tubuh sehingga hanya akan menular melalui kontak hubungan seksual. Penderita gonorrhea akan mengalami rasa sakit yang luar biasa pada saat buang air kecil (kencing), yaitu rasa pedih dan terbakar. Seringkali disertai dengan urine yang bernanah. Biasanya, penyakit ini tidak cepat dirasakan oleh wanita sehingga jarang sekali wanita yang mengalami keluhan terserang gonorrhea. Pada wanita, infeksi tersebut menyebabkan pembentukan selaput lendir di tuba Fallopi yang mencegah pergerakan sperma menuju sel telur sehingga mengakibatkan kemandulan.

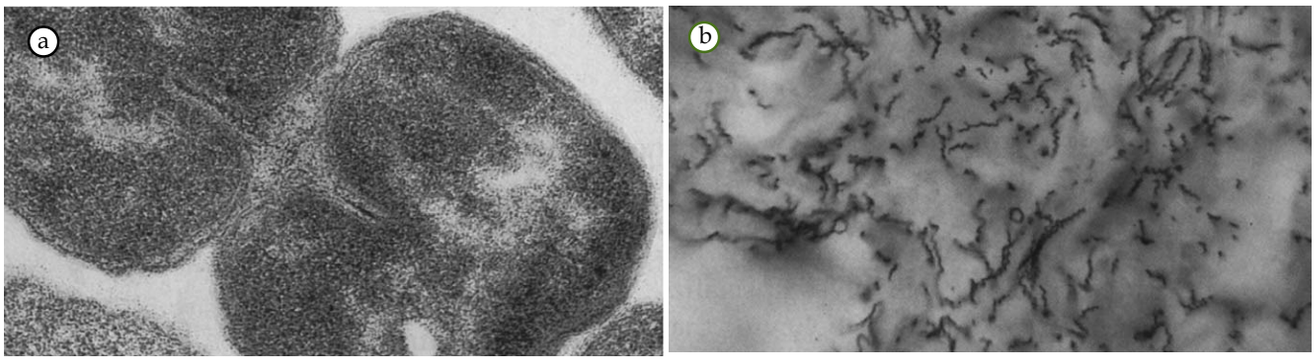
c. Sifilis

Gejala pertama pada penyakit ini adalah rasa pedih di sekitar kemaluan atau di sekitar mulut. Penyakit sifilis disebabkan oleh bakteri *Treponema pallidum* yang menyebar melalui kontak cairan, seperti di daerah kelamin,

Kata Kunci

- Herpes
- Gonorrhea
- Sifilis
- AIDS

mulut, anus, dan cairan payudara. Jika gejala awal tidak segera ditanggulangi, pada tahap selanjutnya, infeksi dapat menyebabkan gangguan organ lainnya, seperti hati, jantung, kelenjar getah bening, dan kerusakan sistem saraf pusat.



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life* 1995

Gambar 10.17
(a) Bakteri penyebab Gonorrhea. (b) Bakteri penyebab sifilis.

d. HIV/AIDS

Tentu Anda sudah tidak asing lagi dengan penyakit AIDS. Banyak orang menghubungkan penyakit AIDS dengan kondisi tubuh yang menjadi kurus dan bercak-bercak merah, padahal hal tersebut belum tentu benar. Penyakit AIDS hanya dapat menyebar melalui kontak cairan tubuh secara langsung, seperti transfusi darah dan hubungan seksual. AIDS akan menyerang sistem kekebalan tubuh sehingga dalam waktu yang lama, penderita tidak memiliki sistem kekebalan tubuh. Akibatnya, penderita dapat terbunuh oleh infeksi penyakit ringan, seperti flu atau tifus.

Sumber: *www.dea.gov*

Gambar 10.18
Penggunaan jarum suntik bersama-sama oleh para pecandu narkoba menyebarkan virus HIV. Oleh karena itu, jangan pernah sekalipun mengonsumsi narkoba.

2. Teknologi Reproduksi

Teknologi reproduksi yang dikembangkan manusia memiliki maksud dan tujuan tertentu. Tujuan teknologi reproduksi umumnya untuk memberikan solusi terhadap masalah reproduksi. Teknologi reproduksi pada hewan, khususnya manusia, berkembang lebih lambat dibandingkan teknologi reproduksi pada tumbuhan. Berikut beberapa penjelasan tentang reproduksi pada manusia.

Kata Kunci
- Bayi tabung
- Kloning

a. Bayi Tabung

Setiap teknologi yang diciptakan oleh manusia menimbulkan harapan baru untuk memperbaiki kualitas hidup. Salah satu teknologi yang menggembirakan bagi pasangan yang sukar memperoleh keturunan adalah bayi tabung

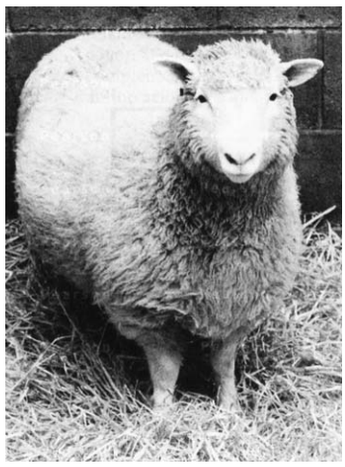
(pembuahan *in vitro*). Pembuahan sel telur ibu oleh sel sperma ayah dilakukan secara buatan di dalam sebuah tabung. Setelah terjadi fertilisasi, zigot akan dikembalikan ke rahim ibu.

Bayi yang kali pertama dicatat lahir melalui proses ini adalah seorang bayi dari Inggris bernama **Louise Brown** yang lahir pada tahun 1978. Proses tersebut menjadi tonggak sejarah fertilisasi *in vitro* yang menolong jutaan pasangan di dunia untuk memeroleh anak.

b. Kloning

Kloning menjadi istilah paling populer setelah lahirnya domba Dolly hasil kloning (**Gambar 10.19**). Kloning merupakan salah satu cara reproduksi buatan yang memanfaatkan teknologi manipulasi sel telur. Jika umumnya sel telur dibuahi oleh inti sel sperma, pada proses kloning ini inti sel telur yang haploid dipindahkan dengan teknik khusus. Setelah itu, posisinya digantikan oleh inti sel dari bagian tubuh lainnya, seperti kulit atau otot yang diploid. Pada domba Dolly, inti sel donor yang digunakan adalah inti sel kelenjar susu domba.

Kasus kloning masih menjadi polemik berkepanjangan karena teknologi tersebut sangat mungkin dilakukan pada manusia. Jika terjadi pada manusia, dikhawatirkan akan terjadi penyimpangan terhadap tujuan utama dari kloning. Misalnya, dengan melahirkan manusia yang digunakan untuk alat kejahatan. Percobaan kloning pada manusia masih merupakan pelanggaran terhadap undang-undang yang berlaku di seluruh dunia. Bagaimana menurut Anda?



Sumber: *Biology Concepts & Connections* 2006

Gambar 10.19
Domba Dolly hasil kloning.

Soal Penguasaan *Materi* 10.3

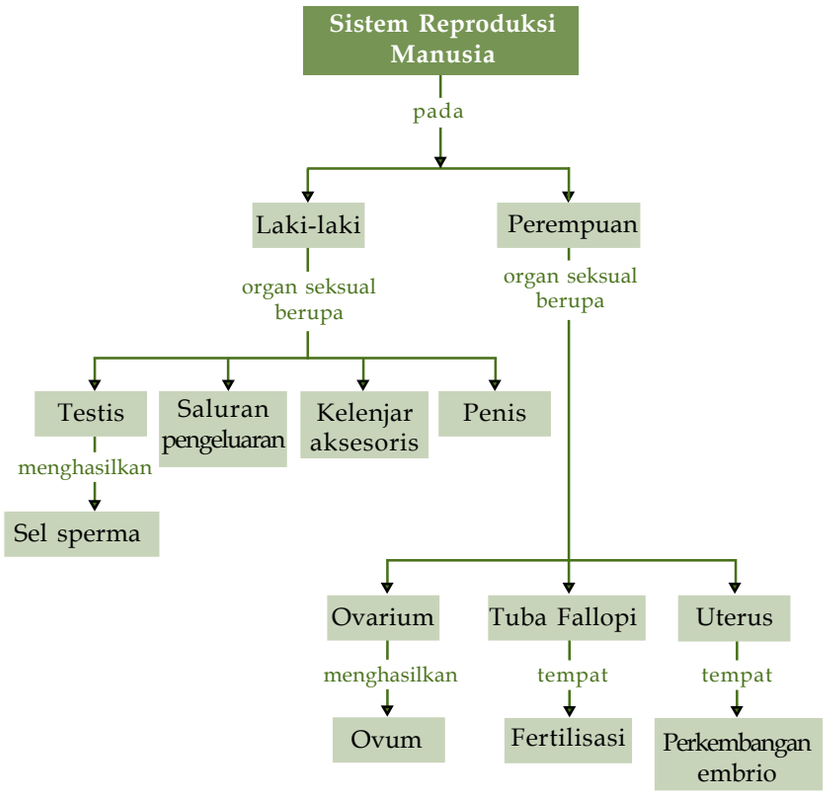
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan organ reproduksi pada manusia baik pria maupun wanita.
2. Jelaskan tiga contoh kelainan yang terjadi pada sistem reproduksi.
3. Sebutkan contoh teknologi yang dikembangkan oleh manusia.

Rangkuman

1. Sistem reproduksi pada manusia berbeda antara pria dan wanita. Pada pria dihasilkan sel sperma, sedangkan pada wanita dihasilkan sel telur. Fertilisasi terjadi ketika sel sperma bertemu dengan sel telur. Hal tersebut terjadi di saluran tuba Falopii wanita. Sel telur yang telah dibuahi akan tumbuh dan berkembang di uterus hingga menjadi individu utuh, kemudian dilahirkan.
2. Organ reproduksi pria, antara lain testis, saluran pengeluaran, kelenjar aksesoris, dan penis. Adapun organ reproduksi wanita, antara lain ovarium, oviduk, dan uterus.
3. Pada spermatogenesis, satu sel spermatosit primer akan membelah secara meiosis mengahasilkan 4 sperma. Pada oogeenesis, satu sel oosit primer akan menghasilkan satu sel telur,
4. Menstruasi adalah proses peluruhan dinding rahim dan dibuangnya sel telur yang tidak dibuahi.
5. Sistem reproduksi manusia dapat mengalam gangguan ataupun penyakit. Penyakit tersebut di antaranya herpes, gonorhea, sifilis, dan AIDS.

Peta Konsep



Kaji Diri

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari bab ini? Menyenangkan, bukan? Banyak pengetahuan baru yang Anda peroleh. Setelah mempelajari Bab Sistem Reproduksi, Anda harus dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit pada sistem reproduksi. Jika Anda belum mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta penyakit pada sistem reproduksi, Anda belum menguasai materi Bab Sistem Reproduksi dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

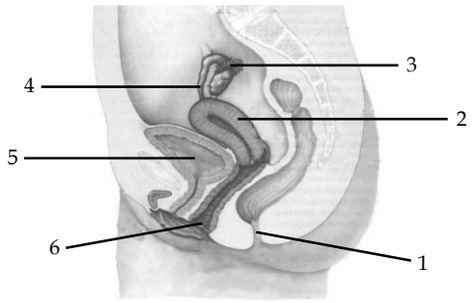
Banyak manfaat yang dapat Anda ambil dari mempelajari bab ini. Anda tentunya akan lebih bersikap hati-hati untuk menjaga organ-organ reproduksi Anda. Adakah manfaat yang lainnya?

Evaluasi Materi Bab 10

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

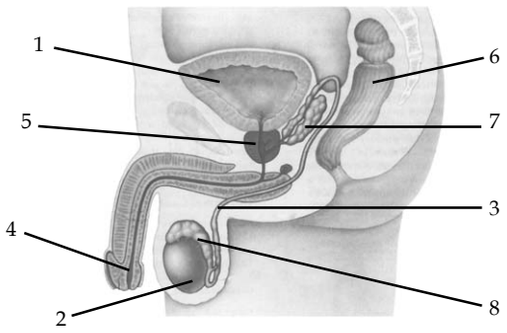
1. Tujuan makhluk hidup berkembang biak adalah ....
   a. untuk berevolusi
   b. untuk menyalurkan birahi
   c. untuk melestarikan spesiesnya
   d. untuk menambah aktivitas
   e. sebagai tanda kedewasaan
2. Testis adalah alat kelamin jantan pada Mammalia. Testis ini menghasilkan ....
   a. air seni dan sperma
   b. air seni, sperma, dan hormon
   c. sperma dan hormon
   d. sperma, hormon, dan enzim
   e. sperma dan urine

Untuk menjawab pertanyaan nomor 3 hingga nomor 5, perhatikan gambar berikut.



3. Tempat bertemunya sel sperma dan sel telur di tunjukkan pada gambar oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
4. Proses implantasi zigot terjadi pada bagian yang ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
5. Bagian-bagian yang berperan dalam reproduksi wanita di tunjukkan oleh nomor ....
   a. 1, 2, dan 3
   b. 2, 3, dan 4
   c. 2, 4, dan 5
   d. 4, 5, dan 6
   e. 3, 4, dan 5

Untuk menjawab pertanyaan nomor 6 hingga nomor 8, perhatikan gambar berikut.



6. Spermatogenesis terjadi pada nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
7. Fungsi bagian yang ditunjukkan oleh nomor 8 adalah ....
   a. memproduksi sperma
   b. menghasilkan urine
   c. menghasilkan semen
   d. membantu kopulasi
   e. menyimpan sperma matang
8. Jika saluran nomor 3 diputus atau diikat akan menyebabkan ....
   a. sperma tidak akan diproduksi lagi
   b. tidak akan terjadi ejakulasi
   c. tidak akan terjadi kehamilan
   d. semen tidak dapat di produksi lagi
   e. pria tersebut akan menderita impotensi
9. Lapisan ektoderm yang terbentuk pada fase gastrula, pada tahap selanjutnya mengalami diferensiasi menjadi ….
   a. otot dan rangka
   b. kulit dan sistem saraf
   c. usus dan hati
   d. kulit dan otot
   e. jaringan ikat dan alat reproduksi
10. Pada manusia setelah telur dibuahi oleh sperma terbentuklah zigot yang akan berkembang secara bertahap melalui beberapa fase. Pada fase gastrulasi terjadi proses ....

a. pembelahan sel terus menerus sehingga terbentuk massa sel berbentuk seperti bola.
b. pembentukan massa sel seperti bola yang mempunyai rongga berisi cairan.
c. pembentukan massa sel yang berbeda-beda sehingga terbentuk 3 lapisan sel yang tidak sama.
d. perubahan mesoderm menjadi bentuk awal sebuah organ.
e. pembentukan jaringan berbentuk seperti bola padat yang mempunyai kutub berbeda.

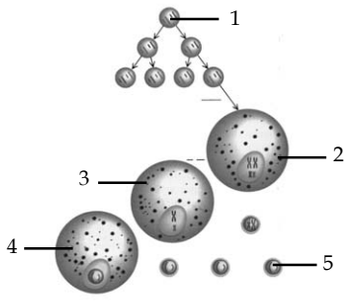
11. Jenis enzim yang terdapat dalam kepala sel sperma adalah ....
a. lisosom
b. litik
c. akrosom
d. ptialin
e. lipase

12. Proses bertemunya sel telur dengan sel sperma disebut ....
a. ereksi
b. ejakulasi
c. fertilisasi
d. diferensiasi
e. penyerbukan

13. Proses implantasi fetus terjadi pada ....
a. vagina
b. ovarium
c. rektum
d. tuba fallopii
e. uterus

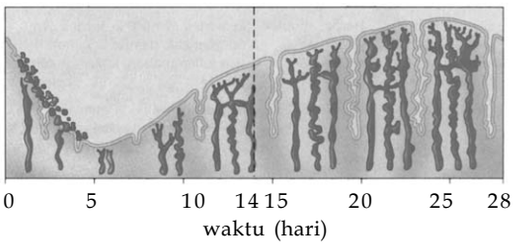
14. Perkembangan janin terspesialisasi menjadi organ-organ disebut ....
a. morula
b. organogenesis
c. gastrulasi
d. diferensiasi
e. melahirkan

15. Perhatikan gambar oogenesis berikut.



Ootid yang memiliki kromosom haploid (n) ditunjukkan oleh nomor ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

16. Perhatikan gambar berikut.



Menstruasi terjadi pada hari ke ....
a. 0–5
b. 0–10
c. 5–10
d. 10–14
e. 14–20

17. Zona pelindung pada sel telur dinamakan ....
a. endometrium
b. vas deferens
c. corona radiata
d. corpus luteum
e. esterogen

18. Proses keluarnya semen disebut ....
a. ereksi
b. ejakulasi
c. fertilisasi
d. diferensiasi
e. organegenesis

19. Blastula membentuk tiga lapisan, yaitu ektoderm, mesoderm, dan endoderm. Tahap tersebut dinamakan ....
a. gastrulasi
b. blastulasi
c. implantasi
d. ereksi
e. fertilisasi

20. Zat-zat berikut terkandung di dalam ASI, *kecuali* ....
a. protein
b. lemak
c. urea
d. taurin
e. karbohidrat

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Sebutkan bagian-bagian pada organ reproduksi pria. Sertakan pula fungsi bagian-bagiannya.
2. Mengapa menstruasi dan ovulasi tidak muncul ketika kehamilan?
3. Jelaskan oleh Anda bagaimana proses kehamilan hingga tahap implantasi fetus terjadi. Sebutkan juga lokasi-lokasi tempat terjadinya tahapan-tahapan tersebut.
4. Sebutkanlah tiga jenis penyakit kelamin yang dapat menular dan implikasinya bagi kesehatan, serta terangkan juga bagaimana proses penularan penyakit tersebut. Menurut pendapat Anda, langkah terbaik apa yang dapat dilakukan sehingga terhindar dari penyakit menular tersebut.

Soal Tantangan

1. Seorang ibu menderita kanker rahim sehingga tidak bisa mengandung. Namun, ibu tersebut tetap dapat menghasilkan sel telur (ovum) secara normal. Oleh karena itu, ibu tersebut berniat untuk melakukan *fertilisasi in vitro* (proses bayi tabung). Kemudian, sel telur yang telah di fertilisasi tersebut ditanam di dalam rahim seorang ibu sewaan. Setelah sembilan bulan, saat bayi tersebut lahir, ibu sewaan tersebut tidak mau menyerahkan bayinya kepada ibu yang memberikan sel telur. Menurut Anda, siapakah yang berhak untuk memiliki bayi tersebut? Siapakah ibu yang "sebenarnya"? Apa kriteria Anda untuk menentukan siapa yang lebih berhak memiliki bayi tersebut?
2. Pernikahan di bawah umur dapat membahayakan kesehatan ibu dan kesehatan bayi baik ketika dalam kandungan maupun setelah dilahirkan. Apa yang akan Anda lakukan dalam kehidupan nyata sehubungan dengan hal ini? Tinjaulah kasus tersebut secara biologis maupun sosiologis.

Kegiatan Semester 2

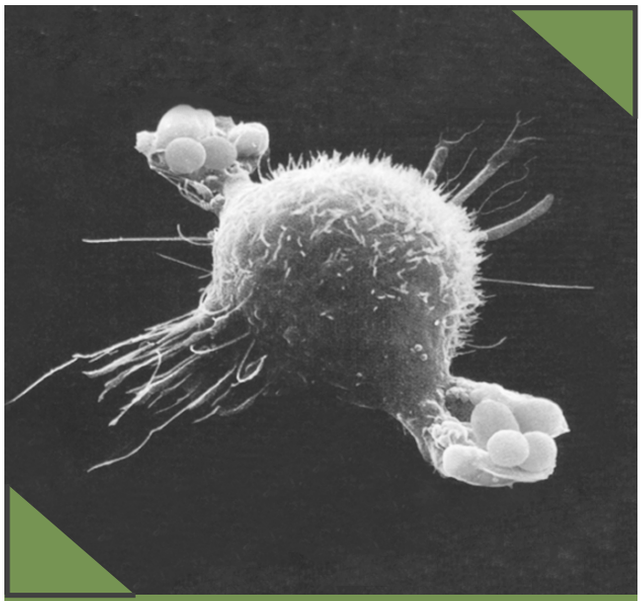
Penyakit Menular Seksual

Pada semester 2, Anda telah mempelajari berbagai sistem organ pada manusia, salah satunya adalah sistem reproduksi manusia. Reproduksi merupakan cara makhluk hidup untuk dapat mempertahankan kelangsungan jenisnya. Namun, sistem reproduksi manusia dapat pula mengalami gangguan atau penyakit. Faktor penyebab adanya gangguan atau penyakit pada sistem reproduksi manusia dapat berupa kelainan fisiologis, bakteri, maupun virus. Masyarakat luas mengenal penyakit pada sistem reproduksi manusia dengan sebutan penyakit menular seksual. Penyakit menular seksual merupakan suatu gangguan atau penyakit yang ditularkan dari satu orang ke orang lain melalui kontak langsung atau hubungan seksual.

Tugas Anda pada semester ini adalah membuat makalah atau karya ilmiah mengenai penyakit menular seksual. Informasi yang dapat Anda kaji berupa data penderita penyakit menular seksual di daerah Anda, penyebabnya, atau pun cara pencegahannya. Terdapat beberapa hal yang harus Anda perhatikan dalam penyusunan makalah tersebut.

a. **Perencanaan**
   Perencanaan merupakan hal yang sangat penting dalam melakukan suatu penelitian. Anda dapat menentukan waktu observasi, kelompok kerja dan lokasi observasi (rumah sakit, LSM, atau lembaga terkait)
b. **Pengumpulan Data**
   Pengumpulan data dapat Anda lakukan di rumah sakit, LSM, atau lembaga terkait masalah penyakit menular seksual. Kumpulkan data selengkap dan seakurat mungkin. Anda perlu mengorganisasi untuk memudahkan Anda menganalisis dan mengumpulkan hasil observasi. Oleh karena itu, Anda perlu menyiapkan tabel data pengamatan sebelum melakukan percobaan.
c. **Pengolahan dan Penyajian Data**
   Jika data sudah terkumpul, Anda akan mudah mengolahnya. Tabel dan grafik merupakan alat yang sangat bermanfaat untuk menyusun dan menganalisis data. Anda dapat menguraikan dan membahas data-data hasil pengamatan, menuliskan saran atau kesimpulan dari hasil pengamatan.

Pada akhir semester 2 akan dilakukan diskusi kelas mengenai tugas proyek ini. Guru Anda akan membimbing, mengarahkan, serta menilai makalah Anda dan diskusi tersebut. Oleh karena itu, buatlah tugas proyek ini dengan sebaik-baiknya.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

11

Bab 11

Sistem Pertahanan Tubuh

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat menjelaskan seluk-beluk tubuh manusia. Hal itu dapat Anda kuasai jika mampu memahami mekanisme pertahanan tubuh terhadap penyakit.

Sistem kekebalan tubuh merupakan suatu sistem dalam tubuh yang bekerja mempertahankan tubuh kita dari serangan suatu bibit penyakit. Pernahkah Anda demam atau flu? Apakah Anda menyadari bahwa naiknya suhu tubuh kita tersebut adalah suatu mekanisme dari sistem pertahanan tubuh kita.

Selain itu, apakah Anda pernah bersin? Bersin merupakan salah satu mekanisme pertahanan tubuh kita. Jika terdapat benda asing masuk ke tubuh kita, benda asing tersebut akan dikeluarkan melalui bersin. Kekebalan tubuh mampu melindungi tubuh dari serangan bakteri, virus, dan berbagai macam penyakit.

Bagaimanakah sistem pertahanan tubuh kita bekerja? Apa sajakah yang berperan dalam sistem pertahanan tubuh tersebut? Pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat Anda temukan setelah mempelajari bab berikut. Dengan mempelajari bab ini Anda dapat mengambil manfaatnya untuk selalu menjaga kesehatan tubuh dari bibit penyakit. Selamat belajar.

