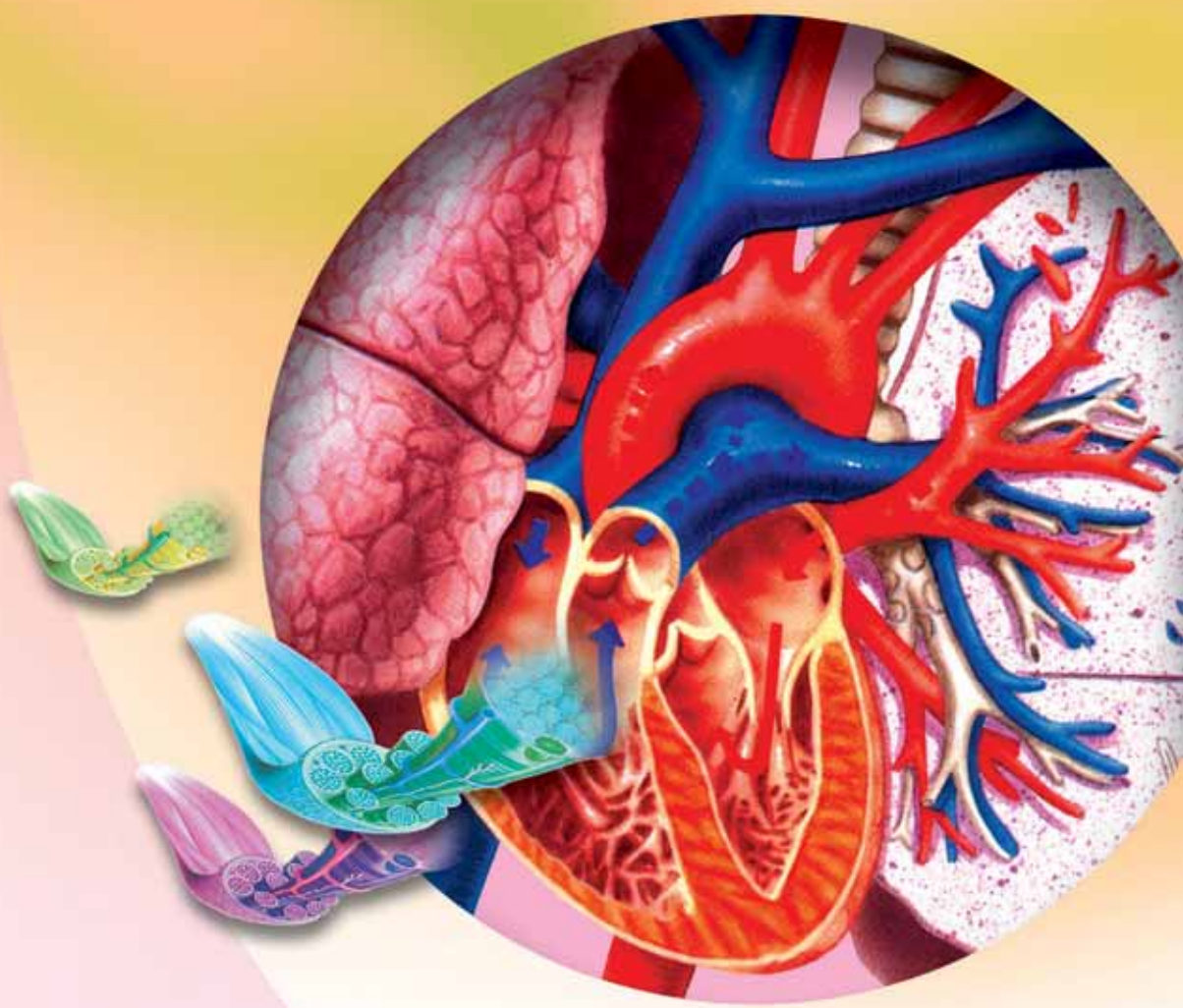
- Purnomo
- Sudjino
- Trijoko
- Suwarno Hadisusanto


# Biologi



## Kelas XI
## untuk SMA dan MA


**PUSAT PERBUKUAN**
**Departemen Pendidikan Nasional**

- Purnomo
- Sudjino
- Trijoko
- Suwarno Hadisusanto


# Biologi

## Kelas XI
untuk SMA dan MA


PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

# Biologi

untukSMA Kelas XI

Editor: W.H. Omegawati, Sri Lestari, Khori Ariyanti; ilustrator: K. Wijayanti; desainer kover: Heri Cahyono; perwajahan: Joko Tri Wahyono, Agus Suyono, Ucok Harahap, Eka Yunianti; koordinator artistik: Rahmat Isnaini; kontrol kualitas: Sri Lestari. Penanggung jawab produksi: Sriyono.

Ukuran Buku : 21 x 29,7 cm

574.07
BIO Biologi : Kelas XI untuk SMA dan MA / Purnomo… [et al] ; . — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vii, 386 hlm, : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 381
Indeks
ISBN 978-979-068-831-5 (no jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-836-0

1. Biologi-Studi dan Pengajaran I. Judul
II. Purnomo

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit PT. Intan Pariwara

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 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada 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 (*down load*), 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

# Mengapa Harus Inkuiri Ilmiah?

Pada tahun 1922 Fleming secara tidak sengaja **menemukan** sebuah antibiotik yang membunuh bakteri, tetapi tidak membunuh sel darah putih. **Penemuannya** itu diawali ketika dia sedang menderita flu. Ketika menderita flu, Fleming **membuat biakan** dari ingusnya di atas cawan petri. Saat **mengamati** cawan petri yang dipenuhi bakteri kuning, air matanya jatuh di atas cawan petri tersebut. Hari berikutnya dia **memeriksa** biakannya. Ia menemukan tempat yang bersih di tempat jatuhnya air mata. **Pengamatannya yang cermat** dan **keingintahuannya** yang tinggi menuntun Fleming pada **kesimpulan** yang benar: *air mata mengandung zat yang menyebabkan perusakan secara cepat (lisis) pada bakteri, tetapi tidak berbahaya terhadap jaringan tubuh*. Enzim yang ada pada air mata ia namakan lisosim (lysozyme). Walaupun diketahui bahwa lisosim tidak begitu penting-karena membunuh bakteri yang tidak berbahaya-tetapi **penemuan** ini menjadi pendahuluan untuk menemukan penisilin pada tahun 1928. (Dikutip dari *Serendipity: Penemuan-Penemuan di Bidang Sains yang Tidak Disengaja*, Pakar Raya, Bandung)

Coba perhatikan **kata kunci** berikut:

**menemukan**
**penemuannya**
**membuat biakan**
**mengamati**
**memeriksa**
**pengamatannya yang cermat**
**keingintahuannya**
**kesimpulan**
**penemuan**

Kata-kata di atas merupakan ciri-ciri kegiatan inkuiri ilmiah.

Sudahkah Anda melakukan kegiatan inkuiri ilmiah dalam mempelajari Biologi? Inkuiri ilmiah merupakan suatu proses yang ditempuh untuk memecahkan masalah, merencanakan eksperimen, melaksanakan eksperimen, mengumpulkan data dan menganalisis data, serta menarik kesimpulan. Jadi, inkuiri ilmiah melibatkan Anda secara mental maupun fisik untuk memecahkan suatu permasalahan yang diberikan. Dengan demikian, Anda akan terbiasa bersikap seperti para ilmuwan sains, yaitu teliti, tekun, objektif, kreatif, dan menghormati pendapat orang lain.

Dalam buku Biologi ini disajikan berbagai media bagi Anda untuk melakukan inkuiri ilmiah. Media inkuiri yang tersaji dalam buku ini meliputi **Eksperimen**, **Eksperimen Plus**, **Forum Diskusi**, **Tugas Mandiri**, dan **Tugas Kelompok**. Agar buku ini memberi manfaat sebesar-besarnya, bacalah terlebih dahulu halaman **Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?**. Semoga buku ini dapat membantu peserta didik mengembangkan sikap ilmiah melalui proses pembelajaran yang menekankan inkuiri ilmiah.

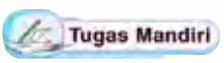
Klaten, Juni 2007
Penyusun

# Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?

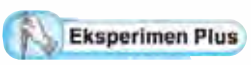
Halaman ini penting dibaca. Mengapa? Ibarat memasuki kota yang baru dikenal, membaca peta merupakan tindakan yang bijak. Anda tentu ingin menikmati setiap keindahan di kota itu, bukan? Demikian juga sebelum Anda mempelajari buku ini. Oleh karena itu, perhatikan setiap ikon dalam buku ini agar Anda dapat memperoleh manfaat yang maksimal dari buku ini.

Bagian ini berupa kata penting yang mendasari isi materi dalam suatu bab.

Kemampuan Anda bekerja sama dalam satu tim akan teruji melalui kegiatan ini.




Berupa tugas yang wajib Anda kerjakan untuk mengukur aspek kognitif.

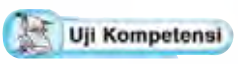



Media ini disajikan untuk melatih kemandirian dan kreativitas Anda dalam kegiatan praktikum di luar jam pelajaran.

Bagian ini memberikan Anda tambahan wawasan sekitar ilmu Biologi.

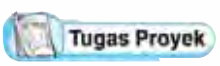
Kegiatan ini melatih Anda mengasah dan mengembangkan kemampuan Anda dalam memecahkan permasalahan. Kemukakan pendapat Anda dengan sikap ilmiah karena Anda calon biolog ulung.

Anda akan melatih keterampilan melakukan kegiatan praktikum melalui media ini sehingga tidak hanya mempelajari Biologi secara teoritis saja.




Pada media inilah pemahaman Anda akan terdeteksi. Kerjakan dengan baik dan buktikan bahwa Anda benar-benar memiliki kompetensi tentang materi itu. Ingat, jangan melanjutkan ke materi subbab berikutnya jika Anda tidak lolos dalam Uji Kompetensi ini.

Media ini membantu Anda mempersiapkan materi belajar.




Bertujuan menguji Anda bekerja sama dalam kelompok untuk menyelesaikan suatu masalah secara ilmiah serta pembuatan laporannya sesuai waktu yang ditentukan.

Media ini menyajikan soal-soal yang meliputi materi satu bab. Kinilah saatnya Anda untuk membuktikan kemampuan Anda dalam memahami materi dalam bab yang bersangkutan.

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

# Daftar Isi

**Kata Sambutan, iii**
**Mengapa Harus Inkuiri Ilmiah?, iv**
**Bagaimana Cara Menggunakan Buku Ini?,v**
**Daftar Isi, vi**

**Bab I Struktur dan Fungsi Sel**
A. Sejarah Penemuan Sel, **3**
B. Struktur dan Fungsi Bagian-Bagian Sel, **7**
C. Perbedaan Sel Hewan dengan Sel Tumbuhan, **27**

**Bab II Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan**
A. Jaringan Tumbuhan, **41**
B. Pengangkutan pada Tumbuhan, **53**
C. Organ pada Tumbuhan, **57**
D. Teknik Kultur Jaringan, **73**

**Bab III Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan Vertebrata**
A. Jaringan Hewan Vertebrata, **83**
B. Organ dan Sistem Organ, **98**

**Latihan Ulangan Blok 1**, **109**

**Bab IV Sistem Gerak pada Manusia dan Hewan Vertebrata**
A. Sistem Gerak Pasif, **115**
B. Sistem Gerak Aktif, **127**

**Bab V Sistem Sirkulasi Darah pada Manusia dan Hewan**
A. Sistem Sirkulasi Darah pada Manusia, **141**
B. Sistem Sirkulasi Darah pada Hewan, **163**

**Latihan Ulangan Blok 2**, **173**

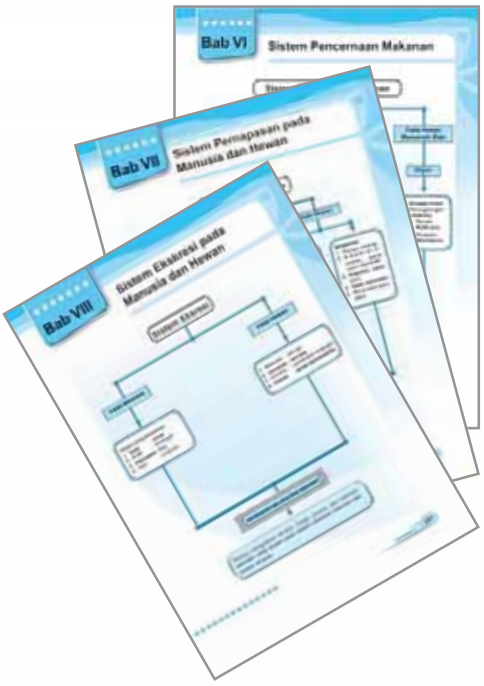
**Latihan Ulangan Semester**, **177**

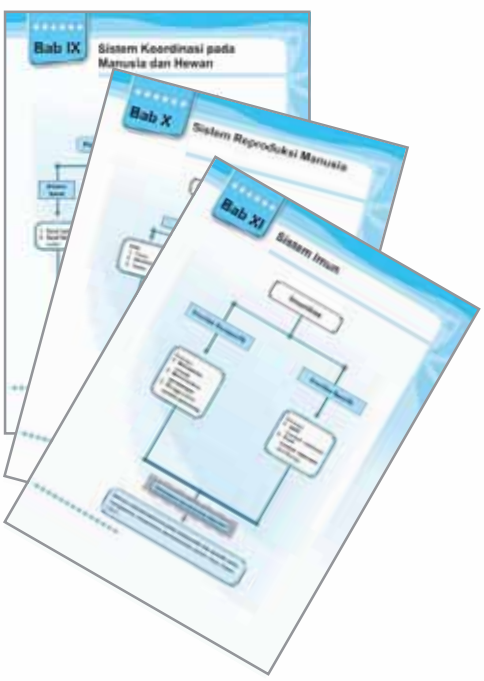
**Bab VI Sistem Pencernaan Makanan**
A. Organ-Organ Pencernaan, **183**
B. Makanan Sehat, Bergizi, dan Seimbang, **194**
C. Sistem Pencernaan pada Hewan Memamah Biak, **207**

**Bab VII Sistem Pernapasan pada Manusia dan Hewan**
A. Sistem Pernapasan pada Manusia, **219**
B. Sistem Pernapasan pada Hewan, **239**

**Bab VIII Sistem Ekskresi pada Manusia dan Hewan**
A. Sistem Ekskresi pada Manusia, **259**
B. Sistem Ekskresi pada Hewan, **274**

**Latihan Ulangan Blok 3**, **281**




**Bab IX Sistem Koordinasi pada Manusia dan Hewan**
A. Sistem Saraf, **287**
B. Sistem Endokrin, **300**
C. Sistem Indra, **305**
D. Sistem Koordinasi pada Hewan, **315**

**Bab X Sistem Reproduksi Manusia**
A. Alat dan Proses Reproduksi pada Manusia, **325**
B. Kesehatan Reproduksi pada Manusia, **338**

**Bab XI Sistem Imun**
A. Mekanisme Pembentukan Kekebalan Tubuh, **353**
B. Gangguan pada Kekebalan Tubuh, **361**

**Latihan Ulangan Blok 4**, **369**

**Latihan Ulangan Kenaikan Kelas**, **373**

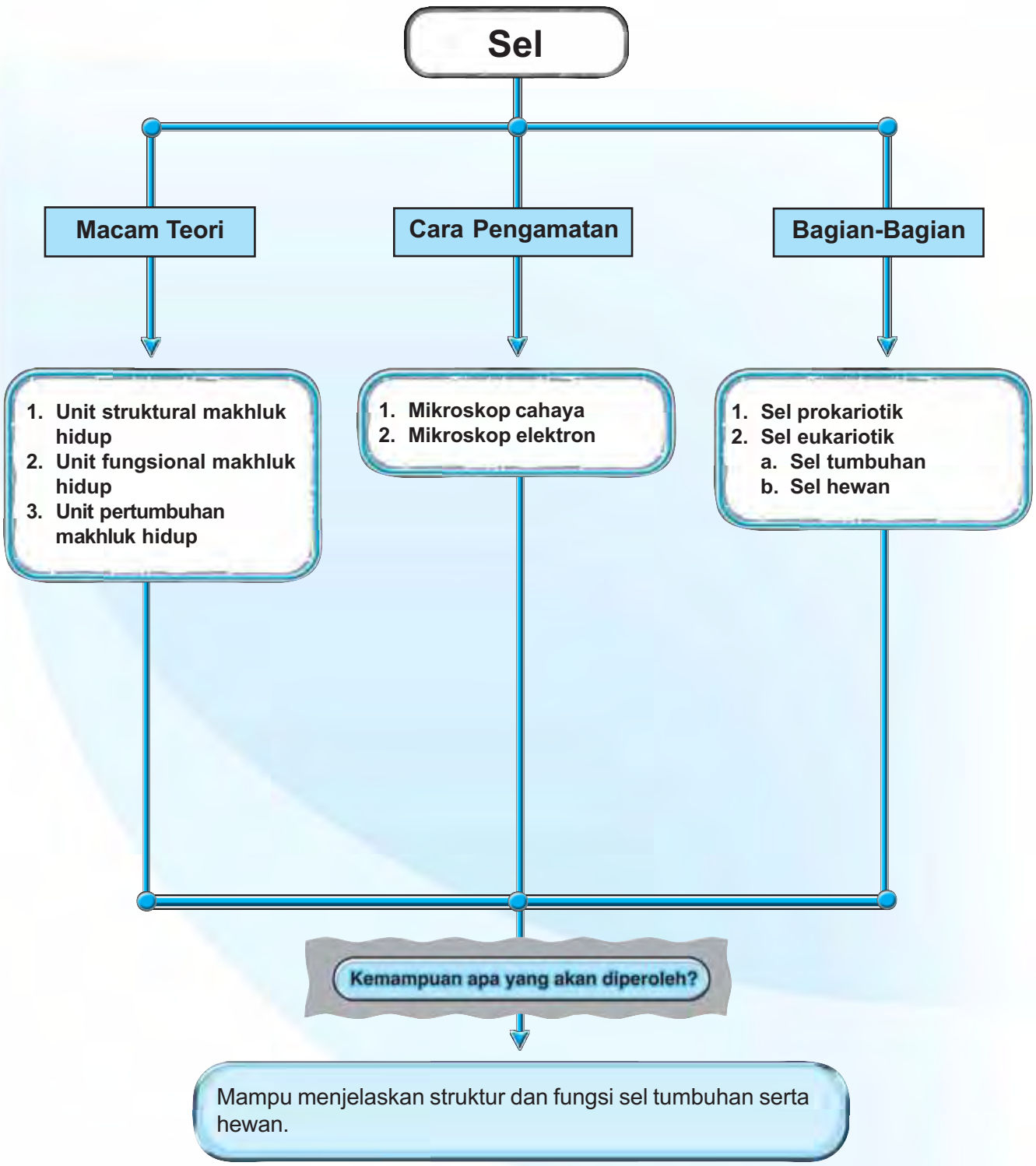
**Glosarium**, **377**

**Daftar Pustaka**, **381**

**Indeks**, **382**

**Kunci Jawaban Soal-Soal Terpilih**, **385**

# Bab I Struktur dan Fungsi Sel



## Selasar

**Sumber:** *Dunia Tumbuhan, Hamparan Dunia Ilmu Time-Life*

Perhatikan gambar di atas. Pada musim kemarau banyak pohon meranggas dan daunnya berguguran. Daun-daun itu dulu berwarna hijau kemudian menguning dan akhirnya gugur. Daun-daun yang gugur ini menunjukkan bahwa sel-selnya sudah mati. Apakah sel itu? Bagaimana sel-sel itu menyusun suatu organisme?

Setelah mempelajari bab ini diharapkan Anda akan memahami struktur dan fungsi sel sebagai unit terkecil kehidupan. Anda juga akan dapat memahami mekanisme transpor pada membran sel.

### Kata Kunci

sel
prokariotik
eukariotik
mikroskop
mikrometri
difusi
osmosis
transpor aktif
endositosis
eksositosis
organel sel

Secara struktural, sel merupakan penyusun makhluk hidup. Ada makhluk hidup bersel satu, ada pula yang bersel banyak. Sel merupakan unit terkecil dari makhluk hidup. Sel tidak dapat dibagi-bagi lagi menjadi bagian yang lebih kecil dan dapat berdiri sendiri. Sel juga merupakan kesatuan fungsional kehidupan. Ini berarti sel dapat melakukan proses kehidupan seperti perombakan, sintesis, respirasi, dan lain-lain. Anda telah mempelajari sedikit tentang sel ketika masih di SMP. Bab ini akan membahas tentang struktur sel dan fungsinya secara lebih mendalam.

# A. Sejarah Penemuan Sel

Sebelum mempelajari struktur dan fungsi sel, terlebih dahulu kita akan mempelajari sejarah penemuan sel dan cara mengamati sel.

## 1. Sejarah Penemuan Sel

Pada tahun 1665, **Robert Hooke** mengamati sayatan gabus dari batang *Quercus suber* menggunakan mikroskop. Ia menemukan adanya ruang-ruang kosong yang dibatasi dinding tebal dalam pengamatannya. Robert Hooke menyebut ruang-ruang kosong tersebut dengan istilah **cellulae** artinya sel. Sel yang ditemukan Robert Hooke merupakan sel-sel gabus yang telah mati. Perhatikan Gambar 1.1. Sejak penemuan itu, beberapa ilmuwan berlomba untuk mengetahui lebih banyak tentang sel.

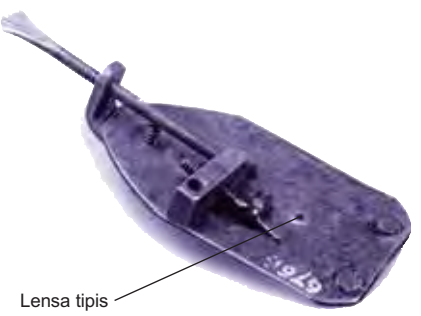
Ilmuwan Belanda bernama **Antonie van Leeuwenhoek** (1632–1723) merancang sebuah mikroskop kecil berlensa tunggal. Lihat Gambar 1.2. Mikroskop itu digunakan untuk mengamati air rendaman jerami. Ia menemukan organisme yang bergerak-gerak di dalam air, yang kemudian disebut bakteri. Antonie van Leeuwenhoek merupakan orang pertama yang menemukan sel hidup.

Perkembangan penemuan tentang sel mendorong berkembangnya persepsi tentang sel. Dari sinilah kemudian lahir teori-teori tentang sel. Beberapa teori tentang sel sebagai berikut.

**Sumber:** *Biology Life On Earth, Fifth Edition*

**Sumber:** *Biology Life On Earth, Fifth Edition*

**Gambar 1.1**
Sel gabus (atas) dan karya Robert




**Sumber:** *www.deutsches.de*

**Gambar 1.2**
Mikroskop Leeuwenhoek

### a. Sel Merupakan Kesatuan atau Unit Struktural Makhluk Hidup

Teori ini dikemukakan oleh **Jacob Schleiden** (1804–1881) dan **Theodor Schwan** (1810–1882). Tahun 1839 Schleiden, ahli botani berkebangsaan Jerman, mengadakan pengamatan mikroskopis terhadap sel tumbuhan. Pada waktu yang bersamaan Theodor Schwan melakukan pengamatan terhadap sel hewan. Dari hasil pengamatannya mereka menarik kesimpulan sebagai berikut.

1) Tiap makhluk hidup terdiri dari sel.
2) Sel merupakan unit struktural terkecil pada makhluk hidup.
3) Organisme bersel tunggal terdiri dari sebuah sel, organisme lain yang tersusun lebih dari satu sel disebut organisme bersel banyak.

### b. Sel Sebagai Unit Fungsional Makhluk Hidup

**Max Schultze** (1825–1874) menyatakan bahwa protoplasma merupakan dasar fisik kehidupan. Protoplasma bukan hanya bagian struktural sel, tetapi juga merupakan bagian penting sel sebagai tempat berlangsung reaksi-reaksi kimia kehidupan. Berdasarkan hal ini muncullah teori sel yang menyatakan bahwa sel merupakan kesatuan fungsional kehidupan.

### c. Sel Sebagai Unit Pertumbuhan Makhluk Hidup

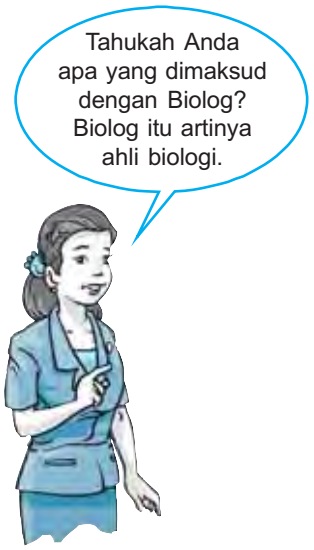
**Rudolph Virchow** (1821–1902) berpendapat bahwa *omnis cellula ex cellulae* (semua sel berasal dari sel sebelumnya).

### d. Sel Sebagai Unit Hereditas Makhluk Hidup

Ilmu pengetahuan dan teknologi mendorong penemuan unit-unit penurunan sifat yang terdapat dalam nukleus, yaitu kromosom. Dalam kromosom terdapat gen yang merupakan unit pembawa sifat. Melalui penemuan ini muncullah teori bahwa sel merupakan unit hereditas makhluk hidup.

Penemuan-penemuan yang mendukung perkembangan teori sel sebagai berikut.

1) **Robert Brown** (1812), Biolog Skotlandia, menemukan benda kecil terapung dalam cairan sel yang ia sebut **nukleus**.
2) **Felix Durjadin** (1835), beranggapan bahwa bagian terpenting sel adalah cairan sel yang sekarang disebut **protoplasma**.
3) **Johanes Purkinye** (1787–1869), orang pertama yang mengajukan istilah protoplasma untuk menamai bahan embrional sel telur.




## 2. Cara Mengamati Sel

Sel berukuran sangat kecil atau bersifat mikroskopis. Oleh karena itu, diperlukan alat khusus untuk mengamati sel secara jelas. Alat inilah yang dikenal sebagai mikroskop.

Saat ini telah dikenal beberapa jenis mikroskop dari yang sederhana hingga yang canggih. Jenis-jenis mikroskop tersebut yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop elektron. Lihat Gambar 1.3.

### a. Mikroskop Cahaya

Mikroskop cahaya biasa kita gunakan di laboratorium. Adapun ciri-ciri mikroskop cahaya sebagai berikut.

1) Mikroskop cahaya biasanya digunakan untuk mengamati morfologi objek yang dilihat.
2) Mikroskop cahaya menggunakan cahaya sebagai sumber penerangan. Oleh karena itu, diperlukan lensa untuk memperbesar bayangan benda.
3) Preparat (sediaan) harus tembus cahaya supaya dapat diamati dengan jelas. Oleh karena itu, preparat harus diiris setipis mungkin dengan ketebalan tidak lebih dari 50 mikron. Biasanya menggunakan medium air yang diteteskan ke atas gelas benda.

Mikroskop monokuler

Mikroskop binokuler

**Sumber:** *Cara Kerja Teleskop dan Mikroskop, R. Worvill*

**Gambar 1.3**
Beberapa jenis mikroskop cahaya

4) Objek dapat diamati dalam keadaan hidup atau mati.
5) Pengamat dapat mengamati langsung melalui lensa okuler sehingga pengamat dapat mengetahui bentuk, warna, dan gerakan objek.
6) Bayangan dapat diperbesar hingga mencapai 100×, 400×, dan 1.000×.

Anda pernah mempelajari mengenai mikroskop cahaya ketika duduk di kelas VII SMP. Sekarang cobalah Anda ingat-ingat kembali cara menggunakan mikroskop cahaya tersebut. Setelah itu, lakukan kegiatan berikut.

## Eksperimen 1

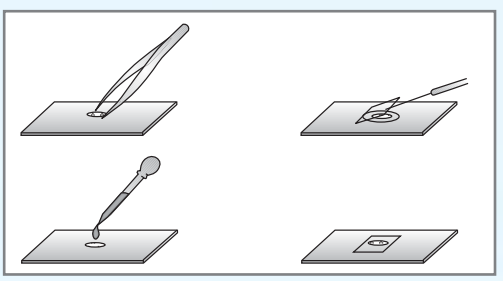
### Mengamati Sel Gabus

Sediakan mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pisau atau silet tajam, pinset, air, dan gabus kering dari batang ketela pohon. Sayatlah gabus setipis mungkin secara melintang. Letakkan di tengah gelas benda dan tetesi dengan air. Tutuplah secara hati-hati dengan gelas penutup.

Setelah itu pasanglah sediaan pada meja preparat dan amatilah dengan perbesaran lemah. Gambarlah dan beri keterangan.

**Pertanyaan:**
1. Bagaimana bentuk sel gabus?
2. Dapatkah Anda mengamati sel gabus dengan mikroskop cahaya? Mengapa?
3. Bandingkan gambar Anda dengan gambar di bawah. Apakah ada perbedaan?
4. Apa kesimpulan Anda mengenai mikroskop cahaya?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.



**Sel-sel gabus**

### b. Mikroskop Elektron

Mikroskop elektron seperti terlihat pada Gambar 1.4 merupakan hasil perkembangan yang lebih maju dari mikroskop cahaya. Adapun ciri-ciri mikroskop elektron sebagai berikut.

1) Mikroskop elektron menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya dan medan magnet sebagai pengganti lensa. Bayangan ditampilkan di layar monitor.
2) Biasanya digunakan untuk mengamati bagian-bagian sel, misalnya organel, membran, atau molekul besar seperti DNA.
3) Tidak dapat digunakan untuk mengamati objek yang masih hidup.
4) Objek yang akan diamati harus sangat tipis dan berada di ruang hampa udara agar dapat ditembus elektron.
5) Bayangan yang diperoleh dapat diperbesar hingga mencapai sejuta kali.

**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole and Glenn*

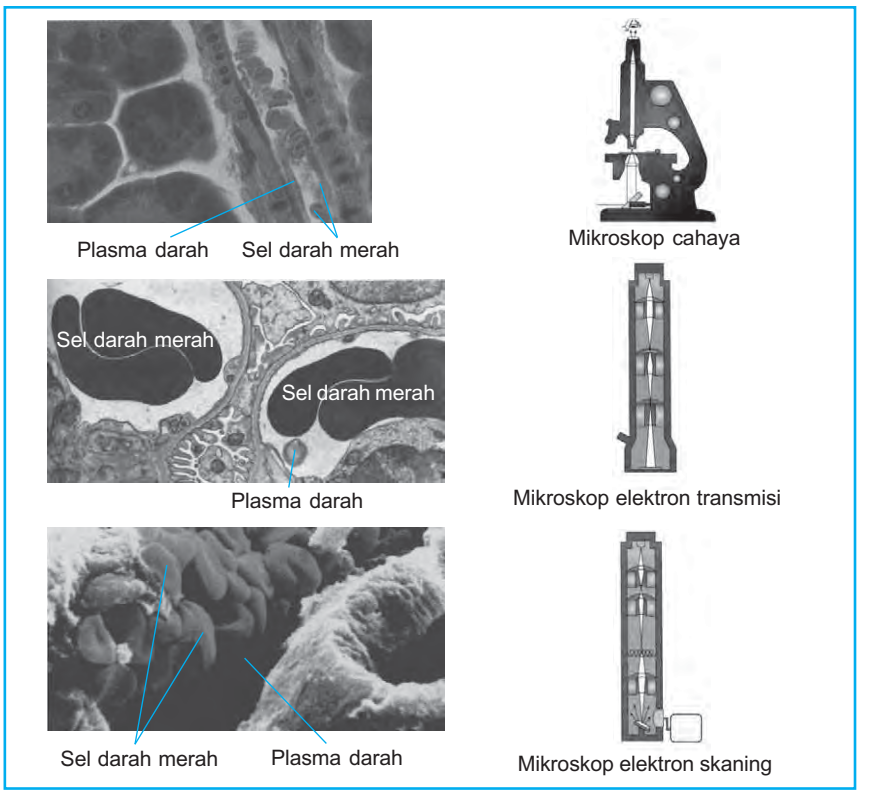
**Gambar 1.4**
Mikroskop elektron

## Tahukah Anda

**Bagaimana Sel Dapat Diamati dengan Jelas?**

Gambaran sebuah sel beserta bagian-bagiannya pada awalnya memang sukar diperoleh. Namun, dengan semakin berkembang ilmu pengetahuan dan teknologi gambaran sel mudah diperoleh. Diperlukan sayatan sel yang tipis untuk mendapatkan gambaran sel secara rinci. Demikian pula dengan cara pewarnaan yang benar dan alat optik yang memadai. Tiap-tiap spesimen jaringan diwarnai kemudian dipotong menggunakan alat khusus, yaitu **mikrotom**. Dari hasil pemotongan ini akan didapatkan selapis jaringan sangat tipis. Irisan ini kemudian dipasang pada film negatif. Hasil irisan mikrotom berupa preparat dengan ketebalan satu sel. Oleh karena itu, hampir semua detail sel dapat diamati pada saat yang sama.

Mikroskop elektron ada dua macam, yaitu mikroskop elektron skaning (SEM : *Scanning Electron Microscope*) dan mikroskop elektron transmisi (TEM : *Transmission Electron Microscope*). Mikroskop elektron skaning digunakan untuk mengamati secara detail permukaan sel, sedangkan mikroskop elektron transmisi digunakan untuk mengamati struktur internal sel. Perhatikan hasil pengamatan suatu objek menggunakan tiga jenis mikroskop yang berbeda pada Gambar 1.5 berikut.




**Sumber:** *Inquiry Into Life, Mader, S.S.*

**Gambar 1.5**
Hasil pengamatan sel darah merah

Di depan, Anda telah melakukan kegiatan mengamati sel gabus dengan mikroskop cahaya. Bagaimana bentuk sebuah sel jika diamati dengan mikroskop elektron? Telah disebutkan di depan bahwa mikroskop elektron mempunyai daya perbesaran yang lebih besar daripada mikroskop cahaya, yaitu dengan perbesaran maksimum 1.000.000 kali. Sekarang, lakukanlah kegiatan berikut untuk membandingkan hasil pengamatan sel-sel daun menggunakan mikroskop cahaya dan mikroskop elektron.

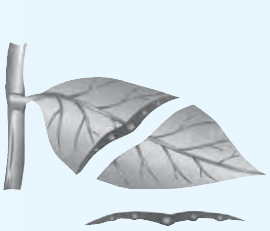
## Eksperimen 2

**Membandingkan Hasil Pengamatan Sel Daun Menggunakan Mikroskop Cahaya dan Mikroskop Elektron**

Sediakan mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pisau atau silet tajam, pinset, air, dan daun yang ada di sekitar Anda. Sayatlah daun tersebut setipis mungkin secara melintang. Letakkan sayatan tersebut di tengah gelas benda dan tetesi dengan air. Tutuplah secara hati-hati dengan gelas penutup.

Setelah itu pasanglah sediaan pada meja preparat dan amatilah. Mulailah dari perbesaran

lemah terlebih dahulu. Gambarlah dan beri keterangan. Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan gambar sel daun hasil pengamatan yang menggunakan mikroskop elektron (perhatikan gambar di bawah).



**Pertanyaan:**

1. Bagaimana bentuk sel daun yang Anda amati dengan mikroskop cahaya? Bagian-bagian apa saja yang bisa Anda amati?
2. Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan gambar sel daun yang diamati dengan mikroskop elektron di depan. Apakah sel daun yang Anda amati sama dengan gambar tersebut? Manakah yang lebih jelas? Mengapa demikian?
3. Apa kesimpulan Anda mengenai mikroskop cahaya dan mikroskop elektron?

Tulislah laporan hasil eksperimen Anda dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Tahukah Anda, bahwa sel yang telah Anda amati terlihat lebih besar dari ukuran sebenarnya. Ukuran sel yang sesungguhnya jauh lebih kecil daripada yang tampak di mikroskop. Oleh karena itu, diperlukan pengetahuan tentang mikrometri untuk mengetahui ukuran sel yang sebenarnya. Mikrometri merupakan pengukuran preparat di bawah mikroskop untuk mengetahui ukuran (tebal atau panjang) sel atau bagian sel yang diamati. Apakah Anda sudah mengetahui bagian-bagian sel itu? Nah, pada subbab berikutnya Anda akan mempelajari struktur dan fungsi bagian-bagian sel.

### Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Mengapa sel disebut sebagai unit fungsional pada makhluk hidup? Jelaskan jawaban Anda.
2. Mengapa pada mikroskop cahaya harus menggunakan preparat tembus cahaya?
3. Mengapa mikroskop elektron tidak dapat digunakan untuk mengamati objek yang masih hidup?
4. Jika Anda ingin mengamati bagian-bagian sel seperti mitokondria, mikroskop apa yang akan Anda gunakan? Mengapa Anda memilih jenis mikroskop tersebut?

Berdasarkan teori-teori sel yang telah dikemukakan di depan, penelitian mengenai sel pun semakin berkembang. Akhirnya, dapat diketahui struktur sel dan fungsi bagian-bagian sel. Bagaimana struktur sel itu? Apa fungsi bagian-bagian sel itu?

## B. Struktur dan Fungsi Bagian-Bagian Sel

Di depan telah dibahas mengenai teori sel. Menurut Schleiden dan Schwan serta didukung Max Schultze, sel merupakan unit struktural terkecil dan merupakan kesatuan fungsional kehidupan. Setiap sel mempunyai struktur dan fungsi yang jelas untuk menjaga kelangsungan aktivitas kehidupan. Uraian berikut akan menjelaskan tentang struktur sel dan fungsi bagian-bagian sel tersebut.

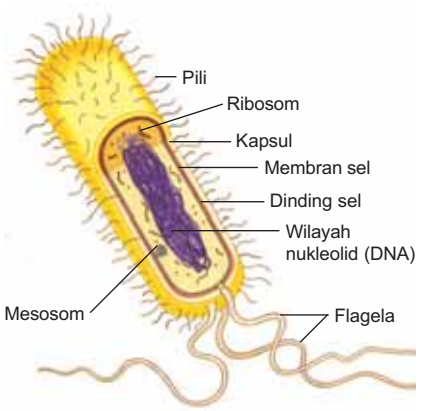
Para ahli menggunakan mikroskop elektron yang dapat memperbesar objek pengamatan sampai 1.000.000×. Dengan perbesaran ini, isi sel dalam sitoplasma yang menjalankan berbagai

fungsi dapat dilihat. Sebuah sel mempunyai tiga bagian utama yaitu membran sel (selaput plasma), sitoplasma, dan organel-organel sel. Nukleus atau inti sel merupakan organel terbesar.

Struktur sel dibagi menjadi struktur sel prokariotik dan eukariotik. Setiap organisme tersusun dari salah satu tipe struktur sel tersebut, yaitu prokariotik atau eukariotik. Sel prokariotik hanya terdapat pada kingdom atau dunia Monera, dunia Archaebacteria (Archae), dan dunia Eubacteria (Bacteria). Adapun dunia Animalia, Plantae, Fungi, dan dunia Protista mempunyai struktur sel eukariotik. Apa perbedaan struktur sel prokariotik dengan eukariotik?

## 1. Struktur Sel Prokariotik

Semua sel prokariotik mempunyai membran plasma, nukleoid berupa DNA dan RNA, serta sitoplasma yang mengandung ribosom. Sel prokariotik tidak memiliki membran inti sehingga bahan inti yang berada dalam sel mengadakan kontak langsung dengan protoplasma. Sel prokariotik juga tidak memiliki sistem endomembran (membran dalam), seperti retikulum endoplasma dan kompleks Golgi. Selain itu, sel prokariotik juga tidak memiliki mitokondria dan kloroplas, tetapi mempunyai struktur yang berfungsi sama dengan keduanya, yaitu mesosom dan kromatofor. Contoh sel prokariotik adalah bakteri (Bacteria) dan Sianobakteri (Cyanobacteria). Perhatikan gambar struktur sel bakteri *Escherichia coli* yang mewakili sel prokariotik pada Gambar 1.6.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 1.6**
Struktur sel *E. coli*

Adapun bagian-bagian sel bakteri sebagai berikut.

### a. Dinding Sel

Dinding sel bakteri dan Archae tersusun atas peptidoglikan, lipid, dan protein. Dinding sel berfungsi sebagai pelindung dan pemberi bentuk yang tetap. Pada dinding sel terdapat pori-pori sebagai jalan keluar masuknya molekul-molekul.

### b. Membran Plasma

Membran sel atau membran plasma tersusun atas molekul lipid dan protein. Membran plasma berfungsi sebagai pelindung molekular sel terhadap lingkungan di sekitarnya, dengan jalan mengatur lalu lintas molekul dan ion-ion dari dalam.

### c. Sitoplasma

Sitoplasma tersusun atas air, protein, lipid, mineral, dan enzim-enzim. Enzim-enzim digunakan untuk mencerna makanan secara ekstraselular dan untuk melakukan proses metabolisme sel. Metabolisme sel meliputi proses penyusunan (anabolisme) dan penguraian (katabolisme) zat-zat.

### d. Mesosom

Kadang-kadang pada tempat tertentu, membran plasma melekuk ke dalam membentuk bangunan yang disebut **mesosom**. Mesosom berfungsi sebagai penghasil energi. Biasanya mesosom terletak dekat dinding sel yang baru terbentuk pada saat pembelahan biner sel bakteri. Pada membran mesosom terdapat enzim-enzim pernapasan yang berperan dalam reaksi-reaksi oksidasi untuk menghasilkan energi.

### e. Ribosom

Ribosom merupakan organel tempat berlangsungnya sintesis protein. Ukurannya sangat kecil, berdiameter antara 15–20 nm (1 nanometer = $10^{-9}$ meter). Di dalam sel *E. coli* terkandung 15.000 butir ribosom atau sekitar 25% massa total sel bakteri.