A. Pertahanan Tubuh Nonspesifik
B. Pertahanan Tubuh Spesifik
C. Struktur Sistem Kekebalan Tubuh
D. Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh
E. Kelainan Sistem Kekebalan Tubuh

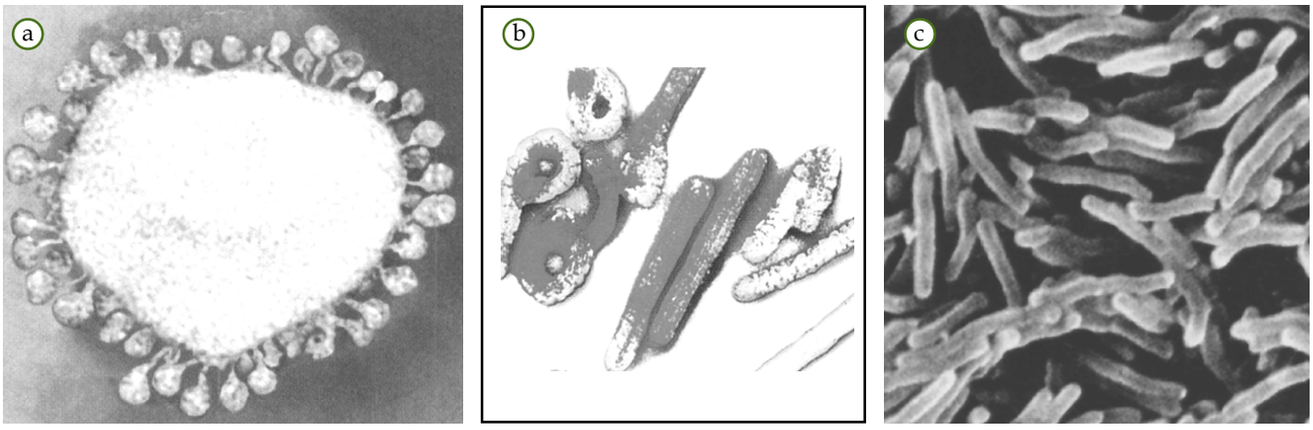
Soal *Prameteri*

1. Bagaimana bibit penyakit masuk ke dalam tubuh?
2. Apa yang dimaksud dengan imunisasi?

A Pertahanan Tubuh Nonspesifik

Apakah Anda pernah sakit? Sakit, dalam hal ini lebih merupakan istilah untuk perubahan aktivitas metabolisme yang terjadi dalam tubuh. Banyak penyakit yang diderita, terlebih dahulu diawali dengan proses infeksi. **Infeksi** adalah masuknya organisme **patogen** (organisme yang menyebabkan penyakit) ke dalam tubuh inang. Inang sendiri merupakan induk atau sel yang menjadi tumpangan organisme patogen.

Jika masuknya organisme patogen (**Gambar 11.1**) atau benda-benda asing ke dalam tubuh diandaikan sebagai sebuah peperangan maka kita dapat menyebut sistem pertahanan tubuh sebagai garis-garis pertahanan kita terhadap musuh.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.1
Beberapa jenis patogen yang umum menyerang sistem pertahanan tubuh kita, yaitu (a) corona virus penyebab SARS, (b) virus Ebola, dan (c) bakteri penyebab TBC.

Secara garis besar, sistem pertahanan tubuh dibedakan atas sistem pertahanan tubuh **nonspesifik** dan **spesifik**. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik tidak membedakan mikroorganisme patogen satu dengan lainnya. Sistem ini merupakan pertahanan pertama terhadap infeksi. Adapun sistem pertahanan tubuh spesifik bekerja hanya jika patogen tertentu memasuki tubuh dan telah melewati sistem pertahanan tubuh nonspesifik internal (Campbell, 1998: 852).

Sistem pertahanan tubuh nonspesifik terbagi atas dua jenis, yaitu eksternal dan internal. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik eksternal meliputi jaringan **epitel**, **mukosa**, dan **sekresi jaringan** tersebut. Sementara itu, sistem pertahanan nonspesifik internal meliputi pertahanan tubuh yang dipicu oleh sinyal kimia (kemotaksis) dan menggunakan **protein antimikroba** serta **sel fagosit**.

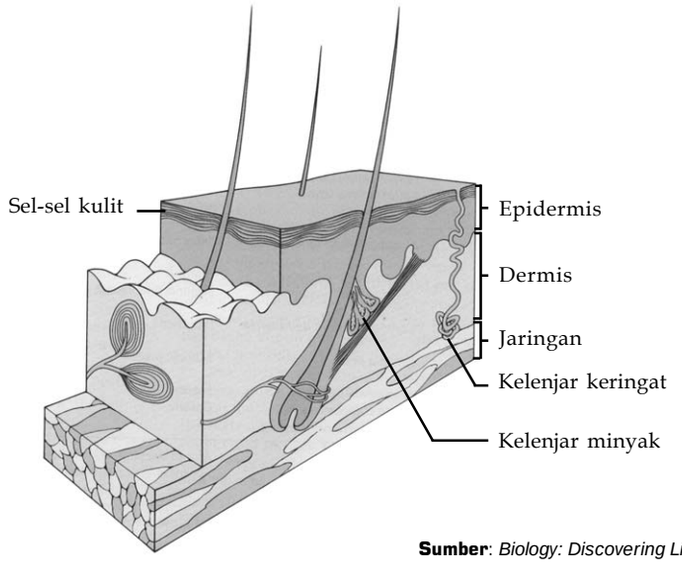
Kata Kunci

- Infeksi
- Patogen
- Pertahan tubuh nonspesifik
- Pertahanan tubuh spesifik

1. Sistem Pertahanan Tubuh Nonspesifik Eksternal

Pertahanan tubuh terbesar dan paling mudah dilihat yang menjaga tubuh dari infeksi adalah kulit (**Gambar 11.2**). Permukaan kulit mencegah mikroorganisme patogen memasuki tubuh. Kulit yang utuh, secara normal tidak dapat dimasuki bakteri atau virus. Namun, kerusakan yang kecil dapat menjadi jalan bagi bakteri dan virus memasuki tubuh. Membran mukosa pada saluran pencernaan, pernapasan, dan saluran kelamin, berfungsi juga sebagai penghalang mikroorganisme memasuki tubuh.

Selain sebagai penghalang secara fisik, jaringan epitel dan jaringan mukosa menghalangi mikroorganisme patogen dengan pertahanan kimiawi. Sekresi oleh kelenjar lemak dan kelenjar keringat pada kulit membuat keasaman (pH) permukaan kulit pada kisaran 3–5. Kondisi tersebut cukup asam dan mencegah banyak mikroorganisme berkoloni di kulit.



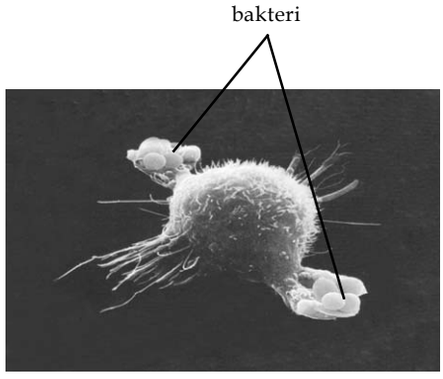
Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 11.2
Penampang kulit.

Air liur, air mata dan sekresi mukosa (mukus) yang disekresikan jaringan epitel dan mukosa, melenyapkan banyak bibit penyakit yang potensial. Sekresi ini mengandung **lisozim**, suatu enzim yang dapat menguraikan dinding sel bakteri. Selain itu, bakteri flora normal tubuh pada epitel dan mukosa dapat juga mencegah koloni bakteri patogen.

2. Sistem Pertahan Tubuh Nonspesifik Internal

Sistem pertahanan tubuh nonspesifik internal bergantung pada sel-sel fagosit. Sel-sel fagosit tersebut berupa beberapa jenis sel darah putih, yaitu **neutrofil** dan **monosit**. Selain sel-sel fagosit, terdapat protein antimikroba yang membantu pertahanan tubuh nonspesifik internal. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik internal ini menyerang semua mikroba atau zat asing yang dapat melewati pertahanan terluar tubuh.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.3
Sebuah sel fagosit. Sel fagosit ini sedang mengumpulkan bakteri untuk dihancurkan.

a. Sel Fagosit

Neutrofil dalam darah putih merupakan yang terbanyak, sekitar 60-70%. Sel neutrofil mendekati sel yang diserang mikroba dengan adanya sinyal kimiawi (kemotaksis). Neutrofil dapat meninggalkan peredaran darah menuju jaringan yang terinfeksi dan membunuh mikroba penyebab infeksi. Namun, setelah sel neutrofil menghancurkan mikroba, mereka pun akan mati. Perhatikan **Gambar 11.3**.

Sel monosit, meski hanya sebanyak 5% dari seluruh sel darah putih, memberikan pertahanan fagosit yang efektif. Setelah mengalami pematangan, sel monosit bersirkulasi dalam darah untuk beberapa jam. Setelah itu, bergerak menuju jaringan dan berubah menjadi **makrofag**. Sel mirip *Amoeba* ini mampu memanjangkan pseudopodia untuk menarik mikroba yang akan dihancurkan enzim perncernaannya. Namun, beberapa mikroba telah berevolusi terhadap cara makrofag. Misalnya, beberapa bakteri memiliki kapsul yang membuat pseudopodia makrofag tidak dapat menempel. Bakteri lain kebal terhadap enzim pelisis fagosit dan bahkan dapat bereproduksi dalam sel makrofag. Beberapa makrofag secara permanen berada di organ-organ tubuh dan jaringan ikat.

Selain neutrofil dan monosit, terdapat juga eosinofil yang berperan dalam sistem pertahan nonspesifik internal. Sekitar 1,5% sel darah putih merupakan eosinofil. Eosinofil memiliki aktivitas fagositosit yang terbatas, namun mengandung enzim penghancur di dalam granul sitoplasmanya. Eosinofil

Kata Kunci
- Monosit
- Lisozim
- Makrofag

berperan dalam pertahanan tubuh terhadap cacing parasit. Eosinofil memposisikan diri di permukaan cacing dan menyekresikan enzim dari granul untuk menghancurkan cacing tersebut.

b. Protein Antimikroba

Protein yang berperan dalam sistem pertahanan tubuh nonspesifik disebut **sistem komplemen**. Protein tersebut dapat secara langsung membunuh mikroorganisme ataupun mencegah reproduksinya. Terdapat sekitar 20 jenis protein yang termasuk dalam sistem ini. Histamin dan interleukin termasuk protein ini.

Protein komplemen bersirkulasi dalam darah dalam bentuk tidak aktif. Jika beberapa molekul dari satu jenis protein komplemen aktif, hal tersebut memicu gelombang reaksi yang besar. Mereka mengaktifkan banyak molekul komplemen lain. Setiap molekul yang teraktifkan, akan mengaktifkan jenis protein komplemen lain dan begitu seterusnya. Aktivasi protein komplemen terjadi jika protein komplemen tersebut berikatan dengan protein yang disebut antigen. Antigen telah dimiliki oleh patogen. Aktivasi dapat terjadi ketika protein komplemen berikatan langsung dengan permukaan bakteri.

Beberapa protein komplemen dapat bersatu membentuk pori kompleks yang menginduksi lisis (kematian sel) pada patogen. Beberapa protein komplemen yang teraktifkan juga menyebabkan respons pertahanan tubuh nonspesifik yang disebut **peradangan** (inflamasi). Selain itu, "menarik" sel-sel fagosit menuju sel atau jaringan yang rusak.

Wawasan Biologi

Obat-obatan penurun panas seperti paracetamol, pirazon, aspirin, dan propionat menghambat sintesis prostaglandin di hipotalamus sehingga menurunkan panas. Menurutmu, apakah keuntungan dan kerugian penggunaan obat-obatan ini?

3. Respons Tubuh pada Sistem Pertahanan Tubuh Nonspesifik

Infeksi mikroba patogen direspons oleh tubuh dengan reaksi peradangan (inflamasi) dan demam. Radang merupakan reaksi tubuh terhadap kerusakan sel-sel tubuh yang disebabkan oleh infeksi, zat-zat kimia, ataupun gangguan fisik lainnya, seperti benturan dan panas. Gejala radang dapat berupa sakit, panas bengkak, kulit memerah dan gangguan fungsi dari daerah yang terkena radang. Bisul, bengkak, dan gatal merupakan beberapa bentuk peradangan.

Demam merupakan salah satu respons tubuh terhadap radang. Ketika demam, suhu tubuh akan naik melebihi suhu tubuh normal. Bakteri, virus, sel-sel kanker, dan sel-sel yang mati menghasilkan zat yang disebut ***pyrogen-exogen***. Zat tersebut merangsang makrofag dan monosit mengeluarkan zat ***pyrogen-endogen*** yang merangsang hipotalamus menaikkan suhu tubuh sehingga timbul perasaan dingin, menggigil, dan suhu tubuh yang meningkat.

Sumber: *Biology: Discovering Live*, 1991

Gambar 11.4
Demam menandakan masuknya bibit penyakit ke dalam tubuh.

Suhu tubuh yang tinggi menguntungkan karena bakteri dan virus akan lemah sehingga mati pada suhu tinggi. Metabolisme, reaksi kimia, dan sel-sel darah putih akan lebih aktif dan cepat sehingga mempercepat penyembuhan. Namun, terdapat efek lain dari naiknya suhu tubuh ini. Sakit kepala, pusing, lesu, kejang, dan kerusakan otak permanen yang membahayakan tubuh dapat terjadi akibat naiknya suhu tubuh.

Soal Penguasaan *Materi* 11.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan fungsi sistem pertahanan tubuh nonspesifik.
2. Sebutkan bagian sistem pertahanan tubuh nonspesifik eksternal dan jelaskan cara kerjanya.
3. Bagaimana respons tubuh terhadap mikroba atau zat asing yang memasuki sistem pertahanan tubuh nonspesifik?

B Pertahanan Tubuh Spesifik

Pertahanan tubuh nonspesifik pada permukaan tubuh disokong oleh pertahanan tubuh spesifik atau **sistem kekebalan tubuh** (imunitas) yang memiliki kekuatan yang lebih besar menghadapi penyerang (patogen) tertentu. Pertahanan tubuh spesifik ini dipicu oleh **antigen** (*antibody generating*), zat asing yang menjadi bagian permukaan virus, bakteri, atau patogen lain. Semua zat asing yang memicu sistem kekebalan tubuh disebut antigen. Antigen dapat berupa karbohidrat, lemak, atau protein.

Kata Kunci

- Antibodi
- Antigen
- Imunitas

Sistem tubuh memiliki ciri-ciri khusus (spesifik), yaitu mengingat dan mengenali mikroba patogen atau zat asing. Sistem kekebalan tubuh memiliki kemampuan untuk mengenali dan menghancurkan patogen dan zat asing tertentu. Sistem kekebalan tubuh bereaksi terhadap antigen tertentu dengan mengaktifkan sel limfosit dan memproduksi protein khusus yang disebut **antibodi**. Selain pada mikroorganisme patogen, antigen terdapat juga pada zat asing seperti kulit atau jaringan hasil cangkok organ.

Sistem kekebalan tubuh mampu mengingat antigen yang pernah menyerang dan telah mempersiapkan diri lebih baik dan efektif jika patogen tersebut menyerang kembali. Hal ini menjelaskan mengapa jika kita telah terkena penyakit cacar sewaktu kecil, kita tidak akan terkena lagi di kemudian hari (**Gambar 11.5**).

Sumber: *www.wikipedia.org*

Gambar 11.5

Penyakit cacar air. Setelah terkena penyakit cacar air, kemungkinan besar kita tidak akan terserang kembali.

Mengapa hal tersebut dapat ter adi?

Tokoh Biologi

Edward Jenner (1749 – 1823)

Edward Jenner adalah seorang dokter kelahiran Inggris. Ia merupakan perintis penggunaan vaksin untuk memerangi penyebaran penyakit cacar air.

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Sistem kekebalan tubuh dapat membedakan molekul atau sel tubuh dari molekul asing (antigen). Antigen dalam darah yang akan membedakan golongan darah, tidak berbahaya bagi tubuh pemiliknya. Akan tetapi, jika antigen darah tersebut disuntikkan kepada orang lain, antibodi individu tersebut akan bereaksi. Kelainan mekanisme ini berakibat fatal dan menyebabkan kelainan yang disebut autoimunitas.

Kekebalan tubuh yang diperoleh setelah pulih dari infeksi penyakit disebut **kekebalan aktif** (*active immunity*). Disebut demikian karena kekebalan tubuh ini bergantung pada respons kekebalan tubuh orang tersebut. Adapun **kekebalan pasif** diperoleh dengan memberikan antibodi dari seseorang yang telah kebal, kepada orang lain.

Kekebalan aktif terjadi jika kita pulih dari penyakit, seperti cacar, tetanus, atau campak. Tubuh akan memproduksi antibodi yang berguna menghancurkan mikroba patogen jika mereka menyerang kembali. Kekebalan aktif ini dikenal dengan **kekebalan aktif alami**. Adapun **kekebalan aktif buatan** didapatkan dengan menyuntikkan antigen bakteri yang tidak aktif, mikroba mati, atau mikroba yang dilemahkan. Cara ini dikenal dengan **vaksinasi**. Dengan vaksinasi, kekebalan orang tersebut akan aktif membentuk antibodi layaknya orang yang telah terkena penyakit yang disebabkan antigen tersebut.

Kekebalan tubuh pasif contohnya terjadi pada bayi yang diberikan air susu pertama (kolostrum) oleh ibunya. Di dalam kolostrum terkandung berbagai macam antibodi ibu yang melindungi bayi dari penyakit. Meskipun hanya bertahan untuk beberapa minggu, namun cukup untuk bayi hingga sistem kekebalan tubuhnya bekerja dengan baik. Kekebalan tubuh pasif juga dapat dilakukan dengan memberikan antibodi orang yang telah kebal kepada orang yang sakit. Contohnya, pada penyakit rabies.

Respons sistem kekebalan tubuh terhadap kehadiran antigen dapat dibedakan atas dua cara, yaitu imunitas humoral dan imunitas seluler. Apa perbedaannya? Bagaimana cara kerjanya? Pelajarilah materi berikut.

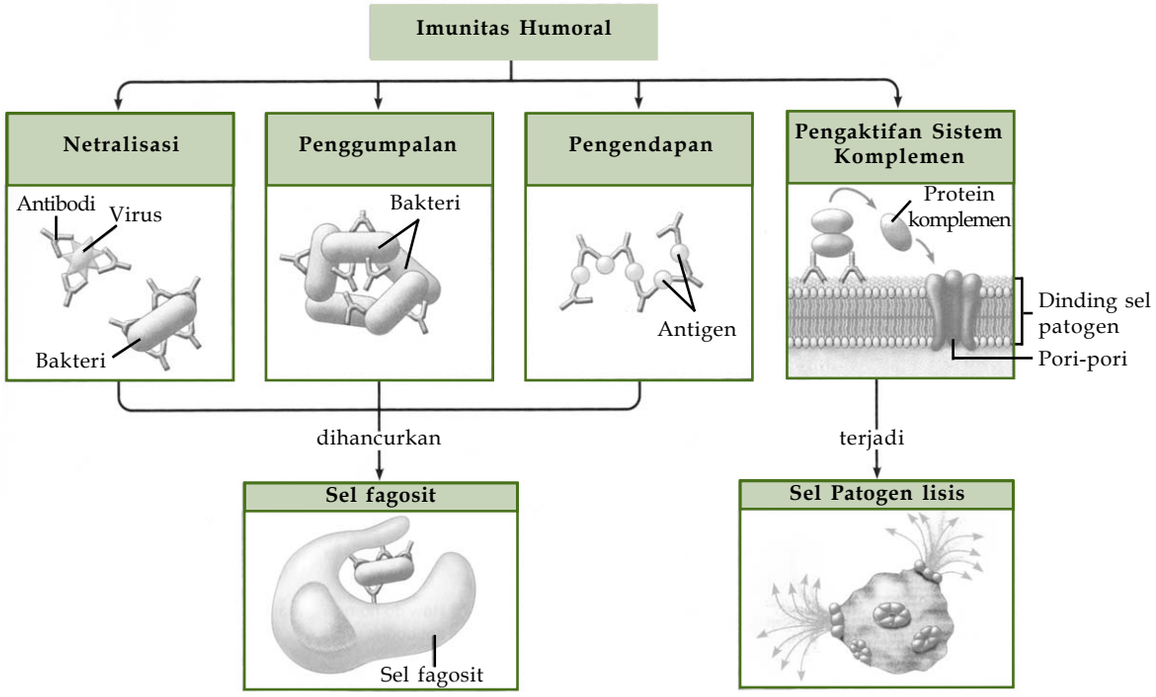
Kata Kunci

- Kekebalan aktif
- Kekebalan pasif
- Imunitas humoral
- Imunitas seluler

1. Imunitas Humoral

Imunitas humoral menghasilkan pembentukan antibodi yang disekresikan oleh sel limfosit B. Antibodi ini berada dalam plasma darah dan cairan limfa (dahulu disebut cairan humor) dalam bentuk protein. Pembentukan antibodi ini dipicu oleh kehadiran antigen. Antibodi secara spesifik akan bereaksi dengan antigen. Spesifik, berarti antigen A hanya akan berekasi dengan dengan antibodi A, tidak dengan antibodi B.

Antibodi umumnya tidak secara langsung menghancurkan antigen yang menyerang. Namun, pengikatan antara antigen dan antibodi merupakan dasar dari kerja antibodi dalam kekebalan tubuh. Terdapat beberapa cara antibodi menghancurkan patogen atau antigen, yaitu **netralisasi**, **penggumpalan**, **pengendapan**, dan **pengaktifan sistem komplemen** (protein komplemen). Perhatikan **Gambar 11.6**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.6
Beberapa cara antibodi menghancurkan patogen atau antibodi

Netralisasi terjadi jika antibodi memblokir beberapa tempat antigen berikatan dan membuatnya tidak aktif. Antibodi menetralkan virus dengan menempel pada tempat yang seharusnya berikatan dengan sel inang. Selain itu, antibodi menetralkan bakteri dengan menyelimuti bagian beracun bakteri dengan antibodi. Hal tersebut menetralkan racun bakteri sehingga sel fagosit dapat mencerna bakteri tersebut.

Penggumpalan (aglutinasi) bakteri, virus, atau sel patogen lain oleh antibodi merupakan salah satu cara yang cukup efektif. Hal ini dapat dilakukan karena antibodi memiliki minimal dua daerah ikatan (*binding site*). Cara ini memudahkan sel fagosit menangkap sel-sel patogen tersebut.

Cara ketiga mirip dengan penggumpalan. Pengendapan dilakukan pada antigen terlarut oleh antibodi. Hal ini untuk membuat antigen terlarut tidak bergerak dan memudahkan ditangkap oleh sel fagosit.

Cara terakhir merupakan perpaduan antara antibodi dan sistem komplemen. Antibodi yang berikatan dengan antigen akan mengaktifkan sistem komplemen (protein komplemen) untuk membentuk luka atau pori pada sel mikroba patogen. Pembentukan luka atau pori ini menyebabkan luka atau pori pada sel mikroba patogen. Pembentukan luka atau pori ini menyebabkan lisozim dapat masuk dan sel patogen tersebut akan hancur (lisis).

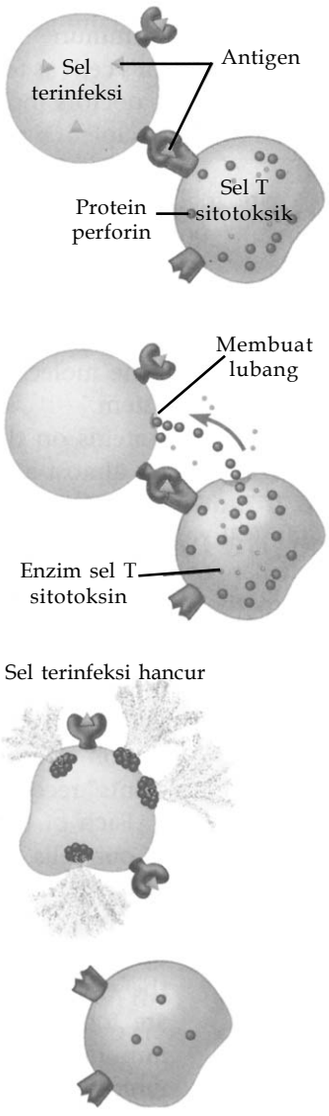
2. Imunitas Seluler

Imunitas seluler bergantung pada peran langsung sel-sel (sel limfosit) dalam menghancurkan patogen. Setelah kontak pertama dengan sebuah antigen melalui makrofag, sekelompok limfosit T tertentu dalam jaringan

limfatik akan membesar diameternya. Setelah itu, berkembang biak dan berdiferensiasi menjadi beberapa sub populasi. Sub populasi tersebut, antara lain **sel T sitotoksik** (*cytotoxic T cell*), **sel T penolong** (*helper T cell*), **sel T supressor** (*supressor T cell*), dan **sel T memori** (*memory T cell*).