### f. DNA

DNA atau asam deoksiribonukleat merupakan persenyawaan yang tersusun atas gula deoksiribosa, fosfat, dan basa-basa nitrogen. DNA berfungsi sebagai pembawa informasi genetik, yaitu sifat-sifat yang harus diwariskan kepada keturunannya. Oleh sebab itu, DNA disebut pula sebagai materi genetik. Pembahasan lebih mendetail akan Anda jumpai di kelas XII.

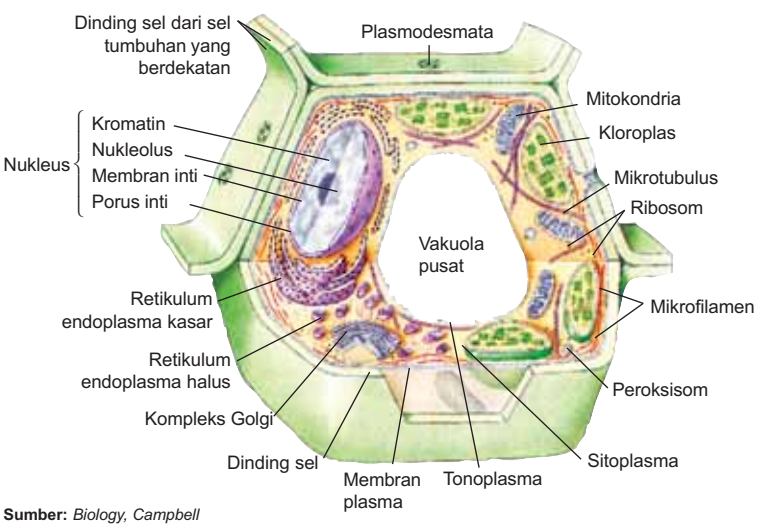
### g. RNA

RNA atau asam ribonukleat merupakan persenyawaan hasil transkripsi DNA. Jadi, bagian tertentu DNA melakukan transkripsi membentuk RNA. RNA membawa kode-kode genetik sesuai pesanan DNA. Selanjutnya, kode-kode genetik itu akan diterjemahkan dalam bentuk urutan asam amino dalam proses sintesis protein.

Demikianlah struktur sel prokariotik pada bakteri *E. coli*. Ternyata, bakteri mempunyai bagian-bagian sel yang rumit. Setiap bagian sel ini mempunyai peranan yang penting bagi kelangsungan hidup sebuah sel. Namun, bagian-bagian sel itu tidak dapat berdiri sendiri dalam menjalankan fungsi sebuah sel, melainkan harus bekerja sama dengan bagian sel lain membentuk satu kesatuan. Bagaimana dengan sel eukariotik?

## 2. Struktur Sel Eukariotik

Semua sel eukariotik memiliki membran inti. Selain itu, sel eukariotik memiliki sistem endomembran, yakni memiliki organel-organel bermembran seperti retikulum endoplasma, kompleks Golgi, mitokondria, dan lisosom. Sel eukariotik juga memiliki sentriol. Perhatikan Gambar 1.7 tentang struktur sel eukariotik di bawah ini.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 1.7**
Struktur sel eukariotik pada tumbuhan

Berikut ini akan dibahas mengenai struktur sel eukariotik yang meliputi membran plasma, sitoplasma, dan organel-organel sel (ribosom, kompleks Golgi, mitokondria, lisosom, badan mikro, dan mikrotubulus).

### a. Membran Sel (Selaput Plasma)

Membran sel merupakan bagian terluar sel yang membatasi bagian dalam sel dengan lingkungan luar. Membran sel merupakan selaput selektif permeabel, artinya hanya dapat dilalui molekul-molekul tertentu seperti glukosa, asam amino, gliserol, dan berbagai ion.

Membran sel mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut.

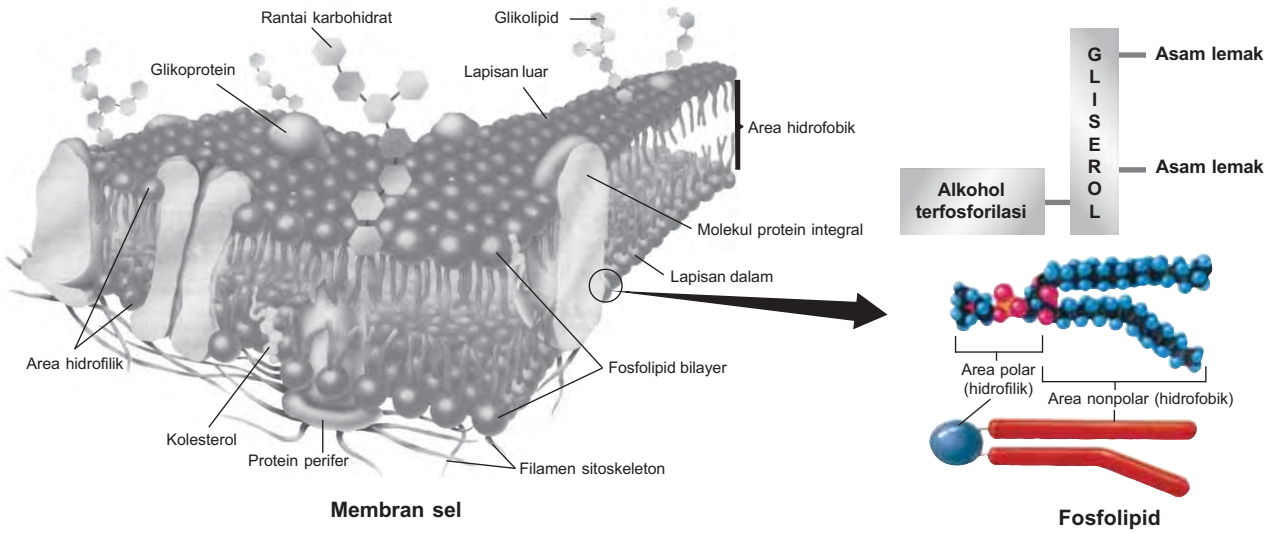
1) Sebagai reseptor (penerima) rangsang dari luar, seperti hormon dan bahan kimia lain, baik dari lingkungan luar maupun dari bagian lain dalam organisme itu sendiri.
2) Melindungi agar isi sel tidak keluar meninggalkan sel.
3) Mengontrol zat-zat yang boleh masuk maupun keluar meninggalkan sel. Hal inilah yang menyebabkan membran plasma bersifat semipermeabel (selektif permeabel).
4) Sebagai tempat terjadinya kegiatan biokimiawi, seperti reaksi oksidasi dan respirasi.

Berdasarkan analisis kimiawi dapat diketahui bahwa hampir seluruh membran sel terdiri atas lapisan protein dan lapisan lipid (lipoprotein). Membran plasma terdiri atas dua lapisan, yaitu berupa *lapisan lipid rangkap dua* (*lipid bilayer*).

Lapisan lipid disusun oleh fosfolipid. **Fosfolipid** adalah lipid yang mengandung gugus fosfat dan terdiri atas *bagian kepala (polar head)* dan *bagian ekor (nonpolar tail)*. Bagian kepala bersifat **hidrofilik** (suka air), sedangkan bagian ekor bersifat **hidrofobik** (tidak suka air). Lipid terdiri atas fosfolipid, glikolipid, dan sterol.

1) Fosfolipid, yaitu lipid yang mengandung gugusan fosfat.
2) Glikolipid, yaitu lipid yang mengandung karbohidrat.
3) Sterol, yaitu lipid alkohol terutama kolesterol.

Lapisan protein membran sel terdiri atas glikoprotein. Lapisan protein membentuk dua macam lapisan, yaitu *lapisan protein perifer* atau *ekstrinsik* dan *lapisan protein integral* atau *intrinsik*. Lapisan protein perifer membungkus bagian kepala (*polar head*) lipid rangkap dua bagian luar. Lapisan protein integral membungkus bagian kepala (*polar head*) lipid rangkap dua bagian dalam. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.8 berikut.




**Sumber:** *Inquiry Into Life, Mader, S.S.*

**Gambar 1.8**
Struktur membran sel dan fosfolipid

Di depan telah dijelaskan bahwa membran plasma bersifat selektif permeabel (semipermeabel) yang artinya membran plasma dapat dilalui oleh molekul atau ion tertentu. Perpindahan molekul atau ion melewati membran ada dua macam, yaitu transpor pasif dan transpor aktif.

1) **Transpor pasif** adalah perpindahan molekul atau ion tanpa menggunakan energi sel. Perpindahan molekul tersebut terjadi secara spontan dari konsentrasi tinggi ke rendah. Contoh transpor pasif adalah difusi dan osmosis.
2) **Transpor aktif** adalah perpindahan molekul atau ion menggunakan energi dari sel itu. Contoh transpor aktif adalah pompa ion natrium ($Na^+$)/kalium ($K^+$), endositosis, dan eksositosis.

Apa perbedaan antara difusi dengan osmosis? Uraian berikut akan membahas proses terjadinya transpor pasif dan transpor aktif dengan lebih rinci.

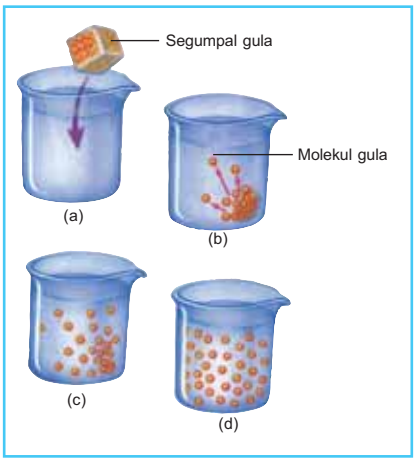
### 1) *Difusi*

**Difusi** adalah perpindahan molekul-molekul dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah baik melalui membran plasma ataupun tidak. Molekul dan ion yang terlarut dalam air bergerak secara acak dengan konstan. Gerakan acak ini mendorong terjadinya difusi.

Difusi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu difusi sederhana dan difusi terbantu (*facilitated diffusion*).

#### a) *Difusi Sederhana*

Molekul zat dapat berdifusi secara spontan hingga dicapai kerapatan yang sama dalam suatu ruangan. Sebagai contoh, setetes parfum akan menyebar ke seluruh ruangan (difusi gas di dalam medium udara).




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.9**
Menyebarnya molekul gula pada proses difusi

Molekul dari sesendok gula akan menyebar ke seluruh volume air dalam gelas meskipun tanpa diaduk (difusi zat padat di dalam medium air) sehingga kerapatan zat tersebut merata. Perhatikan gambar proses terjadinya difusi di samping (Gambar 1.9).

Peristiwa difusi sederhana dapat diamati ketika kita memasukkan segumpal gula ke dalam air (a), molekul-molekulnya terlarut (b), dan tersebar (berdifusi) (c). Pada akhirnya proses difusi menyebabkan gula tersebar merata ke dalam air (d).

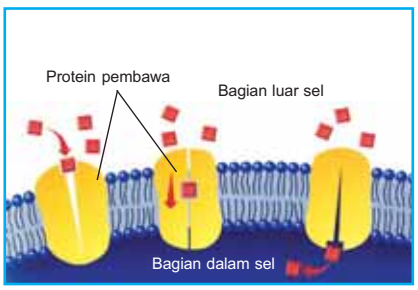
**Tugas Mandiri**

Carilah contoh lain adanya proses difusi sederhana dalam kehidupan sehari-hari. Carilah sebanyak-banyaknya, kemudian bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

b) *Difusi Terbantu*

Difusi terbantu merupakan proses difusi dengan perantara protein pembawa (*carrier protein*). Arah perpindahan molekul seperti halnya pada difusi biasa yaitu dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah, hanya saja protein pembawa membantu proses perpindahan molekul ini.

Difusi terbantu merupakan transpor melalui media pembawa. Pada proses ini, molekul diikat oleh reseptor pada sisi luar sel dan dilewatkan melalui membran plasma oleh protein transmembran yang telah mengalami perubahan susunan. Setelah itu, protein pembawa kembali pada susunan semula. Protein pembawa juga dapat membuat celah yang dapat dilalui oleh ion-ion seperti $Cl^-$ dan $Na^+$. Perhatikan skema difusi terbantu pada Gambar 1.10 di samping.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.10**
Skema difusi terbantu

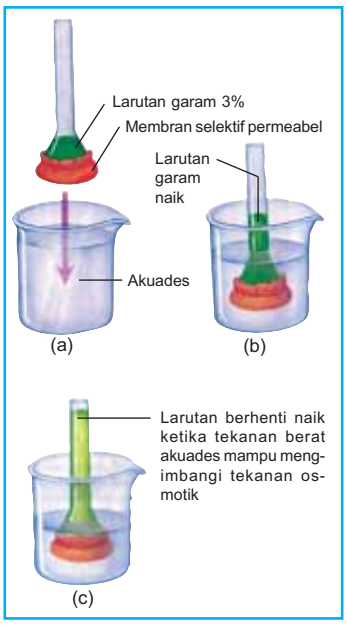
## 2) *Osmosis*

**Osmosis** adalah perpindahan molekul air melalui membran semipermeabel dari larutan yang konsentrasi airnya tinggi ke larutan yang konsentrasi airnya rendah. Dengan kata lain, osmosis juga berarti perpindahan molekul dari larutan berkepekatan rendah (hipotonis) ke larutan berkepekatan tinggi (hipertonis) melalui selaput (membran) semipermeabel.

Perhatikan skema osmosis pada Gambar 1.11 agar Anda lebih paham tentang proses terjadinya osmosis.

a) Lubang bawah tabung gelas yang berisi larutan garam ditutup dengan membran selektif permeabel, yang dapat dilewati molekul air tetapi tidak dapat dilewati garam.
b) Ketika tabung dimasukkan dalam gelas beker berisi akuades, molekul air berosmosis ke dalam tabung sehingga volume larutan dalam tabung bertambah.
c) Larutan berhenti naik ketika tekanan berat akuades mampu mengimbangi tekanan osmotik.

Bagaimana proses osmosis terjadi? Lakukan kegiatan berikut ini untuk mengamati proses terjadinya osmosis.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.11**
Proses osmosis

## Eksperimen 3

### Mengamati Proses Osmosis

Sediakan kentang atau wortel, larutan yodium (1%, 10%, dan 100%), 3 buah *beaker glass* (gelas beker) 50 ml, penggaris, dan silet. Potonglah kentang atau wortel menjadi 15 kubus berukuran 1 cm × 1 cm × 1 cm. Kemudian siapkan 3 buah gelas beker 50 ml dan berilah kode A, B, dan C. Tuangkan larutan yodium 1% ke dalam gelas beker A, larutan yodium 10% ke dalam gelas beker B, dan larutan yodium 100% ke dalam gelas beker C. Masukkan 5 buah kubus kentang atau wortel ke dalam tiap-tiap gelas beker. Setiap interval 5 menit, keluarkan sebuah kubus kentang atau wortel dari tiap-tiap gelas beker dan potonglah menjadi 2 bagian dengan silet. Selanjutnya, ukurlah jarak larutan yodium yang masuk dalam kubus tersebut mulai dari tepi irisan kubus menuju ke daerah tengah yang masih dapat teramati warna larutan yodiumnya. Hitunglah jarak rata-ratanya selama waktu 25 menit.

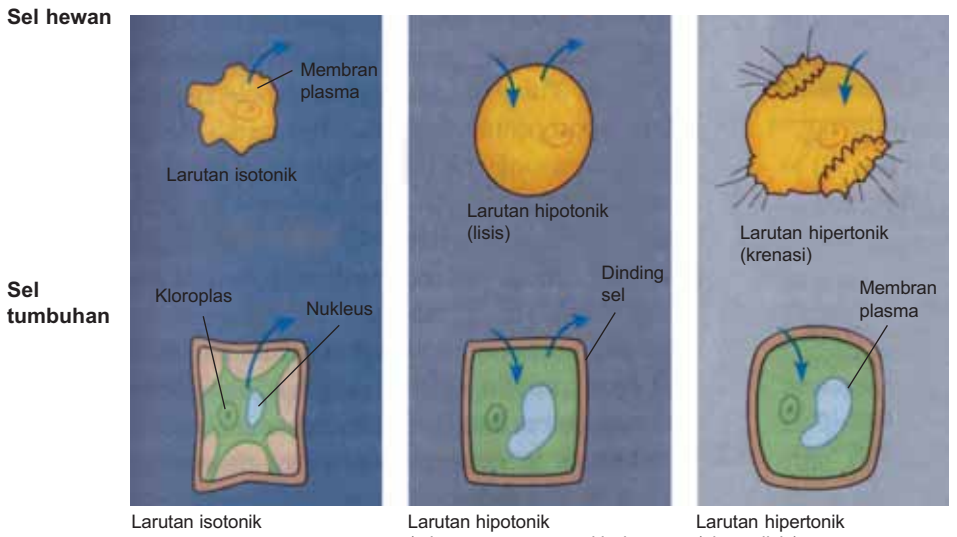
Pertanyaan:

1. Apa yang terjadi pada kentang atau wortel pada tiap-tiap gelas beker? Mengapa demikian?
2. Bagaimana jarak rata-rata pada kubus kentang atau wortel pada tiap-tiap gelas beker selama interval waktu 25 menit?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan presentasikan.

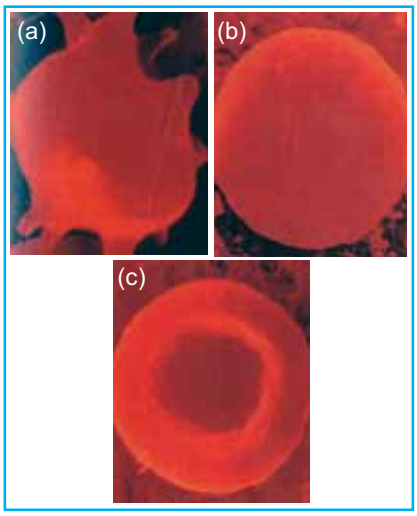
Peristiwa osmosis terjadi dalam sel. Bila konsentrasi larutan dalam sel tinggi, air akan masuk sel dan terjadi endosmosis. Hal ini menyebabkan tekanan osmosis sel menjadi tinggi. Keadaan yang demikian dapat memecahkan sel (lisis). Jadi, lisis adalah hancurnya sel karena rusaknya atau robeknya membran plasma. Sebaliknya, apabila konsentrasi larutan di luar sel lebih tinggi, air dalam sel akan keluar dan terjadi eksosmosis.

Eksosmosis pada hewan akan menyebabkan pengerutan sel yang disebut **krenasi** dan pada tumbuhan akan menyebabkan terlepasnya membran dari dinding sel yang disebut **plasmolisis**. Perhatikan Gambar 1.12 berikut.




**Sumber:** *Inquiry Into Life, Mader, S. S.*

**Gambar 1.12**
Osmosis pada sel hewan dan sel tumbuhan




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.13**
Kondisi sel darah merah dalam berbagai larutan.
(a) larutan hipertonik
(b) larutan isotonik
(c) larutan hipotonik

Dari Gambar 1.12 dapat diketahui bahwa sel hewan dapat mengalami lisis (pecah) apabila larutan di luar sel bersifat hipotonik. Sebaliknya, sel hewan akan mengalami krenasi apabila larutan diluar sel bersifat hipertonik. Perhatikan contoh berikut agar Anda mengetahui lebih jelas mengenai terjadinya krenasi dan lisis pada sel darah merah.

Cermati tiga bentuk sel darah merah pada Gambar 1.13. Apakah Anda menemukan perbedaannya?

Jika sel darah merah ditempatkan dalam air laut, maka cairan sel akan keluar dengan cara osmosis dan sel mengerut (krenasi). Hal ini karena air laut mengandung jumlah molekul air yang lebih kecil daripada sitoplasma sel darah merah. Air laut hipertonik terhadap sitoplasma sel. Perhatikan Gambar 1.13 (a).

Jika sel darah merah itu ditempatkan dalam media larutan yang konsentrasinya sama dengan sitoplasma (plasma darah atau larutan garam 0,9%), sel darah itu tidak akan mendapat tambahan atau kehilangan air dengan cara osmosis. Oleh karena itu, bentuk sel darah merah itu tetap. Larutan demikian disebut isotonik. Perhatikan Gambar 1.13 (b).

Jika sel darah merah dimasukkan dalam air murni maka molekul air akan berosmosis ke dalamnya. Osmosis ini terjadi karena di luar sel (100%) terdapat konsentrasi air yang lebih tinggi daripada di dalam sel. Air di sekitar sel itu disebut hipotonik terhadap sitoplasma sel. Membran sel dari sel darah merah sangat rapuh dan tidak tahan akan peningkatan tekanan di dalam sel. Akibatnya sel itu semakin mengembang dan akhirnya mengalami hemolisis (pecah). Perhatikan Gambar 1.13 (c).

Lakukan Eksperimen 4 berikut ini untuk memperjelas pengetahuan Anda mengenai terjadinya krenasi dan plasmolisis.

## Eksperimen 4

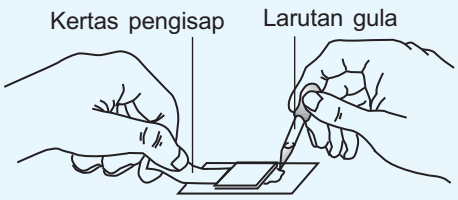
### Mengamati Terjadinya Krenasi dan Plasmolisis

Sediakan mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pipet, kertas pengisap, jarum bersih, sel darah merah, sel daun eva (*Rhoeo discolor*), larutan gula 10%, dan alkohol 70%. Lakukan 2 tahap pengamatan yaitu pengamatan terjadinya krenasi dan plasmolisis.

**I. Krenasi**

Siapkan sebuah gelas benda kemudian tetesi dengan air. Bersihkan salah satu ujung jari Anda dengan kapas yang telah dibasahi alkohol 70%. Tusuklah ujung jari tersebut dengan jarum yang telah dibersihkan dengan alkohol 70%. Ambil setetes darah dan letakkan di atas gelas benda dan tutuplah dengan gelas penutup. Setelah selesai, luka di ujung jari diberi alkohol 70% dengan kapas untuk menghindari terjadinya infeksi. Amati sel-sel darah merah dengan mikroskop. Gambarlah bentuk sel darah merah yang Anda lihat itu. Berilah setetes larutan gula 10% di tepi gelas penutup, sedangkan di tepi yang lain diletakkan kertas pengisap agar medium di dalamnya berganti (perhatikan gambar). Segera amati perubahan yang terjadi. Gambarlah bentuk yang Anda lihat. Jika bentuk sel tidak

mengalami perubahan, tambahkan kepekatan larutan gula, misalnya menjadi 15%.




**Pertanyaan:**

1. Apakah bentuk sel mengalami perubahan sebelum dan sesudah ditetesi larutan gula? Mengapa terjadi peristiwa tersebut?
2. Menurut Anda, apa yang akan terjadi jika larutan gula diganti dengan larutan garam dapur pekat (10%)?

Tulis kesimpulan Anda mengenai terjadinya krenasi dan bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

**II. Plasmolisis**

Siapkan sebuah gelas benda kemudian tetesi dengan air. Ambillah daun *Rhoeo discolor*. Kelupas epidermis bawahnya hingga beberapa sel di dalamnya terbawa. Caranya, patahkan daun tersebut, tarik hingga diperoleh selapis sel epidermis. Setelah itu, segera letakkan di atas setetes air agar tidak mengering dan tutuplah dengan gelas penutup. Amatilah dengan mikroskop, mula-mula dengan perbesaran lemah, bila sudah jelas teramati lakukan pengamatan dengan perbesaran kuat. Gambarlah dua atau tiga sel yang jelas benar strukturnya. Selanjutnya, dari tepi gelas penutup teteskan larutan gula, sedangkan tepi yang lain diletakkan kertas pengisap agar terjadi pergantian medium. Amati lagi sel tersebut dengan mikroskop, bandingkan dengan gambar yang telah Anda buat tadi.

**Pertanyaan:**

1. Apakah bentuk sel mengalami perubahan sebelum dan sesudah ditetesi larutan gula? Mengapa?
2. Adakah perubahan pada ruangan antara isi sel dengan dinding sel dan warna isi sel? Jelaskan.
3. Apakah plasmolisis itu?
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan hasil eksperimen Anda dan bahaslah bersama teman-teman di kelas.

Anda telah mengetahui proses terjadinya transpor pasif, yaitu difusi dan osmosis. Proses terjadinya transpor pasif berbeda dengan transpor aktif. Transpor aktif meliputi pompa ion natrium-kalium, endositosis, dan eksositosis.

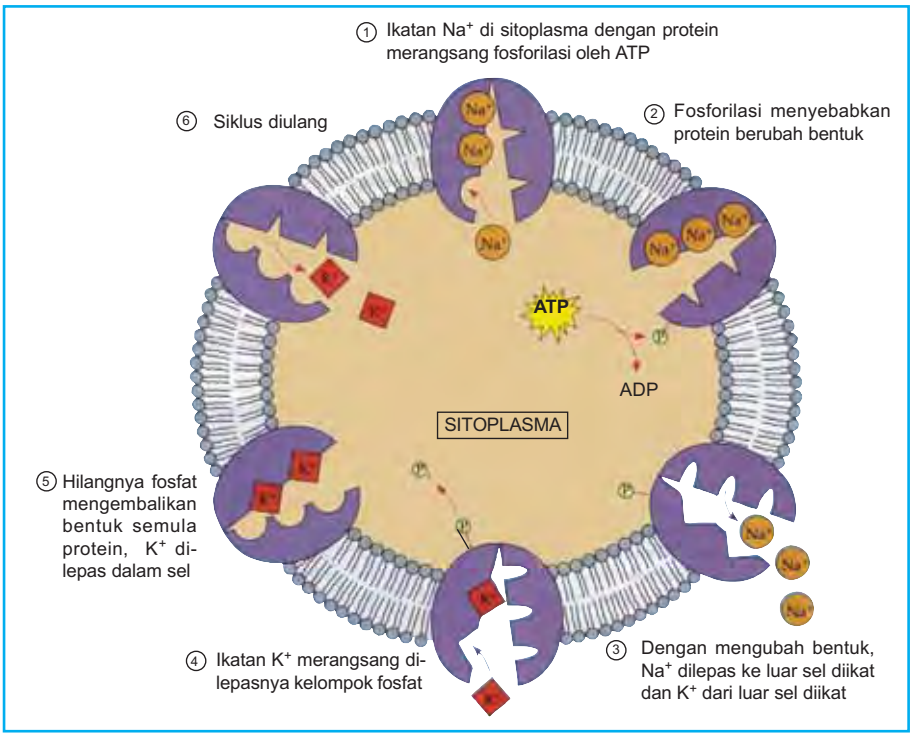
### 3) *Pompa Natrium-Kalium*

Berbeda dengan difusi terbantu yang termasuk transpor pasif karena mengikuti gradien konsentrasi, maka transpor aktif ini bersifat melawan gradien konsentrasi.

Pada transpor aktif terjadi pemompaan molekul melewati membran dan melawan gradien konsentrasi. Pada transpor aktif diperlukan energi untuk melawan gradien konsentrasi. Transpor aktif ini berfungsi memelihara konsentrasi molekul kecil dalam sel yang berbeda dengan konsentrasi molekul lingkungannya.

Sebagai contoh ion $K^+$ penting untuk mempertahankan kegiatan listrik di dalam sel saraf dan memacu transpor aktif zat-zat lain. Meskipun ion $Na^+$ dan $K^+$ dapat melewati membran, karena kebutuhan akan ion $K^+$ lebih tinggi maka diperlukan lagi pemasukan ion $K^+$ ke dalam sel dan pengeluaran ion $Na^+$ keluar sel. Konsentrasi ion $K^+$ di luar sel rendah, sedangkan di dalam sel tinggi. Sebaliknya, konsentrasi ion $Na^+$ di

dalam sel rendah dan di luar sel tinggi. Bila terjadi proses difusi, maka akan terjadi difusi ion $K^+$ dari dalam sel ke luar, sedangkan difusi ion $Na^+$ dari luar ke dalam sel. Akan tetapi, yang terjadi sebenarnya bukanlah difusi karena pergerakan ion-ion itu melawan gradien kadar maka terjadi pemasukan ion $K^+$ dan pengeluaran ion $Na^+$. Energi ATP diperlukan untuk melawan gradien kadar itu dengan pertolongan protein yang ada dalam membran. Setiap pengeluaran 3 ion $Na^+$ dari dalam sel diimbangi dengan pemasukan 2 ion $K^+$ dari luar sel. Oleh sebab itu, proses ini disebut pompa natrium-kalium. Perhatikan Gambar 1.14 di bawah ini.



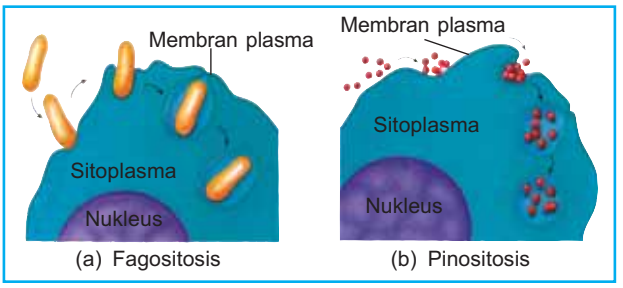

**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 1.14**
Mekanisme pompa natrium-kalium

### 4) *Endositosis dan Eksositosis*

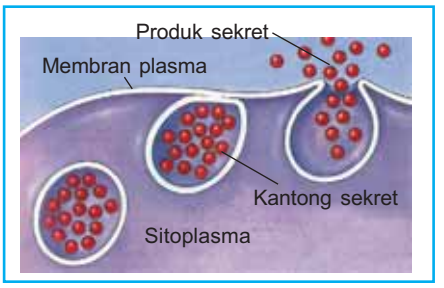
Endositosis dan eksositosis merupakan transpor yang memerlukan energi. Endositosis merupakan proses masuknya senyawa melalui membran dengan cara pembungkusan senyawa dan cairan ekstraselular dengan pelekukan ke dalam sebagian membran. Hal ini terjadi pada organisme uniselular dan sel darah putih. Jika yang dimasukkan berupa senyawa padat disebut **fagositosis**, sedangkan jika berupa larutan disebut **pinositosis**.

Eksositosis merupakan proses pengeluaran zat dari dalam sel keluar sel. Sekret terbungkus kantong membran yang selanjutnya melebar dan pecah. Eksositosis terjadi pada beberapa sel kelenjar atau sel sekresi. Perhatikan skema endositosis dan eksositosis pada Gambar 1.15 dan 1.16 berikut.




**Sumber:** *Biology, Raven and Johnson*

**Gambar 1.15**
Endositosis




**Sumber:** *Biology, Raven and Johnson*

**Gambar 1.16**
Eksositosis

Mekanisme transpor pasif dan transpor aktif melalui membran secara ringkas dijelaskan dalam Tabel 1.1 berikut.

**Tabel 1.1** Mekanisme Transpor Pasif dan Transpor Aktif

| Proses | Cara Melalui Membran | Mekanisme | Contoh |
|---|---|---|---|
| I. Transpor Pasif | | | |
| • Difusi | Langsung | Gerakan molekul secara acak menyebabkan perpindahan molekul menuju konsentrasi yang lebih rendah. | Pemasukan $O_2$ ke dalam sel. |
| • Difusi terbantu | Protein pembawa | Molekul terikat pada protein pembawa (*carrier protein*) pada membran dan dibawa melalui membran menuju tempat dengan konsentrasi lebih rendah. | Pemasukan glukosa ke dalam sel. |
| • Osmosis | Langsung | Difusi air melalui membran semipermeabel dari larutan hipotonik. | Masuknya air ke sel. |
| II. Transpor Aktif | | | |
| • Endositosis | | | |
| – Fagositosis | Kantong membran | Partikel dibungkus membran dan membentuk kantong. | Ingesti bakteri oleh sel leukosit. |
| – Pinositosis | Kantong membran | Tetesan cairan dibungkus membran dan membentuk kantong. | Sel memakan zat cair. |
| • Eksositosis | Kantong membran | Kantong bergabung dengan membran plasma dan melepaskan isinya. | Sekresi mukus. |
| • Pompa $Na^+$– $K^+$ | Protein pembawa | Protein pembawa menyediakan energi untuk memindahkan $Na^+$ melawan gradien konsentrasi. | Masuknya glukosa melawan gradien konsentrasi. |

Dalam bidang pertanian, pemahaman tentang transpor pasif (difusi dan osmosis) sangatlah penting. Misalnya untuk menentukan dosis pupuk dan obat-obatan

yang aman bagi tanaman. Jika dosis terlalu pekat, tanaman bisa mati karena terjadi plasmolisis. Selain itu, dengan memahami transpor pasif, kita dapat mengetahui bahwa macam zat yang diberikan pada tanaman sebagai nutrien hendaknya berupa ion-ion yang mudah masuk ke dalam sel-sel tanaman. Zat-zat organik seperti gula dan protein tidak akan masuk ke dalam sel tanaman karena membran sel impermeabel terhadap zat-zat tersebut. Zat-zat tersebut justru akan memicu plasmolisis dan akhirnya mematikan tanaman. Sifat semipermeabel membran plasma menyebabkan tanaman mampu memilih zat-zat yang dapat masuk ke dalam sel dan yang tidak.

### b. Sitoplasma

Sitoplasma merupakan materi yang mengisi antara inti dan selaput plasma. Sitoplasma yang berada dalam nukleus disebut **nukleoplasma**. Pada sel tumbuhan, sitoplasma dibedakan menjadi dua, yaitu yang berbatasan dengan selaput plasma disebut **ektoplasma** dan yang di bagian dalam disebut **endoplasma**. Ektoplasma lebih jernih dan kompak. Ektoplasma pada sel hewan berupa selaput plasma itu sendiri. Endoplasma sel tumbuhan mengandung banyak plastida (zat warna).

Komponen utama penyusun sitoplasma sebagai berikut.

1) Cairan seperti gel (agar-agar atau jeli) yang disebut **sitosol**.
2) Substansi simpanan dalam sitoplasma. Substansi ini bervariasi tergantung tipe selnya. Sebagai contoh, sitoplasma sel hati mengandung simpanan molekul glikogen, sedangkan sitoplasma sel lemak mengandung tetesan lemak besar.
3) Jaringan yang strukturnya seperti filamen (benang) dan serabut yang saling berhubungan. Jaringan benang dan serabut disebut **sitoskeleton** yang berfungsi sebagai kerangka sel.
4) Organel-organel sel.

Matriks sitoplasma atau bahan dasar sitoplasma disebut **sitosol**. Sitoplasma dapat berubah dari fase sol ke gel dan sebaliknya. Matriks sitoplasma tersusun atas oksigen 62%, karbon 20%, hidrogen 10%, dan nitrogen 3% yang tersusun dalam senyawa organik dan anorganik. Unsur-unsur lain adalah: Ca 2,5%; P 1,14%; Cl 0,16%; S 0,14%; K 0,11%; Na 0,10%; Mg 0,07%; I 0,014%; Fe 0,10%; dan unsur-unsur lain dalam jumlah yang sangat kecil.

Sifat-sifat fisikawi matriks sitoplasma sebagai berikut.

1) Efek Tyndal yaitu kemampuan matriks sitoplasma memantulkan cahaya.
2) Gerak Brown yaitu gerak acak (*zig-zag*) partikel penyusun koloid.
3) Gerak siklosis yaitu gerak matriks sitoplasma berupa arus melingkar.
4) Memiliki tegangan permukaan.

5) Elektrolit yaitu kemampuan molekul menghantarkan arus listrik.

Matriks sitoplasma dapat bertindak sebagai larutan penyangga (*buffer*). Sifat biologis matriks sitoplasma adalah mampu mengenali rangsang (iritabilitas) dan mengantar rangsang (konduktivitas).

Adapun fungsi sitosol sebagai berikut.

1) Sumber bahan kimia penting bagi sel karena di dalamnya terdapat senyawa-senyawa organik terlarut, ion-ion, gas, molekul kecil seperti garam, asam lemak, asam amino, nukleotida, molekul besar seperti protein, dan RNA yang membentuk koloid.
2) Tempat terjadinya reaksi metabolisme, seperti glikolisis, sintesis protein, dan sintesis asam lemak.

### c. Sitoskeleton

Sitoskeleton atau rangka sel tersusun atas tiga jenis serabut yang berbeda yaitu, mikrofilamen, mikrotubulus, dan filamen intermediar.

#### 1) *Mikrofilamen*

Mikrofilamen adalah rantai ganda protein yang bertaut dan tipis. Mikrofilamen tersusun atas dua macam protein, yaitu aktin dan miosin. Mikrofilamen banyak terdapat pada sel-sel otot. Mikrofilamen mempunyai diameter 7 nm sehingga pengamatannya harus menggunakan mikroskop elektron.

#### 2) *Mikrotubulus*

Mikrotubulus adalah rantai-rantai protein yang membentuk spiral. Spiral ini membentuk tabung berlubang yang panjangnya mencapai 2,5 mm dengan diameter 25 nm. Mikrotubulus tersusun atas protein yang dikenal sebagai tubulin. Mikrotubulus merupakan penyusun sitoskeleton yang terbesar.

Mikrotubulus terdapat pada gelendong sel, yaitu berupa benang-benang spindel yang menghubungkan dua kutub sel pada waktu sel membelah. Gerakan kromosom dari daerah ekuator ke kutub masing-masing pada anafase dikendalikan oleh mikrotubulus. Dengan demikian, mikrotubulus mempunyai fungsi mengarahkan gerakan komponen-komponen sel, mempertahankan bentuk sel, serta membantu dalam pembelahan mitosis.

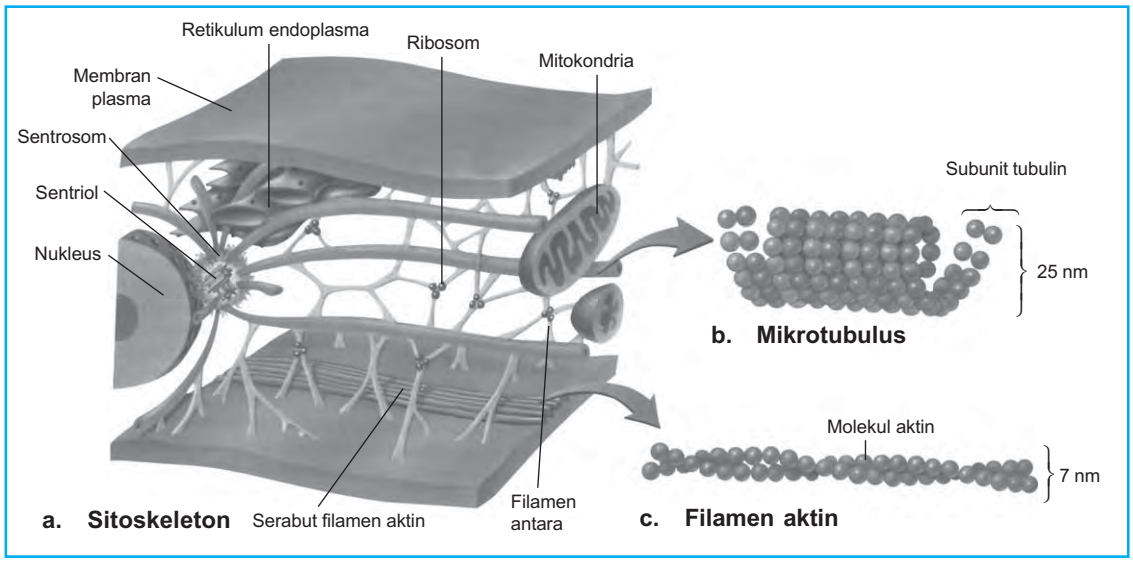
#### 3) *Filamen Intermediar*

Filamen intermediar adalah rantai molekul protein yang membentuk untaian yang saling melilit. Filamen ini berdiameter 8 – 10 nm. Disebut serabut intermediar karena ukurannya di antara ukuran mikrofilamen dan mikrotubulus. Serabut ini tersusun atas protein yang disebut **fimentin**, tetapi tidak semua sel filamen intermediarnya tersusun atas fimentin. Misalnya sel kulit filamennya tersusun atas protein keratin. Perhatikan Gambar 1.17 untuk mengetahui susunan sitoskeleton.

**Tahukah Anda**

**Mikrofilamen Protozoa**

Pada sel-sel Protozoa, misalnya *Amoeba* sp., mikrofilamen berperan dalam pembentukan **psudopodia**, gerakan sel, dan gerakan-gerakan sitoplasma. Selain itu, mikrofilamen berperan dalam pembelahan sel, yakni terbelahnya sel menjadi dua sel anakan karena ditarik oleh mikrofilamen yang menghubungkan membran.




**Sumber:** *Inquiry Into Life, Mader, S. S.*

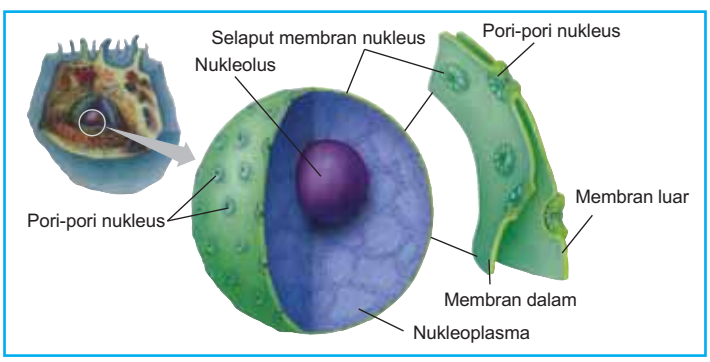
**Gambar 1.17**
Bagian-bagian sitoskeleton

### d. Nukleus

Nukleus atau inti sel merupakan bagian penting sel yang berperan sebagai pengendali kegiatan sel. Nukleus merupakan organel terbesar yang berada dalam sel. Nukleus berdiameter sekitar 10 μm. Nukleus biasanya terletak di tengah sel dan berbentuk bulat atau oval.

Pada umumnya sel organisme berinti tunggal, tetapi ada juga yang memiliki lebih dari satu inti. Berdasar jumlah nukleus, sel dapat dibedakan sebagai berikut.

1) Sel mononukleat (berinti tunggal), misalnya sel hewan dan tumbuhan.
2) Binukleat (inti ganda), contohnya *Paramaecium*.
3) Multinukleat (inti banyak), misalnya *Vaucheria* (sejenis alga) dan beberapa jenis jamur.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.18**
Struktur nukleus

Di dalam nukleus terdapat matriks yang disebut nukleoplasma, nukleolus, RNA, dan kromosom. Kromosom tersusun atas protein dan DNA. Perhatikan Gambar 1.18.

Setiap nukleus tersusun atas beberapa bagian penting sebagai berikut.

### 1) *Membran Nukleus (Selaput Inti)*

Selaput inti merupakan bagian terluar inti yang memisahkan nukleoplasma dengan sitoplasma. Selaput inti terdiri atas dua lapis membran (*bilaminair*), setiap lapis merupakan lapisan **bilayer**. Ruang antara membran disebut **perinuklear** atau **sisterna**. Pada membran ini terdapat porus yang berfungsi untuk pertukaran molekul dengan sitoplasma.

Berdasarkan ada tidaknya selaput inti, dibedakan dua tipe sel yaitu **sel prokariotik** (tidak memiliki selaput inti) dan **sel eukariotik** (memiliki selaput inti).

### 2) *Nukleoplasma*

*Nukleoplasma* adalah cairan inti (karyotin) yang bersifat transparan dan semisolid (kental). Nukleoplasma mengandung kromatin, granula, nukleoprotein, dan senyawa kimia kompleks. Pada saat pembelahan sel, benang kromatin menebal dan memendek serta mudah menyerap zat warna disebut **kromosom**.

Benang kromatin tersusun atas protein dan DNA. Di dalam benang DNA inilah tersimpan informasi kehidupan. DNA akan mentranskripsi diri (mengopi diri) menjadi RNA yang selanjutnya akan dikeluarkan ke sitoplasma. Anda akan mempelajarinya lebih lanjut di kelas XII.

### 3) *Nukleolus*

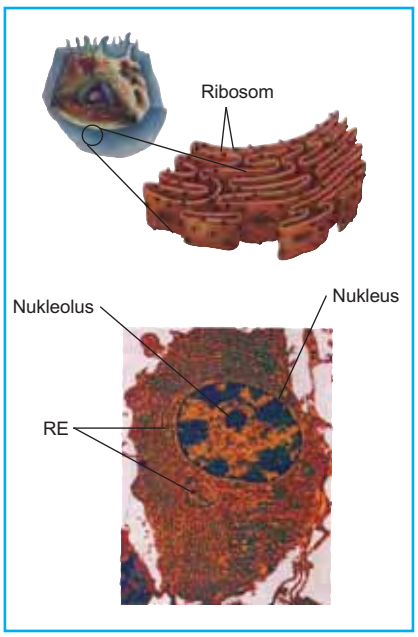
Nukleolus atau anak inti tersusun atas fosfoprotein, orthosfat, DNA, dan enzim. Nukleolus terbentuk pada saat terjadi proses transkripsi (sintesis RNA) di dalam nukleus. Jika transkripsi berhenti, nukleolus menghilang atau mengecil. Jadi, nukleolus bukan merupakan organel yang tetap.

Jadi, nukleus memiliki arti penting bagi sel karena mempunyai beberapa fungsi berikut.

1) Pengatur pembelahan sel.
2) Pengendali seluruh kegiatan sel, misalnya dengan memasukkan RNA dan unit ribosom ke dalam sitoplasma.
3) Pembawa informasi genetik.

## e. Retikulum Endoplasma

Retikulum endoplasma merupakan organel yang tersusun oleh membran yang terbentuk seperti jala. Retikulum sendiri berasal dari kata *reticular* yang berarti anyaman benang atau jala. Letaknya memusat pada bagian dalam sitoplasma (endoplasma), sehingga disebut sebagai **retikulum endoplasma** (RE). Membran RE merupakan kelanjutan dari membran nukleus hingga ke membran plasma. Jadi, RE merupakan saluran penghubung antara nukleus dengan bagian luar sel. Perhatikan Gambar 1.19 di samping.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.19**
Retikulum endoplasma

Dalam sel terdapat dua tipe retikulum endoplasma sebagai berikut.

1) ***Retikulum Endoplasma Kasar***

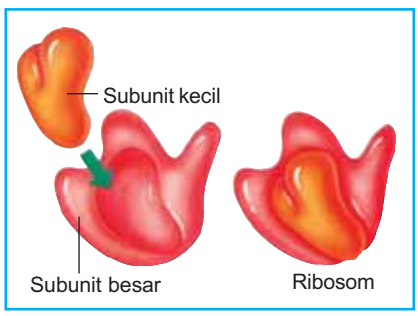
Permukaan retikulum endoplasmanya diselubungi oleh ribosom yang tampak berbintil-bintil sehingga disebut **RE kasar**. Ribosom adalah tempat sintesis protein. Protein ini akan ditampung oleh RE kasar yaitu dalam rongga RE.

2) ***Retikulum Endoplasma Halus***

RE halus adalah RE yang tidak ditempeli ribosom sehingga permukaannya halus.

Retikulum endoplasma mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut.

1) Mensintesis lemak dan kolesterol (RE kasar dan RE halus).
2) Menampung protein yang disintesis oleh ribosom untuk disalurkan ke kompleks Golgi dan akhirnya dikeluarkan dari sel (RE kasar).
3) Transportasi molekul-molekul dari bagian sel yang satu ke bagian sel yang lain (RE kasar dan RE halus).
4) Menetralkan racun (detoksifikasi), misalnya RE yang ada di dalam sel-sel hati.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.20**
Struktur ribosom

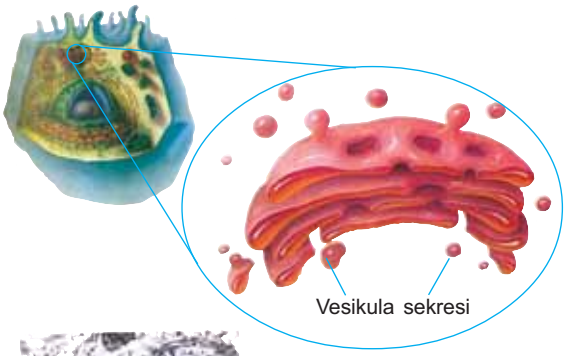
## f. Ribosom

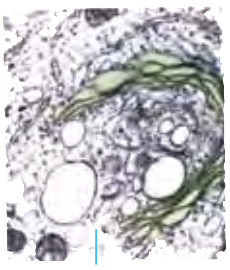
Ribosom merupakan struktur paling kecil yang tersuspensi dalam sitoplasma dan terdapat di sel eukariotik maupun prokariotik. Pada sel eukariotik, ribosom terdapat bebas dalam sitoplasma atau terikat RE. Ribosom tersusun atas protein dan RNA. Ribosom terdiri dari dua subunit, yaitu subunit kecil dan subunit besar. Perhatikan Gambar 1.20 untuk mengetahui struktur ribosom. Tiap-tiap subunit disintesis dalam nukleolus dan dikeluarkan melalui porus nukleus ke sitoplasma tempat kedua subunit bergabung. Ribosom berperan dalam sintesis protein.

## g. Kompleks Golgi

Kompleks Golgi dijumpai pada hampir semua sel tumbuhan dan hewan. Pada sel tumbuhan, kompleks Golgi disebut *diktiosom*. Badan Golgi (ditemukan tahun 1898 oleh **Camillio Golgi**) tersebar dalam sitoplasma dan merupakan salah satu komponen terbesar dalam sel. Antara badan Golgi satu dengan yang lain berhubungan dan membentuk struktur kompleks seperti jala. Badan Golgi sangat penting pada sel sekresi. Perhatikan Gambar 1.21 di halaman berikutnya.

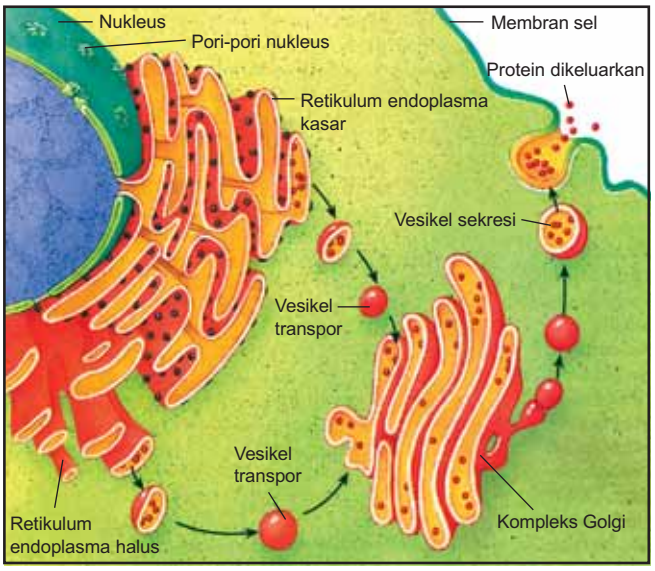
Kompleks Golgi dan RE mempunyai hubungan erat dalam sekresi protein sel. Di depan telah dikatakan bahwa RE menampung dan menyalurkan protein ke Golgi. Golgi mereaksikan protein itu dengan glioksilat sehingga terbentuk glikoprotein untuk dibawa ke luar sel. Oleh karena hasilnya disekresikan itulah maka Golgi disebut pula sebagai **organel sekretori**. Perhatikan Gambar 1.22 berikut.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.21**
Kompleks Golgi




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.22**
Protein disekresikan melalui membran

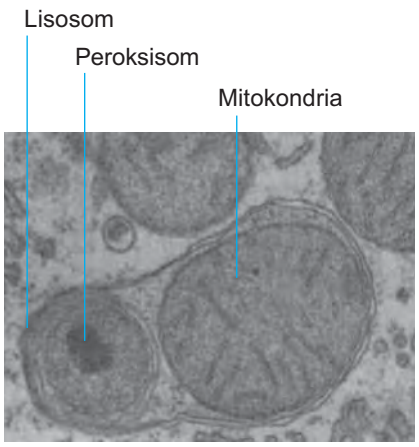
Selain itu, kompleks Golgi juga mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut.

1) Tempat sintesis polisakarida seperti mukus, selulosa, hemiselulosa, dan pektin (penyusun dinding sel tumbuhan).
2) Membentuk membran plasma.
3) Membentuk kantong sekresi untuk membungkus zat yang akan dikeluarkan sel, seperti protein, glikoprotein, karbohidrat, dan lemak.
4) Membentuk akrosom pada sperma, kuning telur pada sel telur, dan lisosom.

## h. Lisosom

Lisosom berasal dari kata *lyso* = pencernaan dan *soma* = tubuh, merupakan membran kantong kecil yang berisi enzim hidrolitik yang disebut **lisozim**. *Lisosom* adalah organel berbentuk agak bulat dan dibatasi membran tunggal. Umumnya berdiameter 1,5 μm, walaupun kadang-kadang ditemukan lisosom berdiameter 0,05 μm. Lisosom terdapat hampir pada semua sel eukariotik, terutama sel-sel yang bersifat fagositik seperti leukosit. Lisosom berisi enzim-enzim hidrolitik seperti protease, lipase, nuklease, fosfatase, dan enzim pencerna yang lain. Perhatikan Gambar 1.23 di samping.

Enzim lisosom adalah suatu protein yang diproduksi oleh ribosom dan kemudian masuk ke RE. Dari RE, enzim dimasukkan ke dalam membran kemudian dikeluarkan oleh sitoplasma menjadi lisosom. Selain itu, ada pula enzim yang dimasukkan terlebih dahulu ke Golgi. Enzim itu dibungkus membran kemudian dilepaskan dalam sitoplasma oleh Golgi. Jadi, proses pembentukan lisosom dapat dilakukan secara langsung oleh RE atau oleh Golgi.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 1.23**
Struktur lisosom

Proses pencernaan oleh lisosom berlangsung misalnya saat sel menelan bakteri secara fagositosis. Bakteri itu dimasukkan ke dalam vakuola. Vakuola yang berisi bakteri segera dihampiri lisosom. Membran lisosom dan membran vakuola bersinggungan dan bersatu. Enzim lisosom masuk ke dalam vakuola dan mencerna bakteri. Substansi hasil pencernaan lisosom disimpan dalam vesikel kemudian ditranspor ke membran plasma dan dikeluarkan dari sel.
Secara rinci lisosom mempunyai fungsi sebagai berikut.

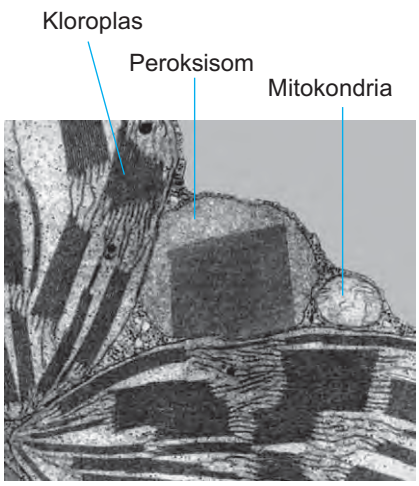
1) Melakukan pencernaan intrasel.
2) *Autofagi* yaitu menghancurkan struktur yang tidak dikehendaki, misalnya organel lain yang sudah tidak berfungsi.
3) *Eksositosis* yaitu pembebasan enzim keluar sel, misalnya pada pergantian tulang rawan pada perkembangan tulang keras.
4) *Autolisis* yaitu penghancuran diri sel dengan membebaskan isi lisosom ke dalam sel, misalnya terjadi pada saat berudu menginjak dewasa dengan menyerap kembali ekornya.
5) Menghancurkan senyawa karsinogenik.

Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa lisosom mempunyai peranan penting dalam sel. Bagaimana jika lisosom mengalami kegagalan fungsi? Kegagalan dalam proses pencernaan oleh lisosom dapat menyebabkan penyakit silikosis dan rematik.

### i. Badan Mikro

Badan mikro hampir menyerupai lisosom, berbentuk agak bulat, diselubungi membran tunggal, dan di dalamnya berisi enzim katalase dan oksidase. Organela ini disebut badan mikro karena ukurannya kecil, hanya bergaris tengah 0,3–1,5 μm.

Terdapat dua tipe badan mikro, yaitu **peroksisom** dan **glioksisom**. Peroksisom terdapat pada sel hewan, fungi, dan daun tanaman tingkat tinggi. Perhatikan Gambar 1.24 untuk mengetahui letak peroksisom di dalam sel. Peroksisom berperan dalam oksidasi substrat menghasilkan $H_2O_2$ (bersifat racun bagi sel) yang selanjutnya dipecah menjadi $H_2O + O_2$. Peroksisom penting dalam penyerapan cahaya dan respirasi sehingga berhubungan erat dengan kloroplas dan mitokondria. Peran lain peroksisom selain melindungi sel dari $H_2O_2$, juga berperan dalam perubahan lemak menjadi karbohidrat dan perubahan purin dalam sel. Glioksisom terdapat pada sel tanaman. Glioksisom berperan dalam metabolisme asam lemak dan tempat terjadinya siklus glioksilat.



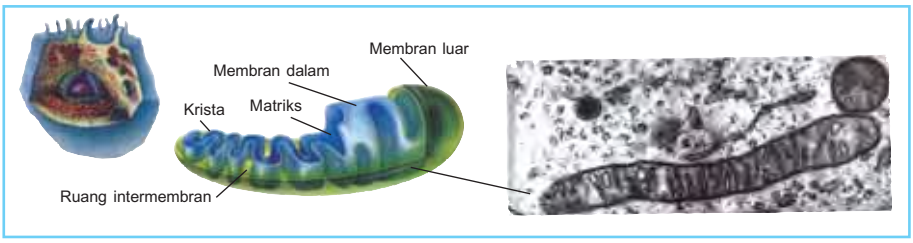

**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 1.24**
Struktur peroksisom

### j. Mitokondria

Mitokondria berbentuk bulat panjang atau seperti tongkat terdapat pada sel eukariotik aerob. Mitokondria dibatasi dua lapis membran yang kuat, fleksibel, dan stabil, serta tersusun atas lipoprotein. Membran dalam membentuk tonjolan-tonjolan yang disebut **krista** untuk memperluas permukaan

agar penyerapan oksigen lebih efektif. Ruangan dalam mitokondria berisi cairan disebut matriks mitokondria. Matriks ini kaya enzim pernapasan (sitokrom), DNA, RNA, dan protein. Perhatikan Gambar 1.25 berikut ini.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.25**
Mitokondria dengan dua lapis membran dan krista

Mitokondria memiliki DNA sendiri yang mengkode sintesis protein spesifik. Mitokondria berfungsi dalam oksidasi makanan, respirasi sel, dehidrogenasi, fosforilasi oksidasif, dan sistem transfer elektron.

Oksidasi zat makanan di dalam mitokondria menghasilkan energi dan zat sisa. Secara sederhana reaksinya dapat ditulis sebagai berikut.

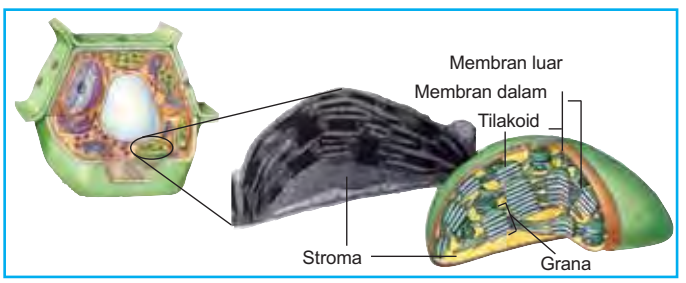
$$C_6H_{12}O_6 + O_2 \xrightarrow[\text{respirasi}]{\text{oksidasi}} CO_2 + H_2O + \text{Energi}$$

(glukosa)

Berkaitan dengan fungsi tersebut mitokondria sering disebut *the power house of cell*.

### k. Kloroplas

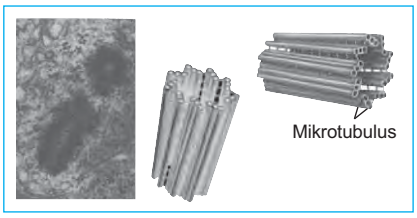
Kloroplas hanya terdapat pada sel tumbuhan dan Algae tertentu. Pada tumbuhan biasanya berbentuk cakram dengan diameter 5–8 μm dan tebal 2–4 μm. Kloroplas dibatasi membran ganda. Di dalam kloroplas terdapat klorofil (pigmen fotosintetik) dan pigmen lain yang terletak pada membran atau pada bahan dasar di dalam kloroplas. Bahan dasar kloroplas berupa cairan disebut **stroma**. Perhatikan Gambar 1.26 berikut.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.26**
Struktur kloroplas

Kloroplas berfungsi sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis. Peran pigmen untuk menangkap cahaya matahari yang akan diubah menjadi energi kimia.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 1.27**
Struktur sentriol

## I. Sentriol

Sel hewan dan beberapa mikroorganisme serta tumbuhan tingkat rendah mengandung dua sentriol dalam sitoplasma. Sentriol terletak di dekat permukaan luar nukleus. Setiap sentriol terdiri atas sebaris silinder sebanyak sembilan mikrotubul. Perhatikan Gambar 1.27 di samping. Sentriol berperan dalam proses pembelahan sel.

Secara ringkas fungsi beberapa organel sel dijelaskan seperti dalam Tabel 1.2 berikut.

**Tabel 1.2** Fungsi Organel-Organel Sel

| **Jenis Organel** | **Fungsi Pembentukan** |
|---|---|
| Nukleus | Sintesis DNA dan RNA, serta penyusunan subunit ribosom (dalam nukleolus). |
| Ribosom | Sintesis polipeptida dan sintesis protein. |
| RE kasar | Sintesis protein membran dan vesikel transpor serta sekresi protein dan enzim hidrolitik. |
| RE halus | Sintesis lipid, metabolisme karbohidrat dalam sel hati, detoksifikasi dalam sel hati, penimbunan ion kalsium. |
| Badan Golgi | Modifikasi, penimbunan sementara, dan transpor makro molekul, pembentukan lisosom, dan vesikel transpor. |
| **Jenis Organel** | **Fungsi Pemecahan** |
| Lisosom | Pencernaan makanan, bakteri dan organel yang rusak, kerusakan beberapa sel selama perkembangan embrio. |
| Peroksisom | Bermacam-macam proses metabolik, dengan memecah $H_2O_2$ menghasilkan $H_2O + O_2$. |
| Vakuola | Pencernaan (seperti lisosom), penimbunan senyawa kimia, pembesaran sel, keseimbangan cairan. |
| **Jenis Organel** | **Fungsi Pemrosesan Tenaga** |
| Kloroplas | Perubahan energi cahaya menjadi energi kimia gula (pada tumbuhan dan beberapa protista). |
| Mitokondria | Perubahan energi kimia makanan menjadi energi yang siap digunakan (ATP). |
| **Jenis Organel** | **Fungsi Penyokong Pergerakan dan Komunikasi Antarsel** |
| Sitoskeleton (termasuk silia, flagela, dan sentriol dalam sel hewan) | Pemeliharaan bentuk sel, perlekatan organel, pergerakan organel dalam sel, pergerakan sel, transmisi mekanik sinyal dari luar ke dalam sel. |
| Dinding sel (pada tumbuhan, fungi, dan beberapa protista) | Pemeliharaan bentuk sel dan penyokong skeleton, melindungi permukaan sel, mengikat sel dengan jaringan. |
| Matriks ekstraselular (pada hewan) | Mengikat sel dengan jaringan, melindungi permukaan, pengaturan aktifitas sel. |
| Penghubung sel | Komunikasi antarsel, mengikat sel dengan jaringan. |

Anda telah mempelajari organel-organel sel yang terdapat pada sel eukariotik dan sel prokariotik. Lakukan kegiatan berikut ini agar Anda mengetahuinya dengan jelas.

### Forum Diskusi

Diskusikan bersama-sama teman Anda mengenai perbedaan sel prokariotik dengan eukariotik. Tulislah hasil diskusi Anda dan lengkapilah tabel berikut ini.

| No. | Organel | Prokariotik | Eukariotik |
|---|---|---|---|
| 1. | Membran plasma | | |
| 2. | Sitoplasma | | |
| 3. | Ribosom | | |

| No. | Organel | Prokariotik | Eukariotik |
|---|---|---|---|
| 4. | Dinding sel | | |
| 5. | Mesosom | | |
| 6. | Nukleus | | |
| 7. | RE | | |
| 8. | Sentriol | | |
| 9. | Lisosom | | |
| 10. | Kompleks Golgi | | |
| 11. | Mitokondria | | |
| 12. | Badan Mikro | | |

Di depan telah disebutkan bahwa sel eukariotik terdapat pada Protista, Fungi, hewan, dan tumbuhan. Setiap bagian sel mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Nah, Anda sekarang sudah mengenal organel-organel sel beserta struktur dan fungsinya.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

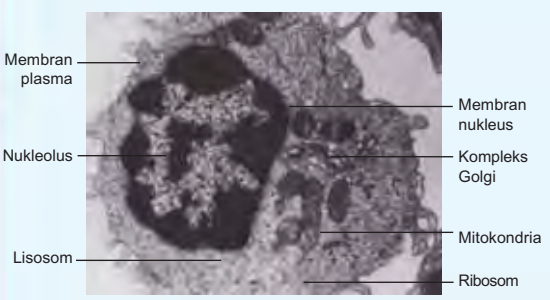
1. Mengapa sel gabus hanya terlihat sebagai ruang-ruang kosong yang dibatasi dinding?
2. Mengapa pada daun yang akan gugur atau mati timbul warna kekuning-kuningan?
3. Apa yang terjadi pada dinding sel buah yang mentah setelah masak?
4. Mengapa mitokondria sering disebut *the power house of cell*?
5. Apa yang akan terjadi jika lisosom dalam sel tidak dapat melakukan tugasnya dengan baik?

## C. Perbedaan Sel Hewan dengan Sel Tumbuhan

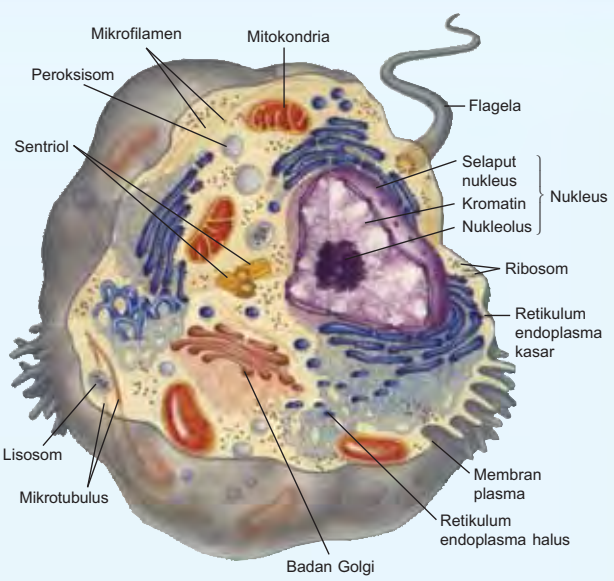
Di depan telah disebutkan bahwa sel tumbuhan dan sel hewan termasuk dalam tipe sel eukariotik. Namun, walaupun termasuk dalam satu tipe sel, ternyata antara sel hewan dan sel tumbuhan mempunyai perbedaan. Lakukan kegiatan pengamatan gambar berikut ini agar Anda mengetahui perbedaannya.

## Eksperimen 5

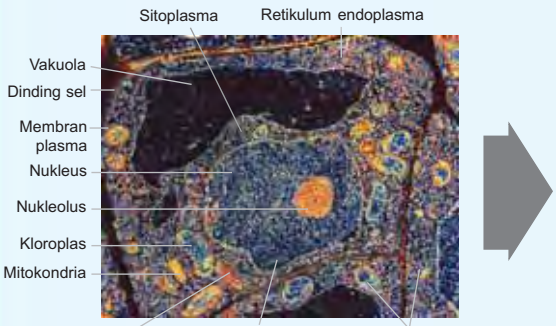
Amatilah gambar di bawah ini.



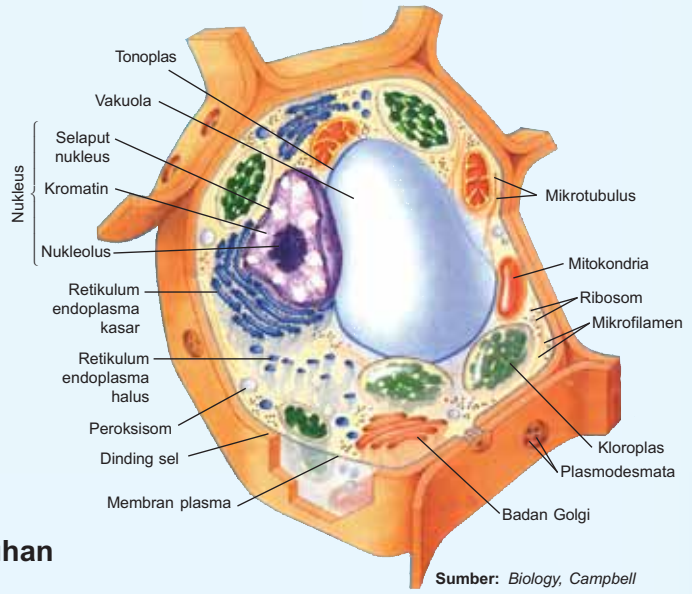

**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*




**Sel hewan**




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Sel tumbuhan**

**Pertanyaan:**

1. Apakah perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan?
2. Organel-organel sel apa saja yang terdapat pada sel tumbuhan, tetapi tidak terdapat pada sel hewan dan sebaliknya?
3. Menurut Anda, struktur sel mana yang lebih kuat, sel hewan atau sel tumbuhan? Jelaskan jawaban Anda.
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Bahaslah bersama teman-teman Anda kemudian tulislah laporan hasil ekpserimen di atas.

Pada prinsipnya sel hewan mirip dengan sel tumbuhan, tetapi dalam perkembangannya sel hewan memiliki beberapa perbedaan dengan sel tumbuhan. Sel tumbuhan memiliki organel tertentu yang tidak terdapat pada sel hewan, demikian pula sebaliknya. Sel tumbuhan memiliki dinding sel, plastida, dan vakuola yang tidak dimiliki sel hewan. Sebaliknya, sel hewan memiliki sentriol yang tidak dimiliki oleh sel tumbuhan. Kita akan membahas perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan satu persatu.

## 1. Sel Tumbuhan

Organel-organel sel tumbuhan yang tidak terdapat pada sel hewan dijelaskan sebagai berikut.

### a. Dinding Sel

Dinding sel merupakan bagian terluar sel tumbuhan. Dinding sel ini bersifat kaku dan tersusun atas polisakarida. Polisakarida ini terdiri atas selulosa, hemiselulosa, dan pektin. Dinding sel dibentuk oleh diktiosom. Dinding sel bersama-sama dengan vakuola berperan dalam turgiditas sel atau kekakuan sel.

Pada awal pembentukannya, dinding sel berupa selaput tipis tersusun atas selulosa (polisakarida kompleks). Di antara dua dinding sel yang berdekatan terdapat lamela tengah. Dua sel yang berdekatan dihubungkan oleh saluran yang di dalamnya terdapat benang-benang plasma yang disebut **plasmodesmata**.

**Tahukah Anda**

**Butir-Butir Tempat Penyimpanan**

Sel tumbuhan menyimpan kelebihan nutrien dan limbah dalam butir-butir yang dapat dilihat dengan mikroskop. Fruktosa, misalnya disimpan dalam butir inulin.

Dinding sel dapat dibedakan menjadi dinding sel primer dan dinding sel sekunder. Dinding sel primer dibentuk pada waktu sel membelah, misalnya pada sel-sel muda yang sedang tumbuh. Dinding sel primer tersusun atas selulosa antara 9–25%, hemiselulosa, pektin, serta beberapa senyawa lainnya. Selulosa terdiri dari mikrofibril yaitu serat-serat panjang yang memiliki daya regang kuat.

Sementara itu, dinding sel sekunder terbentuk karena penebalan. Dinding sel sekunder ini dimiliki oleh sel-sel dewasa yang terdapat di sebelah dalam dinding sel primer. Dinding sel sekunder mempunyai kandungan selulosa antara 41–45%, hemiselulosa, dan lignin.

Beberapa sel dindingnya mengalami penebalan oleh zat lignin yang disebut **lignifikasi**. Lignifikasi mengakibatkan xilem dan sklerenkim mengayu (keras dan kaku). Penebalan dinding sel dapat terjadi secara penyisipan (*aposisi*) pada penebalan-penebalan lama atau penambahan (*intususepsi*) pada penebalan lama. Di antara dinding sel ada yang tidak mengalami penebalan disebut **noktah**.

**Forum Diskusi**

Dinding sel mempunyai peranan yang sangat penting bagi sel tumbuhan. Bagaimana jika tumbuhan tidak mempunyai dinding sel? Diskusikan bersama-sama teman Anda mengenai kemungkinan yang akan terjadi jika sel tumbuhan tidak mempunyai dinding sel. Tulis hasil diskusi Anda dan bahaslah bersama teman-teman dan guru Anda di kelas.

### b. Vakuola

*Vakuola* atau *rongga* sel ialah organel sitoplasmik yang berisi cairan dan dibatasi membran yang mungkin identik dengan membran sel. Sel tumbuhan muda memiliki banyak vakuola kecil-kecil. Semakin dewasa jumlah vakuola berkurang, tetapi ukuran membesar. Sel-sel tumbuhan yang memiliki vakuola besar biasanya adalah sel-sel parenkim dan kolenkim. Vakuola tersebut dibatasi oleh membran yang disebut **tonoplas**. Sel dewasa hanya memiliki satu vakuola tengah berukuran besar dikelilingi membran tonoplas yang bersifat diferensial permeabel. Vakuola tengah terbentuk sebagai akibat pertumbuhan dinding sel yang lebih cepat daripada pertumbuhan sitoplasma. Vakuola tengah ini berisi cairan (getah sel) yang berupa larutan pekat, kaya mineral, gula, $O_2$, asam organik, $CO_3$, pigmen, enzim, dan sisa-sisa metabolisme.

Vakuola mempunyai beberapa fungsi sebagai berikut.

1) Tempat penimbunan sisa metabolisme dan metabolit sekunder seperti Ca-oksalat, tanin, getah karet, dan alkaloid.
2) Tempat menyimpan zat makanan seperti amilum dan gula.

**Tahukah Anda**

**Mengapa Vakuola Tumbuhan Semakin Besar?**

Setiap tumbuhan tersusun dari kumpulan sel dan setiap selnya tumbuh dengan cara yang sama yaitu dengan bertambah besar ukuran selnya. Sel akan tumbuh memanjang setelah mendapatkan protoplasma dalam jumlah yang tetap. Air diserap masuk vakuola dalam protoplasma hingga vakuola menggembung serta merentangkan dinding sel. Ketika dinding mengembang, protoplasma meregang makin menjauh. Akhirnya, vakuola-vakuola yang berisi zat cair dan banyak jumlahnya itu bergabung sehingga terbentuklah satu vakuola besar yang mengisi hampir seluruh bagian sel.

3) Memasukkan air melalui tonoplas untuk membangun turgiditas sel yang bekerja sama dengan dinding sel.
4) Menyimpan pigmen, misalnya vakuola pada sel-sel mahkota bunga mengandung pigmen warna.
5) Menyimpan minyak atsiri msialnya kayu putih, pepermin, dan aroma harum pada bunga.

### c. Plastida

Plastida merupakan organel yang hanya terdapat pada sel tumbuhan. Plastida berasal dari perkembangan proplastida di daerah meristematik.

Berdasarkan pigmen yang dikandungnya terdapat tiga jenis plastida sebagai berikut.

#### 1) *Kloroplas*

Kloroplas yaitu plastida yang mengandung pigmen hijau disebut klorofil, karotenoid, dan pigmen fotosintetik lainnya. Kloroplas hanya dijumpai pada sel autotrof yang eukariotik. Kloroplas dimiliki oleh sel-sel yang berklorofil misalnya *Algae*, lumut, tumbuhan paku, dan tumbuhan bunga.

Kloroplas mempunyai bentuk beraneka ragam, tetapi pada umumnya berbentuk bulat atau lonjong (oval). Kloroplas pada sel tumbuhan tingkat tinggi mempunyai ukuran sekitar 4–6 μm. Setiap sel mengandung 20–40 kloroplas permilimeter persegi. Apabila jumlahnya masih kurang mencukupi, kloroplas dapat membelah diri. Namun, jika jumlahnya berlebihan maka sejumlah kloroplas akan rusak.

Kloroplas tersusun atas membran, yaitu membran luar dan dalam. Membran luar mempunyai permukaan rata yang berfungsi mengatur keluar masuknya zat. Membran dalam membungkus cairan kloroplas yang disebut **stroma**. Membran dalam kloroplas melipat ke arah dalam dan membentuk lembaran-lembaran yang disebut **tilakoid**. Pada tempat-tempat tertentu, tilakoid bertumpuk-tumpuk membentuk badan seperti tumpukan uang logam yang disebut **grana**. Pada umumnya sebuah kloroplas mengandung 40–60 grana.

Di dalam tilakoid terdapat kumpulan partikel yang disebut **kuantosom**. Di kuantosom inilah terdapat klorofil yang berfungsi dalam proses fotosintesis.

Berdasarkan panjang gelombang (spektrum warna) yang diserap, jenis klorofil dibedakan sebagai berikut.
a) Klorofil a menyerap spektrum warna hijau-biru.
b) Klorofil b menyerap spektrum warna hijau-kuning.
c) Klorofil c menyerap spektrum warna hijau-cokelat.
d) Klorofil d menyerap spektrum warna hijau-merah.

Reaksi kimia proses fotosintesis sebagai berikut.

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \xrightarrow[\text{klorofil}]{\text{cahaya}} C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$$

Sebenarnya proses fotosintesis tidaklah sesederhana itu. Anda akan mempelajari lebih lanjut di kelas XII mengenai metabolisme sel.

### 2) *Leukoplas*

*Leukoplas* yaitu plastida yang tidak berwarna, umumnya terdapat pada tempat yang tidak terkena sinar, misalnya organ penyimpan makanan cadangan seperti biji dan umbi. Berdasarkan fungsinya dibedakan tiga jenis leukoplas sebagai berikut.

a) Amiloplas untuk menyimpan amilum.
b) Elaioplas atau lipidoplas untuk membentuk dan menyimpan lemak.
c) Proteoplas untuk menyimpan protein.

### 3) *Kromoplas*

*Kromoplas* yaitu plastida yang mengandung pigmen nonfotosintetik (merah dan oranye atau kuning). Kromoplas banyak terdapat pada mahkota bunga.

Pigmen yang terkandung dalam kromoplas sebagai berikut.

a) Karoten mengakibatkan warna kuning, misalnya pada wortel.
b) Xantofil mengakibatkan warna kuning kecokelatan, misalnya pada daun tua.
c) Fikosianin mengakibatkan warna biru, misalnya pada ganggang biru.

## 2. Sel Hewan

Sel hewan tidak memiliki dinding sel, tidak memiliki plastida, dan bentuk tidak tetap seperti sel tumbuhan. Vakuola pada sel hewan kecil atau tidak tampak. Hewan-hewan uniselular biasanya memiliki vakuola. Ada dua tipe vakuola sebagai berikut.

a. *Vakuola kontraktil* berperan dalam menjaga tekanan osmotik sitoplasma (disebut juga *osmoregulator*).
b. *Vakuola nonkontraktil atau vakuola makanan* berfungsi untuk mencerna makanan.

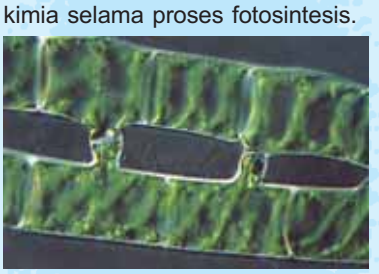
Sel tumbuhan tidak memiliki sentrosom dan sentriol, kecuali tumbuhan tingkat rendah. Sel hewan memiliki dua sentriol di dalam sentrosom. Saat pembelahan sel, tiap-tiap sentriol saling memisahkan diri menuju kutub yang berlawanan dan memancarkan benang-benang gelendong pembelahan yang akan menjerat kromosom.

Ternyata antara sel hewan dan sel tumbuhan terdapat banyak perbedaan. Anda telah mengetahuinya dengan membaca uraian di depan. Sekarang, amati secara langsung perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan melalui kegiatan berikut ini.

**Tahukah Anda**

**Struktur Kloroplas *Spirogyra***

*Spirogyra* mempunyai struktur kloroplas seperti pita yang tampak *zig-zag* sepanjang sel. Pada tempat tersebut energi dari matahari diterima dan diubah menjadi energi kimia selama proses fotosintesis.



**Sumber:** *Biologi For "0" Level, Lam Peng Kwan*

**Eksperimen 6**

**Mengamati Sel Hewan dan Tumbuhan**

Sediakan mikroskop, silet tajam, pinset, jarum preparat, tusuk gigi, gelas benda, gelas penutup, pipet, sel hewan/manusia, metilen biru, dan bawang merah (*Allium cepa*). Lakukanlah dua kali pengamatan sebagai berikut.

**a. Pengamatan Sel Hewan**

Ambillah gelas benda yang bersih, letakkan di atas meja dan tetesi dengan setetes metilen biru. Bukalah mulut Anda dan dengan menggunakan tusuk gigi, koreklah secara hati-hati epitel pipi sebelah dalam. Masukkan epitel

pipi tersebut ke dalam setetes metilen biru di atas gelas benda tadi dan tutuplah dengan gelas penutup kemudian amatilah dengan mikroskop. Amatilah membran sel, sitoplasma, dan inti sel. Setelah itu, gambarlah dua atau tiga sel dan beri keterangan.

**Pertanyaan:**

1. Dapatkah Anda mengamati adanya ribosom, mitokondria, lisosom, RE, dan sistem endomembran yang lain?
2. Apa yang bisa Anda amati dari membran sel, sitoplasma, dan inti sel?
3. Apakah Anda dapat mengamati adanya vakuola? Mengapa?
4. Amati gambar sel hewan di halaman 30. Apakah struktur sel hewan yang Anda amati sama dengan yang terdapat pada gambar? Mengapa terdapat perbedaan? Dalam hal apakah perbedaan itu?
5. Apa kesimpulan Anda?

**b. Pengamatan Sel Tumbuhan**

Ambillah selaput bagian dalam umbi lapis yang berwarna putih dari bawang merah dengan menggunakan pinset. Letakkan selaput tipis tadi pada gelas benda. Kemudian tetesi dengan air dan tutuplah dengan gelas penutup. Amatilah dengan mikroskop dan gambarlah dua atau tiga sel serta berikan keterangan dari bagian-bagian sel yang tampak.