Tugas utama imunitas seluler adalah untuk menghancurkan sel tubuh yang telah terinfeksi patogen, misalnya oleh bakteri atau virus. Bakteri atau virus yang telah menyerang sel tubuh akan memperbanyak diri dalam sel tubuh tersebut. Hal ini tidak dapat dilakukan oleh antibodi tubuh.

Sebenarnya hanya sel T sitotoksik saja yang dapat menghancurkan sel yang terinfeksi. Sel yang terinfeksi memiliki antigen asing milik virus atau bakteri yang menyerangnya. Sel T sitotoksik membawa reseptor yang dapat berikatan dengan antigen sel terinfeksi. Setelah berikatan dengan sel yang terinfeksi, sel T sitotoksik menghasilkan protein **perforin** yang dapat melubangi membran sel terinfeksi. Dengan adanya lubang, enzim sel T dapat masuk dan menyebabkan kematian pada sel terinfeksi beserta patogen yang menyerangnya (**Gambar 11.7**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.7
Cara sel T sitotosik menghancurkan sel terinfeksi.

3. Respons Kekebalan Tubuh

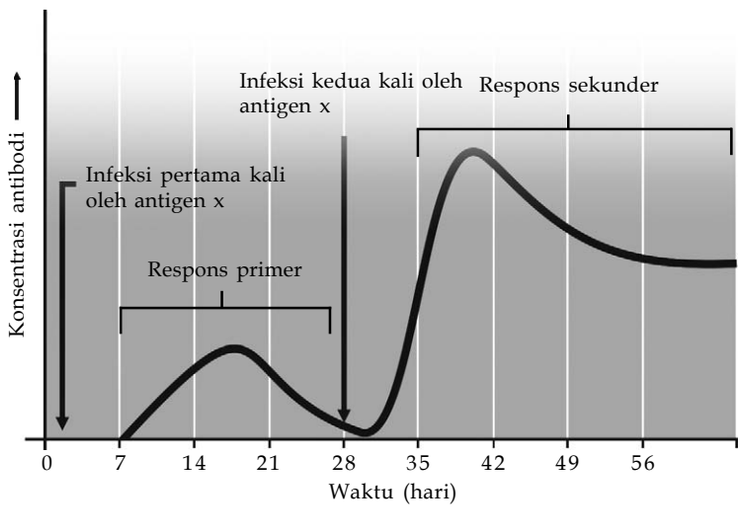
Respons kekebalan tubuh dan memori imunologis terhadap suatu patogen atau antigen dapat dibedakan atas **respons primer** dan **respons sekunder**. Respons primer merupakan respons kekebalan tubuh yang pertama kali terjadi ketika suatu antigen tertentu memasuki tubuh. Respons sekunder merupakan respons kekebalan tubuh ketika antigen yang sama menyerang tubuh kembali untuk kedua kalinya.

Ketika antigen pertama kali memasuki tubuh, respons sistem kekebalan tubuh tidak terjadi secara langsung. Diperlukan beberapa hari bagi sel limfosit untuk dapat aktif. Ketika banyak sel limfosit B terbentuk, konsentrasi antibodi dalam tubuh mulai terlihat (**Gambar 11.8**).

Selama keterlambatan ini, individu yang terinfeksi akan sakit (contohnya demam). Konsentrasi antibodi mencapai puncak setelah sekitar 2 minggu dari awal infeksi. Saat konsentrasi antibodi dalam darah dan sistem limfatik naik, gejala sakit akan berkurang dan hilang. Setelah itu, pembentukan antibodi menurun dan individu tersebut sembuh.

Kata Kunci

- Respons primer
- Respons sekunder



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.8
Dua fase respons kekebalan tubuh. Respons sekunder menghasilkan antibodi lebih banyak.

Jika antigen yang sama menyerang tubuh kembali, antigen tersebut akan memicu respons kekebalan tubuh sekunder. Respons kedua ini terjadi lebih cepat daripada respons primer. Respons sekunder juga menghasilkan konsentrasi antibodi yang lebih besar dan lebih lama (**Gambar 11.8**).

Selain imunitas humoral (pembentukan antibodi), imunitas seluler juga berperan dalam respons kekebalan tubuh sekunder ini. Karena respons kekebalan tubuh sekunder yang cepat, gejala sakit (demam) tidak terjadi. Oleh karena itu, individu tersebut dikatakan kebal terhadap penyakit tersebut.

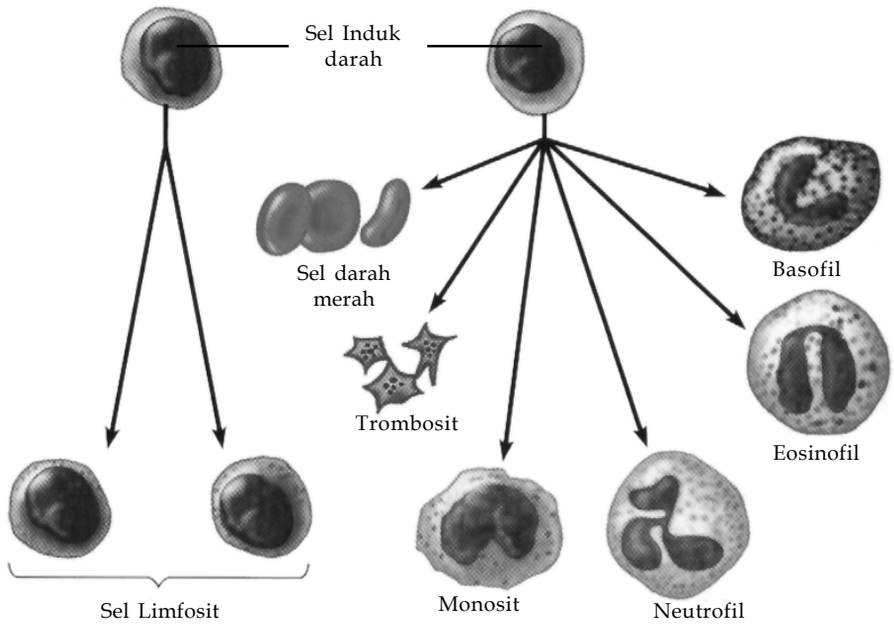
Soal Penguasaan *Materi* 11.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan sistem pertahanan tubuh nonspesifik dan sistem pertahanan tubuh spesifik.
2. Apa perbedaan imunitas humoral dan imunitas seluler?
3. Mengapa seseorang dikatakan kebal terhadap suatu penyakit?

C Struktur Sistem Kekebalan Tubuh

Sistem kekebalan tubuh pada organisme tingkat tinggi, terutama burung dan Mammalia, bertumpu pada sel-sel darah putih (leukosit). Leukosit dibentuk di dalam sumsum tulang oleh sebuah jaringan meristematik yang disebut *stem cells* (**sel induk darah**) (**Gambar 11.9**).



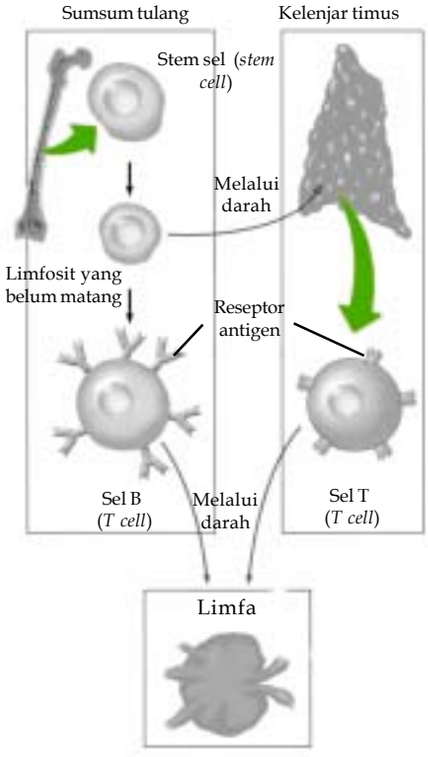
Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.9
Diferensiasi sel induk darah.
Sel apa sa akah yang dapat dibentuk dari sel induk darah?

Leukosit yang berperan dalam sistem kekebalan tubuh terdiri atas **fagosit** dan **limfosit**. Fagosit merupakan sel yang akan menghancurkan benda asing yang masuk dalam tubuh dengan cara menelannya (**fagositosis**). Fagosit terdiri atas **neutrofil** dan **makrofag**. Neutrofil terdapat di dalam darah, sedangkan makrofag mampu memasuki ke dalam jaringan ataupun rongga tubuh. Limfosit terdiri atas dua jenis, yaitu **limfosit B** dan **limfosit T**.

1. Limfosit B

Limfosit B terbentuk dan dimatangkan dalam **sumsum tulang** (*bone marrow*). Dalam sumsum tulang, limfosit B berdiferensiasi menjadi **sel plasma** yang berfungsi bertugas menyekresikan antibodi kedalam cairan tubuh dan **sel limfosit B-memori** yang berfungsi menyimpan informasi antigen. Informasi ini disimpan dalam bentuk DNA yang dapat memproduksi antibodi yang cocok dengan antigen. Sel limfosit B hidup dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 11.10
Proses pembentukan sel T (*T cell*) dan sel B (*B cell*). Sel B matang di sumsum tulang, sedangkan sel T matang di kelenjar timus.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

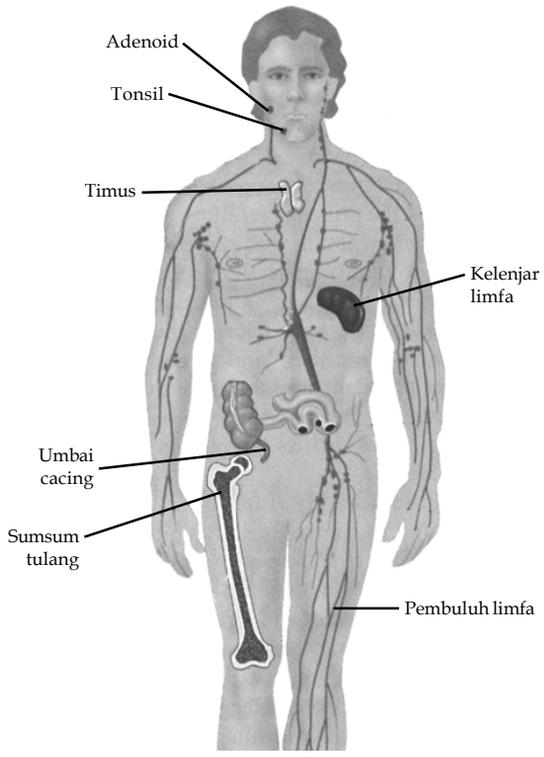
2. Limfosit T

Limfosit T dimatangkan di kelenjar timus (**Gambar 11.10**). Di kelenjar timus, limfosit T juga berdiferensiasi menjadi **sel T sitotoksik** (*cytotoxic T cell*), **sel T penolong** (*helper T cell*), **sel T supressor** (*supressor T cell*), dan **sel T-memori** (*memory T cell*). Masing-masing memiliki fungsi berbeda. Sel T sitotoksik berfungsi dalam membunuh sel yang terinfeksi. Sel T penolong berfungsi mengaktifkan limfosit B dan limfosit T. Sel supressor berfungsi dalam mengurangi produksi antibodi oleh sel-sel plasma dengan cara menghambat aktivitas sel T penolong dan sel T sitotoksik. Sel T memori diproduksi untuk "mengingat" antigen yang telah masuk ke dalam tubuh. Jika kelak antigen yang sama menyerang tubuh kembali, maka dengan adanya sel T memori akan terjadi respons sekunder yang lebih cepat dan kuat. Akibatnya, sering antigen telah dihancurkan sebelum terjadi demam atau radang.

Baik limfosit B dan limfosit T akan masuk ke dalam sistem peredaran limfatik atau getah bening (**Gambar 11.10**). Sel limfosit banyak terdapat pada sistem peredaran darah limfatik, sumsum tulang, kelenjar timus, kelenjar limfa, amandel (tonsil), darah, dan dalam sistem pencernaan. Pada proses transplantasi jaringan, penolakan tubuh donor yang menyebabkan kerusakan jaringan yang akan ditransplantasikan, dapat disebabkan oleh sel limfosit T. Hal ini terjadi karena limfosit T menganggap jaringan tersebut bukan bagian dari tubuh.

Kata Kunci

- Immunoglobulin
- Sel T sitotoksik
- Sel T penolong
- Sel T superessor
- Sel T memori



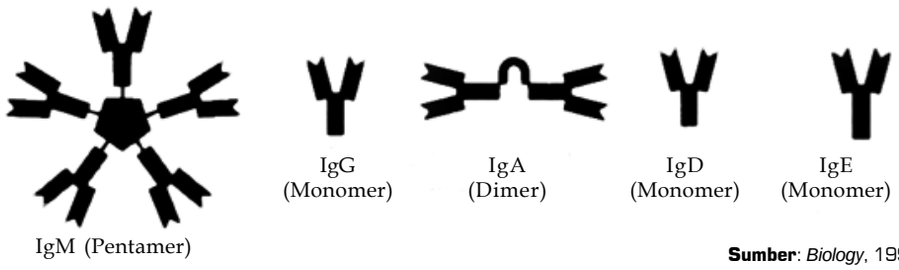
Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 11.11
Sistem peredaran limfatik manusia

3. Antibodi

Limfosit B membentuk sistem kekebalan di dalam cairan tubuh (humor), sehingga efektif dalam mengatasi infeksi oleh bakteri dan virus yang bersifat ekstraseluler. Sel Limfosit B dapat membentuk struktur protein khusus, yaitu **Immunoglobulin** atau disebut juga antibodi. Protein khusus ini dimigrasikan ke bagian membran sel, kemudian berfungsi mengenali dan mengikat sel asing atau organisme asing yang ditemui, dan melumpuhkannya. Antibodi pada dasarnya adalah protein yang sangat spesifik yang terbentuk sebagai respons dari kehadiran antigen.

Immunoglobin terdiri dari dua **rantai ringan** (*Light Chain*, **rantai L**) dan dua **rantai berat** (*Heavy Chain*, **rantai H**). Setiap rantai L dan H terdiri atas dua terminal, yaitu terminal C (*Constant*) dan terminal V (*Variable*). Immunoglobin (disingkat **Ig**) dibagi menjadi lima kelas, yaitu **IgA**, **IgD**, **IgE**, **IgG**, **IgM** (**Gambar 11.12**).



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 11.12
Immunoglobin terdiri atas lima kelas yaitu IgM, IgG, IgA, IgD, dan IgE.

IgM merupakan antibodi pertama yang disekresikan sebagai respons kekebalan tubuh. Setelah mengikat antigen, IgM memicu aktifnya protein komplemen. IgM juga dapat mengikat antigen atau patogen menjadi gumpalan sehingga memudahkan fagositosis makrofag.

IgG mengaktifkan protein komplemen dan menetralkan banyak racun. Jumlah IgG paling banyak dan tahan lama. IgG merupakan satu-satunya antibodi yang dapat melewati plasenta dan menjaga janin dengan kekebalan tubuh ibunya. IgG juga disekresikan dalam kolostrum.

IgA mencegah masuknya virus atau bakteri melalui jaringan epitel mukosa sistem pencernaan, pernapasan, dan saluran reproduksi. IgA ditemukan juga pada air liur, air mata, dan kolostrum.

IgE memicu peradangan jika cacing parasit menyerang tubuh. IgE juga berperan dalam reaksi alergi.

IgD tidak mengaktifkan sistem komplemen dan tidak dapat melewati plasenta. IgD diduga berfungsi dalam diferensi sel limfosit B menjadi sel plasma dan sel B memori.

Soal Penguasaan *Materi* 11.3

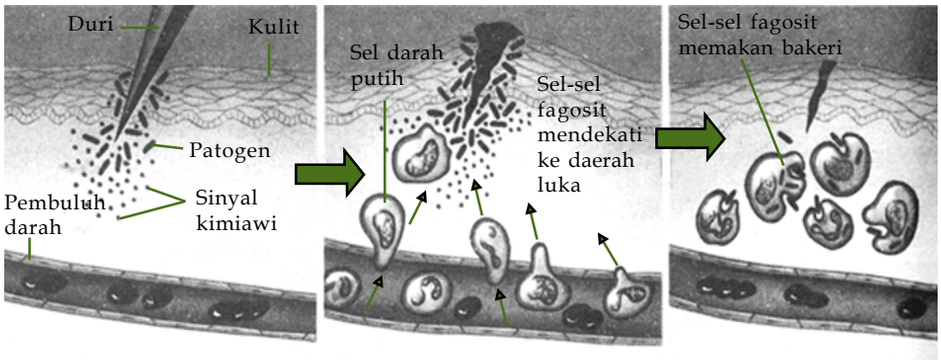
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan jenis-jenis dari limfosit T dan fungsinya.
2. Apakah yang dimaksud dengan Immunoglobulin?
3. Apakah fungsi leukosit?

D Mekanisme Sistem Pertahanan Tubuh

Ketika Anda mendapatkan luka, maka selain reaksi pembekuan darah, tubuh juga dengan cepat melindungi bukaan pada luka dari infeksi bakteri dan mikroorganisme lainnya. Adanya luka secara langsung telah merusakkan sistem pertahanan tubuh nonspesifik eksternal.

Ketika terjadi luka, histamin dilepaskan oleh *mast cell* (mastosit), dan sel basofil yang tersebar di seluruh jaringan. Histamin yang diterima reseptor pada otot polos dan endotelium di dinding kapiler darah menyebabkan kapiler darah mengalami **vasodilatasi** (penambahan diameter), sementara vena menyempit. Hal ini menyebabkan kapiler darah menjadi lebih permeabel. Daerah tersebut akan terlihat memerah dan membengkak (**Gambar 11.13**).



1. Jaringan kulit mengalami luka karena tertusuk duri; pelepasan sinyal kimia, yaitu histamin dan prostaglandin.
2. Vasodilatasi, tekanan darah meningkat, meningkatkan pula permeabilitas pembuluh darah; sel-sel fagosit mendekati luka.
3. Terjadi fagositosis oleh makrofag dan neutrofil; jaringan yang luka mulai sembuh.

Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 11.13
Proses pertahanan tubuh dari patogen berupa bakteri ketika terjadi luka di jaringan kulit.

Apa yang ter adi pada sel fagosit setelah memakan bakteri?

Selain mengeluarkan histamin, mastosit juga menghasilkan faktor kemotaksis untuk 'menarik' dan mengaktifkan eosinofil, neutrofil, dan monosit (sel fagosit), serta faktor pengaktif keping darah yang akan terlibat dalam proses pembekuan darah. Sel fagosit, baru akan terlihat di sekitar daerah luka setelah sekitar 30 sampai 90 menit kemudian.

Eosinofil berperan dalam menghambat dan mengurangi konsentrasi histamin yang dikeluarkan mastosit, agar tidak terjadi reaksi yang berlebihan. Jika terjadi infeksi oleh bakteri, maka neutrofil akan mengaktifkan lisosom. Lisosom melepaskan enzim lysozim yang akan mendegradasi bakteri dan sel-sel dari jaringan yang rusak di sekitar luka.

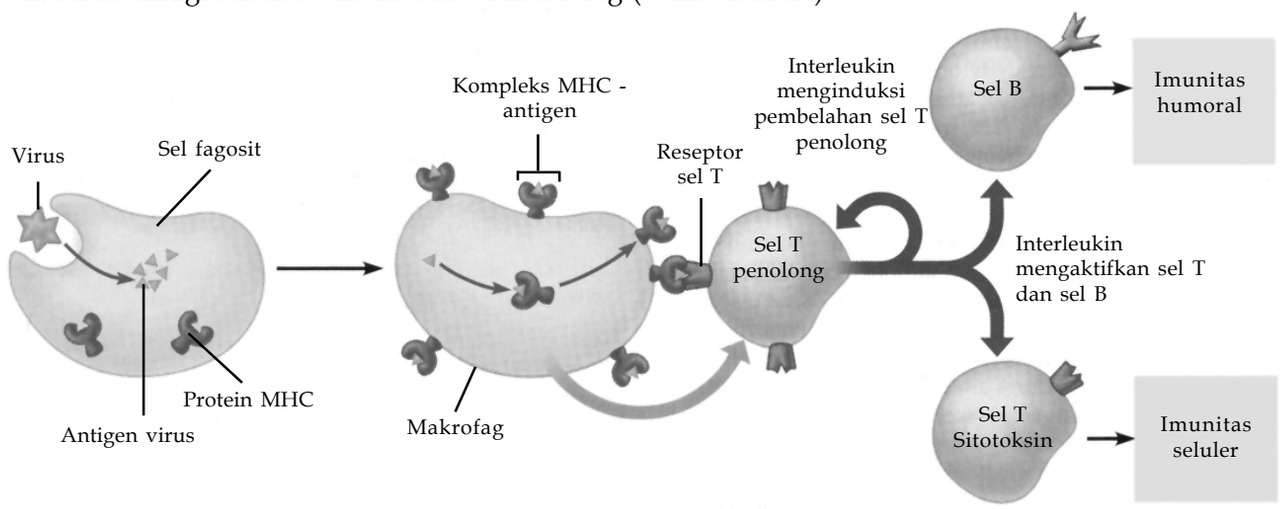
Monosit dan makrofag juga menghasilkan *endogenous pyrogen*. Zat ini memberikan sinyal pada pengatur suhu di hipotalamus, untuk menaikkan suhu tubuh beberapa derajat. Kita menyebut situasi ini sebagai demam. Hal ini terjadi terutama jika infeksi yang diderita cukup berat. Naiknya suhu tubuh dimaksudkan untuk menghambat pertumbuhan bakteri atau organisme patogen, agar lebih mudah dilumpuhkan. Respons tubuh ini dapat dikatakan sebagai respons sistem pertahanan tubuh nonspesifik dan belum melibatkan sel-sel limfosit.

Makrofag, yang jumlahnya hanya beberapa persen dari jumlah keseluruhan leukosit ini memainkan peranan penting. Makrofag memiliki protein MHC (*macrophage's histocompatibility complex*) yang kemudian akan berikatan dengan antigen pada mikroba. Kompleks MHC-antigen ini kemudian dimigrasikan ke membran sel makrofag (**Gambar 11.14**).

Wawasan Biologi

Sel tidak memiliki kontrol yang sempurna terhadap zat yang boleh masuk dan keluar. Racun, seperti karbon monoksida dan sianida, dapat dengan mudah memasuki sel dan membunuh sel tersebut.

Sumber: *Heath Biology*



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 11.14

Aktivasi oleh sel T penolong. Sel T penolong akan membelah diri dan mengaktifkan sel B dan sel T sitoksin.

Apa fungsi kompleks MHC-antigen?

Sel limfosit juga turut serta dalam melumpuhkan mikroba yang masuk ke dalam tubuh, hanya saja dengan mekanisme yang berbeda. Sel limposit B dengan reseptor komplemen berikatan dengan antigen dari bakteri atau organisme patogen. Hal ini untuk mengenali antigen tersebut. Limfosit B akan membelah dan berdiferensiasi menjadi sel memori dan sel plasma. Sel plasma menyekresikan antibodi yang dapat melumpuhkan mikroba yang masuk ke dalam cairan tubuh (humor). Target operasi limfosit B adalah bakteri, virus yang berada di luar sel, jamur dan protista. Limfosit T membentuk sistem kekebalan seluler. Sel sitotoksik akan menempel pada sel yang sudah terinfeksi virus, sel kanker, atau sel asing yang ditransplantasikan ke tubuh.

Reseptor pada sel T penolong berikatan dengan kompleks MHC-antigen makrofag. Ikatan ini menyebabkan sel T penolong menghasilkan hormon interleukin yang menginduksi sel T penolong untuk membelah dan berdiferensiasi menjadi sel memori. Sel T penolong juga dapat berikatan

dengan sel limfosit B dan menginduksi (dengan bantuan hormon interleukin) sel limfosit B untuk membelah dan berdiferensiasi menjadi sel memori dan sel plasma. Sel plasma akan menyekresikan antibodi.

Antibodi yang disekresikan sel plasma akan berikatan dengan antigen mikroba, untuk kemudian dapat dikenali oleh makrofag dan dicerna. Fenomena ini disebut *opsonic adherence* (*Opsin* adalah istilah yang berarti "bersiap untuk makan") atau **opsonisasi**. Proses ini pada dasarnya adalah mekanisme penandaan sel mikroba pelumpuh antigen dengan antibodi.

Sel T sitotoksik juga dapat aktif membelah dan berdiferensiasi dengan bantuan hormon interleukin yang disekresikan dari sel T penolong. Sel sitotoksik mengenali sel-sel asing atau sel yang terinfeksi virus di dalam tubuh, kemudian menguraikan membran selnya dengan protein yang dihasilkannya. Hal ini sangat penting, karena antibodi tidak dapat menyerang patogen yang telah menginfeksi sel tubuh.

Soal Penguasaan *Materi* 11.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

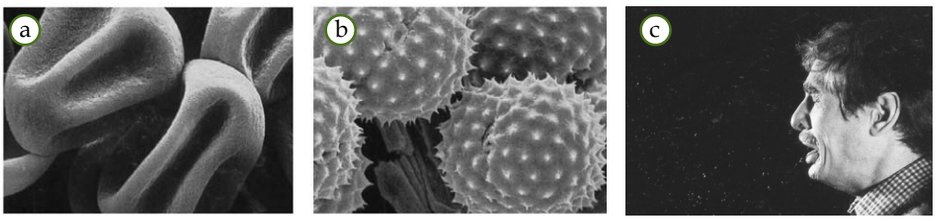
1. Jelaskan secara singkat oleh Anda mekanisme pertahanan tubuh terhadap luka.
2. Apa fungsi sel T penolong pada kekebalan tubuh?

E Kelainan Sistem Kekebalan Tubuh

Sistem kekebalan tubuh dapat tidak berfungsi jika sistem ini bereaksi dengan molekul asing dengan berlebihan. Beberapa contoh di antaranya alergi, autoimunitas, dan AIDS.

1. Alergi

Reaksi alergi juga disebut **anaphylaxis** atau sensitivitas berlebihan terhadap suatu hal. Anda mungkin pernah merasakan hal ini. Sebagian orang alergi terhadap bulu, debu, makanan laut, gigitan serangga, polen (serbuk sari) dan lain sebagainya. Bentuk reaksinya bisa bermacam-macam, dari mulai bersin, gatal-gatal, pusing, muntah dan diare, bahkan hingga kesulitan bernapas dan kematian (**Gambar 11.15**).



Gambar 11.15
(a) dan (b) Polen dapat menyebabkan alergi. (c) Bersin merupakan reaksi alergi terhadap suatu benda asing yang masuk ke dalam tubuh kita.

Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995; *Biology For ou*, 2002

Reaksi alergi pertama kali ditemukan pada tahun 1902 oleh **Paul Portier** dan **Charles Richet**, ketika mereka menyuntikkan protein dari anemon pada seekor anjing. Ketika mereka menyuntikkan protein yang sama dengan dosis yang lebih banyak, anjing percobaan mereka menunjukkan gejala *anaphylaxis* (hipersensitif terhadap antigen), hingga akhirnya mati.

Pada awalnya, tidak ada tanda-tanda penolakan apapun pada tubuh ketika protein asing masuk ke dalam tubuh. Pada tahap ini tubuh mengembangkan imunoglobin (biasanya dari kelas IgE). Ketika protein dari jenis yang sama memasuki tubuh untuk ke dua kalinya, IgE bereaksi dengan berikatan pada antigen pada permukaan membran *mast cell*.

Reaksi ini mendorong *mast cell* menyekresikan histamin. Histamin dalam jumlah besar inilah yang menyebabkan berbagai reaksi alergi. Misalnya saja jika reaksi alergi terjadi pada saluran pernapasan, histamin akan ditangkap oleh sel-sel otot polos pada rongga pernapasan, yang diikuti dengan berkontraksinya otot-otot tersebut sehingga terjadi penyempitan saluran pernapasan. Histamin juga mengakibatkan vasodilatasi, kapiler darah menjadi lebih permeabel, dan tekanan darah turun. Hal ini mengakibatkan jaringan membengkak.

Tugas Ilmiah 11.1

Carilah artikel-artikel mengenai alergi. Anda dapat mencari artikel tersebut melalui surat kabar atau internet. Kemudian, buatlah suatu kesimpulan dari artikel-artikel yang Anda kumpulkan tersebut. Diskusikanlah mengenai penyebab dan cara pencegahannya.

2. Autoimunitas

Autoimunitas merupakan suatu keadaan sistem kekebalan tubuh membentuk antibodi untuk menyerang sel tubuh yang lain, memperlakukannya seolah-olah bukan bagian dari tubuh. Sel limfosit T, karena suatu hal menyerang sel tubuh sendiri.

Kemungkinan penyebab abnormalitas ini bermacam-macam. Beberapa kemungkinan ditemukan. Di antaranya adalah infeksi virus pada masa pra natal (sebelum lahir) yang menyerang sistem kekebalan tubuh. Kemungkinan lainnya adalah ketidakmatangan (*immature*) sel-sel yang memproses limfosit T di kelenjar thymus.

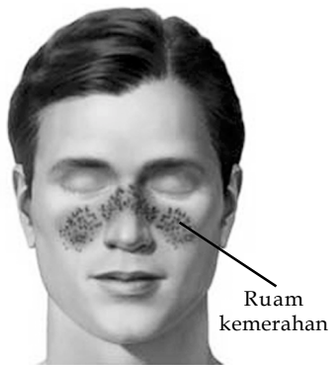
Pada percobaan tikus yang menderita autoimunitas, ditemukan bahwa sel yang tidak matang tersebut, mengalami mutasi. Namun, hal ini belum diketahui apakah terjadi pula pada manusia.

Banyak jenis abnormalitas yang menyangkut autoimunitas ini. Beberapa di antaranya adalah:

a. **Myasthenia gravis**, yaitu antibodi menyerang otot lurik. Hal ini menyebabkan degradasi otot, dan berkurangnya kemampuan otot untuk menangkap asetilkolin, zat yang dilepaskan oleh saraf yang memicu kontraksi otot. Contohnya jika terjadi pada mata, pandangan atau posisi mata menjadi tidak simetris (**Gambar 11.16**).
b. **Lupus erythematosus**, yaitu antibodi menyerang sel-sel tubuh yang lain (secara umum) sebagai sel asing. Penyakit ini sangat sulit dikenali karena gejalanya sangat umum. Ketika kondisi lingkungan berubah dan kondisi tubuh melemah, maka serangan antibodi meningkat (**Gambar 11.17**).
c. **Addison's disease**, yaitu antibodi menyerang kelenjar adrenalin. Pertama kali ditemukan seorang dokter Inggris bernama Thomas Addison, tahun 1855. Penyakit ini bisa disebabkan karena infeksi pada kelenjar adrenalin. Namun ditemukan juga sebab yang lain, yaitu antibodi menyerang sel-sel yang menghasilkan hormon adrenalin. Akibat yang ditimbulkan di antaranya mudah merasa lelah, kehilangan berat badan, tekanan, darah rendah, kadar gula darah yang rendah, rasa perasaan tertekan, dan peningkatan pigmentasi kulit.
d. **Multiple sclerosis**, yaitu antibodi menyerang jaringan saraf di otak dan tulang belakang. Bagian saraf yang diserang adalah seludang mielin, yang melapisi sel saraf dan berperan dalam menghantarkan informasi. Kerusakan mielin ini menyebabkan berbagai gejala, dari mulai gangguan penglihatan, stres, pusing, dan lain-lain.

Sumber: *www.oftalmo.com*

Gambar 11.16
Myasthenia gravis pada mata.



Sumber: *healthgate.partners.org*

Gambar 11.17
Penyakit lupus pada bagian wajah.

Wawasan Biologi

Meskipun AIDS belum dapat disembuhkan, cara terbaik yang dapat dilakukan adalah mencegah penularannya.

Pengetahuan tantang AIDS merupakan senjata ampuh melawan penyakit ini. Tidak melakukan hubungan di luar nikah dan tidak menggunakan narkoba dapat menyelamatkan hidupmu Anda.

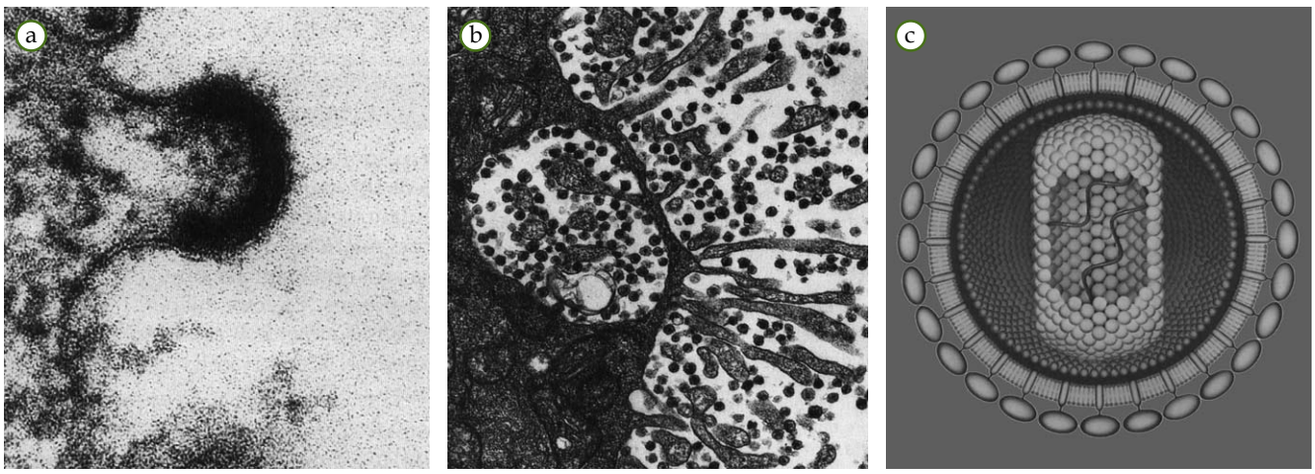
e. **Diabetes mellitus**, yaitu type I (*Insulin-dependent Diabetes Mellitus*). Antibodi menyerang sel-sel beta di dalam pankreas yang memproduksi hormon insulin. Akibatnya, kadar gula darah tinggi. Gejala yang timbul sangat mirip dengan kasus diabetes

Belum diketahui cara atau obat yang dapat menyembuhkan kelainan-kelainan tersebut. Hingga saat ini pengobatan yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi kadar gamma globulin dalam darah. Gamma globulin adalah bagian dari darah yang mengandung antibodi.

3. AIDS

Acquired Immunodeficiency Syndrome (AIDS), adalah penyakit yang disebabkan oleh *Human Immunodeficiency Virus* (HIV). Penyakit ini diduga berkembang dari sebuah daerah terpencil di Afrika Tengah, pada tahun 1930.

Pada tahun 1981, virus ini ditemukan merebak di kalangan kaum homoseksual dan para pengguna obat bius di New York dan California. Sejak tahun 1981, penyakit tersebut telah menyebar ke seluruh dunia. Diperkirakan 33,6 juta orang dewasa dan 1,2 juta anak-anak di seluruh dunia mengidap AIDS. WHO memperkirakan sejak tahun 1981 hingga akhir 1999, telah 16,3 juta orang meninggal karena AIDS, 3,6 juta di antaranya adalah anak-anak di bawah 15 tahun.



Sumber: *www.micro.magnet.fsu.edu*

Gambar 11.18
(a) dan (b) Virus HIV yang baru keluar dari sel inang. (c) Ilustrasi virus HIV.

AIDS disebabkan infeksi virus HIV pada sel limfosit T. Ketika virus berhasil menginfeksi sel limfosit T, virus menggunakan 'perangkat' selnya untuk menggandakan diri di dalam sel. Virus, yang telah menggandakan diri kemudian menghancurkan membran sel dan meninggalkan sel limfosit T yang lama. Virus-virus ini siap menginfeksi sel limfosit T yang lain yang masih sehat (**Gambar 11.19**). Masih ingatkah Anda cara virus menggandakan diri?

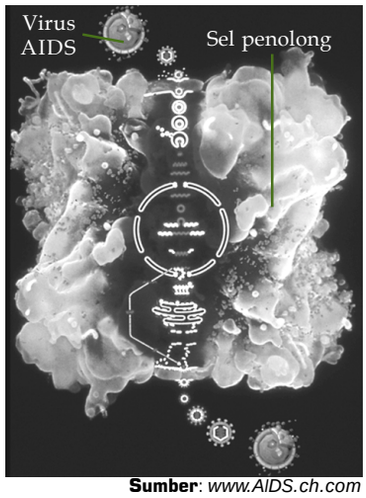
Pada keadaan yang normal, virus dapat dinonaktifkan oleh sel limfosit T. Namun, ketika sel T penolong terinfeksi virus, maka ia tidak memiliki kemampuan untuk menjalankan fungsinya untuk mengenali dan menonaktifkan sel-sel asing yang masuk ke dalam tubuh.

Jumlah limfosit T pada orang yang normal rata-ratanya adalah 1.000 sel per mikroliter darah. Ketika jumlah sel limfosit T pada orang yang terkena AIDS mencapai konsentrasi sekitar 200 sel per mikroliter darah, maka ia akan sangat rentan diserang oleh penyakit.

Virus HIV yang menyebabkan AIDS ini menular dari satu orang ke orang yang lain melalui percampuran cairan tubuh terutama darah. Penggunaan jarum suntik secara bersamaan, transfusi darah dari penderita, dan hubungan seksual, hingga sejauh ini diketahui sebagai cara efektif penularan virus HIV ini.

Penderita AIDS meninggal dunia bukan karena virus HIV yang menyerangnya. Beberapa jenis penyakit yang umumnya berakibat fatal pada penderita HIV adalah sebagai berikut.

1. Infeksi jamur, contohnya:
   a. *Pneumocystis carinii*, yang menyerang paru-paru;
   b. *Cryptococcus,* yang mengakibatkan penyakit meningitis (radang membran otak);
   c. *Histoplasma capsulatum*, yang menyerang sistem pernapasan.
2. Infeksi bakteri, contohnya:
   a. *Mycobacterium tubercolosis*, yang menyebabkan TBC;
   b. *Mycobacterium avium*, yang menyebabkan gangguan pada pencernaan.
3. Infeksi virus, contohnya:
   a. virus *Cytomegalovirus* (CMV), yang menginfeksi retina mata dan mengakibatkan kebutaan;
   b. virus *Epstein-Barr* (EBV), yang menyebabkan kanker darah;
   c. virus *Herpes Simplex* (HSV) yang menyebabkan penyakit Herpes.
4. Sebagian pengidap AIDS juga mengidap kanker, sebagai konsekuensi dari melemahnya tugas limfosit T dalam memerangi sel-sel asing, termasuk di antaranya sel kanker.



Sumber: *www.AIDS.ch.com*

Gambar 11.19
Virus AIDS yang menyerang limfosit T jenis sel penolong (*helper T cell*).

Tugas Ilmiah 11.2

Bersama kelompok Anda, buatlah karya tulis ilmiah mengenai imunisasi. Carilah literatur dari buku, majalah, koran, atau internet sebanyak-banyaknya. Jelaskan dalam karya ilmiah Anda jenis imunisasi, cara pemberian imunisasi, dan keuntungan imunisasi. Jangan lupa untuk menuliskan sumber literatur Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 11.5

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

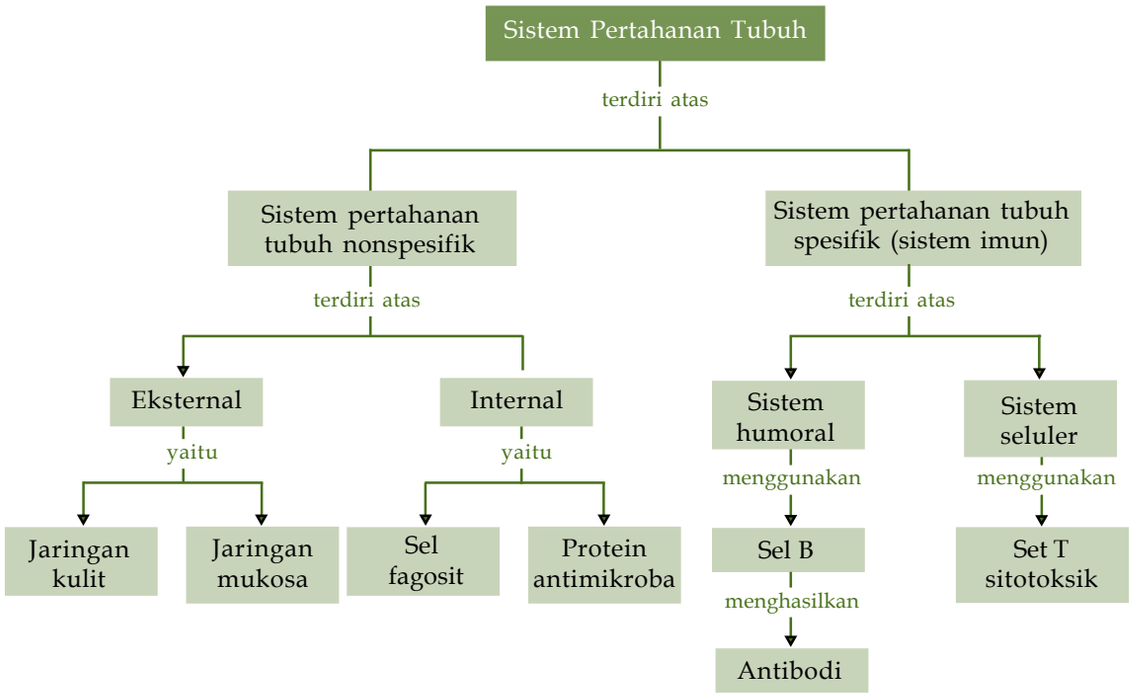
1. Apa yang dimaksud dengan alergi? Sebagai respons apakah alergi tersebut?
2. Mengapa orang yang menderita AIDS mudah terserang penyakit?
3. Apa yang dimaksud dengan autoimunitas dan sebutkan tiga jenis penyakit autoimunitas!

Rangkuman

1. Sistem pertahanan tubuh, berdasarkan sifatnya dapat dikelompokkan menjadi sistem pertahanan tubuh nonspesifik dan sistem pertahanan tubuh spesifik. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik melindungi tubuh dari berbagai jenis mikroba patogen dan zat asing. Adapun sistem pertahanan tubuh spesifik hanya bereaksi pada satu jenis patogen atau zat asing tertentu. Pada sistem pertahanan spesifik, setiap jenis patogen atau antigen tertentu, direspons oleh antibodi atau sel tertentu saja.
2. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik dapat dibedakan menjadi sistem pertahanan tubuh nonspesifik eksternal dan internal. Sistem pertahanan tubuh nonspesifik eksternal berupa jaringan kulit dan jaringan mukosa beserta sekresinya. Adapun sistem pertahanan tubuh nonspesifik internal berupa sel fagosit dan protein antimikroba (sistem komplemen).

3. Antigen (*antibody generating*) adalah zat yang dapat memicu dibentuknya antibodi. Patogen memiliki antigen yang berbeda-beda. Antigen dapat berupa karbohidrat, lemak, atau protein.
4. Kekebalan yang didapat setelah terinfeksi penyakit disebut kekebalan aktif alami. Kekebalan aktif buatan didapatkan setelah tubuh disuntikkan antigen yang tidak aktif, mikroba mati, atau yang dilemahkan.
5. Kekebalan pasif didapatkan setelah tubuh disuntikkan antibodi dari suatu penyakit. Kekebalan pasif memberikan perlindungan dari penyakit secara sementara, sedangkan kekebalan aktif memberikan kekebalan secara permanen.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari bab Sistem Pertahan Tubuh, Anda dapat menjelaskan mekanisme pertahanan tubuh terhadap benda asing berupa antigen dan bibit penyakit. Jika Anda belum mampu menjelaskan mekanisme pertahanan tubuh terhadap benda asing berupa antigen dan bibit penyakit, Anda belum menguasai materi bab Sistem Pertahan Tubuh dengan baik. Rumuskan materi yang belum Anda pahami, kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Biologi Anda.

Apakah Anda menemukan manfaatnya mempelajari bab ini? Dapatkah Anda menjelaskannya?

Evaluasi Materi Bab 11

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Berikut ini yang termasuk pertahanan pada permukaan tubuh adalah ....
   a. kulit dan membran mukosa
   b. air mata dan air liur
   c. bakteri flora normal tubuh
   d. urine
   e. semua jawaban benar
2. Bakteri yang masuk ke dalam tubuh dihancurkan oleh ....
   a. IgA
   b. Sel T pembantu
   c. Antibiotik
   d. Fagosit
   e. Histamin
3. Sel B dan sel T adalah ....
   a. limfosit
   b. sel pembunuh
   c. fagosit
   d. makrofag
   e. sel darah merah
4. Dalam reaksi alergi, IgE ....
   a. melekat pada sel patogen dan menandainya untuk kemudian dilumpuhkan
   b. membuat lubang pada membran sel patogen
   c. berikatan pada permukaan mastosit, dan menginduksinya untuk menghasilkan histamin
   d. memicu limfosit untuk menghasilkan antigen
   e. memicu sekresi antibodi ke dalam saluran pencernaan dan saluran pernapasan
5. Sebagian besar imunoglobulin yang dihasilkan tubuh termasuk dalam kelas ....
   a. IgM dan IgB
   b. IgA dan IgG
   c. IgM dan IgG
   d. IgD dan IgA
   e. IgM dan IgD
6. Sel limfosit B dimatangkan di ....
   a. kelenjar thymus
   b. sumsum tulang
   c. otak
   d. nodus limfa
   e. darah
7. Ketika antigen dicampurkan pada serum yang mengandung antibodi yang terjadi adalah ....
   a. tidak terjadi apa-apa
   b. antibodi menolak antigen
   c. antibodi berikatan dengan antigen
   d. antigen tidak bercampur dengan serum
   e. antibodi terpisah dari serum
8. Penyuntikan antibodi yang dihasilkan oleh organisme lain ke dalam tubuh pasien, adalah bentuk kekebalan ....
   a. aktif
   b. pasif
   c. tubuh
   d. sel
   e. intrasel
9. Makrofag berasal dari sel darah putih jenis ....
   a. limfosit
   b. basofil
   c. neutrofil
   d. monosit
   e. eosinofit
10. Molekul yang dikenali limfosit sebagai zat asing dan memicu sistem kekebalan tubuh disebut ....
    a. interleukin
    b. antibodi
    c. immunoglobulin
    d. antigen
    e. histamin
11. Sistem kekebalan tubuh humoral bekerja menghancurkan ....
    a. patogen di dalam sel tubuh
    b. patogen di luar sel tubuh
    c. antigen di luar sel tubuh
    d. jawaban b dan c benar
    e. jawaban a, b, dan c benar
12. Sel limfosit terbentuk dari ....
    a. mastosit (*mast cell*)
    b. sel darah putih
    c. sel darah merah
    d. sel monosit
    e. sel neutrofit
13. Naiknya suhu tubuh saat demam bertujuan ....
    a. mempercepat perkembangbiakan bakteri
    b. mempercepat metabolisme
    c. mempercepat kerja sel fagosit
    d. jawaban b dan c benar
    e. jawaban a, b, dan c benar
14. Demam yang terlalu tinggi membahayakan tubuh karena ....
    a. metabolisme terlalu cepat
    b. melemahkan virus dan bakteri
    c. melemahkan sel fagosit
    d. merusak jaringan saraf
    e. merusak sel otot
15. Kekebalan tubuh yang didapatkan dari penyuntikan bakteri yang dilemahkan disebut ....
    a. kekebalan tubuh aktif alami
    b. kekebalan tubuh aktif buatan
    c. kekebalan tubuh dasar
    d. kekebalan tubuh pasif
    e. semua jawaban benar

16. Imunisasi terhadap campak atau polio termasuk ....
    a. kekebalan tubuh aktif alami
    b. kekebalan tubuh aktif buatan
    c. kekebalan tubuh pasif
    d. pertahanan tubuh eksternal
    e. pertahanan tubuh internal
17. Pada autoimunitas ....
    a. sel limfosit diserang oleh virus
    b. sistem kekebalan tubuh tidak dapat membedakan sel tubuh dan patogen
    c. sel limfosit menyerang mikroba patogen
    d. sistem kekebalan tubuh terbentuk setelah terjadi infeksi
    e. sistem kekebalan tidak dapat mengenali mikroba patogen
18. Pada AIDS, sel yang diserang oleh virus HIV adalah ....
    a. saraf
    b. otot
    c. epitel
    d. limfosit
    e. darah merah
19. Autoimunitas berbahaya karena ....
    a. sel limfosit tidak bereaksi terhadap antigen
    b. sel fagosit menyerang sel-sel tubuh
    c. sel limfosit rusak oleh virus atau bakteri
    d. sel limfosit tidak dapat menghasilkan antibodi
    e. sel limfosit menyerang sel-sel tubuh
20. HIV sangat berbahaya dan dapat menyebabkan kematian karena ....
    a. dapat merusak jaringan tubuh
    b. menyerang sel-sel limfosit
    c. dapat ditularkan melalui kontak cairan tubuh
    d. menurunkan kekebalan tubuh sehingga memudahkan infeksi penyakit lain
    e. merusak antibodi tubuh

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Jelaskan perbedaan antara pertahanan tubuh nonspesifik dan pertahanan tubuh spesifik.
2. Apa perbedaan antara antigen dan antibodi?
3. Mengapa jika sewaktu kecil kita pernah terkena penyakit cacar air, kita tidak akan terkena lagi penyakit tersebut?
4. Jelaskan mengenai proses imunisasi. Bagaimana imunisasi dapat membantu terbentuknya antibodi?
5. Seorang anak yang menderita luka bakar. Dokter berupaya mengobati bekas luka bakarnya dengan operasi transplantasi kulit. Ternyata hasilnya tidak baik. Kulit yang ditransplantasikan kemudian rusak. Jelaskan kemungkinan yang menyebabkan rusaknya kulit yang ditransplantasikan tersebut.