**Pertanyaan:**

1. Amati kembali gambar sel tumbuhan yang ada di halaman 30. Apakah struktur sel tumbuhan yang Anda amati sama dengan yang terdapat pada gambar? Mengapa terdapat perbedaan? Dalam hal apakah perbedaan itu?
2. Apakah perbedaan struktur sel hewan dengan sel tumbuhan berdasarkan hasil pengamatan Anda?
3. Apakah kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Dari kegiatan pengamatan sel hewan dan sel tumbuhan, Anda akan semakin memahami mengenai perbedaan di antara keduanya. Secara ringkas perbedaan sel tumbuhan dengan sel hewan dijelaskan dalam Tabel 1.3 berikut.

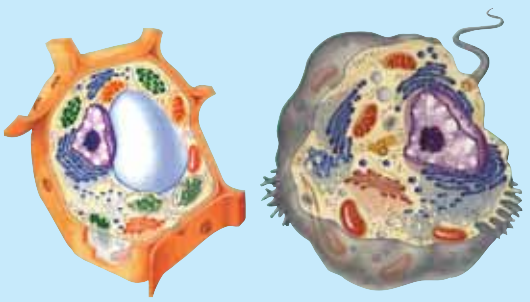
**Tabel 1.3** Perbedaan Sel Tumbuhan dengan Sel Hewan

| Bagian-Bagian Sel | Sel Tumbuhan | Sel Hewan |
|---|---|---|
| 1. Membran plasma | Ada | Ada |
| 2. Dinding sel | Ada | Tidak ada |
| 3. Nukleus | Ada | Ada |
| 4. Sitoplasma | Ada | Ada |
| 5. Retikulum endoplasma | Ada | Ada |
| 6. Ribosom | Ada | Ada |
| 7. Kompleks Golgi | Ada | Ada |
| 8. Lisosom | Ada | Ada |
| 9. Mitokondria | Ada | Ada |
| 10. Kloroplas | Ada | Tidak ada |
| 11. Vakuola | Ada | Tidak ada, kecuali hewan uniselular |
| 12. Sentriol | Tidak ada, kecuali tumbuhan tingkat rendah | Ada |
| 13. Sentrosom | Tidak ada, kecuali tumbuhan tingkat rendah | Ada |
| 14. Plastida | Ada | Tidak ada |

## Uji Kompetensi C

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Perhatikan gambar di bawah ini.



   a. Apa bagian terbesar dari sel hewan? Apa fungsinya?
   b. Apa bagian terbesar dari sel tumbuhan? Apa fungsinya?
2. Mengapa nukleolus disebut organel yang tidak tetap?
3. Menurut Anda, dinding sel primer atau sekunderkah yang mempunyai susunan lebih kuat? Mengapa?
4. Klorofil terdapat pada daun yang berwarna. Klorofil berfungsi untuk menangkap energi cahaya. Bagaimana penangkapan energi cahaya pada daun yang berwarna-warni?
5. Mengapa semakin dewasa tumbuhan, ukuran vakuolanya semakin besar?

## Tugas Proyek

### Membuat Model Bagian-Bagian Sel

Setiap sel, baik sel hewan maupun sel tumbuhan tersusun atas berbagai macam bagian. Setiap bagian sel ini mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda dengan bagian sel yang lain.

**A. Tujuan**

Membuat model bagian-bagian sel

**B. Alat dan Bahan**

1. styrofoam atau gabus
2. alat pemotong styrofoam
3. spidol berwarna-warni
4. lem atau perekat lain
5. lidi atau kawat
6. kertas
7. papan
8. plastik

**C. Cara Kerja**

1. Amatilah kembali gambar sel tumbuhan dan hewan beserta bagian-bagiannya.
2. Buatlah model bagian-bagian sel, misalnya membran plasma, retikulum endoplasma, mitokondria, badan Golgi, kloroplas, sentriol, dan lain-lain.
3. Pilihlah salah satu bagian sel dan buatlah modelnya menggunakan styrofoam.
4. Berilah warna berbeda pada setiap bagiannya.
5. Tuliskan pula fungsi bagian-bagiannya tersebut pada kertas yang ditempel pada papan dan diselubungi plastik.
6. Berkreasilah sebagus mungkin, kembangkan imajinasi Anda, tetapi tetap disesuaikan dengan teori yang ada.
7. Kumpulkan hasil karya Anda kepada bapak atau ibu guru.

**D. Pertanyaan**

1. Apa saja bagian-bagian sel tumbuhan dan hewan?
2. Apa fungsi setiap bagian sel tersebut?
3. Apa nama bagian sel yang Anda buat sebagai model?
4. Apakah bagian sel yang Anda buat sebagai model mempunyai peranan penting dalam kelangsungan hidup sel? Jelaskan.

**E. Laporan**

Buatlah laporan kegiatan ini dan bawalah hasil kreasi Anda ke sekolah.

## Rangkuman

1. Penemu mikroskop pertama kali yaitu Robert Hooke dan Antonie van Leeuwenhoek.
2. Sel merupakan kesatuan atau unit struktural makhluk hidup.
3. Sel sebagai unit fungsional makhluk hidup.
4. Sel sebagai unit pertumbuhan makhluk hidup.
5. Sel sebagai unit hereditas makhluk hidup.
6. Ada dua jenis mikroskop yaitu mikroskop cahaya dan mikroskop elektron. Mikroskop cahaya dapat digunakan untuk mengamati objek dalam keadaan hidup atau mati. Mikroskop elektron digunakan untuk mengamati objek dalam keadaan mati.
7. Pengukuran panjang atau lebar sel yang diamati disebut mikrometri.
8. Struktur sel eukariotik meliputi membran sel, sitoplasma, sitoskeleton, nukleus, retikulum endoplasma, ribosom, kompleks Golgi, lisosom, badan mikro, mitokondria, kloroplas, dan sentriol.
9. Struktur sel prokariotik meliputi dinding sel, membran plasma, sitoplasma, mesosom, ribosom, DNA, dan RNA.
10. Mekanisme transpor pada membran:
    a. Transpor pasif
        1) Difusi
            a) Difusi sederhana
            b) Difusi terbantu
        2) Osmosis
    b. Transpor aktif
        1) Pompa natrium-kalium
        2) Endositiosis dan eksositosis
11. Bagian-bagian sel tumbuhan yaitu membran plasma, dinding sel, nukleus, sitoplasma, retikulum endoplasma, kompleks Golgi, lisosom, mitokondria, kloroplas, vakuola, dan plastida.
12. Bagian-bagian sel hewan meliputi membran plasma, nukleus, sitoplasma, retikulum endoplasma, ribosom, kompleks Golgi, lisosom, mitokondria, sentriol, dan plastida.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Organel sel yang berisi enzim katalase dan berfungsi menguraikan hidrogen peroksida yaitu . . . .
    a. lisosom
    b. kromosom
    c. sentrosom
    d. peroksisom
    e. ribosom

2. Badan sel yang tidak bermembran yaitu . . . .
    a. badan mikro
    b. peroksisom
    c. lisosom
    d. vakuola
    e. ribosom

3. Pasangan nama organel dan fungsinya yang benar yaitu . . . .
    a. membran sel - respirasi
    b. nukleus - reproduksi
    c. RE - ekskresi
    d. mitokondria - transportasi
    e. badan Golgi - regulasi

4. Organel yang mengandung enzim pencernaan yaitu . . . .
    a. mitokondria
    b. kloroplas
    c. badan Golgi
    d. lisosom
    e. inti

5. Organel sel yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya sintesis protein yaitu . . . .
    a. kromosom
    b. lisosom
    c. sentrosom
    d. ribosom
    e. mitokondria

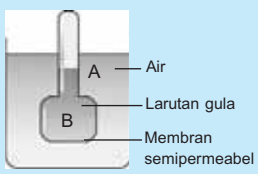
6. Organel yang merupakan tempat berlangsungnya respirasi sel disebut . . . .
    a. lisosom
    b. nukleus
    c. mitokondria
    d. ribosom
    e. RE

7. Penemu sel pertama kali yaitu . . . .
   a. Antonie van Leeuwenhoek
   b. Robert Hooke
   c. Robert Brown
   d. Schleiden dan Schwan
   e. Rudolf Virchof

8. Pernyataan Max Schultze tentang sel yaitu . . . .
   a. sel merupakan bagian terkecil makhluk hidup
   b. protoplasma merupakan bagian terpenting sel
   c. sel merupakan kesatuan hereditas
   d. inti merupakan bagian terpenting sel
   e. semua sel berasal dari sel juga

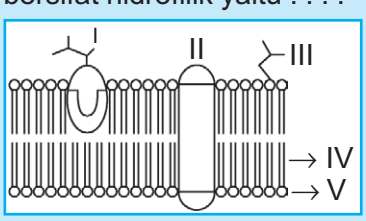
9. Teori sel yang menyatakan bahwa sel merupakan unit struktural makhluk hidup dikemukakan oleh . . . .
   a. Felix Durjadin
   b. Maz Schultze
   c. Rudolph Virchov
   d. Robert Brown
   e. Theodor Schwan

10. Gambar di samping merupakan perangkat percobaan untuk menunjukkan peristiwa osmosis.




    Pernyataan berikut yang sesuai dengan gambar tersebut yaitu . . .
   a. Permukaan A bertambah karena larutan A hipotonis.
   b. Permukaan B berkurang karena larutan B hipertonis.
   c. Permukaan A bertambah karena larutan A hipertonis.
   d. Permukaan B bertambah karena larutan A hipotonis.
   e. Permukaan A bertambah dan B tetap.

11. Pada struktur membran berikut ini, bagian yang bersifat hidrofilik yaitu . . . .




   a. I
   b. II
   c. III
   d. IV
   e. V

12. Perhatikan beberapa proses perpindahan molekul berikut ini.
   1) osmosis
   2) pompa ion natrium-kalium
   3) difusi
   4) endositosis
   5) eksositosis

    Proses perpindahan molekul yang membutuhkan energi adalah . . . .
   a. 1), 2), dan 3)
   b. 1), 3), dan 4)
   c. 2), 3), dan 4)
   d. 2), 4), dan 5)
   e. 3), 4), dan 5)

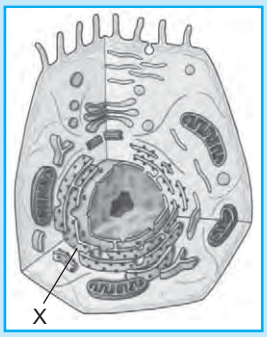
13. Seorang perokok pada sel darahnya mengandung nikotin. Proses masuknya nikotin terjadi secara . . . .
   a. difusi
   b. osmosis
   c. penyerapan
   d. transpor aktif
   e. tekanan osmotik

14. Sel hewan maupun sel tumbuhan memerlukan ion $K^+$ untuk aktivitas hidupnya. Pemasukan ion $K^+$ ke dalam sel dilakukan secara . . . .
   a. difusi
   b. osmosis
   c. transpor aktif
   d. fagositosis
   e. pinositosis

15. Fungsi vakuola makanan pada sel hewan yaitu . . . .
   a. membantu mencerna makanan
   b. tempat penyimpanan cadangan makanan
   c. untuk menimbun sisa-sisa metabolisme
   d. menjalankan reaksi oksidasi sel
   e. melaksanakan sintesis protein

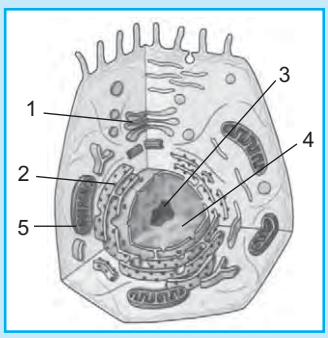
16. Organel yang berupa saluran halus dalam sitoplasma yang dibatasi sistem membran dan erat kaitannya dengan sistem angkutan pada sintesis protein yaitu . . . .
   a. ribosom
   b. retikulum endoplasma
   c. plasmodesmata
   d. badan Golgi
   e. lisosom

17. Pada gambar berikut, organel X berfungsi sebagai . . . .




a. pengubah secara kimia dan mentransfer materi-materi di dalamnya
b. katalisator dalam menguraikan materi-materi di dalamnya
c. pengurai molekul-molekul organik secara biologis
d. pelindung dan penunjang sel
e. tempat terjadinya sintesis protein

18. Pada gambar sel berikut, organel sel yang berperan dalam pembentukan lisosom ditunjukkan nomor . . . .




a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

19. Salah satu fungsi lisosom yaitu . . . .
a. autofagi
b. tempat sintesis protein
c. membentuk akrosom
d. transkripsi
e. detoksifikasi

20. Sifat berikut yang merupakan sifat fisik matriks sitoplasma yaitu . . . .
a. transpor aktif
b. fagositosis
c. elektroforesis
d. endositosis
e. gerak siklosis

21. Sitosol atau matriks sitoplasma dapat menghantarkan arus listrik. Sifat fisik ini disebut . . . .
a. eksositosis
b. endositosis
c. siklosis
d. elektroforesis
e. autofagi

22. Akrosom pada sperma dibentuk oleh organel sel yaitu . . . .
a. lisosom
b. badan mikro
c. mitokondria
d. kompleks Golgi
e. retikulum endoplasma

23. Dalam oksidasi substrat dihasilkan hidrogen peroksida ($H_2O_2$) yang bersifat racun. Oleh karena itu, perlu segera dipecah menjadi $H_2O$ dan $O_2$. Fungsi ini dilakukan oleh . . . .
a. peroksisom
b. lisosom
c. mitokondria
d. badan Golgi
e. ribosom

24. Organel sel yang berperan menjaga tekanan osmotik sitoplasma yaitu . . . .
a. vakuola kontraktil
b. vakuola makanan
c. vakuola fagosit
d. mikrofilamen
e. retikulum endoplasma

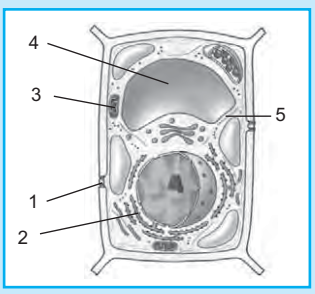
25. Keluar masuknya zat dari dan ke dalam sel tumbuhan terjadi melalui . . . .
a. mikrofilamen
b. noktah
c. sitoskeleton
d. plasmalema
e. sitoplasma

26. Sel hewan dan tumbuhan memiliki saluran yang dapat menghubungkan sitoplasma suatu sel dengan sitoplasma sel lain. Nama struktur yang membentuk saluran ini disebut . . . .
a. plasmodesmata, desmosom
b. plasmodesmata, $Ca^{2+}$-ATPase
c. porin, *gap junction*
d. *gap junction*, plasmodesmata
e. porin, desmosom

27. Daun yang tua mengandung banyak pigmen nonfotosintetik yang disebut . . . .
    a. antosianin
    b. fikosianin
    c. xantofil
    d. fikoeritrin
    e. karoten

28. Pada tanaman Leguminosae (kacang-kacangan) mengandung banyak leukoplas jenis . . . .
    a. lipidoplas dan kloroplas
    b. elaioplas dan amiloplas
    c. proteoplas dan lipidoplas
    d. amiloplas dan proteoplas
    e. elaioplas dan kloroplas

29. Perhatikan gambar sel tumbuhan berikut.




    Organel berlabel 1, 3, dan 5 secara berurutan berfungsi untuk . . . .
    a. endositosis atau eksositosis, oksidasi, dan pergerakan sel
    b. plasmolisis, pembentukan energi, dan membangun turgor sel
    c. fasilitas gerakan antarsel, sintesis karbohidrat, dan pergerakan sel
    d. mengatur transportasi antarsel, respirasi, dan mengatur tekanan osmosis
    e. transpor aktif, pembakaran, dan mengatur gerakan sel

30. Terbentuknya kayu pada tumbuhan disebabkan oleh . . . .
    a. penebalan secara penyisipan
    b. penebalan secara intususepsi
    c. tidak terjadi penebalan pada dinding sel
    d. penebalan oleh zat lignin
    e. pembentukan dinding sekunder

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Sebutkan fungsi membran sel.
2. Jelaskan yang dimaksud gerak Brown. Apa saja yang mempengaruhi gerak tersebut?
3. Sebutkan fungsi vakuola pada sel tumbuhan.
4. Sebutkan fungsi vakuola pada sel hewan bersel satu.
5. Sebutkan tiga tipe plastida berdasarkan pigmen yang dikandungnya.
6. Jelaskan terjadinya plasmolisis.
7. Jelaskan ciri ribosom yang terdapat pada sel eukariotik.
8. Jelaskan fungsi badan mikro (mikrobodi).
9. Sebutkan tiga tipe leukoplas berdasarkan fungsinya.
10. Apa yang dimaksud vakuola yang bersifat temporer?

C. *Berpikir kritis.*

Kegagalan panen selain dapat disebabkan hama juga dapat disebabkan kesalahan dalam perawatan. Misalnya saja, karena pemberian pupuk yang melebihi dosis. Para petani seringkali beranggapan bahwa dengan memberi pupuk yang banyak, suatu tanaman akan tumbuh subur. Sebenarnya anggapan tersebut salah. Pemberian pupuk yang melebihi dosis justru dapat menyebabkan kematian tanaman. Dari kasus tersebut, jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

1. Mengapa pemberian pupuk yang melebihi dosis dapat menyebabkan kematian tanaman? Ingat kembali proses difusi dan osmosis pada materi di depan.
2. Bagaimana seharusnya pemberian pupuk yang benar?

## Refleksi

### Struktur dan Fungsi Sel

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Bagaimana sejarah penemuan sel?
2. Bagaimana cara mengukur besarnya preparat?
3. Jelaskan struktur sel eukariotik.
4. Jelaskan struktur sel prokariotik.
5. Jelaskan proses terjadinya difusi, osmosis, pompa ion natrium-kalium, endositosis, dan eksositosis.
6. Apa perbedaan sel tumbuhan dengan sel hewan?
7. Apa fungsi organel-organel sel tumbuhan dan sel hewan?

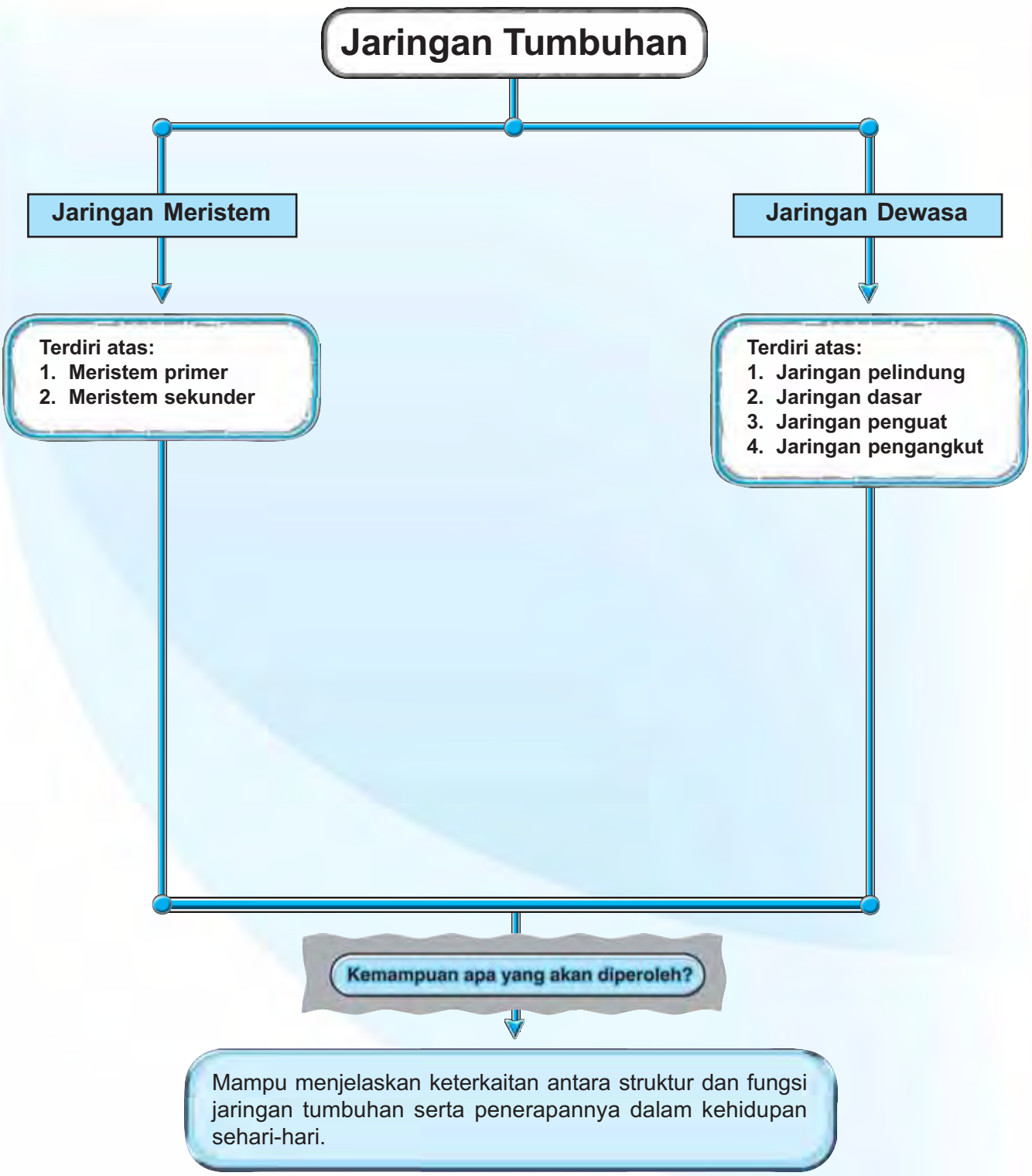
Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%

**Pelajari materi bab berikutnya**

# Bab II Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan



## Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Tumbuhan ada di mana-mana. Berbagai jenis tumbuhan ada di sekitar kita, seperti pada gambar di atas. Setiap jenis tumbuhan tersusun atas berbagai jaringan. Jaringan-jaringan apa saja yang menyusun suatu tumbuhan?

Setelah mempelajari bab ini, Anda akan memahami struktur dan fungsi jaringan tumbuhan. Pemahaman mengenai struktur dan fungsi jaringan tumbuhan ini, dapat digunakan untuk mengembangbiakan tumbuhan dengan teknik kultur jaringan.

### Kata Kunci

jaringan
kultur jaringan
organ
totipotensi
meristem
epidermis
kolenkim
klorenkim
sklerenkim
floem
xilem

Pada bab I, Anda telah mempelajari struktur sel tumbuhan. Tubuh tumbuhan tersusun atas banyak sel. Sel-sel itu pada tempat tertentu membentuk jaringan. Jaringan adalah sekelompok sel yang mempunyai asal, struktur, dan fungsi sama, terikat oleh bahan antarsel serta membentuk satu kesatuan.

## A. Jaringan Tumbuhan

Ketika duduk di SMA kelas X, Anda telah mempelajari berbagai macam tumbuhan, dari tumbuhan tingkat rendah sampai tumbuhan tingkat tinggi. Tumbuhan tingkat tinggi telah memiliki akar, batang, dan daun sejati serta menghasilkan biji sebagai alat perkembangbiakan.

Pada dasarnya jaringan pada tumbuhan ada dua macam, yaitu jaringan meristem (embrional) dan jaringan permanen (dewasa). Jaringan meristem tersusun oleh sel-sel muda sehingga selalu membelah dan belum terdiferensiasi.

Sel-sel penyusun jaringan permanen sudah tidak membelah, tetapi telah terdiferensiasi sehingga membentuk berbagai jaringan yang lebih kompleks. Diferensiasi adalah proses perubahan jaringan meristem menjadi jaringan-jaringan lain. Hasil diferensiasi jaringan meristem antara lain *jaringan epidermis*, *parenkim*, *kolenkim*, *klorenkim*, *sklerenkim*, *xilem*, dan *floem*.

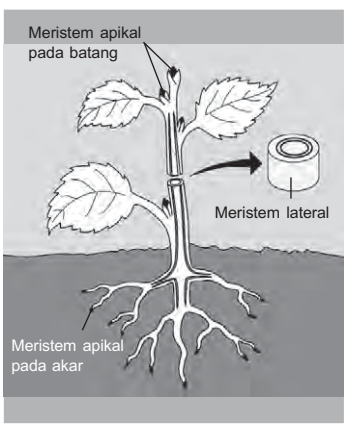
Berbagai macam jaringan tumbuhan, letak, dan fungsinya dijelaskan dalam uraian berikut.

### 1. Jaringan Meristem (Embrional)

Meristem merupakan istilah dari kata Yunani, *meristes*, yang berarti ”terbelah”. Jaringan meristem disebut juga jaringan muda karena terdiri dari sel-sel yang masih muda (embrional) dan belum mengalami diferensiasi atau spesialisasi. Jadi, jaringan meristem adalah jaringan yang sel penyusunnya bersifat embrional, artinya sel-selnya senantiasa aktif membelah diri untuk menambah jumlah sel tubuh. Sel-sel jaringan meristem biasanya berdinding tipis, vakuola banyak dan ukurannya kecil, mengandung banyak protoplasma, plastida belum matang, dan inti besar. Bentuk sel penyusun jaringan meristem umumnya sama ke segala arah.

Perhatikan Gambar 2.1 di samping. Berdasarkan letaknya pada batang, jaringan meristem dibedakan menjadi tiga sebagai berikut.

a. Meristem lateral (*lateral meristem*) atau meristem samping, terdapat di kambium dan *kambium gabus* (felogen).
b. Meristem interkalar (*intercalary meristem*) atau meristem antara, terdapat di antara jaringan dewasa, misalnya di pangkal ruas batang.
c. Meristem apikal (*apical meristem*) atau meristem ujung, terdapat di ujung batang dan ujung akar.



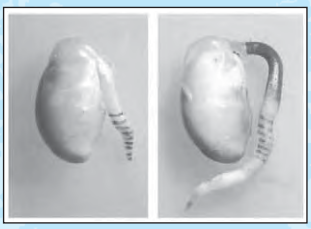

**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.1**
Letak jaringan meristem

**Tahukah Anda**

**Pertumbuhan Akar**

Akar yang baru muncul (gambar bawah, kiri) ditandai dengan garis-garis tinta dalam suatu percobaan untuk memperagakan tempat terjadinya pertumbuhan. Sel-sel di bagian ujung tumbuh dengan cepat dan menjauh dari garis-garis itu (gambar bawah, kanan). Jarak antara garis-garis tinta tidak bertambah besar, ini menunjukkan bagian akar tersebut tidak tumbuh.

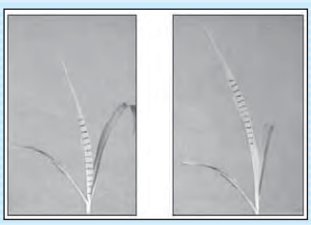


**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life, Tira Pustaka*

**Eksperimen Plus**

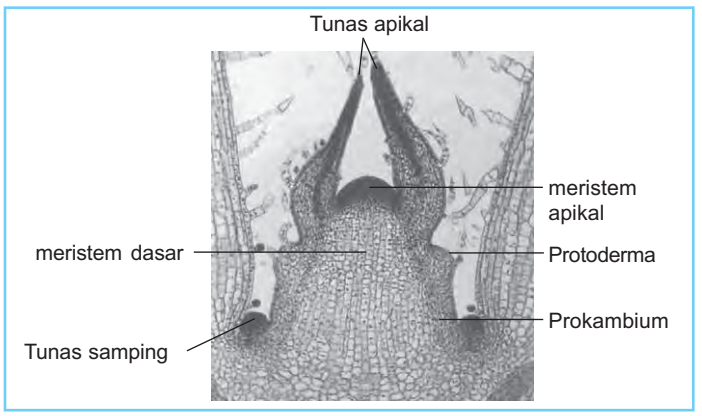
**Tumbuhnya Daun**

Carilah tumbuhan jagung. Kemudian tandailah daun yang sedang tumbuh dengan garis (lihat gambar di bawah). Amatilah selama beberapa hari. Bagian daun mana yang pertumbuhannya paling cepat?



**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life, Tira Pustaka*

Perhatikan Gambar 2.2 agar Anda dapat mengetahui struktur jaringan meristem yang terletak di ujung batang tumbuhan.



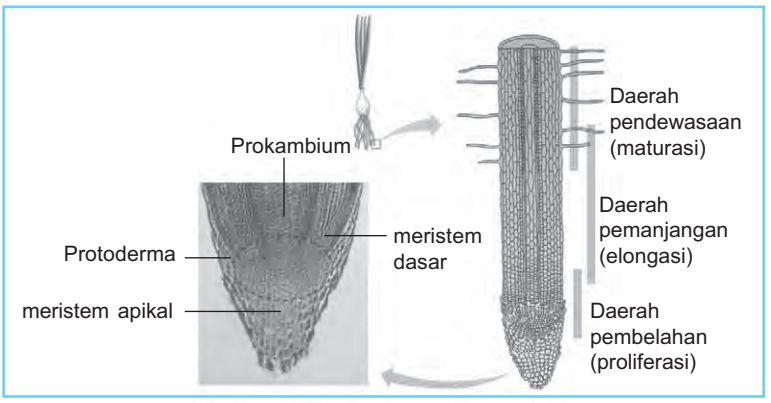

**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.2**
Struktur jaringan meristem pada ujung batang tumbuhan

Sementara itu, jaringan meristem dibedakan menjadi meristem primer dan meristem sekunder berdasarkan asal terbentuknya.

## a. Meristem Primer

Meristem primer adalah jaringan muda yang berasal dari sel-sel embrional. Meristem primer merupakan kelanjutan dari kegiatan embrio atau lembaga yang terdapat pada kuncup ujung batang dan ujung akar. Hal inilah yang memungkinkan akar dan batang bertambah panjang sehingga tumbuhan dapat bertambah tinggi. Perhatikan Gambar 2.3 untuk mengetahui letak meristem pada akar.




**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.3**
Meristem primer pada akar

Daerah-daerah pada meristem primer mempunyai tingkat perkembangan sel berbeda-beda. Meristem ujung terdapat pada ujung batang. Di dekat meristem ujung terdapat promeristem dan daerah meristematik lain. Daerah ini terdiri dari sekelompok sel yang telah mengalami diferensiasi sampai tingkat tertentu dan terdiri dari tiga jenis jaringan (meristem primer) sebagai berikut.

1) *Protoderma*, bagian ini merupakan asal-usul jaringan kulit (epidermis).

2) *Prokambium*, bagian ini akan membentuk jaringan ikat pembuluh primer (xilem primer dan floem primer) dan kambium.
3) *Meristem dasar*, bagian ini akan membentuk jaringan dasar (parenkim) tumbuhan.

### b. Meristem Sekunder

Meristem sekunder terbentuk dari jaringan dewasa yang telah terhenti pertumbuhannya, tetapi menjadi embrional kembali. Kambium gabus pada batang Dicotyledoneae dan Gymnospermae terbentuk dari sel-sel korteks di bawah epidermis. Bagian ini merupakan salah satu contoh meristem sekunder.

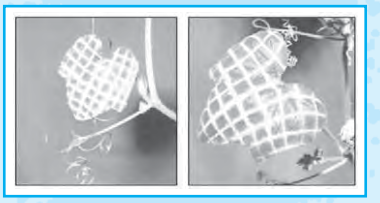
Sel-sel kambium tumbuh dan membelah sepanjang hidup tumbuhan, sehingga batang tumbuhan tumbuh menjadi lebih besar. Jaringan kambium yang terletak di antara xilem dan floem disebut **meristem sekunder**. Pertumbuhan sel kambium ke arah dalam akan membentuk xilem sekunder dan ke arah luar membentuk floem sekunder. Jaringan kambium dijumpai pada batang tumbuhan anggota kelas Dicotyledoneae. Sementara itu, tumbuhan kelas Monocotyledoneae tidak mempunyai jaringan kambium (meristem sekunder) sehingga batangnya tidak mengalami pertumbuhan sekunder.

**Tahukah Anda**

**Pertumbuhan Daun dan Batang**

Pada tumbuhan berdaun lebar, seperti belustru di bawah, semua sel pada helaian daun tumbuh dan membelah. Setiap kotak pada daun menjadi lebih lebar dengan arti bahwa seluruh daun tumbuh.

Batang tumbuh semata-mata dari ujungnya. Beberapa sel-sel yang telah dewasa menjadi keras dan berfungsi sebagai pelindung. Sel-sel tengah akan menjadi bagian xilem dan floem.



**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life, Tira Pustaka*

## 2. Jaringan Dewasa

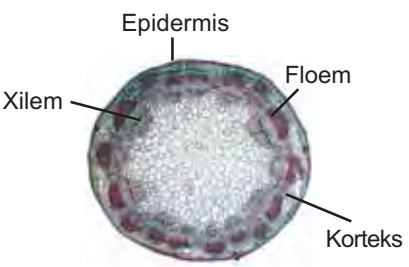
Di halaman depan telah disebutkan bahwa jaringan dewasa merupakan jaringan yang sel-selnya sudah tidak membelah, tetapi telah mengalami diferensiasi dan spesialisasi fungsi dari sel-sel hasil pembelahan meristem. Diferensiasi ini merupakan proses perubahan jaringan meristem menjadi jaringan-jaringan lain yang lebih kompleks. Jaringan dewasa meliputi jaringan pelindung (epidermis dan jaringan gabus), jaringan dasar (parenkim), jaringan penguat (kolenkim dan sklerenkim), dan jaringan pengangkut (xilem dan floem).

### a. Jaringan Pelindung

Tumbuh-tumbuhan memerlukan perlindungan dari semua pengaruh luar yang merugikan pertumbuhannya, misalnya kekurangan air, kerusakan mekanis, suhu udara yang terlalu tinggi atau rendah, kehilangan zat-zat makanan, serta perlindungan terhadap serangan penyakit dan hama. Jaringan pelindung pada tumbuhan berupa jaringan epidermis dan jaringan gabus.

#### 1) *Jaringan Epidermis*

Apakah jaringan epidermis? Sebelum Anda memahami lebih lanjut mengenai jaringan epidermis, amati terlebih dahulu Gambar 2.4 secara cermat. Setelah Anda mengamatinya, lakukan kegiatan berikut ini.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.4**
Jaringan pada potongan melintang batang muda tumbuhan Dicotyledoneae

## Eksperimen 1

**Mengamati Jaringan Epidermis pada Batang Dicotyledoneae**

Sediakan mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pipet, air, silet, dan salah satu jenis tumbuhan Dicotyledoneae yang mudah diamati, misalnya bunga matahari. Irislah secara melintang batang bunga matahari tersebut setipis mungkin menggunakan silet. Letakkan irisan tersebut segera di atas setetes air pada gelas benda, kemudian tutup dengan gelas penutup dan amati dengan mikroskop. Mulailah dari perbesaran lemah untuk mengamati letak epidermis. Selanjutnya, amati dengan perbesaran 100´ untuk mengamati lapisan epidermis. Gambarlah hasil pengamatan Anda.

**Pertanyaan:**

1. Di mana letak jaringan epidermis?
2. Ada berapa lapis sel epidermis?
3. Bagaimana bentuk dan susunan epidermis?
4. Apa kesimpulan Anda?

Buatlah laporan tertulis hasil kegiatan Anda dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

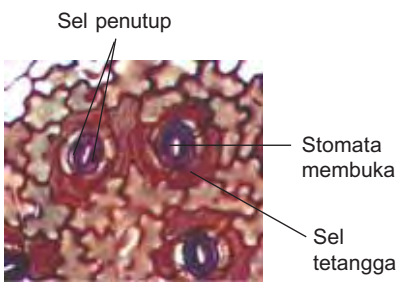
Jaringan epidermis merupakan jaringan terluar tumbuhan yang berasal dari jaringan protoderma dan menutupi seluruh tubuh tumbuhan.

Jaringan epidermis biasanya terdiri dari satu lapisan sel yang masih hidup dan terletak pada permukaan luar organ tumbuhan. Bentuk selnya bermacam-macam dan susunannya rapat sehingga tidak terdapat ruang-ruang antarsel (*non intercellular spaces*). Vakuolanya yang besar terdapat di bagian tengah, berisi cairan sel yang berwarna (antosianin) atau dapat pula tidak berwarna.

Jaringan epidermis selain berfungsi sebagai jaringan pelindung juga berfungsi sebagai tempat pertukaran zat. Epidermis terdapat pada batang, akar, dan daun. Epidermis pada permukaan daun dan batang biasanya dilapisi semacam zat lemak yang disebut **kutikula**, misalnya pada daun nangka. Sementara itu, pada daun pisang dan daun keladi, epidermisnya membentuk lapisan lilin yang kedap air. Sebagian sel-sel epidermis dapat berkembang menjadi alat-alat tambahan lain yang disebut **derivat epidermis**, misalnya stomata dan trikomata.

### a) *Stomata (Mulut Daun)*

Stomata merupakan derivat jaringan epidermis pada daun. Stomata berupa lubang-lubang yang masing-masing dibatasi oleh sel penutup, yaitu sel-sel epidermis yang telah mengalami perubahan bentuk dan fungsi. Perhatikan Gambar 2.5. Stomata berfungsi untuk pertukaran gas. Adapun bagian-bagian stomata sebagai berikut.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.5**
Epidermis pada daun

#### (1) Sel Penutup (*Guard Cell*)

Sel penutup disebut juga **sel penjaga**. Sel penutup terdiri dari sepasang sel yang kelihatannya simetris dan umumnya berbentuk ginjal. Sel-sel penutup merupakan sel-sel aktif (hidup). Pada sel-sel penutup terdapat kloroplas.

### (2) Celah (*Aperture* = porus)

Di antara kedua sel penutup terdapat celah (porus) yang berupa lubang kecil. Sel penutup dapat mengatur menutup atau membukanya porus berdasarkan perubahan osmosisnya.

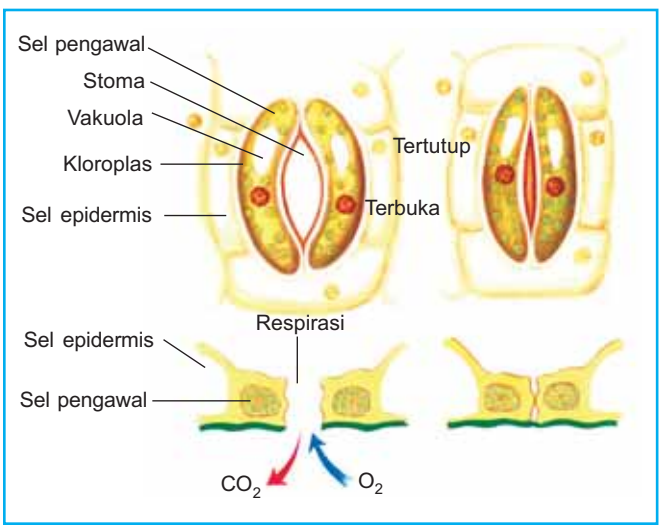
### (3) Sel Tetangga (*Subsidiary Cell*)

Sel tetangga merupakan sel-sel yang berdampingan atau yang berada di sekitar sel-sel penutup. Sel-sel tetangga dapat terdiri dari dua buah atau lebih yang secara khusus melangsungkan fungsinya secara berasosiasi dengan sel-sel penutup.

### (4) Ruang Udara Dalam (*Substomata Chamber*)

Ruang udara merupakan suatu ruang antarsel yang besar dan berfungsi ganda dalam fotosintesis, transpirasi, dan juga respirasi.

Keadaan keempat bagian tersebut berbeda pada saat stomata terbuka dan tertutup. Perhatikan Gambar 2.6 berikut.




**Sumber:** *Dunia Tumbuhan, Tira Pustaka*

**Gambar 2.6**
Stomata terbuka dan tertutup

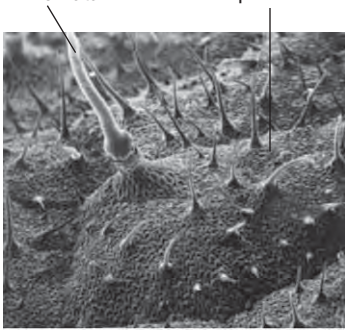
Berdasarkan letak sel penutupnya, stomata dapat dibedakan menjadi dua macam sebagai berikut.

(1) Stomata fanerofor, yaitu stomata yang sel-sel penutupnya terletak pada permukaan daun (menonjol) sehingga memudahkan pengeluaran air, misalnya pada tumbuhan hidrofit.

(2) Stomata kriptofor, yaitu stomata yang sel-sel penutupnya berada jauh di bawah permukaan daun (tersembunyi), fungsinya untuk mengurangi penguapan yang berlebihan. Contohnya pada tumbuhan xerofit.

## Forum Diskusi

Di depan telah dijelaskan bahwa stomata berfungsi untuk mengatur pertukaran gas. Dewasa ini, di kota-kota besar banyak sekali terjadi polusi udara. Bahan-bahan pencemar udara ini kadang-kadang melapisi daun tanaman. Diskusikanlah bersama teman-teman Anda mengenai pengaruh polusi pada tanaman dan kira-kira apa yang akan terjadi jika lapisan polusi cukup tebal menutup stomata. Tulislah hasil diskusi Anda dan bahaslah bersama guru Anda di kelas.




**Sumber:** *Biology*, *Solomon*

**Gambar 2.7**
Letak trikomata di lapisan epidermis

### b) *Trikomata*

Trikomata merupakan derivat epidermis yang membentuk struktur beragam seperti rambut, sisik, rambut kelenjar, tonjolan, dan lain-lain. Trikomata terdapat hampir pada semua organ tumbuhan. Terkadang trikomata berbentuk pendek yang tampak berupa penonjolan-penonjolan (seperti bukit-bukit kecil) pada permukaan epidermis. Perhatikan Gambar 2.7. Trikomata seperti ini disebut **papilla**. Papilla merupakan alat sekresi yang mengeluarkan semacam lendir. Papilla yang tidak mengeluarkan sejenis lendir, tetapi hanya mengeluarkan air disebut **papullae**. Trikomata mempunyai fungsi sebagai berikut.

(1) Memperbesar fungsi epidermis sebagai jaringan pelindung terutama mencegah penguapan yang berlebihan. Misalnya trikomata pada daun, tulang daun, dan batang.
(2) Sebagai alat pengisap air dan garam-garam tanah, misalnya bulu akar.
(3) Membantu penyebaran biji dan memungkinkan biji-biji itu tumbuh.
(4) Melindungi tumbuhan dari gangguan luar. Misalnya rambut-rambut penyengat (*pneumatokist*).
(5) Sebagai alat penerus rangsang yang datang dari luar. Misalnya trikomata pada daun tembikar.
(6) Sebagai alat sekresi.

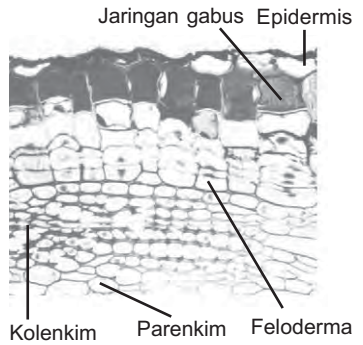
Berdasarkan ada tidaknya fungsi sekret, trikomata dapat dibedakan menjadi dua sebagai berikut.

(1) Trikomata yang tidak menghasilkan sekret (trikomata nonglandular). Beberapa macam trikomata nonglandular sebagai berikut.
    (a) Rambut bersel satu atau bersel banyak dan tidak pipih, contohnya pada Lauraceae dan Moraceae.
    (b) Rambut sisik yang memipih dan bersel banyak, contohnya pada daun durian (*Durio zibetinus*).
    (c) Rambut bercabang dan bersel banyak, contohnya pada daun waru (*Hibiscus tiliaceus*).

(2) Trikomata yang menghasilkan sekret (trikomata glandular). Trikomata pada daun tembakau (*Nicotiana tabacum*) merupakan trikomata glandular yang sederhana, memiliki tangkai dengan kepala bersel satu atau bersel banyak. Pada tumbuhan sering dijumpai berbagai macam trikomata glandular, yaitu sebagai berikut.
   (a) Trikomata hidatoda, terdiri dari sel tangkai dan beberapa sel kepala dan mengeluarkan larutan. Misalnya pada keluarga keladi (Araceae).
   (b) Kelenjar garam, terdiri dari sebuah sel kelenjar besar dengan tangkai yang pendek, misalnya pada tumbuhan bakau.
   (c) Kelenjar madu, berupa rambut bersel satu atau lebih dengan plasma yang kental dan mampu mengeluarkan madu ke permukaan sel, misalnya pada tanaman pisang.
   (d) Rambut gatal, berupa sel tunggal dengan pangkal berbentuk kantung dan ujung runcing. Isi sel menyebabkan rasa gatal. Misalnya pada rambut sengat kemaduh (*Laportea stimulans*).

### 2) *Jaringan Gabus*

Selain epidermis ada sejenis jaringan tertentu yang sifatnya lebih kuat dari epidermis, jaringan ini dikenal sebagai jaringan gabus (*cork tissue*). Perhatikan Gambar 2.8. Biasanya jaringan ini berada di bagian tepi, meskipun tidak mutlak dan banyak terdapat pada tumbuhan yang berumur panjang. Dalam hal ini, biasanya epidermis tumbuhan telah mati atau tidak aktif lagi sebelum terjadi penggabusan itu. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa jaringan gabus ini menggantikan fungsi epidermis. Selain itu, jaringan gabus juga berfungsi sebagai pembatas antara jaringan-jaringan di dalam tumbuhan. Jaringan gabus dibedakan menjadi 3 macam yaitu *eksodermis*, *endodermis*, dan *kulit gabus* (*peridermis*).

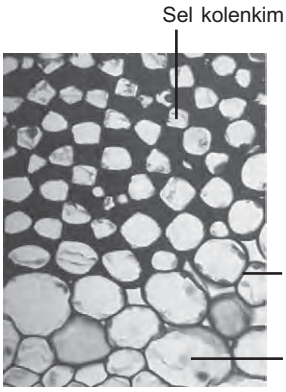



**Sumber:** *Biology*, *Raven & Johnson*

**Gambar 2.8**
Letak jaringan gabus

Jika epidermis hilang atau rusak, lapisan sel di bawahnya akan berubah menjadi jaringan pelindung dan bergabus yang mengandung suberin. Jaringan inilah yang dinamakan eksodermis. Endodermis adalah lapisan sel yang terdapat dalam akar yang dinding selnya bergabus. Lapisan sel ini sering dianggap sebagai lapisan sel yang paling dalam dari korteks (kulit kayu) atau lapisan sel paling luar dari silinder pusat (stele). Sementara itu, kulit gabus atau peridermis mempunyai bagian-bagian sebagai berikut.

a) *Felogen* (*cork cambium*) yaitu kambium gabus yang merupakan suatu lapisan sel meristematis.
b) *Felem* (*cork*) yaitu gabus sebagai produk dari felogen yang terbentuk ke arah luar.
c) *Feloderma* yaitu suatu parenkim gabus yang dapat dikatakan hampir homogen dengan parenkim korteks yang terbentuk ke arah dalam.




**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.9**
Parenkim dan kolenkim

## b. Jaringan Dasar (Parenkim)

Jaringan parenkim atau jaringan dasar (*ground tissue*) merupakan suatu jaringan yang terbentuk dari sel-sel hidup dengan struktur morfologi serta fisiologi yang bervariasi dan masih melakukan segala kegiatan proses fisiologis. Disebut sebagai jaringan dasar karena hampir setiap bagian tumbuhan mempunyai jaringan ini. Parenkim terdapat pada akar, batang, daun, dan melingkupi jaringan lainnya, misalnya pada xilem dan floem.

Perhatikan Gambar 2.9. Parenkim mempunyai dinding sel tipis dan jika mengalami penebalan biasanya terdiri dari selulosa yang masih lentur. Dinding selnya jarang sekali mengandung lignin, kecuali organ yang telah tua. Dinding sel yang telah menebal umumnya mempunyai plasmodesmata yang dapat membantu kelancaran pertukaran zat. Jaringan parenkim mempunyai sel-sel yang masih hidup. Di bagian tengah ruang selnya terdapat sentra vakuola besar berisi zat-zat makanan cadangan. Dalam protoplasma biasanya terdapat plastida baik leukoplas, kloroplas, maupun kromoplas. Di antara sel-sel parenkim, terdapat ruang antarsel (*intercellular spaces*) yang berperan dalam pertukaran atau peredaran gas-gas. Kebanyakan sel parenkim berbentuk segi banyak (polihedral).

Selain sebagai jaringan dasar, jaringan parenkim juga berfungsi sebagai jaringan penghasil dan penyimpan cadangan makanan. Parenkim penghasil makanan adalah parenkim yang digunakan sebagai tempat fotosintesis, misalnya pada mesofil daun. Hasil-hasil fotosintesis akan disimpan dalam parenkim. Parenkim batang dan akar pada beberapa tumbuhan berfungsi untuk menyimpan pati sebagai cadangan makanan, misalnya pada ubi jalar (*Ipomea batatas*). Selain itu, epidermis juga berfungsi sebagai penyokong tubuh apabila vakuolanya berisi air, seperti pada tumbuhan lunak (bayam).

Terdapat berbagai macam jaringan parenkim antara lain parenkim asimilasi, parenkim makanan, parenkim air, parenkim udara, dan parenkim pengangkut. Parenkim asimilasi terdiri dari sel-sel yang mengandung banyak plastida kloroplas sehingga disebut juga **klorenkim**, misalnya pada daun. Parenkim ini bermanfaat bagi berlangsungnya fotosintesis (sintesis karbohidrat).

Parenkim makanan mengandung plastida amiloplas yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan makanan cadangan, misalnya pada akar, umbi, umbi lapis, dan akar rimpang. Parenkim air digunakan sebagai jaringan penyimpan air, di mana air ini terikat dalam vakuola dari sel-selnya secara aktif, misalnya pada batang yang bersifat *succulent* (mampu menyimpan air dalam jaringan sehingga tampak berdaging) seperti pada tumbuhan kaktus.

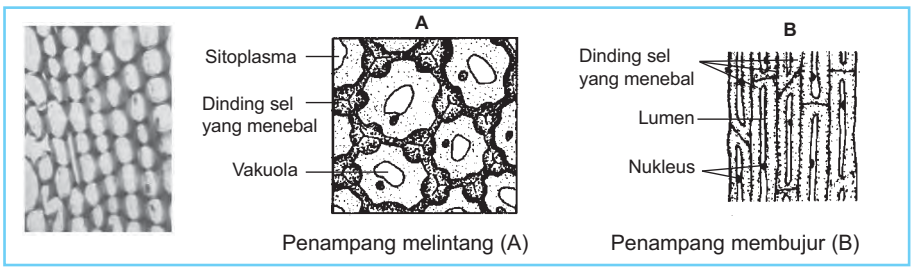
Parenkim udara mempunyai ruang-ruang antarsel yang cukup besar dan di dalamnya terdapat udara, misalnya pada alat pengapung tumbuhan dan tangkai daun *Canna* sp. Sementara itu, parenkim pengangkut terdiri atas sel-sel memanjang dengan letak menurut arah pengangkutan, misalnya pada xilem dan floem.

## c. Jaringan Penguat

Di dalam tubuh tumbuhan diperlukan adanya jaringan penguat untuk memperkokoh tubuh. Oleh karena itu, tumbuhan memerlukan jaringan penguat atau penunjang yang disebut juga **jaringan mekanik**. Jaringan mekanik ini umumnya terdiri dari sel-sel berdinding tebal serta mengandung lignin dan zat-zat lainnya. Zat-zat tersebut memberi sifat keras pada dinding selnya. Berdasarkan bentuk dan sifatnya, jaringan mekanik dibagi atas kolenkim dan sklerenkim.

### 1) *Jaringan Kolenkim*

Jaringan ini menjadi penguat utama organ-organ tumbuhan yang masih aktif mengadakan pertumbuhan dan perkembangan. Kolenkim merupakan jaringan homogen yang tersusun atas sel-sel kolenkim. Kolenkim umumnya terletak di bawah epidermis batang, tangkai daun, tangkai bunga, dan ibu tulang daun. Kolenkim jarang terdapat pada akar. Sel kolenkim biasanya memanjang sejajar dengan pusat organ tempat kolenkim itu terdapat. Perhatikan Gambar 2.10.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

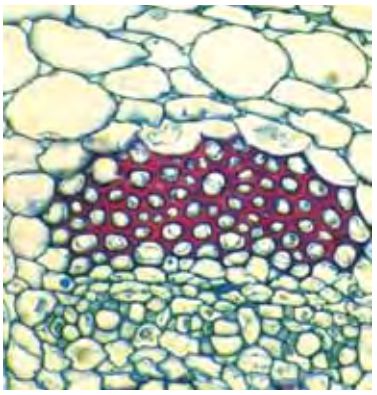
**Gambar 2.10**
Struktur jaringan kolenkim

Dinding sel kolenkim tidak mengandung lignin, tetapi mengandung selulosa, pektin, dan hemiselulosa. Adakalanya dalam sel kolenkim terdapat kloroplas sehingga juga berfungsi dalam fotosintesis.

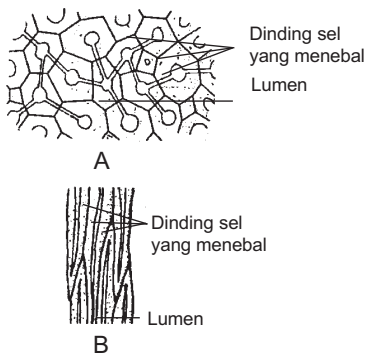
Sel-sel kolenkim biasanya mengalami penebalan setempat pada dinding selnya. Berdasarkan letak dan bentuk penebalan, kolenkim dibedakan menjadi tiga macam yaitu kolenkim *angular*, kolenkim *lamellar*, dan kolenkim *lacunate*. Kolenkim angular (sudut) mengalami penebalan pada bagian-bagian sudutnya. Kolenkim lamellar (papan) mengalami penebalan pada dinding-dinding sel yang tangensial saja. Sementara itu, kolenkim lacunate (lakuna) mengalami penebalan pada permukaan ruang antarsel.

### 2) *Jaringan Sklerenkim*

Jaringan ini juga merupakan jaringan penguat, tetapi hanya terdapat pada jaringan tumbuhan yang tidak lagi mengadakan pertumbuhan dan perkembangan. Jaringan sklerenkim terdiri atas sel-sel mati. Dinding selnya sangat tebal dan kuat karena mengandung lignin (komponen utama kayu). Dinding selnya mengalami penebalan primer dan penebalan sekunder oleh zat lignin.



Jaringan sklerenkim




**Jaringan sklerenkim**
**A. Penampang melintang**
**B. Penampang membujur**

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.11**
Struktur jaringan sklerenkim

Perhatikan Gambar 2.11.

Berdasarkan bentuknya, sklerenkim dibagi menjadi dua, yaitu serabut sklerenkim yang berbentuk seperti benang panjang, dan sklereid (sel batu). Sklereid terdapat pada berkas pengangkut, di antara sel-sel parenkim, korteks batang, tangkai daun, akar, buah, dan biji.

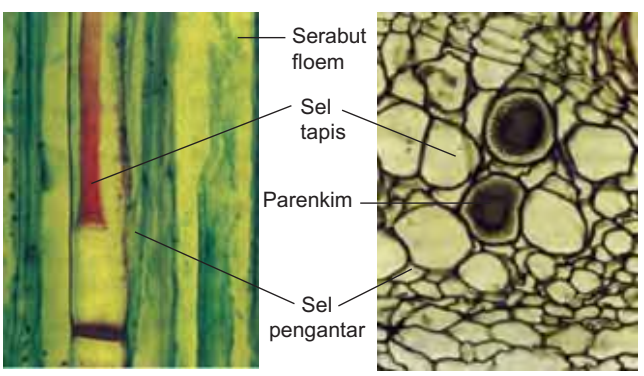
Sklerenkim berfungsi menguatkan bagian tumbuhan yang sudah dewasa. Sklerenkim juga berfungsi untuk melindungi bagian-bagian lunak yang berada di bagian lebih dalam misalnya pada kulit biji jarak, tempurung kelapa, dan buah kenari.

## d. Jaringan Pengangkut

Jaringan pengangkut berfungsi untuk mengangkut zat-zat mineral (unsur hara dan air) yang diserap oleh akar dari tanah. Selain itu, jaringan pengangkut juga sebagai pengangkut zat-zat makanan hasil fotosintesis untuk disalurkan ke bagian-bagian lain. Berdasarkan bentuk dan sifatnya, jaringan ini dibedakan menjadi jaringan floem dan jaringan xilem.

### 1) *Floem*

Floem berfungsi mengangkut dan mengedarkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan. Floem tersusun atas sel-sel yang masih aktif atau hidup dan yang telah mati. Floem merupakan suatu jaringan dewasa yang kompleks. Pelaksanaan fungsi floem didukung oleh sel-sel penyusunnya. Floem terdiri dari beberapa sel atau unsur yaitu unsur-unsur kibral, sel pengantar, sel albumen, parenkim floem, dan serat-serat floem. Perhatikan Gambar 2.12 berikut.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.12**
Jaringan floem Monocotyledoneae terdiri atas buluh tapis, sel pengantar, parenkim, dan serabut floem

Unsur-unsur kibral atau tapis terdiri atas dua macam, yaitu sel-sel tapis dan komponen buluh tapis. Sel-sel penyusun buluh tapis mempunyai dinding melintang yang berfungsi sebagai sekat-sekat. Sekat-sekat ini mempunyai pori-pori dan berfungsi sebagai tapisan atau saringan.

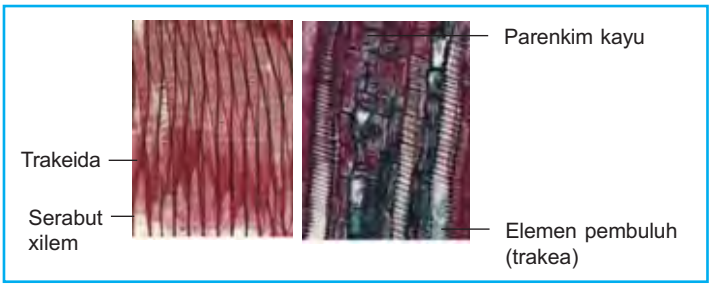
Parenkim floem merupakan jaringan parenkim yang terdapat di bagian pembuluh tapis (floem). Pada bagian ini terdapat sel-sel pengantar dan sel-sel albumen. Sel albumen merupakan sel jari-jari empulur dan sel-sel parenkim pembuluh tapis. Sel-sel ini kaya akan zat putih telur. Jaringan parenkim pada floem terdiri dari sel-sel yang masih hidup dan melakukan kegiatan-kegiatan tertentu. Parenkim floem berfungsi untuk menyimpan zat-zat tepung, lemak, dan zat organik lainnya serta merupakan tempat akumulasi beberapa zat, misalnya tanin dan resin.

Sel pengantar atau pengiring terdiri dari sel-sel masih hidup dan bersifat meristematis. Fungsi sel-sel pengantar belum diketahui secara pasti. Namun, diperkirakan bahwa sel pengantar berfungsi sebagai pembawa hormon-hormon bagi penyembuhan luka dan menyalurkan zat-zat makanan bagi sel-sel tapis.

Serat-serat floem terdiri atas floem primer maupun sekunder. Floem primer terbentuk dalam organ-organ tumbuhan yang masih mengadakan pertumbuhan memanjang. Adapun serat-serat floem sekunder terbentuk dari sel-sel kambium.

### 2) *Xilem*

Jaringan xilem merupakan jaringan dewasa yang kompleks dan tersusun dari berbagai macam sel. Pada umumnya, sel-sel penyusun xilem telah mati dengan dinding sel yang tebal dan mengandung lignin. Xilem berfungsi mengangkut air dan zat-zat mineral (hara) dari akar ke daun serta sebagai jaringan penguat. Xilem terdiri atas beberapa unsur atau sel-sel yaitu *unsur trakeal* (trakea dan trakeida), *serat xilem*, dan *parenkim xilem*. Perhatikan Gambar 2.13.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.13**
Struktur jaringan xilem

Trakea merupakan bagian terpenting pada xilem tumbuhan bunga (Anthophyta). Trakea tersusun atas tabung-tabung yang berdinding tebal karena adanya lapisan selulosa sekunder dan diperkuat lignin sebagai bahan pengikat. Lubang atau noktah yang terdapat di ujung-ujung sel trakea disebut **perforasi**. Trakea hanya terdapat pada Angiospermae (tumbuhan berbiji tertutup) dan tidak terdapat pada Gymnospermae (tumbuhan berbiji terbuka), kecuali anggota Gnetaceae (golongan belinjo).

Trakeida mempunyai diameter lebih kecil dibandingkan trakea, walaupun dinding selnya juga tebal dan berkayu. Rata-rata diameter trakeida 30 milimeter dan panjangnya beberapa milimeter. Trakeida terdapat pada semua tumbuhan Spermatophyta (tumbuhan berbiji). Pada ujung sel trakeida terdapat lubang seperti saringan.

Pada batang anggota tumbuhan Dicotyledoneae, jika dilihat dari arah luar letak xilem berada pada bagian dalam sesudah kambium. Sementara itu pada akar, xilem terletak di tengah dan berbentuk menjari dikelilingi floem. Pada akar Monocotyledoneae, letak xilem berdampingan dengan floem dan xilem di sebelah luar. Antara xilem dan floem tidak dibatasi oleh kambium.

Anda telah mengetahui struktur serta fungsi xilem dan floem. Xilem dan floem tersusun atas unsur-unsur yang berbeda-beda. Lakukan kegiatan berikut agar Anda dapat membandingkan unsur-unsur penyusun xilem dan floem.

## Eksperimen 2

### Mengamati Struktur Xilem dan Floem

Sediakan batang muda bunga sepatu atau batang Dicotyledoneae lainnya, mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pipet tetes, larutan floroglusin, dan HCl 25% atau pewarna saflanin 1%. Buatlah preparat segar dengan membuat irisan melintang setipis mungkin dari batang muda bunga sepatu. Amati dengan mikroskop, jika sudah jelas berilah larutan floroglusin dan HCl 25%. Jika tidak terlihat, gunakan larutan pewarna safranin untuk memperjelas. Bandingkan unsur-unsur jaringan xilem dan floem. Bandingkan hasil pengamatan antara xilem dan floem dan tulislah dalam tabel berikut.

| No. | Pembeda | Xilem | Floem |
|---|---|---|---|
| 1. | Unsur penyusun | | |
| 2. | Zat/letak penebalan dinding sel | | |
| 3. | Letak xilem dan floem dalam berkas pengangkut | | |
| 4. | Fungsi | | |

**Pertanyaan:**

1. Adakah perbedaan warna yang diserap dinding sel-sel unsur xilem dengan floem?
2. Perbedaan tersebut menunjukkan kandungan senyawa apa pada dinding sel tersebut?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan hasil eksperimen Anda dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jaringan kolenkim dapat menyokong batang tanpa menghalangi pertumbuhan. Mengapa demikian? Jelaskan.
2. Stomata berfungsi untuk pertukaran gas. Berdasarkan fungsi tersebut, kapan stomata membuka dan menutup? Jelaskan jawaban Anda.
3. Mengapa tumbuhan Monocotyledoneae hanya bertambah tinggi, tetapi tidak dapat bertambah besar?
4. Derivat epidermis pada akar berupa rambut-rambut akar. Apa fungsi rambut-rambut akar ini?
5. Pada waktu Anda mengamati jaringan pada batang, di bagian mana ditemukan kolenkim? Jelaskan ciri-ciri dan fungsinya.

Anda telah mempelajari struktur dan fungsi beberapa jaringan tumbuhan, termasuk jaringan pengangkut yaitu xilem dan floem. Bagaimana proses pengangkutan pada tumbuhan? Kita akan mempelajarinya dalam subbab berikut.

## B. Pengangkutan pada Tumbuhan

Tumbuhan memerlukan berbagai macam zat untuk kelangsungan hidupnya. Zat-zat tersebut sebagian besar diambil dari lingkungan, misalnya mineral, air, karbon dioksida, dan oksigen. Tumbuhan tingkat tinggi mengambil oksigen dan karbon dioksida melalui daun. Air dan garam-garam mineral diserap oleh tumbuhan dari dalam tanah melalui rambut-rambut akar yang terdapat pada epidermis akar. Tumbuhan mengambil air, karbon dioksida, dan oksigen dengan cara difusi, osmosis, dan transpor aktif. Ingatlah kembali materi bab 1 tentang sel.

Tumbuhan membutuhkan air sepanjang hidupnya. Setelah diserap akar, air digunakan dalam semua reaksi kimia, mengangkut zat hara, membangun turgor, dan akhirnya keluar dari daun sebagai uap atau air. Tumbuhan mempunyai sistem pengangkutan air dan garam mineral yang diperoleh dari tanah agar air tetap tersedia. Pada tumbuhan tingkat tinggi terdapat dua macam cara pengangkutan air dan garam mineral yang diperoleh dari tanah, yaitu ekstravaskular dan intravaskular.

**Pengangkutan ekstravaskular** adalah pengangkutan di luar berkas pembuluh. Pengangkutan ini bergerak dari permukaan akar menuju ke bagian-bagian yang letaknya lebih dalam dan menuju ke berkas pembuluh. Sementara itu, **pengangkutan intravaskular** adalah pengangkutan melalui berkas pembuluh dari akar menuju bagian atas tumbuhan.

### 1. Proses Pengangkutan Ekstravaskular

Pada pengangkutan ini, air akan masuk melalui sel epidermis akar kemudian bergerak di antara sel-sel korteks. Air harus melewati sitoplasma sel-sel endodermis untuk memasuki silinder pusat (stele). Setelah sampai di stele, air akan bergerak bebas di antara sel-sel. Cara transportasi dalam pengangkutan air dan mineral secara ekstravaskular ada dua macam, yaitu *apoplas* dan *simplas*. Perhatikan Gambar 2.14.

**Transportasi apoplas** adalah menyusupnya air tanah secara difusi bebas atau transpor pasif melalui semua bagian tidak hidup dari tumbuhan, misalnya dinding sel dan ruang-ruang antarsel. Transportasi apoplas tidak dapat terjadi saat melewati endodermis sebab dalam sel-sel endodermis terdapat pita kaspari yang menghalangi air masuk ke dalam xilem. Pita kaspari ini terbentuk dari zat suberin (gabus) dan lignin. Oleh karena itu, apoplas dapat terjadi di semua bagian kecuali endodermis. Air yang menuju endodermis ditranspor secara simplas melalui sel peresap.

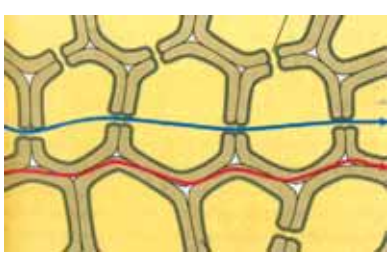
Kebalikan dari transportasi apoplas adalah transportasi simplas. **Transportasi simplas** yaitu bergeraknya air tanah dan zat terlarut melalui bagian hidup dari sel tumbuhan.

**Eksperimen Plus**

Carilah tumbuhan yang merambat. Setelah itu potonglah batang yang berdekatan dengan akar. Kemudian taruhlah ujung batang yang dipotong tadi ke dalam botol (lihat gambar). Apa yang terjadi pada batang tersebut?

**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life, Tira Pustaka*

(a)
(b)



**Sumber:** *Biology, Champbell*

**Gambar 2.14**
Pengangkutan ekstravaskular secara simplas (a) dan apoplas (b)

Pada sistem simplas ini perpindahan terjadi secara osmosis dan transpor aktif melalui plasmodesmata. Transportasi simplas dimulai dari sel-sel rambut akar ke sel-sel parenkim korteks yang berlapis-lapis, sel-sel endodermis, sel-sel perisikel, dan akhirnya ke berkas pembuluh kayu atau xilem.

Pengangkutan mineral melalui transpor aktif. Mineral mampu masuk ke dalam akar karena melawan gradien konsentrasi, yaitu dari daerah berkonsentrasi rendah ke daerah berkonsentrasi tinggi.

## 2. Proses Pengangkutan Intravaskular

Pengangkutan intravaskular adalah pengangkutan melalui berkas pembuluh (xilem) dari akar menuju bagian atas tumbuhan. Pengangkutan air dan mineral dimulai dari xilem akar ke xilem batang menuju xilem tangkai daun dan ke xilem tulang daun. Pada tulang daun terdapat ikatan pembuluh. Air dari xilem tulang daun ini masuk ke sel-sel bunga karang pada mesofil. Setelah mencapai sel-sel bunga karang, air dan garam-garam mineral disimpan untuk digunakan dalam proses fotosintesis dan transportasi. Transportasi pada trakea lebih cepat daripada transportasi pada trakeida.

Ada beberapa jenis tumbuhan yang tidak mempunyai trakea sehingga trakeida merupakan satu-satunya saluran pengangkutan air tanah. Tumbuhan yang tidak mempunyai trakea misalnya pada tumbuhan paku dan tumbuhan berbiji terbuka.

Pengangkutan air dan mineral dari bawah ke atas tubuh tumbuhan oleh xilem mengikuti beberapa teori sebagai berikut.

**a. Teori vital**

Teori vital menyatakan bahwa perjalanan air dari akar menuju daun dapat terlaksana karena adanya sel-sel hidup, misalnya sel-sel parenkim dan jari-jari empulur di sekitar xilem.

**b. Teori Dixon Joly**

Teori Dixon Joly menyatakan bahwa naiknya air ke atas karena tarikan dari atas, yaitu ketika daun melakukan transpirasi. Air selalu bergerak dari daerah basah ke daerah kering.

**c. Teori tekanan akar**

Teori tekanan akar menyatakan bahwa air dan mineral naik ke atas karena adanya tekanan akar. Tekanan akar ini terjadi karena perbedaan konsentrasi air dalam air tanah dengan cairan pada saluran xilem. Tekanan akar paling tinggi terjadi pada malam hari dan dapat menyebabkan merembesnya tetes-tetes air dari daun tumbuhan (gutasi). Perhatikan Gambar 2.15.

**Sumber:** *Pustaka Alam Live, Tira Pustaka*

**Gambar 2.15**
Gutasi pada tepi daun

Pada dasarnya, pengangkutan air dan mineral dari tanah ke dalam tumbuhan melibatkan tiga proses sebagai berikut.

a. Proses osmosis.
b. Proses difusi.
c. Proses transpor aktif.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pengangkutan air dan mineral dari dalam tanah ke tubuh tumbuhan melalui lintasan tertentu. Lakukan kegiatan berikut ini agar Anda dapat mengetahuinya lebih jelas.

## Eksperimen 3

### Mengamati Sistem Pengangkutan Melalui Xilem

Sediakan 1 gelas bening (transparan), air, pewarna makanan merah, pisau, dan 2 batang seledri berdaun yang masih segar. Setelah itu, isi gelas dengan air kira-kira seperempat bagian. Tambahkan pewarna makanan secukupnya untuk membuat air di gelas berwarna merah. Gunakan pisau untuk memotong melintang bagian bawah batang seledri. Masukkan 2 batang seledri ke dalam gelas yang berisi air berwarna merah. Amati dan catat penampakan batang setiap jam selama tiga jam pertama. Buatlah beberapa pengamatan tambahan sesering mungkin selama 12 jam pertama. Pastikan mencatat waktu setiap pengamatan dimulai dengan nol dan penandaan sejumlah waktu yang dilalui di antara setiap pengamatan. Setelah 12 jam, keluarkan satu batang seledri dari gelas. Amati dan catat penampakan bagian luar batang seledri. Kemudian gunakan pisau untuk memotong batang seledri dengan ukuran 2,5 cm dari bagian bawah, tengah, dan atas batang. Amati dan catat kenampakan potongan-potongan tersebut. Setelah 24 jam, amati bagian luar batang yang masih tetap di dalam air berwarna merah. Potong batang ini menjadi tiga bagian seperti pada pengamatan batang seledri yang pertama, yaitu bagian bawah, tengah, dan atas. Amati dan catat kenampakannya. Isikan hasil kegiatan Anda dalam tabel seperti berikut ini.

| Waktu dalam Jam | Pengamatan | |
|---|---|---|
| | Warna Batang | Warna Daun |
| 0 | hijau pucat | hijau pucat |
| 1 | . . . | . . . |
| 2 | . . . | . . . |
| dst. | . . . | . . . |

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana hasil pengamatan terhadap warna batang dan daun selama 3 jam pertama?
2. Bagaimana hasil pengamatan setelah 12 jam? Apa yang terjadi dengan potongan-potongan batang dan daunnya?
3. Bagaimana hasil pengamatan setelah 24 jam? Apa yang terjadi dengan potongan-potongan batang dan daunnya?
4. Apa yang menyebabkan daun seledri berwarna merah? Jelaskan jawaban Anda.
5. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan hasil eksperimen ini dan bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

Air yang diangkut xilem digunakan untuk fotosintesis dan sebagian mengalami transpirasi. Laju transpirasi dipengaruhi oleh keadaan lingkungan, misalnya kelembapan, suhu, cahaya, angin, dan kandungan air tanah.

Kelembapan berpengaruh terhadap laju transpirasi. Jika kelembapan udara lingkungan di sekitar tumbuhan tinggi maka difusi air dalam ruang udara pada tumbuhan akan berlangsung lambat. Sebaliknya, jika kelembapan di sekitar tumbuhan rendah, difusi air dalam ruang udara pada tumbuhan berlangsung cepat.

Jika suhu lingkungan semakin tinggi maka laju transpirasi juga semakin cepat. Demikian juga jika intensitas cahaya meningkat maka transpirasi tumbuhan meningkat.

Angin cenderung meningkatkan laju transpirasi karena angin dapat menyapu uap air yang terkumpul di dekat permukaan. Sementara itu, kandungan air tanah juga dapat mempengaruhi laju transpirasi. Jika kandungan air tanah cukup banyak sehingga potensial air tanah lebih tinggi daripada di dalam sel-sel tumbuhan maka aliran air di dalam pembuluh kayu dan laju transpirasi meningkat. Lakukan kegiatan berikut untuk lebih memahami proses transpirasi pada tumbuhan.

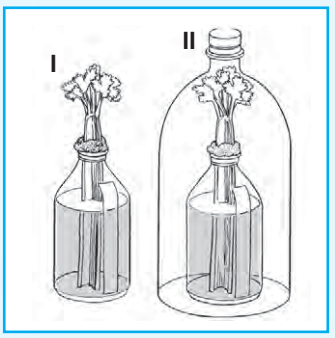
## Eksperimen 4

### Mengenali Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Transpirasi Tumbuhan

Dalam pengamatan ini Anda akan mempelajari pengaruh kelembapan dan intensitas cahaya terhadap laju transpirasi. Oleh karena itu, Anda akan melakukan kegiatan pengamatan sebanyak dua kali.

**a. Pengaruh Kelembapan terhadap Laju Transpirasi**

Sediakan dua botol kaca kecil, pewarna makanan merah, air, dua batang seledri, tanah liat, kertas label, spidol, gunting, dan satu botol soda plastik ukuran 2 liter. Setelah itu, isilah dua botol soda kaca kecil dengan air yang telah diberi warna merah, kira-kira separuh. Letakkan satu batang seledri pada setiap botol (beri label botol I dan II). Gunakan tanah liat sebagai penutup sekeliling mulut botol. Dengan kertas label dan spidol, tandai batas larutan pada setiap botol. Kemudian ambillah botol plastik dan potonglah bagian bawahnya dengan gunting. Tutup rapat-rapat dengan sumbat botol dan sungkupkan menutupi botol II (lihat gambar). Angkatlah botol plastiknya, dan dengan menggunakan botol semprotan, kabutilah udara di dalam botol plastik dua kali sehari, pagi dan sore selama satu minggu. Letakkan botol kedua dengan batang seledri di tempat kering. Pada akhir minggu, bandingkan ketinggian air dalam botol di lingkungan yang berkabut dengan botol di lingkungan yang kering.




**Pertanyaan:**

1. Adakah perbedaan ketinggian air pada kedua botol tersebut? Mengapa hal ini terjadi?
2. Bagaimana pengaruh kelembapan pada laju transpirasi? Jelaskan jawaban Anda.

**b. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Laju Transpirasi**

Sediakan dua tanaman sejenis, kantong plastik bening, isolasi, dan kotak kardus. Pilihlah satu daun dari setiap tanaman tersebut. Pilihlah daun yang berukuran sama. Bungkuslah daun-daun tersebut dengan kantong plastik bening dan tempelkan plastik ke batang menggunakan isolasi. Letakkan kedua tanaman dekat jendela yang langsung menerima cahaya matahari. Tutuplah salah satu tanaman dengan kotak kardus. Setelah 3 jam, amati bagian dalam setiap kantong plastik.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana keadaan kantong plastik dari kedua tanaman tersebut?
2. Bagaimana pengaruh intensitas cahaya terhadap laju transpirasi?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen di atas dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Selain pengangkutan air dan mineral dari tanah, pada tumbuhan juga terjadi pengangkutan hasil-hasil fotosintesis. Zat makanan hasil fotosintesis ditimbun sementara pada daun. Namun, banyak tumbuhan yang mempunyai organ penyimpanan misalnya umbi akar. Selanjutnya, zat makanan ini mengalami pengangkutan ke bagian-bagian tumbuhan lain melalui pembuluh tapis (floem). Jadi, pembuluh tapis berfungsi mengangkut hasil fotosintesis secara dua arah, yaitu

dari daun ke tempat penyimpanan makanan cadangan dan ke bagian-bagian yang aktif tumbuh. Fungsi pembuluh tapis (floem) dapat Anda pelajari lebih lanjut di bagian terakhir bab ini yaitu tentang pencangkokan batang tanaman.

### Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Transpirasi tumbuhan terjadi pada malam hari atau siang hari? Jelaskan jawaban Anda.
2. Gutasi adalah pengeluaran air dari tepi daun pada pagi hari. Apa yang menyebabkan pengeluaran air ini?
3. Tumbuhan berpembuluh mempunyai tabung-tabung pembuluh kayu (xilem) dan tapis (floem). Apa perbedaan keduanya? Perjelaslah jawaban Anda menggunakan gambar untuk menunjukkan perbedaan struktur sel dari tabung-tabung pembuluh kayu dan pembuluh tapis.
4. Dewasa ini sering kita dengar *penggelangan* pada pohon yang berarti mengelilingi batang pohon dengan cincin kawat. Cara ini mempengaruhi lingkaran pembuluh tapis dan akhirnya mengganggu pengangkutan unsur hara. Apakah pengaruh penggelangan tersebut terhadap pertumbuhan batang pohon?
5. Mengapa kelembapan mempengaruhi laju transpirasi? Jelaskan jawaban Anda.

Di depan telah dibahas mengenai berbagai macam jaringan pada tumbuhan. Berbagai macam jaringan pada tumbuhan tersebut akan membentuk organ. Anda akan mempelajari organ-organ tumbuhan dalam subbab berikut ini.

## C. Organ pada Tumbuhan

Organ adalah kumpulan beberapa jaringan yang secara bersama-sama melakukan fungsi khusus. Organ pokok tumbuhan terdiri atas akar, batang, dan daun.

### 1. Akar (Radix)

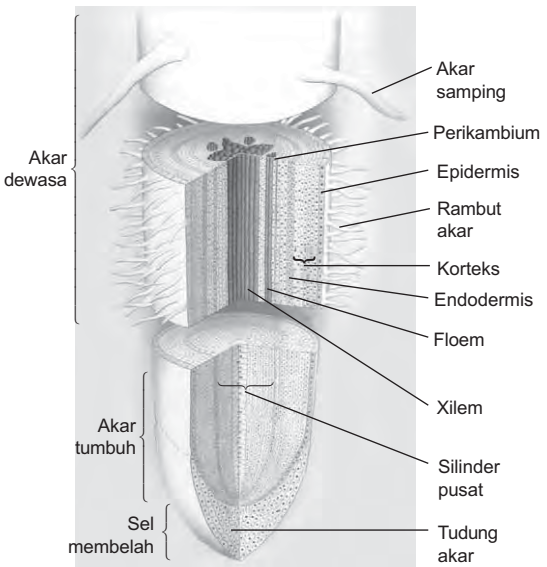
#### a. Fungsi Akar

Adapun fungsi akar secara umum sebagai berikut.

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

#### b. Jaringan Penyusun Akar

Akar berkembang dari *meristem apikal* di ujung akar yang dilindungi *kaliptra* (tudung akar). Meristem apikal selalu membelah diri menghasilkan sel-sel baru. Sel-sel baru




**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life*, *Tira Pustaka*

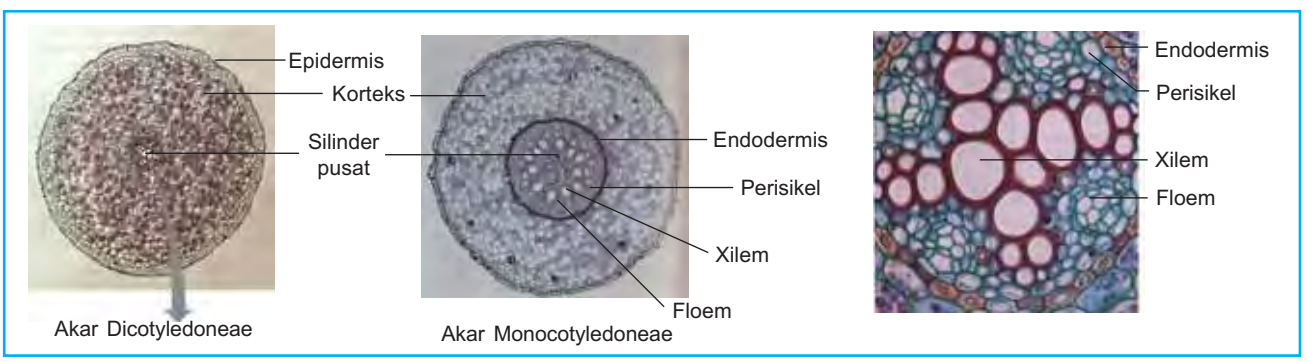
**Gambar 2.16**
Struktur morfologi akar

terbentuk pada bagian tudung akar atau bagian dalam meristem apikal. Pembelahan meristem apikal membentuk daerah pemanjangan, disebut **zona perpanjangan sel**. Di belakangnya terdapat **zona diferensiasi sel** dan **zona pendewasaan sel**. Pada zona diferensiasi sel, sel-sel akar berkembang menjadi beberapa sel permanen. Misalnya beberapa sel terdiferensiasi menjadi xilem, floem, parenkim, dan sklerenkim. Perhatikan Gambar 2.16.

Secara umum jaringan penyusun akar tumbuhan sebagai berikut.