Soal Tantangan

Sampai dengan 31 Maret 2006 jumlah pengidap HIV/AIDS di Indonesia secara kumulatif mencapai 10.156 kasus terdiri dari 5.823 kasus AIDS dan 4.333 kasus HIV tersebar di 32 provinsi. Jumlah pengidap AIDS yang dilaporkan meninggal dunia mencapai 24,56% atau 1.430 orang dengan ratio kasus antara laki-laki dan perempuan 4,47 : 1. Kasus AIDS terbanyak dilaporkan dari DKI Jakarta, Papua, Jawa Timur, Jawa Barat, Bali, Kepulauan Riau, Sulawesi Selatan, Kalimantan Barat, Sumatera Utara, dan Jawa Tengah.

Sumber: *www.depkes.go.id*

Dari artikel tersebut, menurut Anda apakah pemerintah Indonesia memberi perhatian yang lebih terhadap penyakit AIDS? Mengapa AIDS dapat menimbulkan angka kematian yang cukup tinggi? Apa usaha Anda sebagai pelajar dalam menanggapi hal tersebut?

Evaluasi Materi Semester 2

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1.

No.	Organ	Enzim	Fungsi
1.	Kelenjar parotis	amilase	memecah amilum menjadi disakarida
2.	Pankreas	amilase, tripsin, lipase	memecah protein menjadi asam amino
3.	Kelenjar parotis	amilase	memecah protein menjadi pepton
4.	Usus halus	enterokinase	memecah lemak menjadi lemak dan gliserol
5.	Pankreas	tripsin	memecah protein menjadi asam amino

Hubungan yang tepat antara organ, enzim yang dihasilkan dan fungsinya ditunjukkan oleh ....
a. 1 dan 4
b. 1 dan 5
c. 3 dan 3
d. 2 dan 5
e. 3 dan 5

2. Pernyataan yang benar mengenai gangguan pencernaan dan penyebabnya adalah ....
a. sembelit disebabkan kurang makanan berserat
b. diare disebabkan kelebihan asam lambung
c. mag disebabkan oleh peradangan yang terjadi pada dinding lambung karena asam lambung
d. ulkus disebabkan racun yang dikeluarkan oleh bakteri
e. radang usus buntu disebabkan adanya gangguan absorpsi air

3. Hubungan yang benar antara nama, sumber, dan fungsi vitamin berikut adalah ....
a. vitamin A - semangka - memengaruhi penyerapan lemak dalam usus
b. vitamin E - serealia - berperan penting sebagai koenzim
c. vitamin K - sayuran hijau - pembekuan darah
d. vitamin D - nasi - memelihara kadar gula dalam darah
e. vitamin A - wortel - memelihara kesehatan mata

4. Arterioskerosis adalah penyakit yang menyerang ....
a. pembuluh darah
b. sel darah
c. jantung
d. arteri
e. vena

5. Ciri pernapasan dada pada waktu inspirasi adalah ....
a. otot tulang rusuk berkontraksi dan rongga dada mengecil
b. otot tulang rusuk berkontraksi dan rongga dada membesar
c. otot tulang rusuk berkontraksi dan rongga perut membesar
d. rongga dada membesar dan otot tulang rusuk relaksasi
e. rongga dada membesar dan rongga perut mengecil

6. Kantung udara pada waktu burung terbang berfungsi ....
a. melindungi tubuh dari kedinginan
b. mencegah pengeluaran panas tubuh
c. meringankan tubuh
d. memperkeras suara
e. alat bantu pernapasan

7. Jika urine yang dikeluarkan seseorang mengandung sel darah merah, hal tersebut menunjukkan adanya kerusakan pada ....
a. glomerulus
b. korteks
c. medula
d. pelvis renalis
e. vesica urinaria

8. Organ tubuh yang mempunyai fungsi filtrasi, reabsorpsi, dan augmentasi adalah ....
a. hati
b. kulit
c. ginjal
d. paru-paru
e. anus

9. Alat ekskresi pada cacing tanah adalah ....
a. sel api
b. vakuola kontraktil
c. nefridium
d. pembuluh Malpighi
e. klitellum

10. Penggunaan morfin dan kokain dalam dosis yang tepat, pengaruhnya terhadap sistem saraf adalah ....
a. menimbulkan kebergantungan
b. menambah rasa sakit
c. menahan rasa sakit
d. menghilangkan keragu-raguan
e. menekan rasa mual

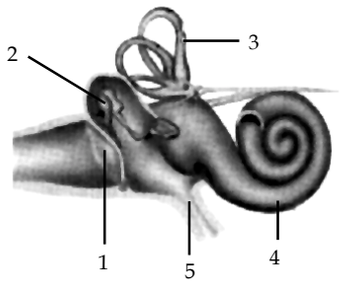
11. Berikut adalah beberapa jenis hormon yang dihasilkan oleh manusia:
(1) adrenalin
(2) insulin
(3) estrogen
(4) tiroksin
(5) progesteron
(6) testosteron
(7) prolaktin
(8) gastrin

Hormon yang berperan dalam kegiatan reproduksi adalah ....
a. (1), (3) dan (4)
b. (2), (5) dan (7)
c. (3), (6) dan (8)
d. (4), (6) dan (8)
e. (3), (5) dan (6)

12. (1) konektor
(2) reseptor
(3) efektor
(4) serabut saraf motoris
(5) serabut saraf sensoris

Urutan jalannya rangsang pada gerak refleks yang benar adalah ....
a. (1) - (2) - (4) - (3)- (5)
b. (2) - (5) - (1) - (3)- (4)
c. (2) - (4) - (1) - (5)- (3)
d. (2) - (4) - (1) - (3)- (5)
e. (2) - (5) - (1) - (4)- (3)

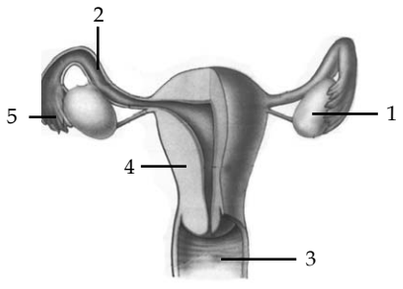
13. Perhatikan gambar berikut.



Getaran suara akan diterjemahkan menjadi impuls saraf pada bagian ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

14. Keistimewaan pembiakan vegetatif tumbuhan dengan cara kultur jaringan adalah ....
a. tidak perlu perawatan yang khusus
b. merupakan bibit unggul yang cepat bereproduksi
c. anakan yang seragam dalam jumlah yang besar dan cepat
d. anakan yang beragam dan tahan terhadap hama
e. merupakan anakan yang memiliki sifat-sifat lebih baik dari induknya

Untuk menjawab pertanyaan nomor 15 hingga nomor 17, perhatikan gambar berikut.



15. Saluran tempat bertemunya sel sperma dan sel telur ditunjukkan oleh nomor ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

16. Proses ovulasi dilakukan oleh organ nomor ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

17. Peluruhan dinding yang terjadi ketika menstruasi ditunjukkan oleh nomor ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

18. Folikel yang telah ditinggalkan oleh sel telur disebut ....
a. esterogen
b. progesteron
c. corpus luteum
d. endonetrium
e. badan polar

19. Sel telur yang telah siap dibuahi akan membentuk zona pelindung yang disebut ....
a. corpus luteum
b. corona rodiata
c. mesoderm
d. endoderm
e. implantasi

20. ASI mengandung zat-zat berikut, *kecuali* ....
a. taurin
b. lemak
c. air
d. antibodi
e. urea

21. Pelekatan zigot pada dinding rahim disebut ....
a. gastrulasi
b. blastula
c. zona pelusida
d. implantasi
e. endonetrium

22. Hormon yang berperan dalam proses menstruasi adalah ....
a. LH (*luteinizing hormone*) dan hormon tiroid
b. estrogen dan progesteron
c. FSH (*folikel stimulating hormone*) dan oksitoksin
d. insulin dan ADH (*antidiuretic hormone*)
e. endorfin dan adrenalin

23. Sebuah spermatozoit akan berkembang secara meiosis menjadi ...
a. 3 buah sperma dan 1 badan polar
b. 4 buah sperma
c. 2 buah sperma dan 2 badan polar
d. 1 buah sperma dan 3 badan polar
e. 1 buah sperma

24. Sel yang akan memakan benda asing yang masuk ke dalam tubuh kita ketika terjadi luka adalah ....
    a. sel darah merah
    b. sel darah putih
    c. limfosit
    d. sel fagosit
    e. makrofag

25. Berikut merupakan jenis - jenis patogen yang dapat menyerang sistem kekebalan tubuh kita, *kecuali* ....
    a. debu
    b. virus
    c. bakteri
    d. jamur
    e. antibiotik

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

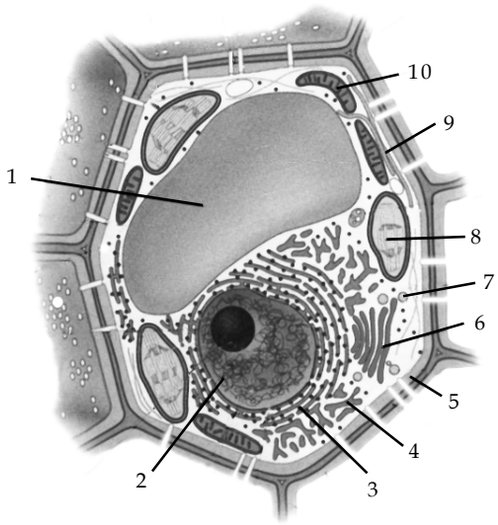
1. Sebutkan enzim-enzim pencernaan yang dihasilkan dari usus halus, serta sebutkan fungsinya masing-masing.
2. Kandungan apa saja pada makanan yang harus selalu kita perhatikan agar selalu sehat?
3. Jelaskan urutan masuknya O_2 ke dalam tubuh manusia.
4. Sebutkan organ-organ yang berperan dalam sistem ekskresi.
5. Jelaskan proses terbentuknya urine di ginjal.
6. Sebutkan bagian-bagian dari telinga bagian tengah.
7. Hormon apakah yang dihasilkan oleh kelenjar tiroid? Apakah fungsinya bagi tubuh? Apakah yang terjadi jika tubuh kita kelebihan horman tersebut?
8. Jelaskan pentingnya pemberian ASI eksklusif pada bayi.
9. Jelaskan proses spermatogenesis hingga dihasilkannya sel sperma.
10. Jelaskan cara kerja sistem pertahanan tubuh spesifik.

Evaluasi Materi Akhir Tahun

A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

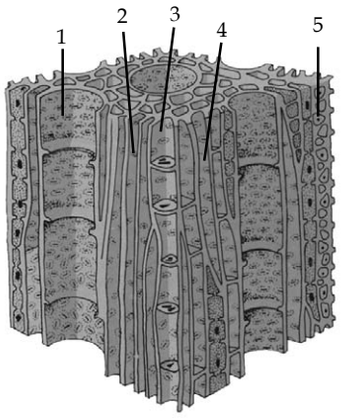
1. Berikut adalah ciri dari sel Prokariotik, adalah ....
   a. materi inti memiliki membran
   b. DNA berada di daerah inti sel
   c. memiliki mitokondria
   d. memiliki badan golgi
   e. memiliki retikulum endoplasma

Untuk soal nomor 2 dan 3, perhatikan gambar berikut.



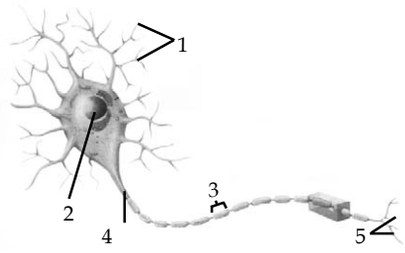
2. Mitokondria ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 4
   d. 10
   e. 6
3. Organel yang berfungsi sebagai tempat fotosintesis ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 6
   b. 7
   c. 8
   d. 9
   e. 10
4. Pada mekanisme transpor di sel, proses yang memerlukan energi berupa ATP adalah ....
   a. difusi
   b. osmosis
   c. transfor aktif
   d. endositosis
   e. eksositosis
5. Jaringan meristem terdapat di ....
   a. pucuk
   b. daun
   c. bunga
   d. biji
   e. buah

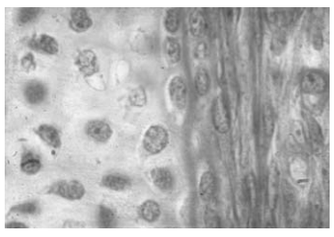
Untuk soal nomor 6 dan 7, perhatikan gambar berikut.



6. Sel yang ditunjuk nomor 2 adalah ....
   a. sel parenkim
   b. trakeid
   c. trakea
   d. sel sklerenkim
   e. serabut xilem
7. Sel yang berisi makanan cadangan, tanin, getah bening dan kristal ditunjukkan oleh nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5
8. Jaringan floem berfungsi ....
   a. mengangkut mineral dan air dari dalam tanah ke daun
   b. mengangkut hasil fotosintesis berupa karbohidrat ke seluruh bagian tubuh
   c. menyokong organ-organ tua
   d. menunjang organ-organ muda
   e. sebagai tempat makanan cadangan
9. Epitel yang terletak pada tubula ginjal adalah ....
   a. epitel selapis ipih
   b. epitel selapis kubus
   c. epitel selapis batang
   d. epitel pipih lapis banyak
   e. epitel kubus lapis banyak
10. Berikut ini yang *bukan* termasuk jaringan ikat adalah ....
    a. jaringan otot
    b. jaringan lemak
    c. jaringan tulang rawan
    d. jaringan darah
    e. jaringan tulang

11. Otot jantung memiliki sifat ....
    a. menempel pada rangka
    b. bentuk selnya menyerupai gelendong
    c. membentuk daerah terang-gelap dan bercabang
    d. bekerja atas kehendak (disadari)
    e. memiliki banyak inti pada setiap selnya
12. Perhatikan gambar berikut.



    Pada gambar tersebut, dendrit ditunjukkan oleh nomor ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
13. Organ yang termasuk ke dalam sistem ekskresi adalah ....
    a. usus
    b. kelenjar limfa
    c. usus besar
    d. ginjal
    e. hidung
14. 

    Gambar tersebut merupakan sayatan melintang dari ....
    a. tulang pipa
    b. tulang pipih
    c. tulang rawan fibrosa
    d. tulang rawan elastis
    e. tulang rawan hialin
15. Berikut ini tulang yang termasuk dalam anggota gerak bawah adalah ....
    a. *radius*
    b. *humerus*
    c. *coxae*
    d. *tibia*
    e. *clavicula*
16. Berikut ini, pernyataan yang berhubungan dengan sinartrosis adalah ....
    a. kedua ujung tulang dilapisi tulang rawan hialin yang cukup tebal
    b. hubungan tulang rapat sehingga tidak memungkinkan pergerakan sama sekali
    c. memungkinkan dapat melakukan pergerakan mendekat dan menjauh antartulang
    d. dapat bergerak secara leluasa
    e. mengeluarkan cairan sinovial yang berfungsi sebagai pelumas
17. Sifat pergerakan dari sendi engsel adalah ....
    a. pergerakan ke segala arah dan sedikit memutar
    b. pergerakan berputar yang bertumpu pada satu sumbu
    c. Pergerakan ke satu arah
    d. Pergerakan menggeser
    e. Pergerakan ke segala arah dan tidak berputar
18. Gambar berikut yang menunjukkan sendi pelana adalah ....
    a.
    b.
    c.
    d.
    e.
19. Osteoporosis disebabkan oleh ....
    a. kekurangan horman yang membantu pelekatan kalsium pada tulang
    b. kekurangan kalsium pada saat kehamilan
    c. kekurangan vitamin D
    d. kebiasaan posisi duduk atau mengangkat benda berat pada salah satu sisi tubuh
    e. Penipisan tulang rawan di ujung tulang
20. Perhatikan gambar berikut.

Apa yang terjadi pada otot x dan y ....
a. otot x kontraksi, otot y kontraksi
b. otot x kontraksi, otot y relaksasi
c. otot x relaksasi, otot y kontraksi
d. otot x relaksasi, otot y relaksasi
e. tidak terjadi apa-apa

21. Perhatikan gambar berikut.

Sel darah putih tersebut yang menunjukkan limfosit adalah ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

22. Pada jaringan darah, yang berfungsi sebagai berperan dalam pembekuan darah ....
a. agranulosit
b. granulosit
c. limfosit
d. trombosit
e. monosit

23. Siklus peradaran darah besar meliputi ....
a. bilik kiri – seluruh tubuh – serambi kanan
b. bilik kanan – seluruh tubuh – serambi kiri
c. bilik kiri – seluruh tubuh – bilik kanan
d. serambi kanan – seluruh tubuh – serambi kiri
e. serambi kiri – seluruh tubuh – bilik kiri

24. Seseorang dikatakan memiliki golongan darah O, jika ....
a. sel darahnya mengandung aglitinogen A dan B, serumnya tidak mengandung aglutinogen α dan β
b. sel darahnya mengandung aglitinogen A dan B, serumnya mengandung aglitinogen α dan β
c. sel darahnya tidak mengandung aglitunogen A dan B, serumnya mengandung aglitunogen α dan β
d. sel darahnya tidak mengandung aglutinogen A dan B, serumnya tidak mengandung α dan β
e. Sel darahnya mempunyai aglitinogen A atau aglitinogen B

25. Perhatikan gambar berikut.

Gambar tersebut merupakan sistem peradaran darah pada ....
a. Amphibia
b. Annelida
c. Reptilia
d. Mammalia
e. Aves

26. Berikut ini fungsi zat besi dalam tubuh adalah ....
a. pertumbuhan tulang
b. pembentukan hemoglobin
c. pengaturan detak jantung, keseimbangan cairan tubuh
d. transaksi saraf, kontraksi otot
e. pembentukan HCl

27. Berikut adalah alat-alat pencernaan pada tubuh manusia
1. Esofagus
2. Usus besar
3. Mulut
4. Intestinum
5. Anus

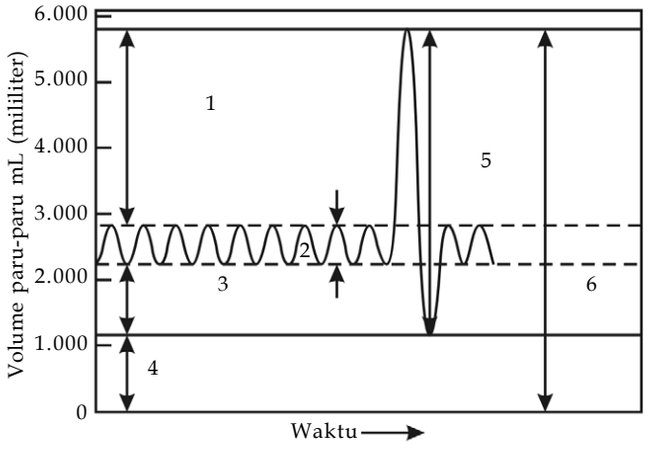
Urutan sistem pencernaan pada manusia adalah ....
a. 3–2–1–4–5
b. 3–1–2–4–5
c. 3–4–1–2–5
d. 3–4–1–5–2
e. 3–1–4–2–5

28. Enzim amilase dihasilkan oleh ....
a. kelenjar ludah
b. lambung
c. usus halus
d. pankreas
e. usus besar

29. Enzim yang berfungsi mengubah polipeptida menjadi asam amino adalah ....
a. pepsin
b. tripsin
c. kemotripsin
d. karboksipeptidase
e. lipase

30. Lambung sesungguhnya pada hewan pemamah biak adalah ....
a. rumen
b. omasum
c. abomasum
d. retikulum
e. kolon

31. Perhatikan grafik berikut.



Kapasitas vital paru-paru ditunjukkan oleh nomor ....
a. 1
b. 3
c. 4
d. 5
e. 6

32. Pada saat bernapas, berdasarkan volumenya, udara yang masih dapat dikeluarkan setelah ekspresi biasa adalah ....
a. volume tidal
b. volume komplementer
c. volume suplementer
d. kapasitas vital
e. kapasitas total

33. Jika tubuh banyak mengeluarkan keringat, yang terjadi pada urine adalah ....
a. urine menjadi encer
b. persentase urea dalam urine lebih tinggi
c. jumlah urine yang dihasilkan meningkat
d. reabsorpsi air menurun
e. urine berisi leih banyak garam

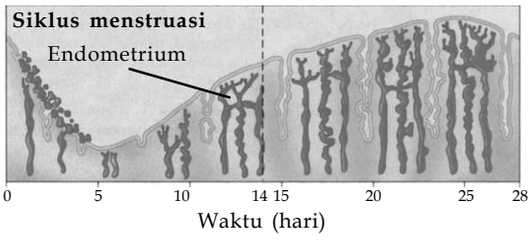
34. Urea dibentuk dari NH_3 sebagai hasil metaboliseme protein dan CO_2 sebagai penghasil respirasi. Pembentukan urea terjadi di dalam ....
a. kantung kemih
b. ginjal
c. hati
d. kantung empedu
e. pankreas

35. Berikut adalah bagian-bagian dari sistem saraf
1) reseptor
2) efektor
3) serabut saraf motoris
4) serabut saraf sensoris
5) serabut saraf konektor

Urutan jalannya rangsang pada lengkung refleks sederhana adalah ....
a. 1–4–2–3–5
b. 1–4–5–3–2
c. 1–3–4–5–2
d. 1–3–5–4–2
e. 1–5–4–3–2

36. Pada otak, bagian yang berfungsi mengontrol kelenjar hipofisis dan mengekspresikan berbagai hormon adalah ....
a. talamus
b. hipotalamus
c. serebrum
d. serebelum
e. medula oblongata

37. Perhatikan gambar berikut.



Bedasarkan gambar berikut menstruasi terjadi pada hari ke ....
a. 0–5
b. 0–10
c. 5–10
d. 10–14
e. 14–20