1) *Epidermis* terdiri dari satu lapis sel yang tersusun rapat. Dinding selnya tipis sehingga mudah ditembus air. Memiliki rambut-rambut akar yang merupakan hasil aktivitas sel dari belakang titik tumbuh. Rambut-rambut akar berfungsi memperluas bidang penyerapan.
2) *Korteks* terdiri dari banyak sel dan tersusun berlapis-lapis, dinding selnya tipis dan mempunyai banyak ruang antarsel untuk pertukaran gas. Jaringan-jaringan yang terdapat pada korteks antara lain: parenkim, kolenkim, dan sklerenkim.
3) *Endodermis* terletak di sebelah dalam korteks. Endodermis berupa satu lapis sel yang tersusun rapat tanpa ruang antarsel. Dinding selnya mengalami penebalan gabus. Deretan sel-sel endodermis dengan penebalan gabusnya dinamakan **pita kaspari**. Penebalan gabus ini tidak dapat ditembus oleh air, sehingga air harus masuk ke silinder pusat melalui sel endodermis yang dindingnya tidak menebal, yang disebut sel penerus air. Endodermis merupakan pemisah antara korteks dengan stele.
4) *Stele* (silinder pusat) terletak di sebelah dalam endodermis. Berkas pengangkutan terdapat di antara stele.

Jaringan penyusun akar secara umum dapat Anda amati pada Gambar 2.17 berikut.




**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.17**
Struktur jaringan penyusun akar Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae yang diamati secara melintang

Anda telah mempelajari jaringan penyusun akar secara umum. Bagaimana struktur jaringan penyusun akar tumbuhan Dicotyledoneae dan tumbuhan Monocotyledoneae? Apa perbedaan di antara keduanya?

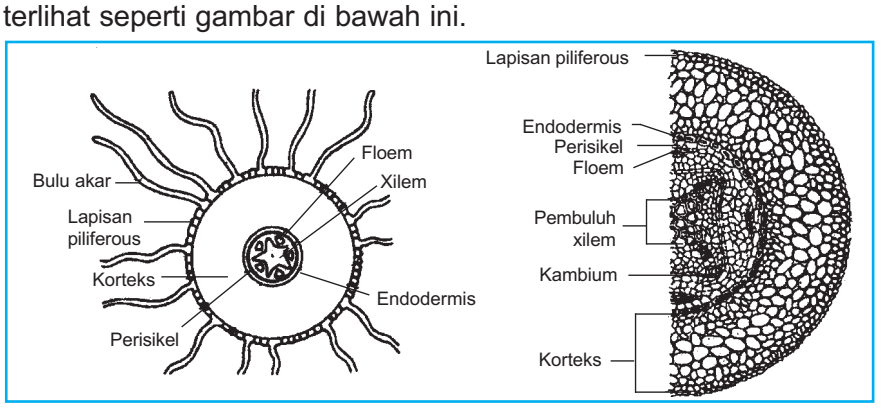
### 1) *Struktur Jaringan Penyusun Akar Tumbuhan Dicotyledoneae*

Akar tumbuhan Dicotyledoneae tersusun oleh bermacam-macam jaringan dengan fungsi tertentu. Macam jaringan pada akar Dicotyledoneae, letak, dan fungsinya dijelaskan dalam Tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1.** Jaringan Penyusun Akar Dicotyledoneae Beserta Letak dan Fungsinya

| | Jaringan | Letak | Fungsi |
|---|---|---|---|
| a) | Epidermis atau eksodermis | Bagian terluar akar. | Jalan masuk air dan garam mineral. |
| b) | Korteks | Daerah di sebelah dalam epidermis. | Cadangan makanan. |
| c) | Endodermis | Lapisan sebelah dalam korteks dan di luar perisikel. | Mengatur masuknya air tanah ke dalam pembuluh. Menyimpan zat makanan. |
| d) | Perisikel | Sebelah dalam lapisan endodermis. | Membentuk cabang akar dan kambium gabus. |
| e) | Xilem | Bagian tengah akar. | Mengangkut air dan garam mineral dari tanah menuju daun. |
| f) | Floem | Di antara jari-jari yang dibentuk oleh xilem. | Mengangkut zat makanan yang dibuat daun menuju ke seluruh bagian tumbuhan. |
| g) | Empulur | Bagian tengah. Di antara bangunan bentuk bintang di dalam xilem. | Menyimpan makanan cadangan. |

Adapun struktur akar tumbuhan Dicotyledoneae terlihat seperti gambar di bawah ini.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.18**
Penampang melintang akar tanaman Dicotyledoneae

Perhatikan Gambar 2.18. Xilem dan floem pada tumbuhan Dicotyledoneae tersusun radial atau membentuk jari-jari. Xilem berbentuk bintang di pusat dan floem mengelilingi xilem. Di antara xilem dan floem terdapat kambium. Aktivitas kambium ke arah luar membentuk unsur kulit dan ke arah dalam membentuk unsur kayu.

**Tahukah Anda**

**Modifikasi Akar**

Pada beberapa tumbuhan, akar dapat mengalami perubahan bentuk dan fungsinya. Misalnya akar udara (anggrek), Pneumatofora (*Sonneratia*), akar kontraktil (lili), akar parasit (benalu), akar penyimpan makanan cadangan (wortel), akar penyimpan air (Cucurbitaceae), dan akar tunjang (beringin).

### 2) *Struktur Jaringan Penyusun Akar Monocotyledoneae*

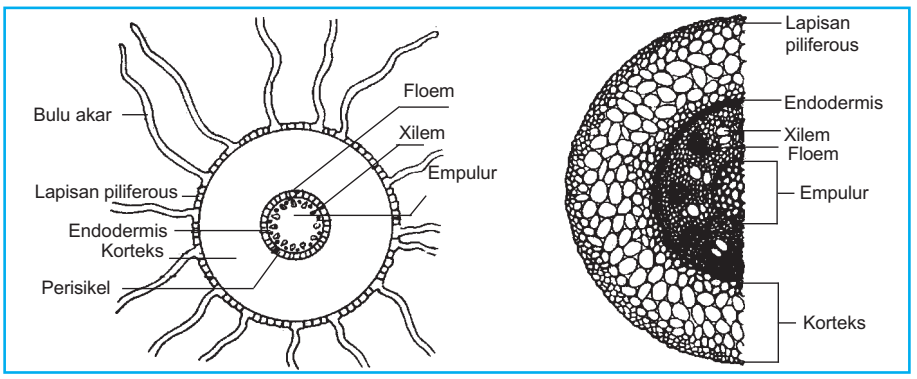
Struktur jaringan penyusun akar tumbuhan Monocotyledoneae sebagai berikut.

a) *Epidermis, korteks,* dan *perisikel* memiliki struktur, lokasi, dan fungsi seperti pada akar tanaman Dicotyledoneae.

b) Fungsi *xilem* dan *floem* sama seperti pada tanaman Dicotyledoneae, tetapi letak keduanya saling berdekatan karena tidak memiliki kambium.

c) *Empulur*, terletak di bagian tengah serta dikelilingi xilem dan floem yang berselang-seling.

Perhatikan Gambar 2.19 agar Anda lebih mengenal struktur jaringan penyusun akar tumbuhan Monocotyledoneae.




**Sumber:** *Biology*, *Campbell*

**Gambar 2.19**
Penampang melintang akar tanaman Monocotyledoneae

Lakukanlah kegiatan berikut untuk mengetahui lebih jelas mengenai struktur akar tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae.

**Eksperimen 5**

**Mengamati Perbedaan Struktur Akar Tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae**

Sediakan akar tumbuhan Monocotyledoneae misalnya jagung, akar tumbuhan Dicotyledoneae misalnya bayam, silet, mikroskop cahaya, gelas benda, gelas penutup, pipet, dan preparat awetan irisan melintang akar tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae. Pertama-tama, amatilah preparat awetan irisan melintang akar tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae menggunakan mikroskop. Bandingkan macam-macam jaringan dan struktur jaringan dari kedua jenis akar tersebut. Setelah itu, lakukan pengirisan secara melintang setipis mungkin terhadap akar segar Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae yang masih lunak dengan silet. Letakkan irisan tersebut di atas gelas benda, tetesi dengan air dan tutuplah dengan gelas penutup. Amati dengan cermat di mikroskop. Setelah itu, bandingkan dengan pengamatan saat menggunakan preparat awetan dan bandingkan pula antara akar tumbuhan Dicotyledoneae dengan Monocotyledoneae. Gambarlah hasil pengamatan Anda dan bedakan macam jaringan yang menyusun akar dari luar ke dalam pada tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae. Tunjukkanlah letak epidermis, korteks, dan silinder pusat.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana struktur akar tumbuhan Dicotyledoneae dan tumbuhan Monocotyledoneae?
2. Apa perbedaan struktur akar tumbuhan Dicotyledoneae dengan tumbuhan Monocotyledoneae?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen tersebut dan presentasikan.

## 2. Batang

### a. Fungsi Batang

Secara umum, batang mempunyai beberapa fungsi berikut.

1) Sebagai tempat pengangkutan air dan unsur hara dari akar.
2) Memperluas tajuk tumbuhan untuk efisiensi penangkapan cahaya matahari.
3) Tempat tumbuhnya organ-organ generatif.
4) Efisiensi penyerbukan dan membantu pemencaran benih.
5) Pada tumbuhan tertentu, sebagai tempat penyimpanan makanan cadangan, misalnya berupa umbi atau rimpang.

### b. Struktur Jaringan Penyusun Batang

Secara umum struktur jaringan penyusun batang tumbuhan terdiri atas tiga bagian, yaitu epidermis, korteks, dan stele. Adapun struktur jaringan penyusun batang (dari luar ke dalam) beserta ciri-cirinya dijelaskan dalam Tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.2** Struktur Jaringan Penyusun Batang Beserta Ciri-Cirinya

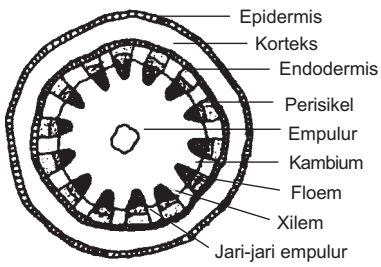
| Jaringan | Ciri-Ciri |
|---|---|
| 1) Epidermis | – Tersusun oleh selapis sel, tersusun rapat, tanpa ruang antarsel, dinding luar terdapat *kutikula* yang berfungsi untuk melindungi batang dari kehilangan air yang terlalu besar. Pada tumbuhan kayu yang telah tua terdapat kambium gabus yang menggantikan fungsi jaringan primer.<br>– Aktivitas kambium gabus adalah melakukan pertukaran gas melalui celah yang disebut *lentisel*. Derivat epidermis antara lain *sel silika* dan *sel gabus*, misalnya pada batang tanaman tebu. |
| 2) Korteks | – Tersusun oleh beberapa lapis sel parenkim yang tidak teratur dan berdinding tipis, banyak ruang antarsel.<br>– Terdapat kolenkim dan sklerenkim yang berfungsi sebagai penyokong dan penguat tubuh.<br>– Sel-sel korteks sebelah dalam yang mengandung amilum disebut *floeterma* (*sarung tepung* ). |
| 3) Stele (silinder pusat) | – Lapisan terluar disebut *perisikel*.<br>– Di dalamnya terdapat sel parenkim dan berkas pengangkut. |

Secara umum, struktur akar dan batang tumbuhan sama, yaitu terdiri atas bagian-bagian epidermis, korteks, dan stele. Akan tetapi, secara anatomis struktur batang Monocotyledoneae berbeda dengan Dicotyledoneae.

#### 1) *Struktur Jaringan Penyusun Batang Dicotyledoneae*

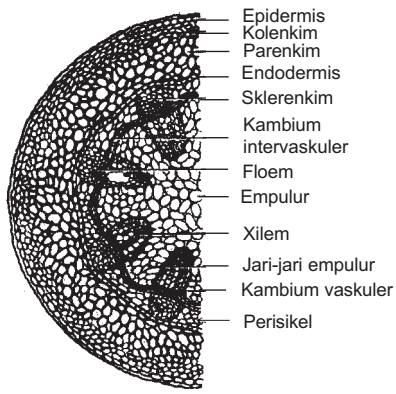
Jaringan penyusun batang Dicotyledoneae, yaitu epidermis, korteks, endodermis, empulur, kambium, floem, xilem, dan jari-jari empulur. Perhatikan potongan melintang batang Dicotyledoneae pada Gambar 2.20.

Adapun letak dan fungsi tiap-tiap jaringan penyusun batang Dicotyledoneae dijelaskan dalam Tabel 2.3 berikut.




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Batang Dicotyledoneae muda




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Batang Dicotyledoneae tua

**Gambar 2.20**
Penampang melintang batang tanaman Dicotyledoneae

**Tabel 2.3** Jaringan-Jaringan Penyusun Batang Dicotyledoneae Beserta Letak dan Fungsinya

| | Jaringan | Letak | Fungsi |
|---|---|---|---|
| a) | Epidermis | Bagian terluar batang. | Zat kitin pada batang melindungi agar tidak kehilangan air terlampau banyak. |
| b) | Korteks | Di antara lapisan endodermis. | – Sel-sel kolenkim sebagai jaringan penunjang.<br>– Sel-sel parenkim sebagai jaringan dasar, pengisi, dan penyimpan zat. |
| c) | Stele<br>– Perisikel | – Sebelah dalam lapisan endodermis.<br>– Menyelubungi berkas pembuluh batang. | Memberi kekuatan pada batang. |
| | – Berkas pembuluh | – Bagian dalam perisikel. | Pengangkutan zat. |
| | (1) floem | – Bagian luar berkas pembuluh atau di bagian luar kambium. | Mengangkut zat makanan yang dibuat di daun menuju ke seluruh tubuh. |
| | (2) xilem | Bagian dalam berkas pembuluh atau di bagian dalam kambium. | Menyalurkan air dan garam mineral dari akar ke daun. |
| | (3) kambium | Di antara berkas pembuluh xilem dan floem. | Ke dalam membentuk jaringan xilem dan ke luar membentuk jaringan floem. |

Struktur batang Dicotyledoneae berbeda dengan batang Monocotyledoneae, karena terdapat jaringan kambium pada batang Dicotyledoneae. Berdasarkan letaknya, kambium ada dua tipe sebagai berikut.

a) *Kambium vaskular,* kambium terletak di antara berkas pengangkut dan parenkim.
b) *Kambium intervaskular,* kambium terletak di antara dua berkas pengangkut.

Khusus pada batang Dicotyledoneae terjadi pertumbuhan batang sekunder. *Pertumbuhan batang atau lingkaran sekunder* adalah pertambahan besar batang yang disebabkan oleh pertambahan jaringan sekunder pada jaringan primer atau jaringan mula-mula. Pertumbuhan batang sekunder merupakan aktivitas kambium. Oleh karena itu, jaringan kambium sering disebut **titik tumbuh sekunder**.

Apabila cadangan makanan cukup banyak, misalnya pada musim penghujan, sel-sel kambium membelah membentuk sel-sel baru. Pada musim kemarau atau makanan cadangan berkurang, sel-sel kambium tidak membelah sehingga tidak ada penambahan xilem dan floem.

Aktivitas kambium menyebabkan terbentuknya *lingkaran tahun* (*annual ring*), yaitu lingkaran atau lapisan yang menunjukkan kambium melakukan pembelahan dan pada saat kambium tidak melakukan kegiatan. Lingkaran tahun berbentuk lapisan melingkar berselang-seling berupa garis dan berguna untuk memperkirakan umur pohon. Perhatikan Gambar 2.21.

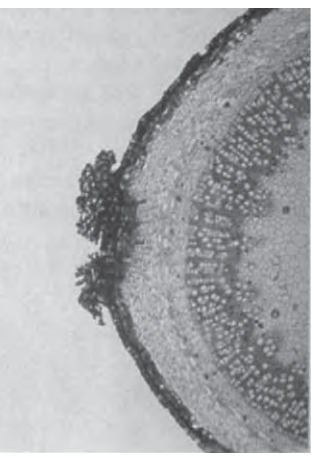
Pembentukan sel-sel baru pada kambium menyebabkan sel-sel korteks terdesak ke arah epidermis sehingga lapisan epidermis menjadi sobek-sobek. Lapisan korteks yang terdesak membentuk lapisan sel meristematik atau sel yang selalu membelah dan disebut **kambium gabus** (*felogen*). Kambium gabus menghasilkan dua tipe sel, yaitu ke arah luar membentuk **jaringan gabus** (*felem*) dan ke arah dalam membentuk *jaringan feloderm*.

Jaringan gabus terdiri atas sel-sel mati yang dilapisi suberin (zat gabus) dan bersifat tidak tembus air maupun udara sehingga dapat berfungsi untuk melindungi lapisan yang ada di dalamnya. Lapisan feloderm adalah sel-sel hidup yang terdiri atas sel-sel parenkim.

Adanya jaringan gabus menyebabkan udara tidak leluasa masuk ke dalam bagian sel hidup di bagian dalam. Namun, di antara jaringan gabus terdapat **lentisel**, yaitu celah sebagai jalan masuk dan keluarnya udara ke sel-sel hidup di sebelah dalam jaringan gabus. Perhatikan Gambar 2.22.

**Sumber:** *Dunia Tumbuhan, Tira Pustaka*

**Gambar 2.21**
Lingkaran tahun batang



**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.22**
Lentisel

**Forum Diskusi**

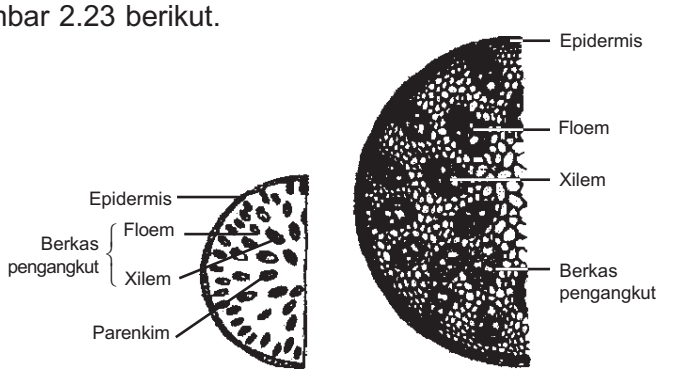
Lingkaran tahun pada batang dapat digunakan untuk memperkirakan umur pohon. Coba diskusikan pertanyaan berikut bersama kelompok Anda.

1. Mengapa lingkaran tahun dapat digunakan untuk menentukan umur pohon?
2. Bagaimana cara menentukan umur pohon menggunakan lingkaran tahun?

Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di depan kelas.

### 2) *Struktur Jaringan Penyusun Batang Monocotyledoneae*

Perhatikan struktur batang Monocotyledoneae pada Gambar 2.23 berikut.




Batang Monocotyledoneae muda — Batang Monocotyledoneae tua

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 2.23**
Penampang melintang batang tanaman Monocotyledoneae

Bandingkan struktur batang dikotil dengan monokotil. Apakah perbedaannya? Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.

Adapun letak dan fungsi tiap-tiap jaringan penyusun batang Monocotyledoneae dijelaskan dalam Tabel 2.4 berikut.

**Tabel 2.4** Jaringan Penyusun Batang Monocotyledoneae Beserta Letak dan Fungsinya

| No. | Jaringan | Letak | Fungsi |
|---|---|---|---|
| a) | Epidermis | – Bagian terluar batang. | – Perlindungan terhadap kehilangan air. |
| b) | meristem dasar | – Seluruh jaringan yang berada di bagian dalam epidermis. | – Pada tumbuhan Monocotyledoneae belum begitu jelas. |
| c) | Berkas pembuluh | – Tersebar pada meristem dasar dan dilindungi sarung berkas pengangkut. | – Xilem dan floem berfungsi seperti pada tumbuhan Dicotyledoneae. |

Secara morfologi terdapat perbedaan yang jelas antara batang tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae. Tumbuhan Dicotyledoneae pada umumnya mempunyai batang yang bagian bawahnya lebih besar dan ke ujung semakin mengecil serta dapat mempunyai percabangan atau tidak. Sebaliknya, batang tumbuhan Monocotyledoneae umumnya mempunyai ukuran yang relatif sama dari pangkal sampai ke ujung batang.

Anda telah mengetahui struktur jaringan penyusun batang tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae. Lakukan kegiatan di bawah ini agar Anda dapat mengetahui dengan jelas perbedaan struktur anatomi kedua jenis batang tersebut.

## Eksperimen 6

### Mengamati Struktur Batang

Sediakan batang tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae yang masih muda, silet yang tajam, mikroskop, gelas benda, gelas penutup, pipet, dan preparat awetan irisan melintang batang tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae. Pertama-tama, amatilah preparat awetan irisan batang Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae dengan mikroskop. Bandingkan macam-macam jaringan dari kedua jenis batang tersebut. Kemudian irislah secara melintang setipis mungkin batang segar yang masih lunak dengan silet, dan letakkan di atas gelas benda dengan setetes air dan tutuplah dengan gelas penutup. Setelah itu, amatilah dengan cermat di mikroskop, bandingkanlah dengan preparat awetan dan bandingkan pula antara batang tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae. Buatlah gambar dari pengamatan irisan melintang batang Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae tersebut.

**Pertanyaan:**

1. Adakah persamaan jaringan penyusun batang Dicotyledoneae dengan Monocotyledoneae? Jelaskan.
2. Apa perbedaan struktur batang tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan tertulis hasil dari eksperimen tersebut dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

## 3. Daun (Folium)

### a. Fungsi Daun

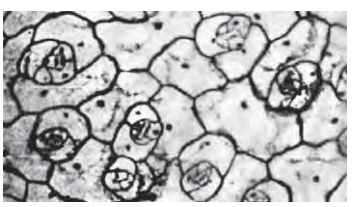
Secara umum fungsi daun sebagai berikut.

1) Membuat makanan melalui proses fotosintesis.
2) Sebagai tempat pengeluaran air melalui transpirasi dan gutasi.
3) Menyerap $CO_2$ dari udara.
4) Respirasi.

### c. Struktur Jaringan Penyusun Daun

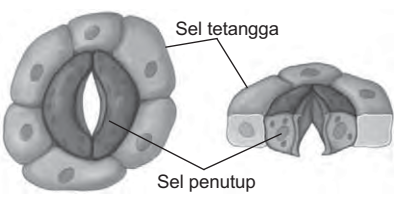
#### 1) *Epidermis*

Epidermis berupa satu lapis sel yang dindingnya mengalami penebalan dari zat kutin (kutikula) atau kadang dari lignin. Pada epidermis terdapat stomata (mulut daun) yang diapit oleh dua sel penutup. Stomata ada yang terletak di permukaan atas saja, misalnya pada tumbuhan yang daunnya terapung (pada daun teratai), ada yang di permukaan bawah saja, dan ada pula yang terdapat di kedua permukaan daun (atas dan bawah). Tanaman *Ficus* mempunyai epidermis yang tersusun atas dua lapis sel. Alat-alat tambahan yang terdapat di antara epidemis daun, antara lain trikoma (rambut) dan sel kipas. Bentuk epidermis dan stomata dapat Anda amati pada Gambar 2.24 dan 2.25.



**Sumber:** *Comprehensive Biology, Lam Peng Kwan*

**Gambar 2.24**
Epidermis dengan stomata




**Sumber:** *Comprehensive Biology, Lam Peng Kwan*

**Gambar 2.25**
Penampang melintang stomata

#### 2) *Mesofil (Jaringan dasar)*

Mesofil terdiri dari sel-sel parenkim yang tersusun renggang dan banyak ruang antarsel. Pada kebanyakan daun Dicotyledoneae, mesofil terdiferensiasi menjadi parenkim palisade (jaringan tiang) dan parenkim spons (jaringan bunga karang). Sel-sel palisade bentuknya memanjang, mengandung banyak kloroplas, dan tersusun rapat. Parenkim spons bentuknya tidak teratur, bercabang, mengandung lebih sedikit kloroplas, dan tersusun renggang.

#### 3) *Berkas Pengangkut*

Berkas pengangkut terdapat pada tulang daun yang berfungsi sebagai alat transpor dan sebagai penguat daun.

#### 4) *Jaringan Tambahan*

Jaringan tambahan meliputi sel-sel khusus yang umumnya terdapat pada mesofil daun, misalnya sel-sel kristal dan kelenjar.

Lakukanlah kegiatan berikut untuk mengetahui lebih jelas struktur anatomi daun.

## Eksperimen 7

### Mengamati Struktur Anatomi Daun

Sediakan daun tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae muda yang masih segar, silet, mikroskop, gelas benda, gelas penutup, air, dan pipet. Lakukan pengirisan secara melintang setipis mungkin daun segar yang tidak terlalu tua dengan silet. Letakkan irisan di atas gelas benda dengan setetes air, dan tutup dengan gelas penutup. Amatilah dengan cermat di bawah mikroskop. Bandingkan macam-macam jaringan dan struktur jaringan antara daun tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae. Buatlah gambar struktur anatomi irisan melintang daun Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae tersebut. Apabila di sekolah terdapat preparat awetan, Anda dapat membandingkan hasil yang Anda peroleh.

**Pertanyaan:**

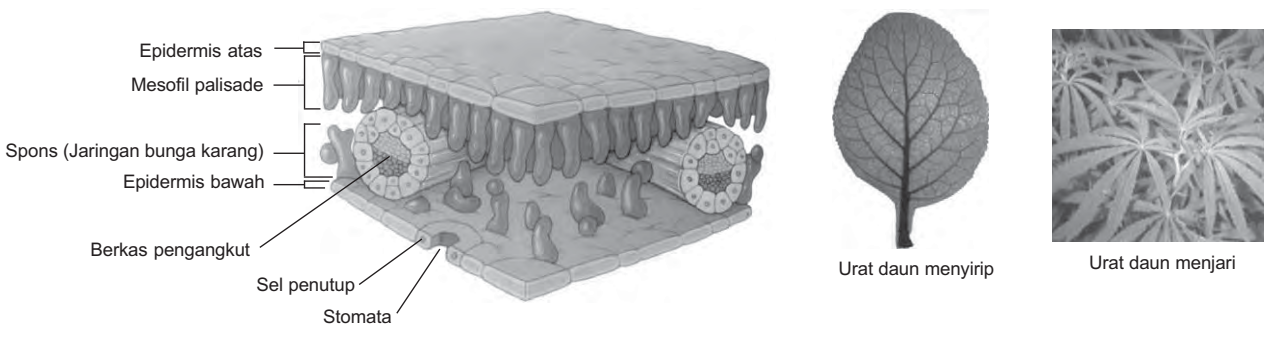
1. Bagaimana struktur anatomi tumbuhan Dicotyledoneae dan tumbuhan Monocotyledoneae?
2. Apa perbedaan struktur akar tumbuhan Dicotyledoneae dan tumbuhan Monocotyledoneae?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan hasil dari eksperimen tersebut dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Setelah melakukan kegiatan di atas, Anda dapat mengetahui adanya perbedaan struktur jaringan penyusun daun Dicotyledoneae dengan Monocotyledoneae. Sekarang kita akan mempelajari perbedaan struktur jaringan penyusun daun Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae tersebut dengan lebih rinci.

### 1) *Struktur Jaringan Penyusun Daun Dicotyledoneae*

Bentuk daun Dicotyledoneae bermacam-macam, bertangkai daun, dan urat daunnya menyirip atau menjari. Struktur daun Dicotyledoneae dapat Anda amati pada Gambar 2.26.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.26**
Struktur jaringan daun dan urat daun tumbuhan Dicotyledoneae

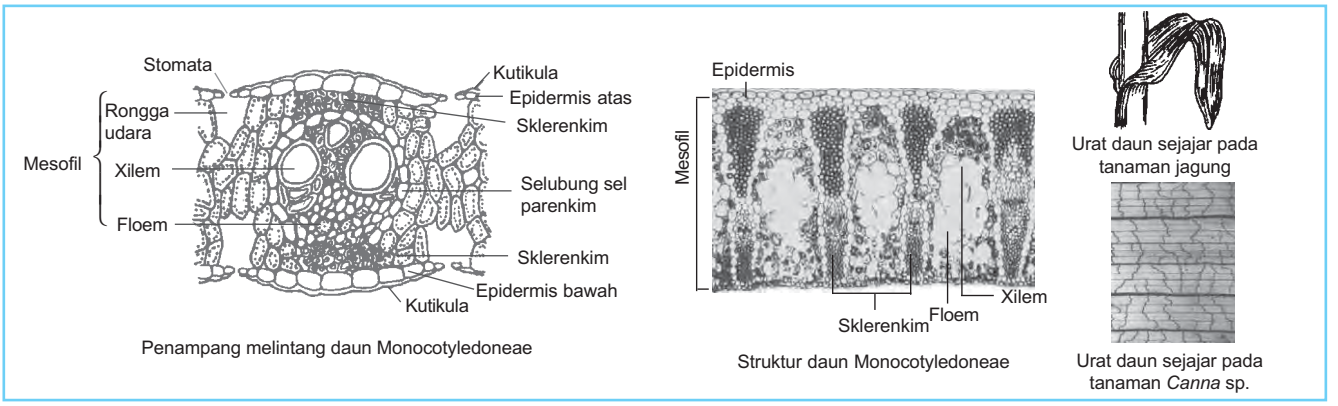
Adapun macam jaringan daun Dicotyledoneae, letak, fungsi, dan ciri-ciri dijelaskan dalam Tabel 2.5 berikut.

**Tabel 2.5** Jaringan Penyusun Daun Dicotyledoneae Beserta Letak, Fungsi, dan Ciri-Cirinya

| | Jaringan | Letak | Fungsi | Ciri-Ciri |
|---|---|---|---|---|
| a) | Epidermis | Menyusun lapisan permukaan atas dan bawah daun. | – Melindungi lapisan sel di bagian dalam dari kekeringan.<br>– Menjaga bentuk daun agar tetap. | Terdiri dari satu lapis sel kecuali tanaman *Ficus* (tanaman karet). |
| b) | Kutikula | Melapisi permukaan atas dan bawah daun. | Zat kutin pada kutikula mencegah penguapan air melalui permukaan daun. | Penebalan dari zat kutin. |
| c) | Stomata | Melapisi permukaan atas dan bawah daun. | – Sebagai jalan masuk dan keluarnya udara.<br>– Sel penjaga sebagai pengatur membuka dan menutupnya stomata. | Mulut daun pada epidermis dengan dua sel penutup. |
| d) | Rambut dan kelenjar | Permukaan atas dan bawah daun. | Alat pengeluaran. | Alat tambahan pada epidermis. |
| e) | Mesofil | Di antara lapisan epidermis atas dan bawah. | Tempat berlangsungnya fotosintesis. | – Terdiri dari sel parenkim, banyak ruang antarsel.<br>– Kebanyakan berdiferensiasi menjadi palisade (jaringan tiang) dan spons (jaringan bunga karang).<br>– Sel-sel jaringan tiang berbentuk silinder, tersusun rapat, dan mengandung klorofil.<br>– Sel-sel jaringan bunga karang bentuknya tidak teratur, bercabang-cabang dan berisi kloroplas, susunannya renggang. |
| f) | Urat daun | Pada helai daun. | Transportasi zat. | Menyirip atau menjari. |

### 2) *Struktur Jaringan Penyusun Daun Monocotyledoneae*

Daun Monocotyledoneae berbentuk seperti pita dan pada pangkalnya terdapat lembaran yang membungkus batang, serta urat daunnya sejajar. Struktur daun Monocotyledoneae dapat Anda amati pada Gambar 2.27.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.27**
Struktur jaringan daun dan urat daun Monocotyledoneae

Adapun macam, letak, fungsi, dan ciri-ciri jaringan penyusun daun Monocotyledoneae, dijelaskan dalam Tabel 2.6 berikut.

**Tabel 2.6** Jaringan Penyusun Daun Monocotyledoneae Beserta Letak, Fungsi, dan Ciri-Cirinya

| | Jaringan | Letak | Fungsi | Ciri-ciri |
|---|---|---|---|---|
| a) | Epidermis dan kutikula | Lapisan permukaan atas dan bawah daun. | – Melindungi lapisan sel di bagian dalam dari kekeringan.<br>– Mencegah penguapan air melalui permukaan daun. | Terdiri dari satu sel dengan penebalan dari zat kutin. |
| b) | Stomata | Berderet di antara urat daun. | Sebagai jalan masuk dan keluarnya udara. | Mulut daun dengan dua sel penutup. |
| c) | Mesofil | Pada cekungan di antara urat daun. | Membuat zat makanan melalui fotosintesis. | Tidak mengalami diferensiasi, bentuknya seragam kecuali mesofil berkas pengangkut lebih besar, kloroplasnya lebih sedikit, dindingnya lebih tebal. |
| d) | Urat daun | Pada helai daun. | Transportasi zat. | Sejajar. |

Anda telah mempelajari berbagai macam organ pokok tumbuhan yaitu akar, batang, dan daun. Simaklah materi mengenai bagian tumbuhan lain yang merupakan metamorfosis bagian-bagian pokok atau kombinasi bagian pokok tumbuhan. Apa saja bagian tumbuhan yang merupakan bentuk metamorfosis itu?

## 4. Bunga (Flos)

### a. Fungsi Bunga

Bunga merupakan modifikasi suatu tunas (batang dan daun) yang bentuk, warna, dan susunannya disesuaikan dengan kepentingan tumbuhan. Oleh karena itu, pada bunga ini dapat berlangsung penyerbukan dan pembuahan yang akhirnya dapat dihasilkan alat-alat perkembangbiakan. Mengingat pentingnya bunga bagi tumbuhan maka pada bunga terdapat sifat-sifat yang merupakan penyesuaian untuk melaksanakan fungsinya sebagai penghasil alat perkembangbiakan. Pada umumnya, bunga mempunyai sifat-sifat seperti berikut.

1) Mempunyai warna menarik.
2) Biasanya berbau harum.
3) Bentuknya bermacam-macam.
4) Biasanya mengandung madu.

### b. Bagian-Bagian Bunga

Bunga terdiri dari bagian steril dan fertil. Bagian steril terdiri dari ibu tangkai bunga (*pedunculus*), tangkai bunga (*pedicellus*), dasar bunga (*receptacle*), daun pelindung (*brachtea*), daun tangkai (*brachteola*), dan perhiasan bunga. Perhiasan bunga terdiri dari daun kelopak (*sepal*) dan daun mahkota (*petal*). Perhatikan Gambar 2.28.

**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.28**
Bagian-bagian bunga

Bagian bunga fertil terdiri dari mikrosporofil sebagai benang sari dan makrosporofil sebagai putik (*pistillum*) dengan daun buah sebagai penyusunnya. Cobalah cermati penjelasan berikut ini agar Anda lebih mengetahui bagian-bagian bunga.

1) Tangkai induk atau ibu tangkai bunga (*rachis*, *pedunculus*, *pedunculus communis*) merupakan aksis perbungaan sebagai lanjutan dari batang atau cabang.
2) Tangkai bunga (*pedicellus*) merupakan cabang terakhir yang mendukung bunga.
3) Dasar bunga (*receptacle*) merupakan ujung tangkai bunga sebagai tempat bertumpunya bagian-bagian bunga yang lain (batang).
4) Daun pelindung (*brachtea*) merupakan daun terakhir yang di ketiaknya tumbuh bunga.
5) Daun tangkai (*brachteola*) merupakan daun pelindung yang letaknya di pangkal tangkai bunga.
6) Daun kelopak (*sepal*) merupakan daun perhiasan bunga yang paling pangkal, umumnya berwarna hijau dan berkelompok membentuk kelopak bunga (*calyx*).
7) Daun mahkota atau daun tajuk (*petal*) merupakan daun perhiasan bunga yang berwarna-warni. Daun mahkota ini berkelompok membentuk mahkota bunga (*corolla*).
8) Benang sari (*stamen*) adalah daun fertil yang terdiri dari kepala sari (*anthera*), berisi serbuk sari (*polen*), tangkai sari (*filamen*), dan pendukung kepala sari.
9) Daun buah (*carpell*) adalah daun fertil pendukung makrospora berupa bakal biji (*ovalum*) yang secara kolektif membentuk putik (*pistill*).

### c. Struktur Jaringan Penyusun Bunga

Secara anatomi, daun mahkota dan daun kelopak mempunyai struktur yang sama yaitu terdapat sel-sel parenkimatis. Parenkim ini juga disebut **mesofil**. Parenkim ini terletak di antara epidermis atas dan bawah.

Daun kelopak umumnya mempunyai struktur sederhana. Epidermis daun kalopak pada bagian luarnya dilapisi kutin, stomata, dan trikomata. Seperti struktur pada daun. Sel-sel daun kelopak ini juga mengandung klorofil.

Struktur daun mahkota sel-selnya mempunyai satu atau banyak berkas pengangkut yang kecil-kecil. Daun mahkota mempunyai epidermis berbentuk khusus, yaitu berupa tonjolan yang disebut *papila* dan dilapisi kutikula.

Sementara itu, benang sari dan putik mempunyai struktur sangat berbeda. Secara umum, benang sari terdiri atas kepala sari dan tangkai sari. Tangkai sari tersusun oleh jaringan dasar, yaitu sel-sel parenkimatis yang mempunyai vakuola tanpa ruang antarsel. Pada epidermis tangkai sari terdapat kutikula, trikomata, atau mungkin juga stomata.

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.29**
Bunga tumbuhan Dicotyledoneae

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 2.30**
Bunga tumbuhan Monocotyledoneae

**Tahukah Anda**

**Organ Reproduksi Tumbuhan**

Tidak setiap bunga mempunyai organ reproduksi yang lengkap. Bunga yang mempunyai putik dan benang sari dalam satu bunga disebut bunga hermaprodit. Sementara itu, yang hanya memiliki benang sari disebut bunga jantan dan yang hanya memiliki putik disebut bunga betina.

Kepala sari mempunyai struktur yang kompleks, terdiri atas dinding yang berlapis-lapis, dan di bagian terdalam terdapat lokulus (ruang sari) yang berisi butir-butir serbuk sari. Jumlah lapisan dinding kepala sari untuk setiap jenis tumbuhan berbeda.

Kepala sari mempunyai beberapa lapisan dinding sebagai berikut.

1) *Epidermis*, merupakan lapisan terluar yang terdiri dari satu lapis sel. Epidermis menjadi memipih dan membentuk papila pada kepala sari yang masak dan berfungsi sebagai pelindung epidermis.
2) *Endotesium*, merupakan lapisan yang terletak di sebelah dalam epidermis.
3) Lapisan tengah, merupakan lapisan yang terletak di sebelah dalam endotesium dan terdiri dari 2–3 lapis sel atau lebih tergantung jenis tumbuhannya.
4) *Tapetum*, merupakan dinding terdalam dari antera dan berkembang mencapai maksimum pada saat terbentuk serbuk sari tetrad.

Bagian perhiasan bunga (mahkota dan kelopak) pada tanaman Dicotyledoneae biasanya berjumlah 2, 4, 5, atau kelipatannya, sedangkan pada tumbuhan Monocotyledoneae berjumlah 3 atau kelipatannya. Perhatikan Gambar 2.29 dan 2.30. Lakukan kegiatan tugas berikut ini untuk menambah pengetahuan Anda.

**Tugas Mandiri**

Kumpulkan berbagai macam bunga tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae yang ada di sekitar tempat tinggal Anda. Amati dengan cermat bagian-bagian dari bunga, kemudian cobalah membuat pengelompokan berdasarkan kelengkapan bagian-bagian bunganya. Tentukan bunga-bunga tersebut termasuk hermaprodit, jantan, atau betina. Anda dapat menggunakan lup atau kaca pembesar agar dapat mengamati dengan jelas. Buatlah laporan dari hasil pengamatan dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

## 5. Buah dan Biji

Apabila serbuk sari dan putik telah masak dan terjadi penyerbukan yang diikuti pembuahan maka bakal buah akan tumbuh menjadi buah. Sementara itu, bakal biji yang terdapat dalam bakal buah akan tumbuh menjadi biji.

Bagian bunga yang dapat berkembang dan ikut menyusun buah sebagai berikut.

a. Daun pelindung, misalnya klobot pada tanaman jagung.
b. Daun kelopak, misalnya pada tanaman terong.
c. Tangkai putik, misalnya pada buah jagung.
d. Kepala putik, misalnya pada buah manggis.

e. Tangkai bunga, misalnya pada jambu monyet.
f. Perhiasan bunga, misalnya pada nangka.
g. Dasar bunga, misalnya pada tanaman elo.

Bagi tumbuhan biji (Spermatophyta), biji ini merupakan alat perkembangbiakan utama, karena biji mengandung calon tumbuhan baru (lembaga). Melalui biji ini tumbuhan dapat mempertahankan jenisnya.

Pada umumnya biji terdiri atas bagian-bagian seperti berikut.
a. Kulit biji
b. Tali pusar
c. Inti biji atau isi biji

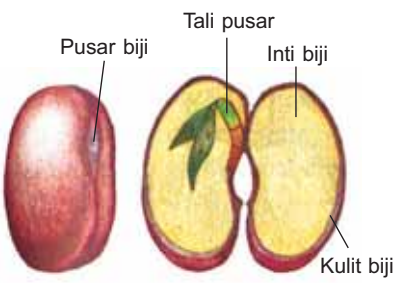
Kulit biji merupakan bagian terluar biji dan berasal dari selaput bakal biji. Pada umumnya, kulit biji dari tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae) terdiri atas dua lapisan sebagai berikut.
a. Lapisan kulit luar (*testa*). Lapisan ini mempunyai sifat yang bermacam-macam, ada yang tipis, ada yang kaku seperti kulit, dan ada yang keras seperti kayu atau batu. Bagian ini merupakan pelindung utama bagi bagian biji yang ada di dalam. Lapisan luar ini juga dapat memperlihatkan warna dan gambaran yang berbeda-beda misalnya merah, biru, pirang, kehijau-hijauan, ada yang licin rata, dan ada pula yang mempunyai bentuk keriput.
b. Lapisan kulit dalam (*tegmen*). Biasanya tipis seperti selaput, disebut juga dengan kulit ari.

Pada tumbuhan berbiji terbuka (Gymnospermae), kulit biji terdiri dari tiga lapisan sebagai berikut.
a. Kulit luar (*sarcotesta*), biasanya tebal berdaging. Pada waktu masih muda berwarna hijau, kemudian berubah menjadi kuning, dan akhirnya merah.
b. Kulit tengah (*sclerotesta*), suatu lapisan yang kuat, keras, dan berkayu.
c. Kulit dalam (*endotesta*), biasanya tipis seperti selaput dan seringkali melekat erat pada inti.

Bagian lain dari biji adalah tali pusar. Tali pusar disebut juga tangkai biji. Setelah biji masak, biji akan terlepas dari tali pusarnya (tangkai biji), dan pada bijinya hanya tampak bekasnya yang dikenal sebagai pusar biji. Perhatikan Gambar 2.31.

Bagian lain dari biji adalah inti biji. Inti biji adalah semua bagian biji yang terdapat di dalam kulitnya. Oleh sebab itu, inti biji juga dapat dinamakan isi biji. Inti biji terdiri atas lembaga yang merupakan calon individu baru dan putih lembaga (*albumen*). Putih lembaga merupakan jaringan berisi makanan cadangan untuk masa permulaan kehidupan tumbuhan baru (kecambah), sebelum dapat mencari makanan sendiri.

Secara umum, tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae dapat dibedakan dengan jelas. Adapun perbedaan struktur tubuh tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae, dijelaskan dalam Tabel 2.7 dan Gambar 2.32.




**Sumber:** *Biology, Champbell*

**Gambar 2.31**
Bagian-bagian biji

**Tabel 2.7** Perbedaan Struktur Tubuh Tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae

| Monocotyledoneae | Dicotyledoneae |
|---|---|
| 1) Akar tersusun dalam akar serabut yang kurang kokoh. | 1) Akar tersusun dalam akar tunggang yang kokoh. |
| 2) Akar dan batang tidak berkambium sehingga tidak dapat mengadakan pertumbuhan melebar dan membesar yang ada hanyalah pertumbuhan meninggi. | 2) Akar dan batang berkambium sehingga dapat mengadakan pertumbuhan membesar dan melebar serta meninggi. |
| 3) Batang tidak bercabang-cabang. | 3) Batang bercabang-cabang. |
| 4) Pertulangan daun sejajar atau melengkung. | 4) Pertulangan daun menyirip atau menjari. |
| 5) Biji yang berkecambah tetap utuh dan tidak membelah (biji berkeping satu). | 5) Biji yang berkecambah berbelah dua dan memperlihatkan dua daun lembaga (biji berkeping dua). |
| 6) Jumlah bagian-bagian bunga biasanya 3 atau kelipatannya. | 6) Jumlah bagian-bagian bunga 4, 5, atau kelipatannya. |
| 7) Ujung akar lembaga dan pucuk lembaga dilindungi oleh suatu sarung yang masing-masing disebut **koleorhiza** dan **koleoptil**. | 7) Ujung akar tidak diliputi oleh selaput pelindung. |
| 8) Berkas pembuluh angkut tidak teratur. | 8) Berkas pembuluh angkut teratur dalam lingkaran/cincin. |

| Keping Biji | Tulang Daun | Batang | Bunga | Akar |
|---|---|---|---|---|
| **Monocotyledoneae** Satu kotiledon | Tulang daun sejajar atau melengkung | Berkas pengangkut tersebar | Bagian perhiasan bunga hanya terdiri dari 3 atau kelipatannya | Sistem akar serabut |
| **Dicotyledoneae** Dua kotiledon | Tulang daun menyirip atau menjari | Berkas pengangkut tersusun dalam suatu lingkaran | Bagian perhiasan bunga terdiri dari 2, 4, 5, atau kelipatannya | Sistem akar tunggang |

**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 2.32**
Ciri-ciri tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae

## Uji Kompetensi C

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Pada beberapa tumbuhan terdapat akar yang tumbuh di atas permukaan tanah. Bagaimanakah cara membedakan antara akar dengan batang pada tumbuhan tersebut?
2. Di mana letak endodermis pada akar tumbuhan Dicotyledoneae muda? Apa pula fungsi endodermis tersebut?
3. Apa perbedaan antara buah sejati dengan buah semu?
4. Mengapa pada musim kemarau tidak terjadi penambahan ukuran pada xilem dan floem? Jelaskan.
5. Apa perbedaan daun tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae?

Pemahaman tentang jaringan tumbuhan sangatlah berperan dalam melestarikan sumber daya alam hayati. Hal ini karena dengan mengetahui struktur dan jaringan tumbuhan kita dapat memperbanyak tumbuhan langka atau tumbuhan yang hampir punah. Dalam subbab ini kita akan mengetahui cara membudidayakan tumbuhan dengan teknik kultur jaringan.

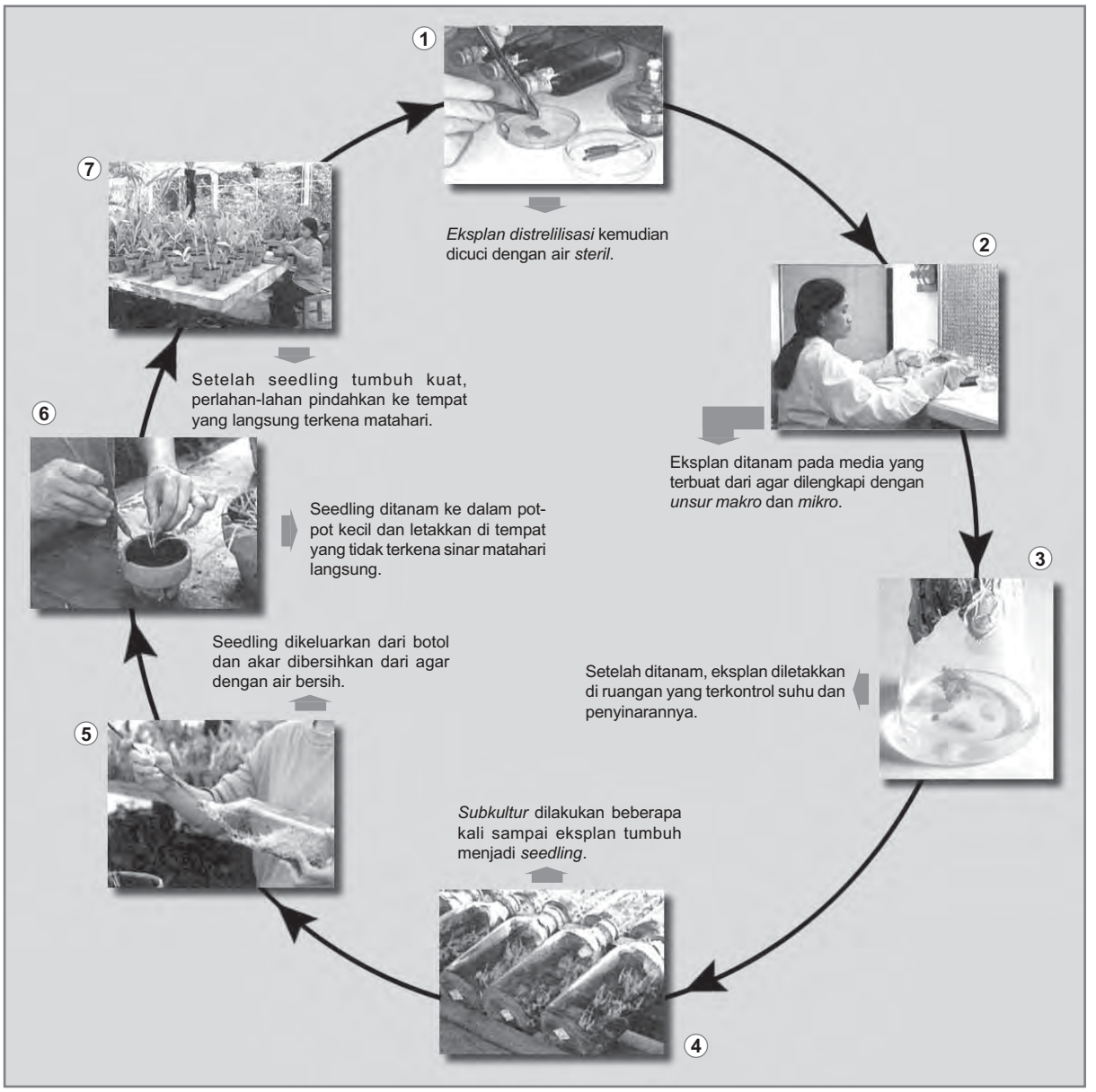
## D. Teknik Kultur Jaringan

Kultur jaringan adalah suatu metode untuk mengisolasi bagian-bagian tanaman seperti sel, jaringan, atau organ serta menumbuhkannya secara aseptis (bebas hama) di dalam atau di atas suatu medium budidaya sehingga bagian-bagian tanaman tersebut dapat memperbanyak diri dan beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali. Hal ini karena sel tumbuhan bersifat autonom dan mempunyai totipotensi.

Sel bersifat autonom artinya dapat mengatur aktivitas hidupnya sendiri. Maksudnya, sel tumbuhan dapat melakukan metabolisme serta tumbuh dan berkembang secara independen jika diisolasi dari jaringan induknya. Totipotensi diartikan sebagai kemampuan dari sel tumbuhan untuk beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali.

Bagian kecil dari tanaman (sel, jaringan, atau organ) yang digunakan untuk memulai suatu kultur disebut **eksplan**. Eksplan yang digunakan di dalam kultur jaringan harus yang masih muda (primordia), sel-selnya masih bersifat meristematis, dan sudah mengalami proses deferensiasi. Eksplan ditanam pada media yang dilengkapi dengan unsur mikro dan makro. Setelah itu, diletakkan di ruangan yang terkontrol suhu dan penyinarannya. Selanjutnya dilakukan subkultur beberapa kali sampai eksplan tumbuh menjadi seedling (tanaman baru yang dihasilkan). Subkultur adalah pemindahan sel-sel, jaringan, atau organ ke dalam medium baru. Selanjutnya, seedling yang telah terbentuk dapat ditanam di dalam pot-pot kecil.

Salah satu tanaman yang dapat dikembangbiakkan dengan kultur jaringan adalah anggrek. Sekarang, amati tahapan-tahapan yang dilakukan dalam teknik kultur jaringan pada Gambar 2.33.




**Sumber:** *Bioteknologi, Matsuda Kunihiro*

**Gambar 2.33**
Teknik kultur jaringan pada anggrek

Anda telah mempelajari teknik kultur jaringan. Pemahaman mengenai sel, jaringan, dan organ tumbuhan ternyata dapat dimanfaatkan dalam teknik kultur jaringan. Pemahaman tentang sel, jaringan, dan organ tumbuhan juga dapat dimanfaatkan dalam teknik perkembangbiakan tumbuhan secara vegetatif buatan misalnya cangkok dan setek.

### Tugas Kelompok

Carilah informasi dari berbagai buku mengenai teknik mencangkok dan menyetek. Tulislah ciri-ciri tanaman yang dapat dicangkok atau disetek. Buatlah laporan tertulis secara berkelompok dan presentasikan di kelas.

## Uji Kompetensi D

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa yang dimaksud dengan kultur jaringan?
2. Bagaimana cara mengembangbiakan tumbuhan dengan teknik kultur jaringan?
3. Bagaimana cara mengembangbiakan tumbuhan dengan cara cangkok dan setek?

## Rangkuman

1. Jaringan tumbuhan terdiri dari jaringan meristem (embrional) dan jaringan dewasa.
2. Jaringan dewasa pada tumbuhan terdiri dari jaringan pelindung (jaringan epidermis dan jaringan gabus), jaringan dasar (parenkim), jaringan penguat (kolenkim dan sklerenkim), serta jaringan pengangkut (xilem dan floem).
3. Jaringan meristem adalah jaringan yang sel penyusunnya bersifat embrional, artinya sel-selnya senantiasa aktif membelah diri untuk menambah jumlah sel tubuh.
4. Jaringan meristem dibedakan menjadi meristem lateral, meristem interkalar, dan meristam apikal.
5. Jaringan epidermis merupakan jaringan terluar tumbuhan yang berasal dari jaringan protoderma dan menutupi seluruh tubuh tumbuhan.
6. Jaringan parenkim merupakan suatu jaringan yang terbentuk dari sel-sel hidup dengan struktur morfologi serta fisiologi yang bervariasi dan masih melakukan segala kegiatan proses fisiologi.
7. Jaringan floem berfungsi mengangkut dan mengedarkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan.
8. Jaringan xilem berfungsi mengangkut air dan zat-zat mineral (hara) dari akar ke daun serta sebagai jaringan penguat.
9. Pengangkutan ekstravaskular adalah pengangkutan di luar berkas pembuluh.
10. Pengangkutan intravaskular adalah pengangkutan melalui berkas pembuluh dari akar menuju bagian atas tumbuhan.
11. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengangkutan
    a. Suhu
    b. Kelembapan
    c. Angin
    d. Cahaya
    e. Air tanah
12. Organ adalah kumpulan beberapa jaringan yang secara bersama-sama melakukan fungsi tertentu.
13. Organ pokok tumbuhan terdiri atas akar, batang, dan daun.
14. Totipotensi diartikan sebagai kemampuan dari sel tumbuhan untuk beregenerasi menjadi tanaman lengkap kembali.

## Evaluasi

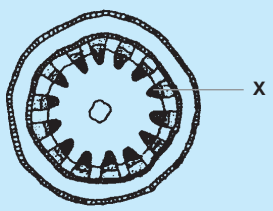
A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Daerah ujung akar dan ujung batang selalu membelah karena merupakan jaringan . . . .
   a. epidermis
   b. kambium
   c. meristem
   d. dewasa
   e. embrional

2. Jaringan penguat utama organ-organ tumbuhan yang masih aktif mengadakan pertumbuhan dan perkembangan disebut . . . .
   a. parenkim
   b. sklerenkim
   c. kolenkim
   d. klorenkim
   e. epidermis

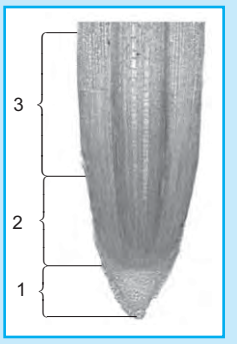
3. Jaringan meristem bisa mengalami perubahan menjadi jaringan lain misalnya floem atau xilem. Hal ini terjadi melalui proses . . . .
   a. diferensiasi
   b. pertumbuhan primer
   c. pertumbuhan sekunder
   d. reproduksi
   e. pemanjangan

4. Peristiwa membesarnya batang tanaman Dicotyledoneae terjadi karena aktivitas . . . .
   a. titik tumbuh primer
   b. titik tumbuh sekunder
   c. diferensiasi
   d. reproduksi
   e. absorpsi

5. 


   Gambar di atas adalah penampang melintang batang Dicotyledoneae. Bagian yang diberi tanda X berfungsi mengangkut . . . .
   a. air dan mineral dari akar ke daun
   b. hasil fotosintesis dari daun ke seluruh tubuh
   c. sisa metabolisme dari seluruh tubuh ke daun
   d. oksigen dari daun ke seluruh tubuh
   e. karbon dioksida dari akar ke daun

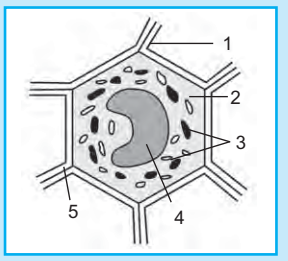
6. Perhatikan gambar penampang membujur akar di samping.




   Pernyataan yang tepat berkaitan dengan daerah pembelahan dan jenis selnya yaitu . . .
   a. 1 adalah kambium.
   b. 1 adalah meristem apikal.
   c. 2 adalah kambium.
   d. 2 adalah meristem apikal.
   e. 3 adalah kambium.

7. Ciri jaringan kolenkim yaitu . . . .
   a. berfungsi sebagai jaringan penyokong
   b. mengalami penebalan pada dinding selnya
   c. penebalan dinding dari zat lignin (kayu)
   d. penebalan dinding sel hanya pada sudutnya
   e. umumnya bersama jaringan lain membentuk batang

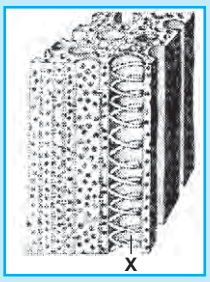
8. Pada percobaan perendaman pangkal batang yang telah dipotong dalam larutan eosin, dapat dipastikan jaringan yang lebih dahulu berwarna merah yaitu . . . .
   a. epidermis
   b. parenkim
   c. sklerenkim
   d. xilem
   e. floem

9. 


   Jaringan parenkim berfungsi sebagai penyimpan cadangan makanan. Pada gambar di atas, butir zat pati ditunjukkan oleh nomor . . . .
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

10. Jaringan epidermis mengalami beberapa modifikasi, di antaranya berfungsi sebagai pencegah penguapan yang berlebihan. Modifikasi epidermis yang dimaksud yaitu . . . .
    a. stomata
    b. lentisel
    c. bulu-bulu
    d. lapisan lilin
    e. duri

11. Perhatikan irisan organ tanaman di samping.
    Bagian yang ditunjuk huruf X berfungsi untuk . . . .
    a. mengangkut hasil fotosintesis dari daun ke akar
    b. mengangkut air dan garam mineral tanah
    c. tempat menyimpan cadangan makanan sisa fotosintesis
    d. melindungi jaringan di sebelah dalamnya
    e. menguatkan berdirinya batang




12. Air dari dalam tanah dapat sampai ke bagian atas tanaman, karena adanya . . . .
    a. xilem
    b. floem
    c. jaringan parenkim
    d. jaringan kolenkim
    e. jaringan epidermis

13. Penyusun jaringan pengangkut yang berupa sel-sel hidup yaitu . . . .
    a. trakeida
    b. sel-sel pengiring
    c. kolenkim
    d. felogen
    e. albumen

14. Pada jaringan parenkim banyak terdapat ruang antarsel karena . . . .
    a. sel-selnya pipih
    b. berdinding tipis
    c. susunan selnya berderet rapat
    d. susunan selnya renggang
    e. mengandung klorofil

15. Kutikula daun dapat menahan masuknya air hujan atau embun karena mengandung . . . .
    a. lapisan lilin
    b. anilin sulfat
    c. rambut kelenjar
    d. damar
    e. kutin

16. Batang tanaman berkayu yang telah tua, lapisan epidermis diganti dengan lapisan . . . .
    a. kayu
    b. kambium
    c. gabus
    d. kutikula
    e. parenkim

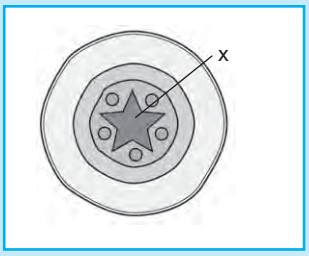
17. Pengamatan irisan sel-sel gabus di bawah mikroskop dengan perbesaran lemah akan terlihat . . . .
    a. plasma intinya
    b. inti dan protoplasma
    c. isinya saja
    d. hanya protoplasma
    e. dinding sel yang telah menebal

18. Beberapa tumbuhan Dicotyledoneae menghasilkan serat untuk bahan industri. Serat tersebut berasal dari bagian tumbuhan yaitu . . . .
    a. kulit buah
    b. akar
    c. biji
    d. kulit kayu
    e. daun

19. Unsur xilem yang sel-selnya berbentuk sel panjang dan dindingnya berlubang adalah . . . .
    a. albumen
    b. trakeida
    c. trakea
    d. sel pengiring
    e. buluh tapis

20. Akar berfungsi menyerap air dan garam-garam mineral. Akar membentuk rambut-rambut akar bertujuan untuk . . . .
    a. memperluas bidang penyerapan
    b. menyimpan cadangan makanan
    c. membantu pernapasan
    d. reproduksi aseksual
    e. menyerap oksigen

21. Pada bagian ujung akar terdapat struktur pelindung yang disebut . . . .
    a. krista
    b. kaliptra
    c. sutera
    d. kaspari
    e. kutikula

22. 


Gambar di atas merupakan penampang melintang akar tanaman Dicotyledoneae. Bagian yang ditunjuk oleh huruf x yaitu . . . .
a. xilem
b. floem
c. kambium
d. korteks
e. perisikel

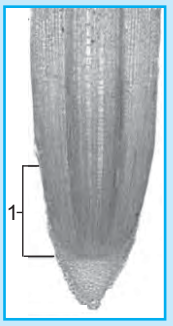
23. Jaringan floem berfungsi . . . .
a. penyimpan cadangan makanan
b. sebagai jalan masuk air dan garam mineral
c. membentuk cabang akar dan kambium gabus
d. mengangkut air dan garam mineral dari tanah menuju daun
e. mengangkut zat makanan dari daun ke seluruh bagian tumbuhan

24. Feloderm merupakan salah satu lapisan sel meristematik yang terbentuk karena aktivitas . . . .
a. korteks
b. floem
c. xilem
d. perisikel
e. kambium

25. Pada akar, jaringan yang berfungsi menyaring mineral terlarut yang akan memasuki jaringan pembuluh yaitu . . . .
a. perisikel
b. epidermis
c. endodermis
d. korteks
e. floem

26. Bagian berikut ini yang merupakan modifikasi epidermis daun yaitu . . . .
a. rhizoma
b. spina
c. trikomata
d. umbi
e. lentisel

27. Pada gambar penampang ujung akar di samping, di daerah bernomor 1 terjadi kegiatan . . . .
a. pembelahan sel
b. pemanjangan sel
c. diferensiasi sel
d. penyimpanan makanan
e. pembentukan percabangan




28. Perbedaan secara morfologi batang tumbuhan Dicotyledoneae dengan Monocotyledoneae yaitu . . . .
a. warna batang
b. kandungan kambium
c. ukuran batang dari pangkal ke ujung
d. berkas pengangkut
e. cadangan makanan

29. Perbedaan batang Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae terletak pada ada tidaknya . . . .
a. epidermis
b. korteks
c. kambium
d. parenkim
e. empulur

30. Di antara korteks dan stele batang pohon mangga terdapat lapisan yang mengalami penebalan sehingga tidak dapat dilalui air. Lapisan tersebut yaitu . . . .
a. kambium
b. endodermis
c. perisikel
d. epidermis
e. korteks

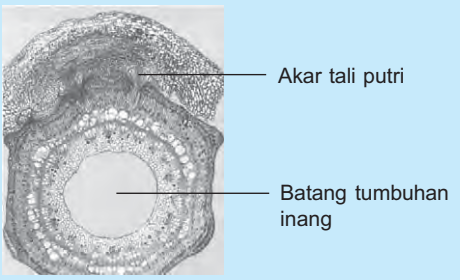
B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Gambarkan penampang melintang akar tanaman jagung beserta bagian-bagiannya.
2. Apakah dengan adanya jaringan gabus udara tidak dapat masuk ke dalam bagian sel hidup?
3. Beberapa tumbuhan, akarnya dapat mengalami modifikasi. Sebutkan 5 modifikasi akar dan jelaskan fungsinya.
4. Mengapa pada umumnya tanaman Dicotyledoneae dapat tumbuh tinggi dan besar? Jelaskan.
5. Mengapa pada jaringan klorenkim dapat terjadi fotosintesis?

6. Apakah fungsi jaringan epidermis? Sebutkan modifikasi jaringan epidermis serta fungsinya.
7. Pada bagian endodermis akar, terjadi penebalan. Bagaimana agar air dapat masuk ke bagian yang lebih dalam dari endodermis?
8. Jelaskan perbedaan antara jaringan mesofil pada daun tanaman jagung dengan tanaman kedelai.
9. Apakah perbedaan antara susunan xilem dengan floem pada tumbuhan Dicotyledoneae dan Monocotyledoneae?
10. Mengapa totipotensi digunakan sebagai dasar kultur jaringan? Jelaskan jawaban Anda.

C. *Berpikir kritis.*

Sepucuk tali putri sedang berkecambah dan merentangkan batangnya (kiri) ke arah tumbuhan inang 12 jam setelah keluar dari bijinya. Sehari kemudian (tengah) tali putri telah melilit batang mangsanya. Seminggu kemudian (kanan), setelah mengembangkan akar yang menembus inangnya, tali putri memutuskan hubungannya dengan tanah dan menjadi parasit sejati.




Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa akar *haustoria* pada tali putri sedang menembus batang tumbuhan lain.

Dari kasus di atas jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

1. Apa yang akan terjadi pada tumbuhan yang ditumpangi tali putri ini?
2. Sebutkan jenis jaringan pada tumbuhan yang ditembus oleh akar tali putri tersebut. Jelaskan.
3. Bagaimana cara tali putri memperoleh makanannya?
4. Apakah dengan adanya tali putri ini, pengangkutan air dan mineral dari dalam tanah pada tumbuhan inang menjadi terhambat? Jelaskan.

## Refleksi

**Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan**

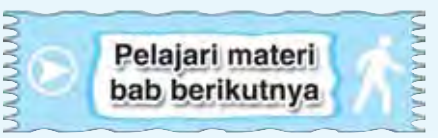
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa yang dimaksud dengan jaringan, organ, dan sistem organ tumbuhan?
2. Jaringan apa saja yang menyusun tumbuhan?
3. Apa fungsi setiap jaringan yang menyusun tumbuhan?
4. Bagaimana proses pengangkutan pada tumbuhan?
5. Sebutkan organ utama pada tumbuhan?
6. Mengapa totipotensi dapat digunakan sebagai dasar dari kultur jaringan?

Pelajari kembali

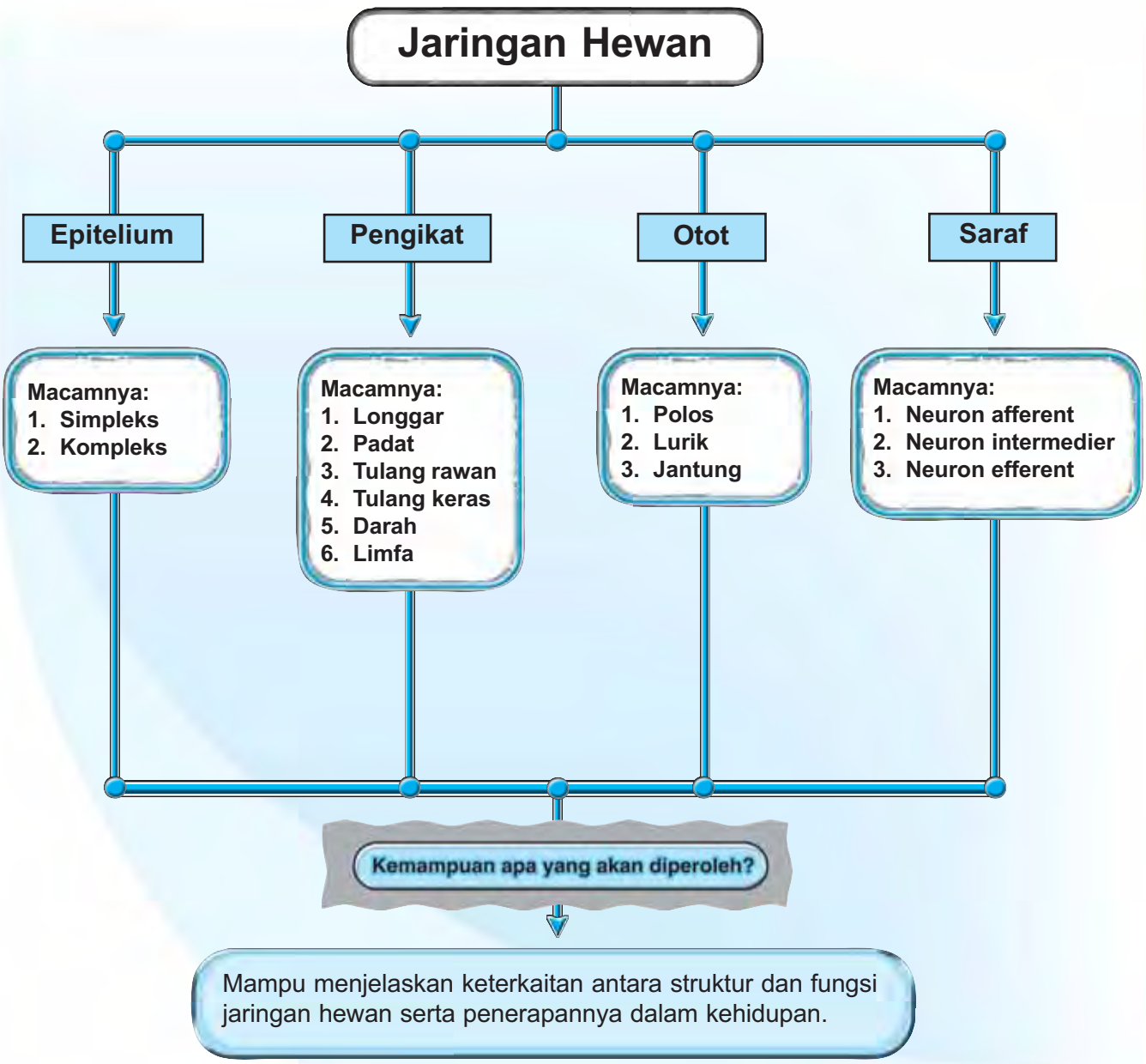
Jawaban betul < 60%

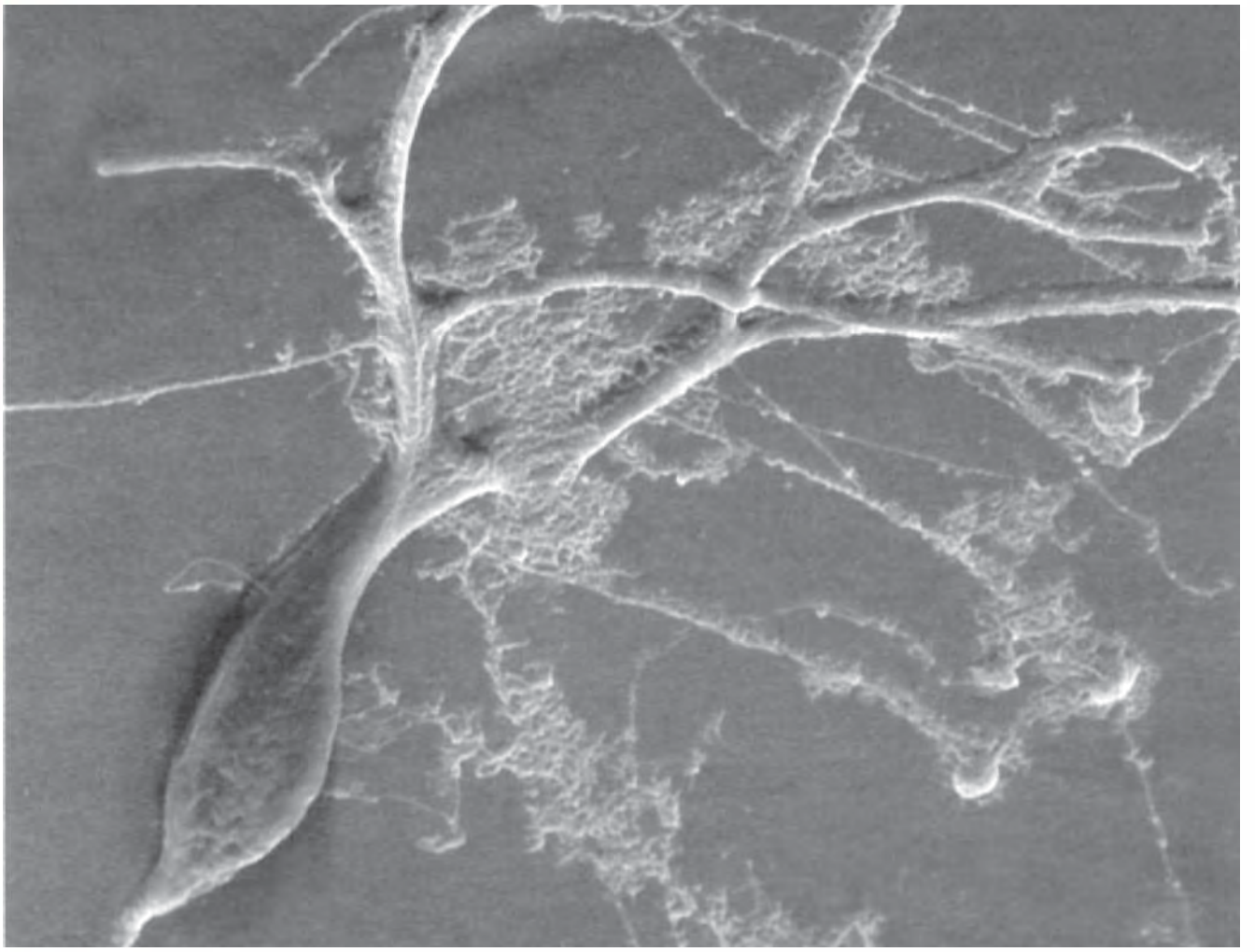
Jawaban betul ≥ 60%



# Bab III

# Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan Vertebrata





**Sumber:** *Biology, Campbell*

Anda telah mempelajari berbagai jaringan dan organ tumbuhan pada Bab II. Sama halnya dengan tumbuhan, hewan juga tersusun dari berbagai macam jaringan.

Perhatikan gambar di atas. Gambar tersebut menunjukkan salah satu jaringan yang menyusun organ tubuh hewan. Apa nama jaringan hewan yang terdapat pada gambar tersebut? Apa saja jenis jaringan yang menyusun organ tubuh hewan?

Pada bab ini, Anda akan mempelajari berbagai jenis jaringan yang menyusun tubuh hewan beserta fungsinya. Setelah mempelajari materi bab ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan keterkaitan antara struktur dan fungsi jaringan hewan beserta penerapannya.

## Kata Kunci

jaringan hewan
jaringan epitelium
organ
jaringan pengikat
sistem organ
jaringan saraf
transplantasi
jaringan otot
otot polos
otot lurik
otot jantung
neuron
kelenjar eksokrin
kelenjar endokrin

Seperti halnya tumbuhan tingkat tinggi, tubuh hewan multiselular juga tersusun atas banyak sel. Sel-sel tersebut pada tempat tertentu akan bersatu membentuk jaringan untuk melakukan suatu fungsi. Jaringan yang berkelompok bekerja sama melaksanakan fungsi tertentu membentuk suatu organ. Beberapa organ bekerja sama membentuk sistem organ dan melaksanakan fungsi tertentu. Sebelum membahas mengenai organ dan sistem organ, Anda akan mempelajari dahulu berbagai macam jaringan hewan dalam subbab berikut ini.

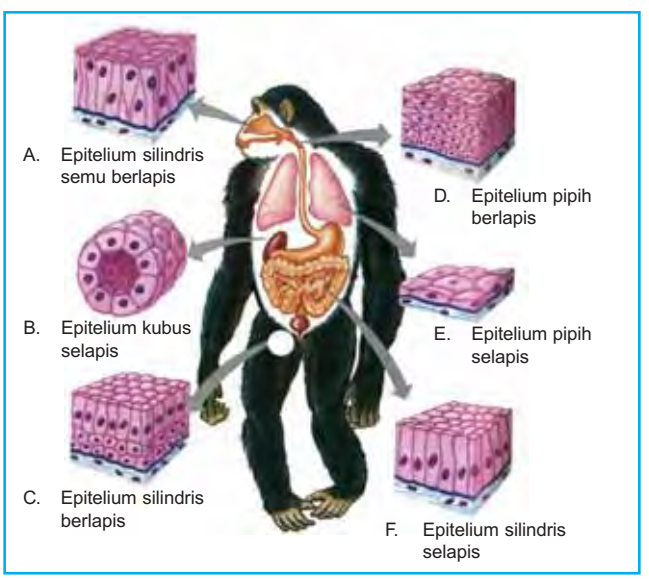
## A. Jaringan Hewan Vertebrata

Perhatikan kembali gambar jaringan penyusun organ tubuh hewan di depan. Jaringan tersebut dinamakan jaringan saraf. Sebenarnya, jaringan utama penyusun organ tubuh hewan tingkat tinggi dan manusia ada empat macam, yaitu jaringan epitelium, jaringan pengikat dan penumpu (tulang), jaringan otot, serta jaringan saraf.

### 1. Jaringan Epitelium

Jaringan epitelium terdiri atas sel-sel yang tersusun dalam lembaran-lembaran. Beberapa jaringan epitelium melapisi permukaan organ tubuh bagian dalam dan dibentuk untuk melaksanakan fungsi absorbsi dan proteksi. Beberapa jaringan epitelium berfungsi sebagai kelenjar. Organ yang berperan dalam pengambilan dan penyerapan zat kimia akan mempunyai permukaan epitelium yang luas, misalnya paru-paru, usus halus, dan ginjal.

Sel-sel epitelium terikat satu sama lainnya oleh zat pengikat (semen) antarsel sehingga hampir tidak ada ruangan antarsel. Sel-sel jaringan epitelium melekat pada lamina basalis yang berfungsi mengikat jaringan dengan bagian yang ada di bawahnya. Perhatikan berbagai jaringan epitelium yang menyusun organ tubuh hewan pada Gambar 3.1.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 3.1**
Jaringan Epitelium menyusun organ tubuh hewan

(a) (b)

(c)

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.2**
Epitelium (a) pipih, (b) kubus, dan (c) silindris

Pada Gambar 3.1 tersebut dapat diketahui bahwa terdapat berbagai macam jaringan epitelium dalam tubuh hewan. Jaringan epitelium dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah lapisan sel, bentuk, serta berdasar pada struktur dan fungsinya.

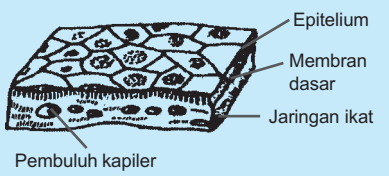
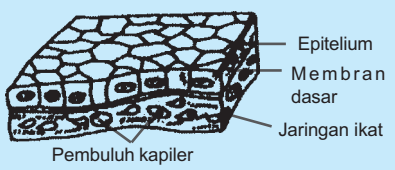
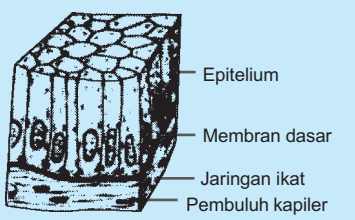
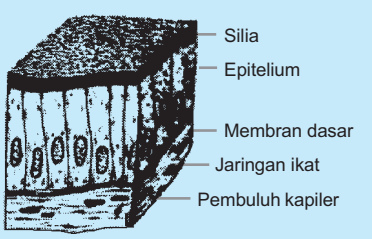
## a. Epitelium Berdasarkan Bentuk dan Jumlah Lapisan Sel

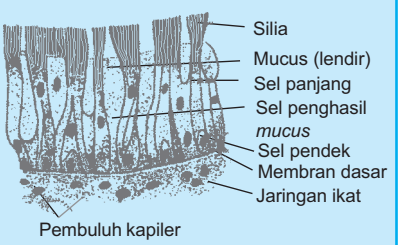
Perhatikan Gambar 3.2. Berdasarkan bentuknya, sel epitelium dibedakan menjadi bentuk pipih, kubus, dan silindris (batang). Sementara itu berdasarkan jumlah lapisannya, epitelium dapat dibedakan menjadi jaringan epitelium simpleks (sederhana) dan jaringan epitelium kompleks (berlapis). Epitelium simpleks adalah Epitelium yang hanya terdiri atas selapis sel. Epitelium kompleks adalah epitelium yang terdiri atas beberapa lapis sel.

### 1) *Epitelium Simpleks*

Epitelium simpleks hanya terdiri atas satu lapis sel saja. Epitelium simpleks dibedakan menjadi lima macam, yaitu epitelium pipih selapis, epitelium kubus selapis, epitelium silindris selapis, epitelium silindris selapis bersilia, dan epitelium silindris berlapis semu. Macam jaringan epitelium simpleks, letak, dan fungsinya dijelaskan dalam Tabel 3.1 berikut.