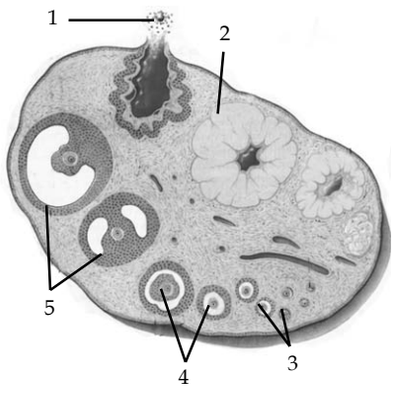
38. Berikut ini tahapan yang benar pada perkembangan embrio adalah ....
a. blastula–morula–gastrula–organogenesis
b. blastula–gastrula–morula–organogenesis
c. morula–gastrula–blastula–organogenesis
d. morula–blastula–gastrula–organogenesis
e. castrula–blastula–morula–organogenesis

39. Imunoglobin (Ig) dibagi menjadi lima kelas, yang salah satunya adalah IgA. Fungsi IgA adalah ....
a. perespons kekebalan tubuh
b. mencegah masuknya virus atau bakteri melalui jaringan epitel mukosa sistem pencernaan, pernapasan, dan saluran reproduksi
c. mengikat antigen atau patogen menjadi gumpalan sehingga memudahkan fagositosis makrofag
d. mengaktifkan protein komplemen dan menetralkan banyak racun
e. memicu peradangan jika parasit menyerang tubuh

40. Limfosit B dibentuk dan dimatangkan dalam ....
a. hati
b. kelenjar timus
c. kelenjar limfe
d. pankreas
e. sumsum tulang

41. Sindrom cushing merupakan salah satu gangguan sistem hormon yang disebabkan oleh ....
a. kurangnya produksi hormon insulin dalam tubuh
b. kadar hormon tiroid dalam darah sangat tinggi
c. jumlah hormon glukokortiroid dalam darah sangat tinggi
d. kadar hormon tiroid dalam darah sangat rendah
e. peningkatan hormon pituitri secara dini

42. Perhatikan gambar berikut.



Pada gambar penampang melintang ovarium tersebut, corpus luteum ditunjukkan oleh nomor ....
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

43. Fungsi taurin yang terkandung dalam ASI berfungsi dalam ....
a. membantu pembentukan sel-sel yang optimal
b. kekebalan tubuh
c. melindungi bayi dari bakteri *E.coli*, *Salmonella* dan virus
d. menunjang pertumbuhan bakteri *Lactobacillus bifidus* yang menjaga flora usus bayi
e. neurotransmitter dan proses pematangan otak

44. zat-zat berikut terdapat di dalam ASI, *kecuali* ....
a. urea
b. antibodi
c. taurin
d. lemak
e. air

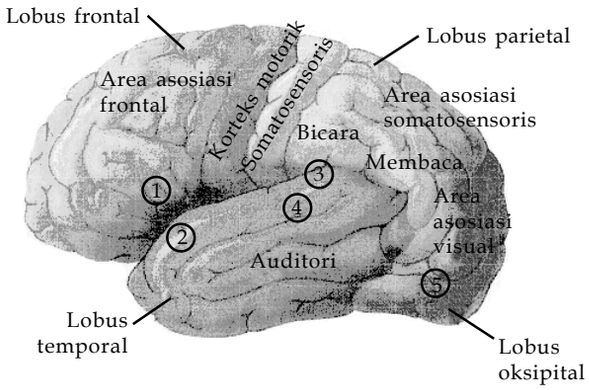
45. Blastula akan melekat pada endometrium. Proses ini disebut ....
a. implantasi
b. gastrulasi
c. blastulasi
d. zona pelusida
e. corona radiata

46. Salah satu contoh autoimunitas terjadi ketika antibodi menyerang sel-sel tubuh yang lain (secara umum) sebagai sel asing adalah ....
a. *myasthenia gravis*
b. *lupus erythematosus*
c. *addison's disease*
d. *multiple*
e. *diabetes mellitus*

47. Hormon yang mengontrol kecepatan metabolisme tubuh untuk menghasilkan energi adalah ....
a. kalsitosin
b. oksitosin
c. tiroksin
d. paratiroid
e. adrenalin

48. Hematuria adalah salah satu gangguan pada sistem ekskresi yang berarti ....
a. terjadi ketika ditemukan eritrosit dalam urine
b. peradangan yang terjadi di kantung urine
c. peradangan yang terjadi diglomerulus
d. ditemukan objek keras di pervis renalis ginjal
e. ketidakmampuan ginjal untuk melakukan fungsinya secara normal

49. Pada gambar berikut, indra pendengaran diatur oleh bagian otak yang ditunjukkan oleh nomor ....



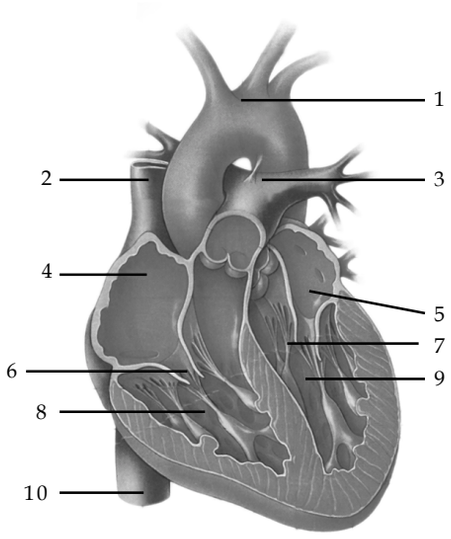
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

50. Bagian otak yang berperan mengolah informasi suara adalah ....
a. oksipital
b. frontal
c. parietal
d. serebelum
e. temporal

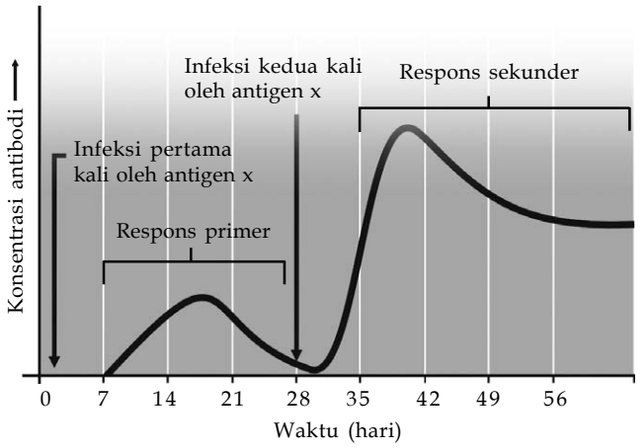
B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar pada buku latihan Anda.

1. Jelaskan pengertian dari difusi, osmosis, dan transpor aktif
2. Jelaskan perbedaan antara struktur batang dikotil dan monokotil
3. Jelaskan fungsi dari jaringan epitelium, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf
4. Bagaimanakah bagan mekanisme kerja otot? Buatlah bagannya.

5. Sebutkan bagian-bagian yang ditunjukkan pada gambar organ jantung berikut.



6. Jelaskan cara kerja lambung dalam mencerna makanan.
7. Sebutkan tiga bentuk pernapasan dan jelaskan.
8. Jelaskan proses terbentuknya urine
9. Kulit merupakan reseptor tubuh yang paling luas dan paling pertama menerima rangsang dari lingkungan. Sebutkan lima jenis sel saraf reseptor yang terdapat di kulit beserta fungsinya.
10. Perhatikan grafik berikut.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

a. Grafik tersebut menjelaskan tentang ....
b. Mengapa terdapat perbedaan konsentrasi antibodi antara infeksi pertama dan infeksi kedua oleh antigen yang sama ....

Apendiks 1

Kunci Jawaban

Bab 1 Sel

Soal Penguasaan Materi 1.1

1. Perbedaan antara sel prokariotik dan sel eukariotik terletak pada inti, letak DNA, dan organel-organel tertentu.
3. Penyusun membran sel adalah lemak. Membran tersebut disusun oleh dua lapis fosfolipid.

Soal Penguasaan Materi 1.2

1. Nukleus, retikulum endoplasma, ribosom, badan golgi, dan mitokondria.
3. Dinding sel, plastida, dan vakuola.

Soal Penguasaan Materi 1.3

1. Perbedaannya adalah terletak pada energi yang digunakan pada proses.
3. Sebab untuk menjaga kestabilan dan bentuk sel kandungan air dan keseimbangan cairan tubuh sel harus dipertahankan.

Evaluasi Materi Bab 1

A. Pilihan ganda

1. a
3. b
5. a
7. c
9. b
11. c
13. c
15. c
17. e
19. a

B. Esai

1. Sel hewan memiliki sentriol dan lisosom. Namun, tidak memiliki dinding sel, plastida, dan vakuola permanen. Hal ini terjadi sebaliknya pada sel tumbuhan.
3. Pada difusi, pergerakan zat terlarut terjadi dari konsentrasi tinggi ke konsentarasi rendah. Pada osmosis, pergerakan terjadi pada zat pelarut melalui membran semipermeabel. Pergerakannya terjadi dari konsentrasi zat terlarut rendah ke tinggi. Transpor aktif menggunakan energi (ATP) untuk memindahkan zat-zat.
5. Difusi, osmosis, transfor aktif, endositosis, dan eksositosis.

Bab 2 Struktur Tumbuhan

Soal Penguasaan Materi 2.1

1. Ketiganya dibedakan berdasarkan sel-sel penyusunnya. Parenkim disusun oleh sel-sel yang aktif membelah (bersifat meristematik); kolenkim tersusun oleh sel-sel yang mengalami penebalan selulosa pada sudut dinding selnya; dan skerenkim tersusun oleh sel yang mengalami penebalan di seluruh bagian dinding selnya.
3. Jenis-jenis sel yang ada di xilem, yaitu sel trakea, serabut xilem, dan parenkim. Adapun sel-sel yang ada di floem, yaitu sel buluh lapis, sel pengiring, serabut floem, dan parenkim.

Soal Penguasaan Materi 2.2

1. Tiga jaringan pada tumbuhan adalah epidermis, jaringan dasar, dan jaringan pembuluh.
3. Terdiri atas jaringan epidermis yang memodifikasi, contohnya stomata.

Soal Penguasaan Materi 2.3

1. Jaringan epidermis daun, jaringan mesofil, dan jaringan berkas pembuluh angkut.
3. Perbedaannya terletak dari ikatan pembuluhnya, pada batang dikotil jaringan pembuluhnya berada dalam satu lingkaran, sedangkan pada batang monokotil jaringan pembuluhnya tersebar di empelur.

Soal Penguasaan Materi 2.4

1. Kultur jaringan adalah suatu teknik reproduksi secara vegetatif dengan menggunakan eksplan (sel atau jaringan) sebagai bahan dasarnya untuk ditumbuhkan dalam kondisi aseptik.
3. Dengan menggunakan teknik kultur jaringan, dapat dihasilkan bibit yang unggul, misalnya buah dan sayuran. Melalui kultur jaringan dapat dihasilkan buah dan sayuran yang unggul.

Evaluasi Materi Bab 2

A. Pilihan ganda

1. c
3. d
5. e
7. c
9. a
11. b
13. d
15. b
17. e
19. b

B. Esai

1. Macam jaringan tumbuhan
   - Kolenkim : penunjang tumbuhan muda
   - Sklerenkim : penyokong tumbuhan tua
   - Parenkim : jaringan pengisi, masih bersifat meristematik, tempat makanan cadangan
   - Epidermis : jaringan pelindung terluar tumbuhan
   - Xilem : mengangkat air dan mineral tanah untuk fotosintesis
   - Floem : mengangkut hasil fotosintesis ke seluruh jaringan

3. Pada jaringan xilem terdapat sel trakea, trakeid, serabut xilem, dan parenkim. Sel-sel trakea berbentuk seperti tabung memanjang dan pada bagian ujungnya terdapat lubang perforasi. Sel trakeid lebih pendek dan bagian ujungnya meruncing memiliki lubang yang disebut noktah. Serabut xilem mengandung lignin dan selnya panjang meruncing. Sel parenkim berisi makanan cadangan, tanin, getah, dan kristal. Pada jaringan floem terdapat sel buluh tapis, sel pengiring, serabut floem, dan parenkim. Sel buluh tapis adalah sel-sel berbentuk tabung yang membetuk saluran. Sel pengiring merupakan sel hidup berbentuk silinder. Serabut floem untuk menopang floem, sedangkan parenkim berisi makanan cadangan atau bahan-bahan ekskresi.
5. Syarat bagi kultur jaringan adalah kondisi aseptik. Mulai dari eksplan, medium, hingga tempat penanaman harus bebas kuman. Hal ini untuk mencegah kontaminasi bakteri atau jamur yang dapat merusak kultur.

Bab 3 Struktur Hewan

Soal Penguasaan Materi 3.1

1. Perbedaan terletak pada penyusun dan fungsinya.
3. Manusia akan banyak kehilangan panas dari tubuhnya.

Soal Penguasaan Materi 3.2

1. Tidak organ tersusun oleh jaringan. Jaringan tersusun oleh sel-sel yang memiliki bentuk dan fungsi yang sama. Akan tetapi, organ memiliki fungsi yang sangat berbeda dengan fungsi masing-masing jaringan yang membentuknya.

Soal Penguasaan Materi 3.3

1. Sistem pencernaan makanan
   Sistem pernapasan
   Sistem sirkulasi
   Sistem ekskresi
   Sistem endokrin
   Sistem saraf
   Sistem rangka
   Sistem otot
   Sistem reproduksi
   Sistem kekebalan
3. Kerja dari keseluruhan sistem organ pada tubuh akan terganggu.

Evaluasi Materi Bab 3

A. Pilihan ganda

1. c
3. b
5. a
7. b
9. e
11. b
13. e
15. c
17. b
19. c

B. Esai

1. Jaringan epitel melindungi tubuh dan organ-organ otot untuk menggerakkan bagian tubuh. Tulang untuk menopang tubuh dan sebagai alat gerak pasif. Saraf menghantarkan impuls dari dan menuju alat indra, saraf, dan alat gerak. Jaringan ikat sebagai pengikat antarjaringan.
3. Serabut kolagen, serabut elastis, dan serabut retikuler.
5. Otot polos dan otot jantung berbeda pada strukturnya. Kedua otot ini bekerja tanpa disadari. Otot jantung mirip otot lurik, namun selnya membentuk rantai dengan satu atau dua inti sel. Hanya terdapat pada jantung. Otot polos panjang dan tipis dengan satu inti sel. Terdapat pada organ dalam.

Bab 4 Sistem Gerak

Soal Penguasaan Materi 4.1

1. Dikelompokkan menjadi tiga jenis, yaitu
   - Tulang rawan hialin, mempunyai serabut tersebar dalam anyaman yang halus dan rapat.
   - Tulang rawan elastis, mempunyai serabut yang tidak terlalu halus dan anyamannya tidak terlalu rapat.
   - Tulang rawan fibrosa, mempunyai serabut yang kasar serta anyamanya tidak beraturan.
3. Rangka tulang memiliki fungsi sebagai berikut,
   - memberi bentuk tubuh dan menopang tubuh;
   - sebagai alat gerak bersama otot;
   - sebagai tempat melekatnya otot;
   - tempat memproduksi sel-sel darah;
   - sebagai pelindung organ lunak dan vital.

Soal Penguasaan Materi 4.2

1. Artikulasi adalah hubungan antartulang.
3. Sendi terdiri atas beberapa macam, yaitu sebagai berikut.
   - Sendi putar, merupakan sendi yang memungkinkan pergerakan berputar yang bertumpu pada satu sumbu, contohnya adalah antara tulang atlas dan tulang tengkorak.
   - Sendi peluru, merupakan sendi yang memungkinkan gerakan ke banyak arah. Contohnya sendi pada gelang bahu.
   - Sendi engsel, merupakan sendi yang memungkinkan gerakan satu arah. Contohnya adalah sendi pada siku.

Soal Penguasaan Materi 4.3

1. Karakter yang terdapat pada otot adalah kontraktibilitas, ekstensibilitas, dan elastisitas.
3. Teori *sliding filaments* menyatakan bahwa pada saat otot konstraksi tidak terjadi pemendekan filamen, namun hanya pergeseran filamen-filamen saja.

Soal Penguasaan Materi 4.4

1. Tiga contoh kelainan pada tulang, yaitu osteoporosis, mikrosefalus, dan fraktura.
3. Teknologi yang berkembang untuk mengatasi kelainan pada sistem gerak yaitu ditemukan kaki dan tangan palsu, kursi roda, dan sendi buatan.

Evaluasi Materi Bab 4

I. Pilihan ganda

1. e
3. b
5. b
7. a
9. c
11. e
13. c
15. e
17. d
19. c

II. Esai

1. Tedapat 3 jenis hubungan antartulang, yaitu sinartrosis, amfiartrosis, dan diartrosis. Hubungan pada sinartrosis sangat rapat sehingga tidak memungkinkan pergeseran atau pergerakan. Pada amfiartrosis pergerakannya terbatas. Sementara itu, pergerakan pada diartrosis cukup leluasa.
3. Kelainan dan gangguan yang dapat terjadi pada sistem gerak, antara lain rakhitis, osteoporosis, mikrosefalus, fraktura, terkilir, dan artritis.
5. Hal ini karena pembentukan tulang pada ayah sudah matang sehingga pembentukan tulang baru akibat patah tulang lebih sulit. Adapun pada anak, penimbunan zat kapur masih sedikit sehingga memudahkan penggantian sel-sel tulang.

Bab 5 Sistem Peredaran Darah

Soal Penguasaan Materi 5.1

1. Fungsi dari peredaran darah
   - Mengangkut zat buangan dan substansi beracun menuju hati untuk didetoksifikasi (dinetralkan) atau ke ginjal untuk dibuang.
   - Mendistribusikan hormon dari kelenjar dan organ yang memproduksinya ke sel-sel jaringan yang membutuhkannya.
   - Mengatur suhu tubuh melalui aliran darah.
   - Mencegah hilangnya darah melalui mekanisme pembekuan darah.
   - Melindungi tubuh dari bakteri dan virus dengan menyirkulasikan antibodi dan sel darah putih.
3. Kecocokan jenis darah antara donor dan resepien, hal ini bertujuan agar tidak terjadi penggumpalan darah akibat reaksi antibodi dari penerima darah.

Soal Penguasaan Materi 5.2

1. Jantung manusia terdiri atas empat ruang, yaitu serambi kanan dan serambi kiri di bagian atas, serta bilik kanan dan bilik kiri di bagian bawah.

Soal Penguasaan Materi 5.3

1. - Arteriosklerosis, merupakan hilangnya elastisitas dinding arteri karena penimbunan zat kapur akibat dari pertambahan usia.
   - Atherosklerosis, merupakan penebalan dinding arteri akibat kadar kolesterol yang tinggi dalam arteri. Hal tersebut menyebabkan volume darah yang mengalir dan jumlah oksigen yang disebarkan terpengaruhi jumlahnya.
3. - Elektrokardiograf berfungsi mendeteksi kondisi jantung dengan cara memantau irama dan frekuensi detak jantung.
   - Alat pacu jantung berfungsi merangsang jantung berkontraksi kembali.
   - Kateter berfungsi untuk memecah timbunan lemak pada pembuluh yang tersumbat sehingga darah dapat mengalir kembali.

Soal Penguasaan Materi 5.4

1. Perbedaannya yaitu pada Amphibia bilik jantungnya hanya memiliki satu ruang, sedangkan pada Reptilia bilik jantungnya memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh sekat.
3. - Sistem peredaran darah ganda, yaitu peredaran darah yang melewati jantung sebanyak dua kali.
   - Sistem peredaran darah tunggal, yaitu peredaran darah yang melalui jantung sebanyak satu kali.

Evaluasi Materi Bab 5

A. Pilihan ganda

1. a
3. c
5. e
7. e
9. d
11. a
13. d
15. b
17. d
19. a

B. Esai

1. Mendistribusikan zat-zat makanan ke seluruh tubuh dan mengambil hasil metabolismenya.
3. Jantung dengan 4 ruang. karena, jantung dengan 4 ruang tidak terjadi percampuran antara darah kaya O_2 dengan darah kaya CO_2 sehingga kerja jantung lebih efektif.
5. Sistol merupakan tekanan darah ketika uentrikel berkontraksi. Adapun diastol merupakan tekanan darah ketika ventrikel relaksasi. Denyut nadi terjadi akibat adanya tekanan darah ini.

Evaluasi Materi Semester 1

A. Pilihan ganda

1. a
3. a
5. b
7. b
9. b
11. e
13. c
15. a
17. b
19. a
21. c
23. c
25. c

B. Esai

1.

Sel Prokariotik	Sel Eukariotik
Tidak memiliki membran inti	Memiliki membran inti
DNA berada di daerah nukleoid	DNA berada di daerah nukleolus
Tidak memiliki organel, seperti mitokondria, badan golgi, dan retikulum endoplasma	memiliki mitokondria, badan golgi, dan retikulum endoplasma

3. Jaringan xilem berfungsi mengangkut mineral dan air dari dalam tanah, sedangkan jaringan floem berfungsi mengangkut hasil fotosintesis berupa karbohidrat ke seluruh bagian tumbuhan.
5. Usus halus disusun oleh beberapa jaringan, di antaranya jaringan otot polos dan jaringan saraf. Jaringan otot polos membuat usus halus dapat melakukan gerakan peristaltik untuk memindahkan makanan. Adapun jaringan saraf pada usus halus berfungsi mengendalikan gerakan peristaltik tersebut. Hal ini membuktikan bahwa setiap organ disusun oleh jaringan yang berbeda sehingga mempunyai fungsi tertentu.
7. Teori "filamen bergeser" menyatakan bahwa saat otot berkontraksi tidak terjadi pemendekan filamen, namun hanya pergeseran filamen-filamen. Pergeseran filamen-filamen tersebut membuat otot berkontraksi dan berelaksasi.
9. Komponen-komponen darah, yaitu:
   a. Plasma darah: komponen darah yang paling banyak, memiliki tiga bagian utama, yaitu albumin, globulin, dan fibrinogen.
   b. Sel-sel darah: terdapat tiga macam sel darah, yaitu sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan keping darah (trombosit).

Bab 6 Sistem Pencernaan

Soal Penguasaan Materi 6.1

1. • Menyediakan energi, sebagai bahan bakar untuk aktivitas dan metabolisme selular
   • Membangun blok-blok kimia, seperti asam amino untuk menciptakan molekul kompleks yang unik pada tiap hewan
   • Mineral dan vitamin yang berpartisipasi dalam bermacam-macam reaksi metabolik
3. Dapat mengalami rabun senja, perubahan kulit, dan pertumbuhan yang terhambat.
4. • Asam amino esensial adalah asam amino yang tidak dapat disintesis oleh tubuh kita.
   • Asam amino nonesensial adalah asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh kita.

Soal Penguasaan Materi 6.2

1. Mulut, kerongkongan (esofagus), lambung (ventrikulus), usus halus (intestinum), usus besar (colon).
3. Enzim-enzim yang mencerna karbohidrat dalam sistem pencernaan, yaitu amilase, amilase pankreas, laktase, sukrase, dan maltase.

Soal Penguasaan Materi 6.3

1. Karies pada gigi, ulkus, diare, sembelit, dan usus buntu.
3. Agar terhindar dari gangguan sistem pencernaan.

Soal Penguasaan Materi 6.4

1. Perbedaannya adalah lambung manusia hanya memiliki satu ruang, sedangkan lambung pada hewan memamah biak memiliki empat ruangan yang terspesialisasi untuk mencerna tumbuhan.
3. Rumput yang dicerna dalam lambung hewan memamah biak banyak mengandung nutrien karena aktivitas bakteri dalam lambung sehingga kebutuhan nutrien hewan memamah biak dapat tercukupi hanya dengan mengonsumsi rumput.

Evaluasi Materi Bab 6

A. Pilihan ganda

1. c
3. a
5. e
7. d
9. a
11. c
13. d
15. a
17. d
19. b

B. Esai

1. • Makanan kaya protein: daging sapi, daging ayam, telur, susu, kacang kedelai, dan kacang-kacangan.
   • Makanan kaya lemak: daging, minyak, mentega, dan keju.
   • Makanan kaya karbohidrat: nasi, jagung, serealia, dan roti.
3. Memamah biak merupakan cara mencerna makanan yang dapat mengembalikan makanan yang telah masuk rumen, kembali ke rongga mulut. Hal ini untuk mengunyah makanan itu kembali.
5. Makanan yang beranekaragam dapat memberikan berbagai zat yang diperlukan tubuh sehingga kekurangan vitamin atau mineral lain dapat dihindari.

Bab 7 Sistem Pernapasan

Soal Penguasaan Materi 7.1

1. Rongga hidung, faring, trakea, bronkus, brokiolus.
3. Laju penambahan karbon dioksida dalam darah; laju pengurangan oksigen dalam darah dan jaringan; dan aktivitas.

Soal Penguasaan Materi 7.2

1. Faringitis, bronkitis, dipteri, SARS, asma, emfisema, dan kenker paru-paru.
3. Rentan untuk terserang penyakit kanker paru-paru.

Soal Penguasaan Materi 7.3

1. Perbedaannya manusia bernapas menggunakan paru-paru, sedangkan ikan menggunakan insang. Paru-paru manusia terdiri atas dua bagian, sedangkan insang terdiri atas lembaran-lembaran insang. Perbedaan fungsinya yaitu paru-paru digunakan dalam pernapasan di darat adapun insang digunakan untuk pernapasan di air.
3. Kulit pada amphibia berfungsi dalam proses pernapasan. Permukaan kulit tipis sehingga memudahkan untuk berdifusi.

Evaluasi Materi Bab 7

A. Pilihan ganda

1. e
3. c
5. a
7. a
9. c
11. b
13. c
15. e
17. b
19. b

B. Esai

1. Pada pernapasan dada, saat inspirasi otot antar tulang rusuk berkontraksi mnyebabkan rongga dada membesar. Keadaan ini membuat tekanan udara paru-paru mengecil sehingga udara masuk dan terjadilah inspirasi. Saat ekspirasi,otot antar tulang rusuk relaksasi menyebabkan rongga dada mengecil. Hal ini membuat tekanan udara paru-paru naik sehingga udara keluar dan terjadilah ekspirasi.
3. Jika paru-paru terisi air maka air akan menutupi rongga-rongga alveolus. Hal ini menghalangi pertukaran udara dan dapat menyebabkan kematian pada orang tersebut.
5. Sistem pernapasan manusia, memiliki paru-paru dengan saluran yang buntu. Udara yang masuk ketika sampai di alveolus akan bertukaran dengan udara sisa (CO_2). Udara tersebut akhirnya dihembuskan ke luar. Pada burung, selain memiliki kantung-kantung udara, memiliki paru-paru yang mirip saluran penyaring (tidak buntu). Udara akan mengalir dari kantung udara pasterior, melewati paru-paru, dan menuju kantung udara anterior hingga dikeluarkan tubuh tanpa hambatan.

Bab 8 Sistem Ekskresi

Soal Penguasaan Materi 8.1

1. Fungsi sistem ekskresi pada manusia adalah menjaga homeostasis dengan menjaga lingkungan dalam tubuh agar tetap stabil dan bebas dari materi-materi yang membahayakan.
3. Sebab ketiganya mengeluarkan sisa-sisa hasil metabolisme tubuh.

Soal Penguasaan Materi 8.2

1. Sistisis, hematuria, batu ginjal, gagal ginjal, dermatitis, prostatis, impetigo, dan glikosuria.
3. Meringankan kerja ginjal, yaitu salah satunya dengan cara minum air putih sesuai dengan standar, yaitu 2 liter.

Soal Penguasaan Materi 8.3

1. Hewan bersel satu melakukan ekskresi dengan cara difusi.
3. Adaptasi terhadap tekanan osmotik ikan tawar yaitu dengan sedikit minum dan banyak mengeluarkan urine dalam volume besar, adapun ikan air laut beradaptasi dengan cara banyak minum air, tetapi menghasilkan sedikit urine.

Evaluasi Materi Bab 8

I. Pilihan ganda

1. b
3. e
5. b
7. c
9. e
11. e
13. d
15. a

II. Esai

1. Kulit, paru-paru, hati, dan ginjal. Kulit mengeluarkan keringat. Paru-paru mengeluarkan air dan CO_2. Hati mengeluarkan bilirubin. Adapun ginjal menghasilkan urine.
3. Teknologi yang berkaitan dengan sistem ekskresi antara lain teknologi cangkok ginjal dan teknologi pencucian darah (dialisis).
5. Sistem ekskresi pada belalang dilakukan terutama oleh badan Malpighi. Zat sisa metabolisme tubuh dikumpulkan oleh badan Malpighi untuk dikeluarkan bersama feses dalam bentuk kristal asam urat.

Bab 9 Sistem Koordinasi

Soal Penguasaan Materi 9.1

1. Sel saraf memiliki struktur yang terdiri atas dendrit, akson, nukleus, selubung mielin, nodus Ranvier, dan sel Schwann.
   - Dendrit berfungsi sebagai perantara bagu pergerakan sinyal dari organ reseptor ke pusat pengolahan saraf.
   - Akson berfungsi sebagai bagian sel saraf yang menjulur perpanjangan dari sitoplasma untuk menghantarkan impuls.
   - Nukleus atau inti sel berfungsi sebagai pusat aktivitas sel.
   - Selubung mielin berfungsi sebagai lapisan lemak yang membungkus akson.
   - Nodus Ranvier berfungsi dalam mekanisme penghantaran impuls atau rangsang.
   - Sel Schwann berfungsi melindungi akson dari kerusakan, luka, atau tekanan.
3. Susunan sel saraf pada manusia terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi.

Soal Penguasaan Materi 9.2

1. Hormon merupakan suatu zat kimia yang diproduksi oleh tubuh dalam kosentrasi kecil. Fungsinya adalah
   - mengatur kesetimbangan cairan tubuh dalam proses homeostatis (nutrisi, metabolisme, kesetimbangan garam dan air, kesetimbangan gula hingga ekskresi);
   - bereaksi terhadap rangsang dari luar tubuh;
   - berperan dalam pertumbuhan dan perkembangan;
   - pengaturan dan penyimpanan energi.
3. Sama-sama mengatur koordinasi tubuh.

Soal Penguasaan Materi 9.3

1. Mata, telinga, hidung, kulit, dan lidah.
3. Sebab indra penciuman merupakan organ sensoris yang terspesialisasi menangkap rangsang kimia. Rasa makanan dapat dirasakan karena adanya kerja sama antara indra perasa lidah dengan hidung sebagai indra penciuman yang dapat menerjemahkan rasa atau aroma pada suatu makanan.

Soal Penguasaan Materi 9.4

1. Stroke, menigitis, sklerosis ganda, polio, parkinson, dan rabies.
3. Pengobatannya adalah penderita miopi menggunakan lensa cekung (bikonkaf), sedangkan penderita hipermetropi menggunakan lensa cembung (bikonveks).

Evaluasi Materi Bab 9

A. Pilihan ganda

1. b
3. a
5. a
7. e
9. b
11. d
13. a
15. c
17. c
19. c

B. Esai

1.

Persamaan
• Dipicu oleh keadaan lingkungan luar tubuh atau dalam tubuh • Mengatur kerja suatu organ atau jaringan • Bekerja untuk mengatur koordinasi tubuh

Perbedaan	
Sistem Saraf	**Sistem Hormon**
• Menggunakan penjalaran implus • Reaksi cepat • Penjalaran pada sel-sel saraf	• Menggunakan sekresi hormonal • Reaksi lebih lambat • Sekresi hormon melalui peredaran darah

3. Penjalaran impuls pada gerak refleks tidak melalui otak, tetapi melalui sumsum tulang. Ketika reseptor menerima rangsang refleks, implus menjalar melalui saraf sensorik - sistem saraf tulang belakang - saraf motorik - menuju efektor, misalnya otot. Kerja ini tidak disadari.
5. Hal tersebut berkaitan dengan kerja hormon adrenalin. Kegiatan-kegiatan seperti terjun payung dan melompat dari ketinggian membuat kelenjar adrenalin menyekresikan hormon adrenalin. Hormon adrenalin membuat jantung berdetak kencang. Kadar gula darah naik, dan metabolisme tubuh naik. Hal ini bagi sebagian orang merupakan sensasi yang menyenangkan sehingga orang tersebut ingin merasakannya berulang-ulang.

Bab 10 Sistem Reproduksi

Soal Penguasaan Materi 10.1

1. Organ reproduksi pria: testis, epididirmis, penis
   Organ reproduksi wanita: ovarium, tuba Fallopii, uterus, vagina
3. Teknologi tersebut adalah bayi tabung dan kloning.

Soal Penguasaan Materi 10.2

1. • Secara vegetatif alami, yaitu rhizoma, tuber, stolon, kormus, bulbus, tunas pangkal batang, modifikasi akar, dan modifikasi daun.
   • Secara vegetatif buatan, yaitu setek, cangkok, merunduk, menyambung, Akulasi, dan teknik kultur jaringan.
3. Pembuahan tunggal dan pembuahan ganda.

Evaluasi Materi Bab 10

A. Pilihan ganda

1. c
3. d
5. b
7. e
9. b
11. c
13. e
15. d
17. c
19. a

B. Esai

1. Testis: tempat pembentukan sel sperma
   Epidermis: tempat penyimpanan sementara sperma
   Vas deferens: saluran tempat jalannya sperma dari epidermis ke vesikula seminalis
   Uretra: saluran pembuang urine
   Vesikula seminalis: penghasil
3. Proses kehamilan diawali dari bertemunya sel telur dan sel sperma di tuba fallopi. Sel telur yang telah dibuahi menjadi zigot. Zigot terus membelah secara mitosis menjadi morula dan blastula. Pada fase blastula, zigot memiliki rongga yang disebut blastosit. Terjadi implantasi di uterus. Blastula berkembang menjadi grastula dengan tiga lapisan, yaitu ektoderm, mesoderm,dan endoderm. Selanjutnya, pada minggu keempat terjadi organogenesis sehingga tahap penyempurnaan pada minggu ke sembilan. Fetus akan terus tumbuh dan berkembang hingga akhirnya dilahirkan pada bulan ke sembilan.
5. ASI memiliki banyak manfaat, selain sebagai cairan pokok bagi bayi, juga sebagai pelindung bayi sebelum sistem kekebalan tubuh bayi bekerja sempurna. ASI eksklusif sangat dianjurkan karena semua kebutuhan bayi selama 6 bulan dapat terpenuh gizinya hanya dari ASI saja.

Bab 11 Sistem Pertahanan Tubuh

Soal Penguasaan Materi 11.1

1. Fungsi pertahanan tubuh nonspesifik adalah sebagai sistem pertahanan pertama terhadap infeksi tanpa membedakan mikroorganisme patogen yang menyerangnya.
3. Respons tubuh tersebut adalah mengalami peradangan (inflamasi) dan kemudian demam.

Soal Penguasaan Materi 11.2

1. Perbedaannya adalah dalam cara kerjanya, sistem pertahanan tubuh spesifik bekerja lebih spesifik terhadap mikroba patogen yang menyerang tubuh, artinya bekerja spesifik terhadap mikroba patogen.
3. Seseorang dikatakan kebal apabila tubuh diserang oleh patogen yang sama untuk kedua kalinya, tubuh tidak terpengaruhi, hal ini dipengaruhi oleh respons sekunder tubuh.

Soal Penguasaan Materi 11.3

1. Jenis-jenis limfosit T adalah:
   a. Sel T sitotoksik, berfungsi dalam membunuh sel yang terinfeksi.
   b. Sel T penolong, berfungsi mengaktifkan limfosit B dan limfosit T.
   c. Sel T supressor, berfungsi mengurangi produksi antibodi oleh sel-sel plasma dengan cara menghambat aktivitas sel T penolong dan sel T sitotoksik.
   d. Sel T memori, berfungsi "mengingat" antigen yang telah masuk ke dalam tubuh.
3. Fungsi leukosit, yaitu berperan dalam sistem kekebalan tubuh.

Soal Penguasaan Materi 11.4

1. Mekanismenya adalah ketika mengalami luka, histamin dilepaskan oleh mastosit dan sel basofil tersebar ke seluruh jaringan. Selain itu terjadi vasodilatasi, tekanan darah meningkat sehingga permeabilitas pembuluh darah juga meningkat. Setelah itu sel-sel fagosit mendekati luka. Fagositosis terjadi oleh makrofag dan neutrofil. Jaringan yang luka mulai sembuh.

Soal Penguasaan Materi 11.5

1. Alergi merupakan sensitivitas berlebihan terhadap suatu hal. Alergi merupakan respons terhadap suatu benda asing yang masuk ke dalam tubuh.
3. Autoimunitas merupakan suatu keadaan sistem kekebalan tubuh membentuk antibodi untuk menyerang sel tubuh yang lain yang terjadi di satu tubuh. Contohnya, myasthenia gravis, lupus erythematosus, addisoris disease, multiple sclerosis, dan diabetes mellitus.

Evaluasi Materi Bab 11

A. Pilihan ganda

1. e
3. a
5. c
7. c
9. d
11. d
13. d
15. b
17. b
19. e

B. Esai

1. Pertahanan tubuh nonspesifik menyerang semua patogen yang memasuki tubuh. Pada pertahanan tubuh spesifik, patogen atau antigen dikenali untuk direspons oleh antibodi dan sel limfosit tertentu.
3. Karena sistem kekebalan tubuh telah mengenali patogen atau antigen penyakit tersebut sehingga setelah sembuh kita menjadi kebal. Hal ini dikarenakan kekebalan tubuh telah dapat mengenali dan merespons dengan baik sehingga gejala penyakit tersebut tidak akan terasa.
5. Jika kulit yang ditansplantasikan rusak, kemungkinan kulit tersebut dikenali oleh sistem kekebalan tubuh sebagai zat asing sehingga sistem kekebalan tubuh akan berupaya merespons dengan menghancurkan kulit transplantasi tesebut. Jika kulit yang ditransplantasikan berasal dari sel tubuh penderita, penolakan tidak akan terjadi.

Evaluasi Materi Semester 2

A. Pilihan ganda

1. d
3. e
5. d
7. a
9. c
11. e
13. d
15. b
17. d
19. b
21. d
23. b
25. e

B. Esai

1.

Enzim	Sel Eukariotik
Laktase	Mengubah laktosa menjadi glukosa dan galaktosa
Sukrase	Mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa
Aminopeptidase	Mengubah polipeptida menjadi asam amino
Maltase	Mengubah maltosa menjadi glukosa

3. Lubang hidung → faring → laring → trakea → bronkus → bronkiolus → alveolus.
5. Air dan molekul-molekul yang tidak larut dalam darah memasuki lempengan filtrasi pada kapsul Bowman. Hasil filtrasi ini disebut urine primer. Kemudian, urine primer yang dihasilkan oleh kapsul Bowman memasuki tubulus kontortus proksimal dan lengkung Henle, serta tubulus kontortus distal. Urine yang dihasilkan dari tubulus kontortus distal disebut urine sekunder. Urine sekunder tersebut akan mengalami augmentasi pada tubulus pengumpul, kemudian masuk ke pelvis renalis dan mengalir menuju ureter.
7. Kelenjar menghasilkan hormon tiroksin dan kalsitonin. Tiroksin berfungsi mengatur kecepatan metabolisme tubuh untuk menghasilkan energi. Adapun kalsitonin berfungsi mengatur keseimbangan kadar kalsium di dalam darah sehingga mencegah kalsium keluar dari tulang. Apabila tubuh kelebihan hormon tiroid, muncul penyakit hipertiroid.
9. Spermatogonia mengalami pembelahan mitosis menghasilkan spermatosit primer. Spermatosit primer ini mengalami pembelahan meiosis menjadi spermatosit sekunder. Kemudian, spermatosit sekunder akan mengalami pembelahan meiosis menjadi spermatid.

Evaluasi Materi Akhir tahun

A. Pilihan ganda

1. b
3. c
5. a
7. e
9. e
11. c
13. d
15. d
17. c
19. a
21. d
23. a
25. b
27. e
29. d
31. d
33. b
35. b
37. a
39. b
41. c
43. e
45. a
47. c
49. d

B. Esai

1. – Difusi : proses perpindahan suatu zat yang terjadi secara spontan ketika ada perbedaan konsentrasi dari tekanan tinggi ke tekanan rendah.
   – Osmosis : Proses perpindahan pelarut melewati sebuah membran semipermeabel
   – Transpor aktif : mekanisme pemindahan molekul atau zat tertentu melalui membran sel, berlawanan arah dengan gradien konsentrasi

3. – Jaringan epitelium : melapisi permukaan bagian tubuh, baik di dalam maupun di luar rongga tubuh
   – Jaringan ikat : sebagai pengikat, penyokong, dan pemberi bentuk pada tubuh
   – Jaringan otot : menggerakkan bagian-bagian otot
   – Jaringan saraf : menanggapi rangsang dan meneruskan impuls dari satu bagian ke bagian tubuh lainnya

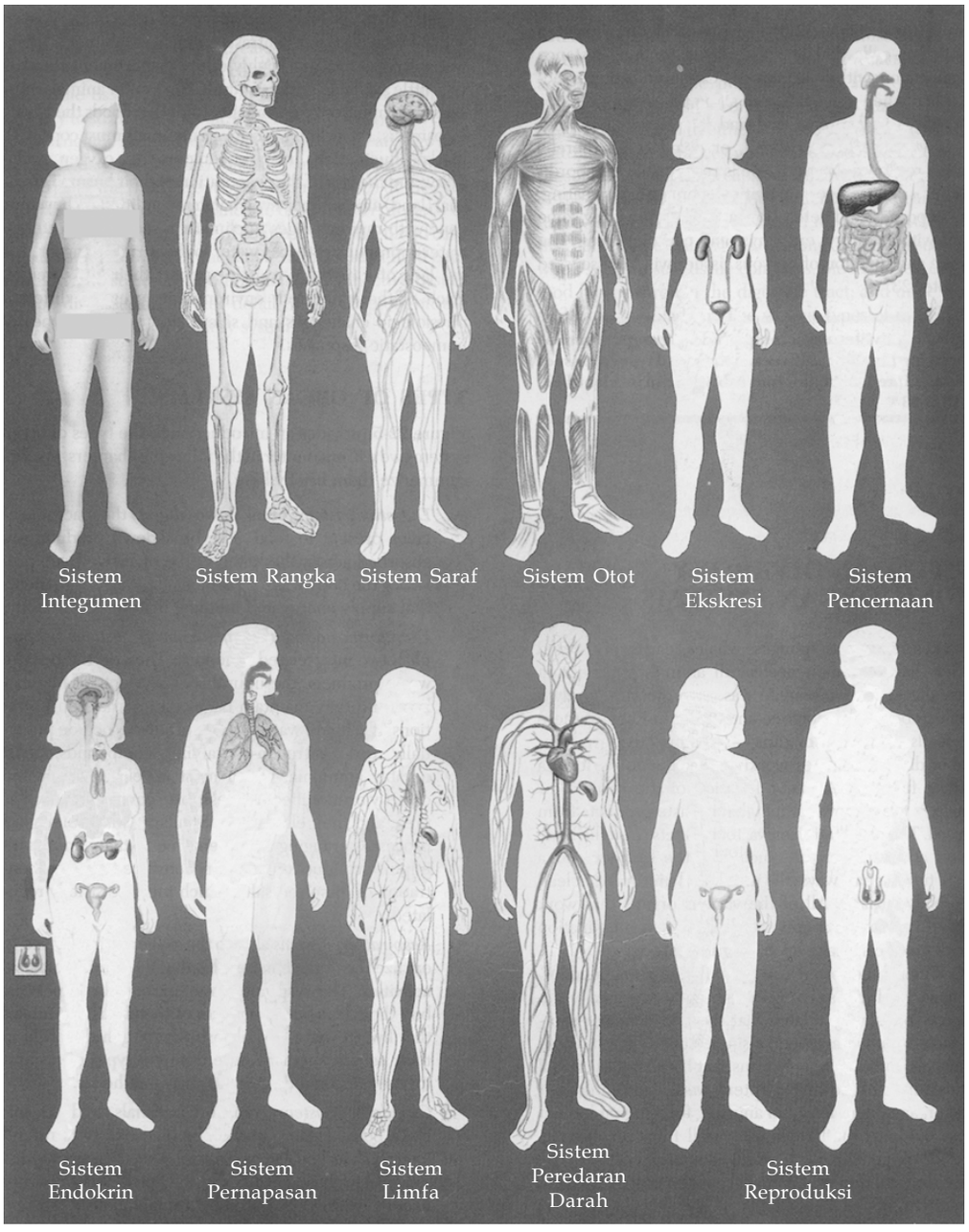
5. 1) Aorta
   2) Vena kava supersor
   3) Arteri pulmonari
   4) Atrium kanan
   5) Atrium kiri
   6) Ventrikel kanan
   7) Katup bikuspidalis
   8) Katup trikuspidalis
   9) Vertikel kiri
   10) Vena kara inferior

7. – Pernapasan eksternal: merupakan pertukaran udara yang terjadi di dalam paru-paru
   – Pernapasan internal : pertukaran udara antara darah dan sel-sel tubuh
   – Pernapasan seluler : merupakan proses kimia yang terjadi dalam mitokondria dalam sel

9. – **Ruffini**, peka terhadap rangsang suhu panas
   – **Krause**, peka terhadap rangsang dingin
   – **Paccini**, peka terhadap rangsang tekanan dan sentuhan
   – **Meissner**, peka terhadap rangsang tekanan dan sentuhan
   – Ujung saraf bebas, peka terhadap rangsang tekanan dan rasa sakit

Apendiks 2

Sistem-Sistem Tubuh Manusia



Sumber: *Biology: The Unity and Diversity of Life*, 1995

Apendiks 3

Kata Dasar Bahasa Latin dan Yunani

Kata Dasar	Arti	Contoh
anti	lawan/berlawanan	antibodi
arthro	sendi	arthropoda
auto	sendiri/oleh sendiri	autotrof
bio	hidup	biologi
carn	daging	karnivora
chloro	hijau	kloroplas
cyano	biru	Cyanobacteria
cyt	sel	leukosit
derm	kulit	epidermis
di	dua/dua kali	disakarida
ecto	luar/bagian luar	ektoderm
endo	bagian dalam	endoderm
epi	luar, menyelimuti	epidermis
exo	luar	eksoskeleton
gastro	perut	gastropoda
gen	penyebab sesuatu	antigen
genesis	pembentukan/formasi	morfogenesis
haemo	darah	haemoglobin
herb	tumbuhan/tanaman	herbivora
hetero	berbeda	heterozigot
homeo	sama/mirip	homeostatis
homo	sama, identik	homolog
karyo	sel	kariotipe
macro	besar	makromolekul
meso	di tengah	mesoderm
micro	kecil	mikroorganisme
mono	satu	monosakarida
morpho	bentuk	morfogenesis
myco	jamur	mikologi
omni	semua	omnivor
peri	dekat, sekitar	periderm
photo	cahaya	fotosintesis
phyll	selembar daun	mesofil
phyto	tumbuhan	fitokrom
plasm	bahan hidup	sitoplasma
pod	kaki	arthropoda
poly	banyak	polisakarida
troph	sesuatu yang memakan	autotrof
vor	untuk makan	karnivor
zoo	hewan	zoologi

Sumber: *Concise Encyclopedia ature*, 1994

Kamus Biologi

A

Aglutinasi: penggumpalan atau memecahan sel darah merah.

Aglutinogen: sejenis protein yang terdapat dalam sel darah merah dan memicu penggumpalan darah.

Akrosom: organel sel yang terdapat di kepala sperma, mengandung enzim hialuronidase .

Akson: cabang-cabang halus yang keluar dari badan sel saraf dan umumnya hanya satu, berfungsi meneruskan impuls.

Aktin: mikrofilamen dalam sitoplasma, banyak terdapat di sel otot.

Antagonis: hal yang berlawanan antara dua atau lebih, proses atau sistem.

Anterior: terletak di bagian depan.

Antigen: makromolekul asing yang bukan merupakan bagian dari organisme inang dan yang memicu munculnya respons imun.

Antibodi: protein anti terhadap bahan yang tak dikenal atau asing bagi tubuh suatu individu.

ATP: adenosin tri fosfat, molekul yang mengandung energi tinggi.

B

Bilirubin: pigmen empedu, berasal dari perombakan hemoglobin dalam hati dan limpa.

Bintik buta: tempat masuk dan membeloknya berkas saraf yang tidak mempunyai ujung-ujung saraf penglihatan sehingga tidak peka terhadap cahaya.

D

Dendrit: juluran sitoplasma yang relatif pendek pada sel saraf, berfungsi menerima impuls.

Depolarisasi: hilangnya kekutuban pada sel saraf yang terjadi saat sel saraf menerima impuls.

Detoksifikasi: menawarkan racun atau sifat meracun.

Dermis: lapisan dalam kulit.

Difusi: proses perpindahan suatu zat, air, gas dari larutan yang berkonsentrasi tinggi (hipertonis) ke larutan berkonsentrasi rendah (hipotonis).

Diploid: keadaaan dalam sel/jaringan, atau stadium yang inti-inti selnya mempunyai dua perangkat kromosom.

Diastol: tahapan siklus denyut jantung di mana otot jantung berelaksasi, yang memungkinkan ruang jantung itu terisi oleh darah.

E

Eksitasi: perpindahan elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah dengan memancarkan energi.

Enzim: katalis protein yang dihasilkan oleh sel dan bertanggung jawab untuk laju dan kekhususan yang tinggi dari satu atau lebih reaksi biokimia intraseluler atau ekstraseluler.

Epiglotis: suatu penutup dari tulang rawan yang menyumbat bagian atas pipa udara (glotis) selama proses penelanan yang mencegah masuknya makanan ke dalam sistem pernapasan.

Epikotil: bakal batang yang berasal dari tunas embrionik.

F

Fagositosis: suatu jenis endositosis yang melibatkan bahan partikulat besar.

Fertilisasi internal: pembuahan antara sel telur dan sel sperma yang terjadi di dalam tubuh organisme.

Fertilisasi eksternal: pembuahan antara sel telur dan sel sperma yang terjadi di luar tubuh organisme.

Fibrin: bentuk aktif protein pengumpal darah fibrinogen, yang menyatu membentuk benang-benang yang membentuk gumpalan darah.

Folikel: struktur mikroskopik dalam ovarium yang mangandung ovum yang sedang berkembang dan menyekresikan estrogen.

G

Glikogen: polisakarida cadangan yang terdiri atas monomer glukosa yang bercabang banyak dan ditemukan dalam hati dan otot hewan.

H

Haploid: keadaan dalam sel jaringan atau stadium yang inti-inti selnya hanya mempunyai satu perangkat kromosom yang tak berpasangan.

Hidrofilik: mempunyai afinitas terhadap air.

Hemoglobin: protein mengandung besi dalam sel darah merah yang berikatan dengan oksigen.

Histiosit: sejenis makrofag pada jaringan di luar pembuluh darah.

Hormon: salah satu jenis sinyal kimiawi yang beredar pada semua organisme multiseluler yang dibentuk dalam sel-sel terpesialisasi, yang berkelana dalam caiaran tubuh, dan mengoordinasikan berbagai bagian organisme dengan cara berinteraksi dengan sel-sel target.

Histamin: subtansi yang dikeluarkan oleh sel-sel terluka yang menyebabkan pembesaran pembuluh darah selama terjadinya respons peradangan.

I

Immunoglobulin: salah satu kelas protein yang membentuk antibodi.

Imunitas humoral: jenis imunitas yang memerangi bakteri dan virus dalam cairan tubuh dengan antibodi yang beredar dalam plasma darah dan getah bening.

K

Kutikula: penutup permukaan batang dan daun dengan lilin sebagai suatu adaptasi untuk mencegah penguapan pada tumbuhan darat.

Kapsul Bowman: suatu wadah berbentuk mangkok di dalam ginjal vertebrata yang merupakan segmen awal nefron yang membesar, tempat fitrat masuk ke nefron dari dalam.

Korpus luteum: badan yang bekerja menghasilkan progeteron dan sedikit estrogen dalam ovarium.

M

Medula oblongata: bagaian paling bawah otak vertebrata.

Metabolisme: pembentukan dan penguraian zat di dalam tubuh yang memungkinkan tetap berlangsungnya kehidupan.

Meiosis: proses pembelahan sel induk gamet sebanyak dua kali menghasilkan gamet berkromosom separuh dari induknya.

Mesofil: jaringan dasar daun yang terselip di antara epidermis atas dan bawah, dikhususkan untuk fotosintesis.

Membran basal: lantai atau dasar suatu membran epitel, tempat sel basal menempel.

Mikrovili: salah satu dari beberapa penjuluran halus mirip jari dari sel epitel pada rumen usus halus yang meningkatkan luas permukaannya.

Miosin: suatu jenis filamen protein yang berinteraksi dengan filamen aktin untuk menghasilkan kontraksi sel otot.

Mitosis: proses pembelahan satu sel induk jadi dua, dan jumlah kromosomnya tetap sama dengan sel induk.

N

Nefron: satuan ekskretoris tubuler pada ginjal vertebtara.

Nodus Ranvier: suatu celah kecil pada lapisan mielin.

O

Osmoregulasi: adaptasi untuk mengontrol keseimbangan air dalam organisme yang hidup dalam lingkungan hipertonik, hipotonik atau daratan.

Organ: pusat fungsi tubuh tertentu yang terdiri atas beberapa jenis jaringan yang berbeda.

Osifikasi: pertumbuhan bahan tulang pada jaringan ikat atau tulang rawan.

P

Peristaltik: gelombang berirama pada kontraksi otot polos yang mendorong makanan di sepanjang saluran pencernaan.

Protoplasma. isi sel berupa cairan kental yang meliputi sitoplasma dan nukleoplasma.

R

Respirasi aerob. pernapasan yang berlangsung di dalam mitokondria dan menggunakan oksigen bebas dari udara.

Respirasi anaerob. pernapasan yang berlangsung di dalam sel dan tidak memerlukan oksigen.

S

Sitoplasma: keseluruhan isi sel selain nukleus dan dibungkus oleh membran plasma.

Sitosol: bagian semi cair sitoplasma.

Stoma: suatu pori mikroskopis pada epidermis daun yang memungkinkan pertukaran gas antara lingkungan dan bagian dalam tumbuhan.

Sistem Havers: salah satu unit struktur dalam tulang vertebrata, yang terdiri atas lapisan konsentrik matriks tulang termineralisasi dikelilingi lakuna yang mengandung pembuluh darah dan saraf.

Sarkomer: unit dasar berulang pada otot lurik yang dibatasi oleh garis-garis.

Sistol: tahapan siklus jantung di mana otot jantung berkontraksi dan kamar jantung memompakan darah.

Sistem trakea: sistem pertukaran gas yang terdiri atas saluran bercabang dan dilapisi kitin yang melapisi badan dan membawa oksigen secara langsung ke sel-sel pada serangga.

Sitokinesis: pembelahan sitoplasma.

Sel api: unit terkecil sistem ekskresi pada cacing (Platyhelminthes).

Sel Schhwann: suatu ranti sel-sel pendukung yang membungkus akson dari banyak sel saraf dan yang membentuk suatu lapisan yang disebut seludang mielin.

Spermatogenesis: produksi sel-sel sperma dewasa secara terus-menerus.

T

Trakeid: unsur pendukung dan penghantar air pada xilem yang terdiri atas selsel panjang dan tipis dengan ujung runcing dan dinding yang dikeraskan oleh lignin.

Testis: organ reproduksi jantan, tempat sperma dan hormon reproduksi dihasilkan.

Tubulus seminiferus: saluran yang sangat berkelok-kelok dalam testis, tempat sperma dihasilkan.

U

Unsur: zat yang tidak dapat diuraikan lagi menjadi zat yang lebih sederhana.

V

Vas deferens: saluran dalam sistem reproduksi jantan, tempat sperma berkelana dari epididimes sampai uretra.

Vena: pembuluh darah balik yang membawa darah keluar dari jantung.

Vitamin: molekul organik yang diperlukan makanan dalam jumlah yang sangat sedikit.

Indeks (Subjects dan Authors)

A

AIDS 196, 216, 218, 219
akar 8, 20, 21, 27, 31, 32, 33, 34, 35, 59, 160, 174
akson 45, 46, 152, 153, 154, 155, 156, 157
antibodi 76, 80, 81, 94, 95, 177, 194, 208, 210, 211, 212, 213, 214, 216, 218
antigen 80, 206, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 215, 216
ASI 192, 195, 225

B

bilirubin 137, 138
bronkiolus 121, 126
bronkus 48, 121, 126, 130, 131
bulbus 205
bunga 8, 29, 30, 196, 197

C

Campbell 11, 25, 43, 123, 158, 165, 212
corpus luteum 190, 191, 192

D

darah
- golongan 79, 80, 81, 92, 168, 194, 208
- plasma 3, 4, 11, 13, 14, 43, 76, 77, 79, 80, 88, 90, 92, 102, 103, 124, 152, 208, 212, 214, 216
- sel 3, 5, 7, 9, 12, 20, 21, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 50, 51, 54, 55, 63, 64, 66, 69, 70, 72, 73, 208, 209, 212, 214, 215, 218, 219

daun 21, 23, 26, 27, 29, 32, 33, 54
- berkas pembuluh 29, 30
- epidermis 25, 26, 27, 28, 29, 31, 40, 42, 50
- mesofil 27, 29, 30

dendrit 45, 152, 153, 154, 156, 157
diabetes 177, 179, 218
difusi 8, 9, 10, 11, 12, 14, 17, 18, 41

E

eksositosis 14
elektrokardiogram 87
empulur 26, 28, 30, 31
Endometrium 188, 190, 191, 192
endositosis 13, 14
- fagositosis 13, 211, 213, 214
- pinositosis 13

epididimis 185, 186
eritroblastosis fetalis 195

F

fertilisasi 188, 190, 191, 192, 197, 200
folikel de Graaf 165, 188

G

gigi 8, 48, 59, 104, 105, 106, 107, 112, 113, 114
ginjal 41, 42, 48, 49, 76, 90, 136, 139, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 165, 167, 168, 176, 177, 191
grana 7
Guttman 153

H

hati 66, 76, 77, 90, 100, 101, 102, 104, 106, 108, 110, 136, 137, 138, 141, 147, 156, 167, 196, 199
hemoglobin 76, 77, 78, 86, 88, 89, 90, 91, 94, 105, 124, 125, 134, 137, 138
hemolisis 10
Hendaryono 33
herpes 195, 219
hidrofobik 4
hipertensi 87
hipofisis 49, 159, 164, 165, 166, 167, 179, 182, 190, 194
hipotalamus 137, 159, 164, 165, 179, 206, 215
histamin 206, 214, 215, 217, 221
histiosit 138
hormon 6, 33, 67, 76, 77, 92, 102, 103, 137, 146, 151, 152, 156, 159, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 175, 176, 177, 178, 179, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 192, 193, 194, 199, 215, 216, 217, 218
Hopson 144

I

immunoglobulin 192, 215, 221
implantasi 189, 191, 199, 201
imunitas humoral 208, 210, 215
imunitas seluler 208, 210, 211, 215
indra 151, 152, 156, 169, 171, 174, 175, 178, 179
- hidung 48, 121, 126, 131, 159, 169, 173, 174, 179, 191
- kulit 8, 22, 25, 42, 44, 47, 68, 83, 84, 89, 90, 102, 104, 127, 130, 136, 137, 140, 141, 142, 145, 147, 154, 160, 169, 174, 176, 177, 179, 188, 191, 193, 197, 199, 204, 205, 207, 214, 217, 219

lidah 48, 106, 108, 161, 169, 173, 174, 179
mata 84, 104, 146, 159, 160, 161, 169, 170, 178, 179, 191, 195, 214, 217, 219
telinga 44, 54, 108, 159, 160, 169, 171, 179
insulin 166, 167, 177, 218

J

jantung 45, 48, 49, 56, 58, 62, 64, 65, 66, 70, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 101, 105, 126, 156, 160, 161, 162, 168, 177, 191, 196
jaringan hewan
ikat 54, 55, 59, 63, 65, 157, 169
otot 54, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 153, 154, 156, 160, 161, 162, 165, 166, 169, 176
saraf 54, 63, 64, 66, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 169, 170, 171, 173, 175, 174, 176, 177, 179
jaringan tumbuhan 25, 32
floem 21, 23, 24, 26, 27, 28, 30, 31
kolenkim 21
meristem 23, 24, 30, 32, 33
parenkim 21, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32
sklerenkim 21, 22, 24, 27, 31
xilem 21, 23, 26, 27, 28, 30, 31

K

kanalikuli 54
kapsul Bowman 139, 142
karbohidrat 8, 23, 29, 33, 66, 100, 101, 102, 104, 105, 112, 192, 207
disakarida 100, 101
monosakarida 100, 101
polisakarida 100
kekebalan 49, 77, 92, 50, 211, 216, 218, 219, 125, 192, 196, 203, 208, 210, 211, 213, 214, 215, 217
aktif 6, 9, 12, 13, 14, 20, 49, 62, 68, 70, 96, 109, 110, 140, 154, 155, 159, 166, 184, 189, 208
pasif 6, 10, 62, 70, 216
kloroplas 21, 27, 30, 33
kolesterol 101, 110, 137, 142, 150
kormus 197, 198
korteks 21, 26, 27, 28, 31
kromoplas 7, 8
Kurnadi 58, 136
kutikula 30

L

lambung 42, 45, 47, 48, 62, 106, 109, 110, 111, 113, 167, 168
lemak 6, 192, 43, 44, 46, 54, 66, 76, 77, 85, 86, 87, 100, 102, 103, 104, 105, 109, 110, 111, 136, 137, 139, 152, 167, 192, 204, 207
asam lemak jenuh 101
asam lemak tak jenuh 101
lentisel 26, 27
leukoplas 7, 8
Levine 65
limfosit 44, 78, 85, 93, 207, 208, 212, 216, 217, 218, 219
limfosit B 79, 208, 214, , 215, 216
limfosit T 79, 209, 212, 215, 217, 218, 219

M

McLaren 120
menstruasi 77, 168, 188, 189, 190, 191, 192, 197, 224
mikrofil 204
Miller 65
mineral 8, 10, 11, 23, 26, 30, 31, 33, 44, 54, 72, 90, 96, 104, 112, 116, 136, 141, 150, 200

N

nefridiofor 143, 144
nefron 138, 140, 147
nodus Ranvier 46, 152

O

okulasi 199, 200
organ 53, 54, 56, 58, 62, 63
osifikasi 54
osmoregulasi 11
osmosis 9, 10, 12, 14
hipertonik 10
isotonik 10, 11
osteosit 54, 55
otak 215, 227, 192, 193, 194, 46, 49, 56, 86, 101, 120, 123, 137, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 169, 171, 173, 175, 179, 192, 194, 195, 219
otot
lurik 45, 49, 63, 64, 71, 83, 108, 217
polos 45, 46, 47, 49, 62, 63, 70, 83, 84, 102, 111, 126, 214, 217
ovarium 49, 52, 165, 168, 188, 189, 190, 192, 197, 200

P

paru-paru 48, 58, 62, 77, 81, 82, 83, 90, 91, 119, 120, 121, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 131, 136, 137, 141,

147, 156, 195
patogen 192, 204, 205, 206, 208, 209, 213, 214, 215, 216, 219
pembuluh darah 43, 44, 54, 58, 63, 79, 81, 83, 84, 85, 87, 88, 89, 92, 101, 107, 110, 113, 121, 129, 130, 131, 157, 169, 175, 188, 191, 214
balik 47, 81, 84, 89, 90, 91, 92, 95, 222
nadi 82, 84, 90, 92
pembuluh limfa 48, 49, 85
pencernaan 47, 48, 63, 76, 94, 100, 102, 103, 104, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 120, 156, 160, 161, 166, 168, 172, 212, 192, 204, 212, 214, 219
alat-alat 81, 102, 106, 119, 127, 136, 156, 187
enzim 5, 6, 7, 14, 190, 47, 79, 103, 104, 106, 109, 110, 112, 115, 124, 155, 163, 167, 171, 173, 174, 191, 200, 205, 206, 210, 215
kimiawi 100, 105, 106, 116, 171,204, 205, 214
mekanik 105, 106, 108, 112
penis 185, 188, 191, 197
pernapasan 42, 45, 48, 63, 69, 90, 121, 123, 125, 126, 128, 129, 130, 131, 160, 191, 192, 204, 214, 219
dada 44, 54, 56, 57, 58, 62, 70, 77, 122, 123, 125, 130, 131
ekspirasi 122, 125, 130, 131
inspirasi 231, 122, 125, 130, 131
perut 185, 69, 89, 130, 176
persendian 59, 68
amfiartirosis 58, 59, 70
sinartrosis 58, 59
plasmolisis 11, 14
protein 3, 4, 5, 7, 13, 192, 193, 43, 44, 54, 66, 76, 77, 79, 80, 90, 92, 96, 98, 100, 101, 103, 105, 109, 110, 111, 124, 136, 139, 142, 156, 170, 172, 174, 193, 194, 204, 205, 206, 207, 208, 210, 213, 214, 215, 217
asam amino esensial 102, 103, 105
asam amino nonesensial 102, 103
protein antimikroba 204, 205, 206, 219
protoplasma 3, 5, 32, 33
pusat 21, 27, 31, 32, 45, 46, 50, 63, 124, 152, 154, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 170, 173, 175, 176, 179, 195, 196

R

rabies 176, 208
rambut akar 26, 30
rangka
aksial 56, 62, 70
apendikular 56, 58, 62, 70
rhizoma 197, 205
Rotundo 120

S

sel 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
eukariotik 3, 5, 6, 14
organel 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14, 21
prokariotik 2, 3, 5, 14
sel api 143
sel fagosit 204, 206, 209, 214, 215, 219, 221, 222, 225
sel Leydig 185
sel osteoblas 54
sel saraf 45, 66, 152, 153, 154, 156, 160, 161, 162, 170, 174, 175, 179, 217
interneuron 152, 153, 154, 160, 162
motorik 152, 153
sensorik 152, 153
sel trakeid 23
seludang mielin 152, 154, 157
sinapsis 45, 152, 153, 154, 156, 157
sistem Havers 54, 55
sistem pernapasan 63, 69, 119, 121, 125, 126, 127, 128, 130, 191, 219
Annelida 89, 127
burung 90, 91, 92, 130, 147, 184, 219
Insecta 88, 128
katak 90, 95, 127, 130, 145, 146, , 147, 154
Pisces 89, 129, 145
sistem saraf 6, 49, 54, 63, 123, 151, 154, 156, 157, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 167, 169, 170, 173, 174, 175, 179, 191, 196, 199
sitoplasma 3, 4, 5, 6, 11, 14, 20, 31, 41, 54
sitosol 5
sklerosis 86, 175
skrotum 184, 185
spermatogenesis 185, 197
spermatosit 186, 197
stolon 197
stomata 26, 29
stroke 86, 87, 175, 177
stroma 7
sumsum tulang belakang 46, 138, 154, 156, 157, 158, 160, 161, 179

T

Taggart 76, 188
trakea 23, 42, 48, 120, 121, 126, 128, 129, 131
transpor aktif 9, 12, 13, 14
tuba Fallopii 188
tuber 197

tubulus seminiferus 185
tulang 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 67, 68, 70
tulang 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 67, 68, 69, 70
keras 54, 55, 58, 66, 71
rawan 59

U

urine 135, 138, 139, 140, 141, 142, 145, 146, 147, 150, 165, 167, 185, 188, 195, 199
augmentasi 231, 139, 147, 149
filtrasi 139, 141, 145, 146
reabsorpsi 139, 140, 143, 145
usus 14, 42, 45, 46, 47, 48, 62, 69, 103, 104, 106, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 137, 138, 144, 161, 168, 192, 199

V

vas deferens 185, 186
vasodilatasi 214, 217
vitamin 33, 67, 76, 77, 98, 100, 102, 103, 104, 105, 112, 170, 192, 200
volume udara 122, 132

W

Wessells 144
Wijayani 33

Daftar Pustaka

Aberchrombie, M., *et al*.1997. *Kamus Lengkap Biologi*. Jakarta: Erlangga.

Audesirk, T. and Gerald Audesirk. 1999. *Biology Life on Earth. 5th edition*. New Jersey: Prentice Hall.

Brurn, G.D., Larry McKane, and Gerry Karp. 1994. *Biology Exploring Life*. New York: John Wiley & Sons.

Burnei, David. 1994. *Concise Encyclopedia Nature*. London: Dorling Kindersler.

Campbell, N. A. 1998. *Biology*. California: The Benjamin/Cummings Publishing.

Campbell, N.A., *et al*. 2006. *Biology Concepts & Connections*. California: The Benjamin/Commings Publishing Company.

Enger, E.D. and Frederick C. Ross. 2000. *Concepts in Biology 9th edition*. Boston: McGraw-Hill.

Greenleaf, Paul. 1996. *The Visual Dictionary of Human Anatomy*. London: Dorling Kindersley.

Guttman, N.A. 1999. *Biology*. New York: Mc Graw Hill.

Hendaryono, Daisy B. Sriyanti dan Ari Wijayani: 1994. *Teknik Kultur Jaringan*. Yogyakarta: Kanisius

Hopson, Janet L. & Norman K. Wessels. 1990. *Essentials of Biology*. New York: Mc Graw-Hill.

Jefferis, David. 1999. Megatech: *Cloning Frontiers of Genetic Enginnering*. Leicester: Silverdale.

Indonesian Heritage. 1996. Jakarta: Buku Antar Bangsa.

Kimball, J.W. 1988. *Biology*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.

Kurnadi, Kemal Adyana. 1992. *Dasar-Dasar Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia*. Bandung: Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Bandung.

Levine, Joseph. S. and Kenneth R. Miller. 1991. *Biology: Discovering Life*. Massachusettes: DC Heath.

Mader, S. Sylvia. 1998. *Biology. International Edition*. Boston: USA McGraw-Hill

McLaren, James E. and Lissa Rotundo. 1985. *Heath Biology*. Massachusetts: D.C Heath and Company.

Milani, J.P. *et al*. 1992. *Biological Science: An Ecological Approach. Green version 7th edition*. Kendall/Hunt Publishing Co., Keper.

Moore, Randy, *et al*. 1995. *Botany*. Indianapolis: Brown Publisher.

Nugroho, Arinto dan Heru Sugito. 2002. *Pedoman Pelaksanaan Teknik Kultur Jaringan*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Parker, Steve. 1997. Jendela IPTEK: *Kedokteran*. Jakarta: Balai Pustaka.

Salisbury, F.B dan C.W. Ross.1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 3*. Bandung: Penerbit ITB

Solomon, *et al*. 1993. *Biology 3rd edition*. Saunders College Publishing, New York.

Starr, Cecie and Ralph Taggart. 1995. *Biology; The Unity and Diversity of Lif*e. Edisi ke-7. California: Wadswarth.

William, Gareth. 2002. *Biology for You*. Cheltenham: Nelson Thomas Ltd.

Winatasasmita, Djamhur. 1985. *Fisiologi Hewan dan Tumbuhan*. Jakarta: Universitas Terbuka.

Sumber lain:

www.adam.com, Maret 2006
www.AIDS.ch.com, Juni 2006
www.arbl.crmbs.colostate.edu, Maret 2006
www.asklasikdoctor. com, April 2006
www.beedata.com, Mei 2006
www.contemporarypediatrics.com, Maret 2006
www.dea.gov, Maret 2006
www.depkes.go.id, Juni 2007
www.emc.maricopa.edu, Mei 2006
healthgate.partners.org, Juni 2006
www.library.thinkquest.org, Juni 2006
www.manufacturingcenter.com, Mei 2006
www.oftalamo.com, April 2006
www.pikiran-rakyat.com, Maret 2006
www.sirinet.net, Mei 2006
www.tipztime.com, April 2006
www.trc-chennai.org, Juli 2006
www.unescap.org, April 2006
www.users.rcn.com, Mei 2006
www.wikipedia.org, Juni 2006

Praktis Belajar Biologi

Disajikan untuk menambah wawasan siswa tentang makhluk hidup serta interaksi dengan lingkungannya. Buku ini dapat mengarahkan siswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam memecahkan masalah di lingkungan sekitar.

ISBN 978-979-068-823-0 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-825-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks palajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 Tanggal 25 Juli 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp16.315,--