**Tabel 3.1** Jenis-Jenis Jaringan Epitelium Simpleks Beserta Letak dan Fungsinya

| No. | Jaringan | Letak | Fungsi | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Epitelium pipih selapis<br>– Sitoplasma jernih<br>– Inti sel bentuk bulat terletak di tengah | – Kapsula Bowman pada ginjal<br>– Lapisan dalam pembuluh darah dan limfa<br>– Alveolus paru-paru<br>– Ruang jantung<br>– Selaput bagian dalam telinga<br>– Sel ekskresi kecil dari kebanyakan kelenjar | – Pelapis bagian dalam rongga dan saluran<br>– Tempat difusi zat<br>– Tempat *infiltrasi* zat |  **Epitelium pipih selapis** |
| 2. | Epitelium kubus selapis<br>– Sitoplasma jernih atau berbutir-butir<br>– Inti sel bulat besar terletak di tengah | – Kelenjar air liur<br>– Retina mata<br>– Permukaan ovari<br>– Saluran dari nefron ginjal | – Lapisan pelindung atau proteksi<br>– Tempat penyerapan zat atau absorbsi<br>– Penghasil *mucus* (lendir) atau sekresi |  **Epitelium kubus selapis** |
| 3. | Epitelium silindris selapis<br>– Sitoplasma jernih atau berbutir-butir<br>– Nukleus berbentuk bulat terletak di dekat dasar | – Dinding dalam lambung<br>– Usus<br>– Kandung empedu<br>– Saluran rahim<br>– Rahim<br>– Saluran pernapasan bagian atas<br>– Saluran pencernaan | – Lapisan pelindung atau proteksi<br>– Penghasil *mucus* (lendir) atau sekresi<br>– Tempat difusi dan absorbsi zat<br>– Melicinkan |  **Epitelium silindris selapis** |
| 4. | Epitelium silindris selapis bersilia | – Dinding dalam rongga hidung<br>– Saluran trakea<br>– Bronkus<br>– Dinding dalam saluran oviduk | – Penghasil *mucus* (lendir) untuk menangkap benda asing yang masuk<br>– Getaran silianya menghalau benda asing yang masuk atau melekat pada *mucus* |  **Epitelium silindris selapis bersilia** |

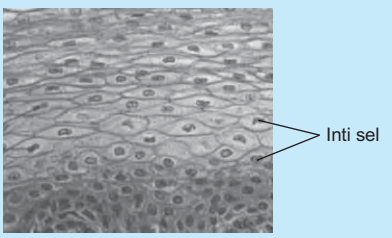
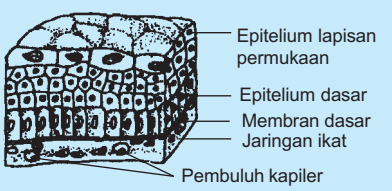
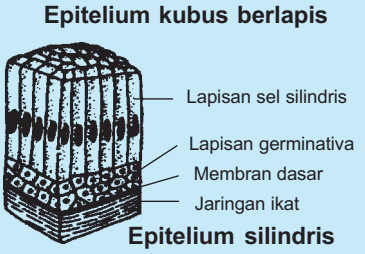
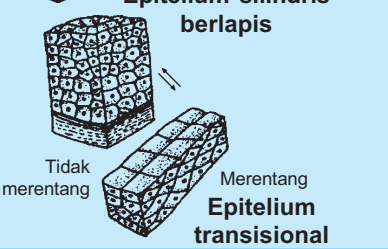
| No. | Jaringan | Letak | Fungsi | |
|---|---|---|---|---|
| 5. | Epitelium silindris berlapis semu<br>Epitelium ini sebenarnya tersusun atas selapis sel Epitelium saja. Namun, hanya terdiri atas sel-sel Epitelium batang yang berdekatan satu sama lain dan tidak semua selnya mencapai permukaan sehingga menyerupai Epitelium berlapis. | – Rongga hidung<br>– Trakea | – Proteksi<br>– Sekresi<br>– Gerakan zat melalui permukaan |  <br>**Epitelium silindris berlapis semu** |

### 2) *Epitelium Kompleks*

Epitelium kompleks tersusun oleh beberapa lapisan sel. Lapisan sel terbawah yang selalu membelah diri untuk mengganti sel-sel permukaan yang rusak disebut **lapisan germinativa**.

Berbagai macam jaringan epitelium kompleks, letak, dan fungsinya dijelaskan dalam Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2** Jenis-Jenis Jaringan Epitelium Kompleks Beserta Letak dan Fungsinya

| No. | Jaringan | Letak | Fungsi | |
|---|---|---|---|---|
| 1. | Epitelium pipih berlapis | – Kulit (dengan zat tanduk)<br>– Epidermis<br>– Rongga mulut<br>– Esofagus<br>– Laring<br>– Vagina<br>– Saluran anus<br>– Rongga hidung | – Lapisan pelindung terhadap pengaruh luar<br>– Lapisan pelindung saluran dalam<br>– Penghasil *mucus* |  <br>**Epitelium pipih berlapis** |
| 2. | Epitelium kubus berlapis | – Kelenjar keringat<br>– Kelenjar minyak<br>– Ovarium pada masa pertumbuhan<br>– Buah zakar | – Lapisan pelindung<br>– Penghasil *mucus* |  <br>**Epitelium kubus berlapis** |
| 3. | Epitelium silindris berlapis | – Lapisan konjungtiva (lapisan yang selalu basah karena lendir), misalnya pada bagian mata berwarna putih<br>– Dinding dalam kelopak mata<br>– Laring<br>– Faring<br>– Uretra | – Proteksi<br>– Penghasil *mucus*<br>– Gerakan zat melewati permukaan<br>– Saluran ekskresi kelenjar ludah dan kelenjar susu |  <br>**Epitelium silindris berlapis** |
| 4. | Epitelium transisional | – Kandung kemih<br>– Ureter<br>– Pelvis ginjal | Menahan regangan dan tekanan |  <br>**Epitelium transisional** |

**Tahukah Anda**

**Apakah Epidermolisis Bolusa Itu?**

Anak pada gambar di atas mengalami epidermolisis bolusa, yaitu kulit mudah melepuh. Hal ini disebabkan kolagen dalam dermis tidak normal dan tidak membentuk Jaringan penutup.

Selain itu, ada suatu kelainan kulit (sindroma kulit) yaitu kulit dapat ditarik hingga merenggang. Kulit pada setiap bagian tubuhnya dapat ditarik (dicubit) sepanjang 14 cm. Sindroma ini merupakan sifat yang diturunkan dan jarang sekali ditemui. Ketika diteliti (dilihat dengan mikroskop) bentuk selnya berbeda dengan sel kulit normal.

## b. Epitelium Berdasarkan Struktur dan Fungsi

Jaringan epitelium berdasarkan struktur dan fungsinya dibedakan menjadi dua, yaitu jaringan epitelium kelenjar dan jaringan epitelium penutup.

### 1) *Jaringan Epitelium Kelenjar*

Di dalam jaringan epitelium kelenjar terdapat sel-sel khusus yang mampu menghasilkan getah cair atau sekret. Pada umumnya, epitelium kelenjar dikhususkan untuk pembuatan, penyimpanan, dan sekresi zat-zat kimia.

Semua kelenjar secara embriologis berasal dari jaringan epitelium. Dua macam kelenjar utama adalah kelenjar eksokrin dan kelenjar endokrin.

*a)* *Kelenjar eksokrin,* merupakan kelenjar yang mempunyai saluran pengeluaran untuk menyalurkan hasil sekresinya yang dapat berupa enzim, keringat, dan air ludah. Kelenjar eksokrin dapat dibedakan menjadi dua berdasarkan banyaknya sel penyusunnya, yaitu uniselular dan multiselular. Kelenjar eksokrin uniselular contohnya sel goblet yang merupakan sel epitelium penghasil *mucus*. Sel goblet terdapat pada lapisan usus halus dan saluran pernapasan. Kelenjar eksokrin uniselular tersusun atas satu sel, sedangkan kelenjar eksokrin multiselular tersusun atas banyak sel, misalnya kelenjar keringat, kelenjar susu, dan lain-lain. Macam dan contoh kelenjar eksokrin dijelaskan dalam Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** Kelenjar-Kelenjar Eksokrin Beserta Letaknya

| No. | Kelenjar Eksokrin | Letak |
|---|---|---|
| 1. | Kelenjar alveolar sederhana | Kelenjar *mucus* dan Kelenjar racun pada kulit katak |
| 2. | Kelenjar alveolar bercabang sederhana | Pada kulit |
| 3. | Kelenjar tubuler sederhana | Kelenjar liberkulin pada dinding usus |
| 4. | Kelenjar tubuler bergelung sederhana | Kelenjar keringat pada kulit |
| 5. | Kelenjar tubuler bercabang sederhana | Kelenjar fundus pada dinding lambung |
| 6. | Kelenjar tubuler majemuk | Kelenjar *brunner* pada usus dan Kelenjar susu |
| 7. | Kelenjar alveolar majemuk | Kelenjar susu (*glandula mammae*) |
| 8. | Kelenjar tubulo alveolar majemuk | Submaksilaris pada rahang bawah |

*b)* *Kelenjar endokrin,* merupakan kelenjar yang mempunyai sel-sel sekresi yang khas dan tidak mempunyai saluran. Sekret yang dihasilkan langsung masuk ke cairan jaringan dan ke pembuluh darah sehingga kelenjar endokrin disebut juga **kelenjar buntu**. Sekret yang dihasilkan disebut **hormon**. Contoh kelenjar endokrin adalah kelenjar tiroid, kelenjar paratiroid, dan adrenal.

### 2) *Jaringan Epitelium Penutup*

Jaringan ini disebut jaringan epitelium penutup karena berfungsi melapisi permukaan tubuh dan jaringan lainnya. Jaringan ini terdapat di permukaan tubuh,

permukaan organ, melapisi rongga, atau merupakan lapisan di sebelah dalam saluran yang ada pada tubuh (misalnya saluran pencernaan dan pembuluh darah).

Pada dasarnya, jaringan epitelium mempunyai beberapa fungsi berikut.

1) Pelindung atau proteksi jaringan yang berada di sebelah dalamnya, misalnya jaringan epitelium kulit dan selaput rongga mulut.
2) Sebagai kelenjar, yaitu jaringan yang menghasilkan sekret. Ada dua macam kelenjar yaitu kelenjar eksokrin dan kelenjar endokrin.
3) Penerima rangsang (reseptor) disebut **epitelium sensori** atau **neuroepitelium**. Epitelium sensori kebanyakan berada di sekitar alat indra.
4) Pintu gerbang lalu lintas zat, berfungsi melakukan penyerapan zat ke dalam tubuh dan untuk mengeluarkan zat dari dalam tubuh, misalnya:
   a) pada alveolus paru-paru, untuk keluar masuknya $O_2$ dan $CO_2$,
   b) pada jonjot usus, untuk penyerapan zat makanan, dan
   c) pada nefron, untuk lewatnya urine.

Anda telah mengetahui berbagai macam jaringan epitelium termasuk fungsi dan letaknya. Lakukan kegiatan berikut ini untuk lebih memperjelas pemahaman Anda.

## Eksperimen 1

### Mengamati Struktur Sel Epitelium

Sediakan mikroskop cahaya, gelas benda, gelas penutup, pipet, tusuk gigi, kertas isap, larutan biru metilen, kapas, dan larutan alkohol 70%. Setelah itu bersihkan tusuk gigi dengan alkohol 70%. Dengan menggunakan tusuk gigi, koreklah secara perlahan lapisan permukaan dinding bagian dalam mulut sampai epitelium terbawa pada ujung tusuk gigi. Letakkan hasil korekan tadi di atas gelas benda dan ratakan. Kemudian tetesi dengan larutan biru metilen pada gelas benda yaitu di atas sel epitelium hasil korekan tadi. Setelah itu tutup dengan gelas penutup. Amatilah preparat tersebut dengan mikroskop mulai dari perbesaran lemah yaitu 10 × 10, dilanjutkan dengan perbesaran 10 × 40. Gambarlah hasil pengamatan Anda dan berilah keterangan bagian-bagian sel epitelium yang nampak.

**Pertanyaan:**

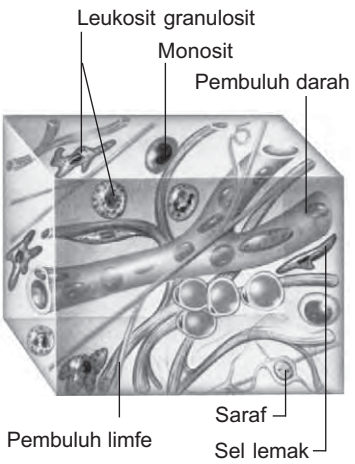
1. Apa saja bagian-bagian sel epitelium yang dapat Anda amati?
2. Dari gambar yang telah Anda buat, coba jelaskan bentuk dan struktur sel epitelium.
3. Menurut Anda, apa fungsi dari bagian-bagian sel epitelium tersebut?
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

## 2. Jaringan Pengikat

Jaringan pengikat berkembang dari mesenkim, yang berasal dari mesoderm (lapisan tengah embrio). Selain menjadi jaringan pengikat (darah, tulang rawan, tulang, dan lemak), mesenkim juga menjadi jaringan lain berupa otot, pembuluh darah, beberapa kelenjar, dan epitelium. Letak sel-sel jaringan pengikat tidak berhimpitan rapat (berpencar-pencar), jika berhubungan hanya pada ujung-ujung protoplasmanya. Perhatikan Gambar 3.3.

jaringan pengikat mempunyai beberapa fungsi, yaitu untuk melekatkan suatu jaringan dengan jaringan lain, membungkus organ-organ, mengisi rongga di antara organ-organ, dan menghasilkan imunitas.




**Sumber:** *Pustaka Pengetahuan Modern: Tubuh Manusia, Grolier*

**Gambar 3.3**
Komponen jaringan pengikat

### a. Komponen Jaringan Pengikat

Jaringan pengikat tersusun dari berbagai macam komponen yaitu matriks dan sel-sel jaringan pengikat. Bentuk sel-sel yang terdapat dalam jaringan pengikat tidak teratur, sitoplasma bergranula, dan intinya menggembung.

#### 1) *Matriks*

Matriks tersusun oleh serabut-serabut dan bahan dasar.

a) *Serabut*

Berdasarkan bentuk dan reaksi kimianya, Serabut dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu serabut kolagen, serabut elastin, dan serabut retikular.

**(1) Serabut Kolagen**

Serabut kolagen mempunyai daya elastisitas rendah, daya regang sangat tinggi, berwarna putih, dan bentuknya berupa berkas-berkas beragam. Serabut kolagen terdapat pada tendon (penghubung otot dengan tulang) dan jaringan pengikat longgar. Perhatikan Gambar 3.4.

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.4**
Serabut kolagen

**(2) Serabut Elastin**

Serabut elastin mempunyai elastisitas tinggi, berwarna kuning, lebih tipis dari serabut kolagen, dan bentuknya seperti bangunan bercabang-cabang dan tebal. Serabut elastin tersusun oleh protein dan mukopolisakarida. Serabut elastin antara lain terdapat pada pembuluh darah dan ligamen. Elastisitas serabut elastin akan semakin menurun dengan semakin bertambahnya usia seseorang.

**(3) Serabut Retikular**

Serabut retikular mempunyai daya elastisitas rendah. Hampir sama dengan serabut kolagen, tetapi ukurannya lebih kecil. Serabut ini berperan menghubungkan antara jaringan pengikat dengan jaringan lainnya.

b) *Bahan Dasar*

Bahan dasar penyusun matriks berupa bahan homogen setengah cair yang terdiri dari mukopolisakarida sulfat dan asam hialuronat. Matriks bersifat lentur jika asam hialuronatnya tinggi dan akan bersifat kaku jika mukopolisakaridanya tinggi. Bahan dasar yang terdapat dalam sendi bersifat kental, sedangkan yang terdapat dalam tulang punggung bersifat padat.

**2) *Sel-Sel Jaringan Pengikat***

Di dalam matriks tertanam berbagai sel-sel penyusun jaringan. Beberapa jenis sel yang tertanam dalam matriks sebagai berikut.

a) *Fibroblast*

Fibroblast berfungsi mensintesis dan mensekresikan protein pada serabut.

b) *Makrofag*

Makrofag bentuknya berubah-ubah (tidak teratur) dan khusus terdapat di dekat pembuluh darah, berfungsi dalam **pinositosis** dan **fagositosis**. Makrofag dapat digerakkan atau didistribusikan ke jaringan lain yang mengalami peradangan.

c) *Sel Tiang (Sel Mast)*

Sel tiang berfungsi menghasilkan substansi heparin dan histamin. **Substansi heparin** adalah suatu anti koagulan yang dapat menghalangi pengubahan protrombin menjadi trombin yang berfungsi mencegah pembekuan darah. **Substansi histamin** adalah suatu zat yang dihasilkan mastosit sebagai reaksi terhadap antigen yang sesuai dan berfungsi meningkatkan permeabilitas kapiler darah.

d) *Sel Lemak*

Sel lemak berfungsi menyimpan lemak. Jaringan pengikat yang memiliki sel lemak dalam jumlah banyak disebut **Jaringan adiposa**.

e) *Berbagai Jenis Sel Darah Putih*

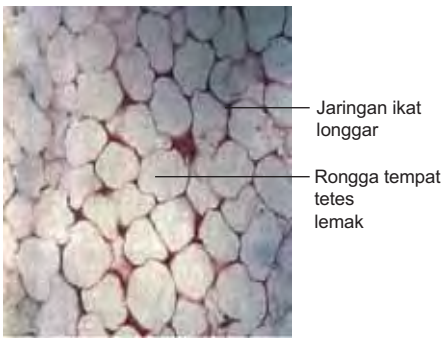
Sel darah putih berfungsi melawan patogen (berupa bakteri, virus, atau Protozoa) yang menimbulkan penyakit. Sel-sel darah putih bergerak bebas secara diapedesis di antara darah, limfa, atau jaringan pengikat untuk membersihkan patogen. Sel darah putih ada 2 macam, yaitu sel darah putih granulosit dan agranulosit. Sel darah putih granulosit (yang bergranula), misalnya eosinofil, basofil, dan neutrofil, sedangkan yang agranulosit (tidak bergranula), yaitu limfosit dan monosit.

## b. Macam Jaringan Pengikat

Berdasarkan struktur dan fungsinya, jaringan pengikat dikelompokkan menjadi dua yaitu jaringan pengikat biasa dan jaringan pengikat dengan sifat khusus.

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.5**
Jaringan pengikat longgar




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.6**
Jaringan lemak

### 1) *Jaringan Pengikat Biasa*

Jaringan pengikat biasa dibedakan menjadi jaringan pengikat longgar dan jaringan pengikat padat.

#### a) *Jaringan Pengikat Longgar*

Susunan jaringan pengikat longgar dapat Anda amati pada Gambar 3.5. Jaringan ini mempunyai ciri-ciri utama yaitu susunan serat-seratnya yang longgar. Matriksnya berupa cairan lendir (*mucus*). Pada matriks terdapat berkas serabut kolagen yang fleksibel, tetapi tidak elastis. Adanya serabut kolagen memungkinkan terjadinya gerakan dari bagian-bagian yang saling dihubungkan. Pada matriks juga terdapat fibroblast, sel mast, dan plasma sel. Jaringan pengikat longgar mempunyai beberapa fungsi berikut.

(1) Membentuk membran yang membatasi jantung dan rongga perut.
(2) Mengikatkan kulit pada jaringan di bawahnya.
(3) Mengelilingi pembuluh darah dan saraf yang menyusup ke organ.
(4) Pengikat lapisan epitelium pipih membentuk lembar mesenterium.
(5) Membantu melekatkan organ pada otot dinding tubuh.
(6) Memberi bentuk organ dalam seperti kelenjar limfa, sumsum tulang, dan hati.

Jaringan pengikat longgar terdapat di sekitar pembuluh darah, saraf, dan sekitar organ tubuh. Contoh lain jaringan yang termasuk jaringan ikat longgar adalah jaringan lemak (Gambar 3.6) atau jaringan adiposa. Jaringan ini terdapat pada lapisan lemak di bawah kulit.

#### b) *Jaringan Pengikat Padat*

Jaringan ini mempunyai struktur serat-serat terutama kolagen yang padat. Jaringan pengikat padat dibedakan menjadi jaringan-jaringan pengikat padat teratur dan tidak teratur. Jaringan pengikat padat teratur mempunyai berkas kolagen yang tersusun teratur ke satu arah, misalnya pada tendon. Sementara itu, jaringan pengikat padat tidak teratur mempunyai berkas kolagen yang menyebar membentuk anyaman kasa yang kuat, misalnya di lapisan bawah kulit.

### 2) *Jaringan Pengikat dengan Sifat Khusus*

Jaringan pengikat dengan sifat khusus terdiri atas jaringan tulang rawan (kartilago), jaringan tulang keras, serta darah dan limfa.

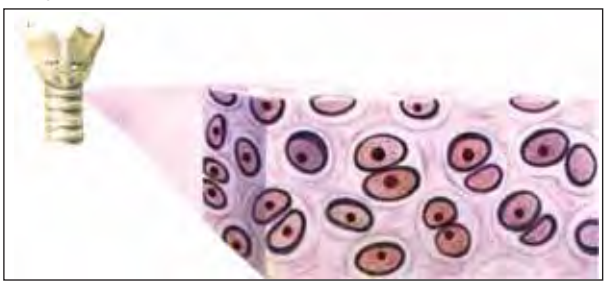
#### a) *Jaringan Tulang Rawan*

Matriks jaringan tulang rawan terdiri atas kondrin, yaitu zat jernih seperti kanji yang terbuat dari mukopolisakarida dan fosfat. Oleh karena itu, sel tulang rawan disebut **kondrosit**. Kondrosit berfungsi mensintesis dan mempertahankan matriks yang mengandung serabut kolagen, serabut elastis, dan serabut fibrosa. Kondrin dihasilkan oleh sel kondroblast yang

terletak pada lakuna. Tulang rawan selalu terbungkus oleh membran perikondrium karena masih bersifat lunak.

Jaringan tulang rawan pada anak berasal dari jaringan pengikat embrional (mesenkim), sedangkan pada orang dewasa dibentuk oleh selaput rawan atau fibrosa tipis yang dinamakan **perikondrium**. Pada stadium embrio, rangka hewan mamalia terdiri atas kartilago (tulang rawan). Pada perkembangan selanjutnya, sebagian mengalami osifikasi (mengeras) menjadi tulang keras dan hanya sebagian kecil yang tersisa pada stadium dewasa. Misalnya pada daun telinga, hidung, serta antarruas tulang belakang dan tulang dada.

Tulang rawan berfungsi sebagai rangka tubuh pada awal embrio, menunjang jaringan lunak dan organ dalam, serta melicinkan permukaan tulang dan sendi. Tulang rawan tidak mempunyai saraf dan pembuluh darah. Perhatikan struktur tulang rawan penyusun trakea pada Gambar 3.7.



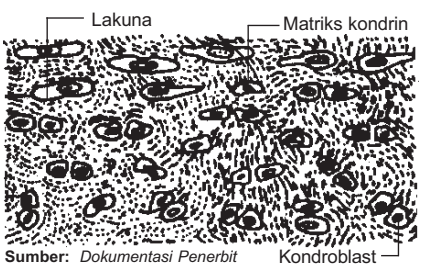
**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu, Time-Life: Tubuh Manusia, Tira Pustaka*

**Gambar 3.7**
Jaringan tulang rawan yang terdapat pada trakea

Jaringan tulang rawan (kartilago) terdiri atas kartilago hialin, kartilago fibrosa, dan kartilago elastis.

### (1) Kartilago Hialin

Kartilago hialin mengandung serabut kolagen yang halus, berwarna putih kebiru-biruan, dan tembus cahaya. Kartilago hialin terdapat pada ujung tulang keras, cakram epifisis, persendian, dan saluran pernapasan (dari hidung sampai dengan bronkus). Kartilago hialin berfungsi untuk memberi kekuatan, menyokong rangka embrionik, menyokong bagian tertentu rangka dewasa, dan membantu pergerakan persendian. Anda dapat mengamati penampang kartilago hialin pada Gambar 3.8.

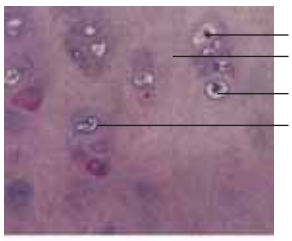



**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.8**
Penampang kartilago hialin

### (2) Kartilago Fibrosa

Kartilago fibrosa mengandung serabut kolagen yang padat dan kasar sehingga matriksnya berwarna gelap dan keruh. Kartilago fibrosa terdapat pada ruas-ruas tulang belakang, simfisis pubis, dan persendian.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.9**
Penampang kartilago fibrosa

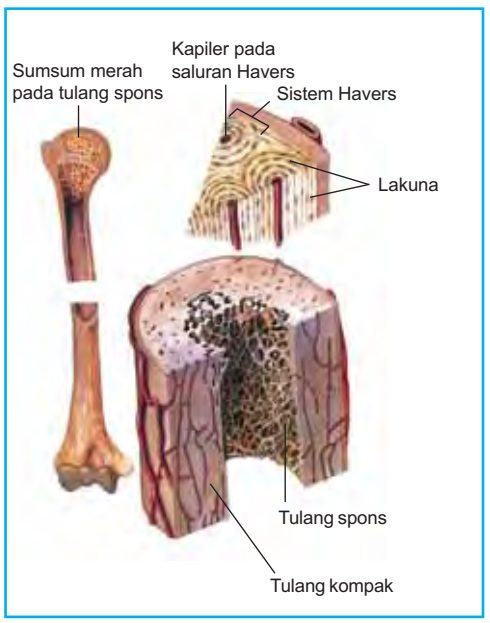
**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.10**
Penampang kartilago elastis

**Tahukah Anda**

**Kartilago yang Mengapur**

Kartilago ini biasanya terdapat pada rangka ikan bertulang keras. Kartilago ini berasal dari tulang rawan hialin yang mendapat endapan garam kalsium pada matriksnya.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 3.11**
Penampang bujur tulang pipa

Kartilago fibrosa berfungsi untuk menyokong dan melindungi bagian di dalamnya. Anda dapat mengamati penampang kartilago fibrosa pada Gambar 3.9.

### (3) Kartilago Elastis

Kartilago elastis mengandung serabut elastis dan serabut kolagen. Matriksnya berwarna keruh kekuning-kuningan. Kartilago ini lebih elastis dari kartilago yang lain sehingga mudah pulih posisinya. Kartilago ini terdapat di epiglotis, daun telinga, dan bronkiolus. Kartilago elastis berfungsi untuk memberi fleksibilitas dan sebagai penyokong. Anda dapat mengamati penampang kartilago elastis pada Gambar 3.10.

## b) *Jaringan Tulang Keras*

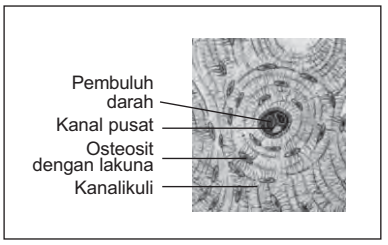
Tulang merupakan jaringan pengikat yang terminerali sasi (mengandung mineral). Sel tulang disebut osteosit yang dibentuk oleh osteoblast. Antara osteosit yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh kanalikuli. Matriks osteoblast mengandung kalsium fosfat yang memperkeras matriks sehingga tulang lebih keras daripada tulang rawan.

Berat tubuh mamalia dewasa, 15% berupa tulang. Berat tulang sebagian besar tersusun atas garam mineral, yaitu 85% kalsium fosfat, 10% kalsium karbonat, 4% magnesium klorida, dan 1% kalsium fluorida. Oleh karena itu susunan tulang menjadi keras dan kaku.

Endapan garam mineral menyusun dan melingkari bagian pusat tulang sehingga membentuk pita melingkar disebut **lamela**. Pada batas lamela terdapat lakuna yang di dalamnya terdapat osteosit (sel tulang). Setiap tulang dibungkus oleh periosteum, yaitu jaringan pengikat fibrosa yang berbentuk lembaran pipih dan liat. Lapisan dalam dilapisi oleh endosteum.

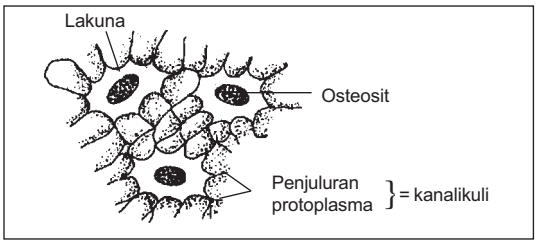
Perhatikan Gambar 3.11. Berdasarkan susunan matriksnya, jaringan tulang dibedakan menjadi tulang keras atau tulang kompak dan tulang berongga atau tulang spons. Tulang keras memiliki matriks yang susunannya rapat. Sementara itu, tulang spons memiliki susunan matriks longgar atau berongga.

Susunan anatomi tulang pipa terdiri atas bagian epifisis di kedua ujung dan diafisis di bagian tengah. Epifisis tulang pipa berbentuk bonggol serta tersusun oleh periosteum dan tulang rawan. Diafisis tulang pipa terdiri atas periosteum, tulang keras, tulang spons, dan rongga sumsum tulang.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.12**
Sistem Havers pada jaringan tulang




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.13**
Osteosit (sel tulang) pada lakuna

Perhatikan Gambar 3.12. Pada tulang keras atau kompak, sel-sel tulang tersusun membentuk sebuah sistem yang disebut **sistem Havers**. Bagian tengah sistem Havers terdapat saluran disebut saluran Havers yang berisi pembuluh darah, pembuluh limfa, dan saraf. Di antara dua saluran Havers dihubungkan oleh saluran Volkman. Di sekeliling sistem Havers terdapat lapisan tulang yang disebut lamela. Pada lamela-lamela inilah terdapat osteosit (sel-sel tulang) yang menempati lakuna (rongga) yang tersusun secara konsentris. Susunan osteosit dapat Anda amati pada Gambar 3.13.

Anda telah mempelajari dua jenis jaringan tulang yaitu tulang rawan (kartilago) dan tulang keras. Seperti telah disebutkan di depan sel-sel tulang keras tersusun membentuk sebuah sistem yang disebut sistem Havers. Lakukan kegiatan di bawah ini agar Anda lebih memahami bagian-bagian dari sistem Havers.

**Tahukah Anda**

**Kegunaan Tulang**

Tulang bukanlah sekadar susunan penopang dan pembentuk tubuh serta tempat melekatnya otot. Namun, juga sebagai gudang untuk menyimpan persediaan mineral yang penting bagi tubuh. Sementara itu, sumsum merupakan penghasil butir-butir darah merah (kira-kira 2,5 juta sel per detik) dan sel-sel darah lainnya.

## Eksperimen 2

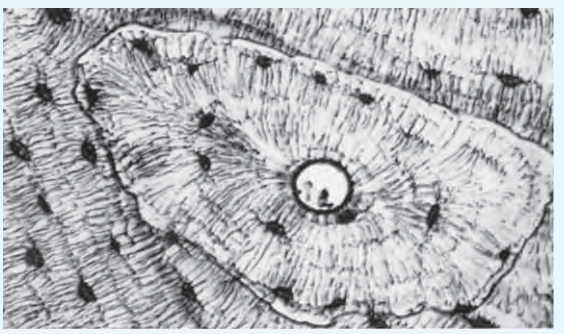
### Mengamati Jaringan Tulang keras

Sediakanlah preparat awetan jaringan tulang keras, mikroskop cahaya, kertas, dan pensil. Kemudian amatilah preparat tersebut dengan mikroskop dan gambarlah hasil pengamatan Anda. Amatilah gambar di samping jika tidak tersedia preparat awetan jaringan tulang keras.

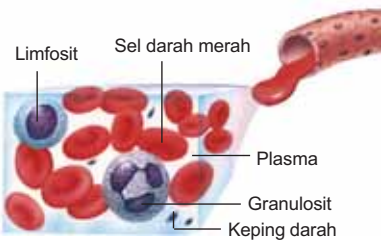
**Pertanyaan:**

1. Bagian-bagian apa saja yang menyusun sistem Havers?
2. Sebutkan letak osteosit, cabang pembuluh darah, dan saraf.
3. Apa fungsi dari lamela-lamela yang melingkar dan saluran-saluran halus yang ditemukan pada sistem Havers?
4. Apa kesimpulan Anda mengenai jaringan tulang keras?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.



**Jaringan tulang keras membentuk sistem Havers**



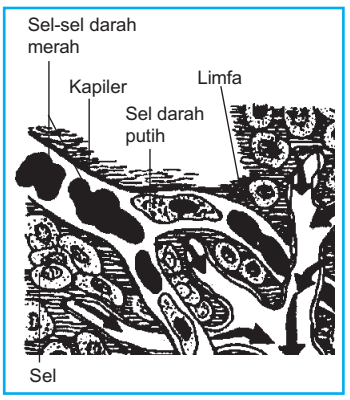

**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu, Time-Life: Tubuh Manusia, Tira Pustaka*

**Gambar 3.14**
Komponen darah

**Tahukah Anda**

**Volume Darah**

Tubuh orang dewasa memuat ± lima liter darah, sepanjang lebih dari 100.000 km. Satu sentimeter kubik darah berisi 5.500.000 sel darah merah.




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.15**
Jaringan limfa

c) *Jaringan Darah*

Darah merupakan jaringan pengikat. Pada mamalia terdapat 6 liter darah atau 6–10% dari berat tubuh. Darah beredar dalam pembuluh darah arteri, vena, dan kapiler.

Jaringan darah terdiri atas substansi cair dan substansi padat. Substansi cair disebut plasma darah, sedangkan substansi padat berupa sel-sel darah. Perhatikan Gambar 3.14. Ada tiga tipe sel darah, yaitu eritrosit (sel darah merah), leukosit (sel darah putih), dan trombosit (keping-keping darah). Leukosit ada dua macam, yaitu granulosit (leukosit bergranula) dan agranulosit (leukosit tak bergranula). Granulosit meliputi neutrofil, eosinofil, dan basofil. Agranulosit meliputi limfosit dan monosit. Sel-sel darah terdapat dalam plasma darah.

Darah mempunyai beberapa fungsi berikut.

(1) Mengangkut sari makanan, $O_2$, dan hormon ke sel-sel tubuh.
(2) Mengangkut zat sisa dan $CO_2$ dari sel-sel tubuh.
(3) Mengatur suhu badan.
(4) Leukosit dapat berfungsi untuk melawan penyakit.
(5) Menutup luka dengan pembekuan darah.

d) *Jaringan Limfa (Jaringan Getah Bening)*

Limfa merupakan suatu cairan yang dikumpulkan dari berbagai jaringan dan kembali ke aliran darah. Komponen selular berupa limfosit dan granulosit (neutrofil, eosinofil, dan basofil). Cairan limfa mengalir dalam saluran yang disebut pembuluh limfa yang berada sejajar dengan pembuluh vena darah. Fungsi limfa adalah mengangkut cairan jaringan, protein, lemak, dan zat-zat lain dari jaringan ke sistem peredaran. Struktur jaringan limfa dapat Anda amati pada Gambar 3.15.

## 3. Jaringan Otot

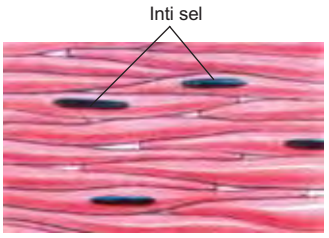
Jaringan otot tersusun atas sel-sel otot. Jaringan ini berfungsi melakukan pergerakan pada berbagai bagian tubuh. Jaringan otot dapat berkontraksi karena di dalamnya terdapat serabut kontraktil yang disebut **miofibril**. Miofibril tersusun atas miofilamen atau protein aktin dan protein miosin. Kurang lebih 40% berat tubuh mamalia merupakan jaringan otot. Jaringan otot dapat dibagi menjadi jaringan otot polos, otot lurik (seran lintang), dan otot jantung.

### a. Otot Polos

Otot polos mempunyai serabut kontraktil yang tidak memantulkan cahaya berselang-seling, sehingga sarkoplasmanya tampak polos dan homogen. Otot polos mempunyai bentuk sel seperti gelendong, bagian tengah besar, dan ujungnya meruncing. Dalam setiap sel otot polos terdapat satu inti sel yang terletak di tengah dan bentuknya pipih.

Aktivitas otot polos tidak dipengaruhi oleh kehendak kita (otot tidak sadar) sehingga disebut otot involunter dan selnya dilengkapi dengan serabut saraf dari sistem saraf otonom. Kontraksi otot polos sangat lambat dan lama, tetapi tidak mudah lelah. Otot polos terdapat pada alat-alat tubuh bagian dalam sehingga disebut juga **otot visera**. Misalnya pada pembuluh darah, pembuluh limfa, saluran pencernaan, kandung kemih, dan saluran pernapasan. Otot polos berfungsi memberi gerakan di luar kehendak, misalnya gerakan zat sepanjang saluran pencernaan. Selain itu, berguna pula untuk mengontrol diameter pembuluh darah dan gerakan pupil mata. Struktur otot polos dapat Anda amati pada Gambar 3.16.

**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu, Time-Life: Tubuh Manusia, Tira Pustaka*



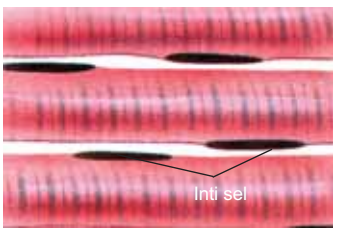

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.16**
Otot polos

### b. Otot Lurik

Perhatikan Gambar 3.17. Otot lurik mempunyai serabut kontraktil yang memantulkan cahaya berselang-seling gelap (anisotrop) dan terang (isotrop). Sel atau serabut otot lurik berbentuk silindris atau serabut panjang. Setiap sel mempunyai banyak inti dan terletak di bagian tepi sarkoplasma. Otot lurik bekerja di bawah kehendak (otot sadar) sehingga disebut otot volunter dan selnya dilengkapi serabut saraf dari sistem saraf pusat. Kontraksi otot lurik cepat tetapi tidak teratur dan mudah lelah. Otot lurik disebut juga otot rangka karena biasanya melekat pada rangka tubuh, misalnya pada bisep dan trisep. Selain itu juga terdapat di lidah, bibir, kelopak mata, dan diafragma. Otot lurik berfungsi sebagai alat gerak aktif karena dapat berkontraksi secara cepat dan kuat sehingga dapat menggerakkan tulang dan tubuh.

**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu, Time-Life: Tubuh Manusia, Tira Pustaka*



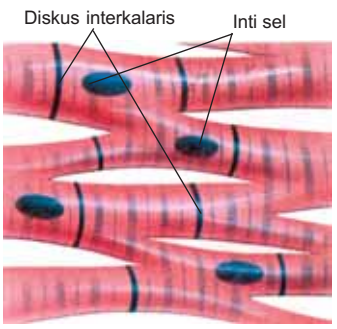

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.17**
Otot lurik

### c. Otot Jantung

Perhatikan Gambar 3.18. Otot jantung berbentuk silindris atau serabut pendek. Otot ini tersusun atas serabut lurik yang bercabang-cabang dan saling berhubungan satu dengan lainnya. Setiap sel otot jantung mempunyai satu atau dua inti yang terletak di tengah sarkoplasma. Otot jantung bekerja di luar kehendak (otot tidak sadar) atau disebut juga otot involunter dan selnya dilengkapi serabut saraf dari saraf otonom. Kontraksi otot jantung berlangsung secara otomatis, teratur, tidak pernah lelah, dan bereaksi lambat. Dinamakan otot jantung karena hanya terdapat di jantung. Kontraksi dan relaksasi otot jantung menyebabkan jantung menguncup dan mengembang untuk mengedarkan darah ke seluruh tubuh. Ciri khas otot jantung adalah mempunyai **diskus interkalaris**, yaitu pertemuan dua sel yang tampak gelap jika dilihat dengan mikroskop.

**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu, Time-Life: Tubuh Manusia, Tira Pustaka*




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.18**
Otot jantung

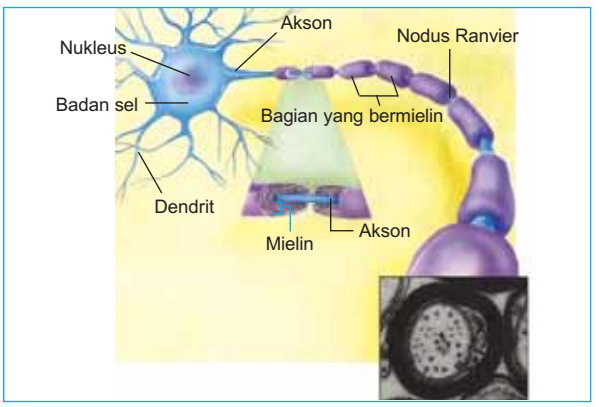
## 4. Jaringan Saraf

Jaringan saraf terdiri dari sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Anda akan mempelajarinya lebih lanjut di semester dua pada bab tiga. Saat ini kita hanya akan membahas bagian-bagian dan fungsi jaringan saraf.

Jaringan saraf terdiri atas sel-sel saraf yang disebut **neuron**. Sel saraf ini mempunyai struktur bercabang-cabang ke berbagai bagian tubuh untuk mengatur aktivitasnya. Neuron mendapat suplai makanan melalui sel neuroglia yang menyelubunginya. Neuron terdiri atas bagian-bagian berikut.

a. Badan sel saraf yang mengandung inti sel dan neuroplasma.
b. Neurit atau akson atau cabang panjang, berfungsi membawa impuls meninggalkan badan sel saraf.
c. Dendrit atau cabang pendek, berfungsi membawa impuls ke badan sel saraf.

Susunan neuron dapat Anda amati pada Gambar 3.19.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 3.19**
Sel saraf

Akson dikelilingi oleh sel penyokong yang disebut **sel Schwann**. Akson diselubungi oleh selaput yang dinamakan **neurilema**. Sebelah dalam neurilema terdapat selubung mielin yang mengandung fosfolipid. Bagian akson yang tidak tertutup oleh selubung mielin dinamakan **nodus Ranvier**. Akson bercabang di dekat ujung (terminal akson). Titik pertemuan antara terminal akson yang satu dengan neuron yang lain disebut **sinapsis**. Titik pertemuan (sinapsis) ini berfungsi meneruskan rangsang ke sel saraf yang lain dengan cara mengeluarkan bahan kimia yang disebut **neurotransmiter**.

Badan sel saraf memiliki sebuah inti dan bangun **perikarion** yang berhubungan dengan akson membentuk huruf V, yang dinamakan **aksonhillok**. Retikulum endoplasma dan ribosom membentuk granula yang dinamakan **badan nissl**.

Perhatikan Gambar 3.20, Gambar 3.21, dan Gambar 3.22. Berdasarkan cara memindahkan rangsang dan posisi yang ditempati, neuron dibedakan menjadi tiga sebagai berikut.

### a. Neuron Afferent (Neuron Sensorik)

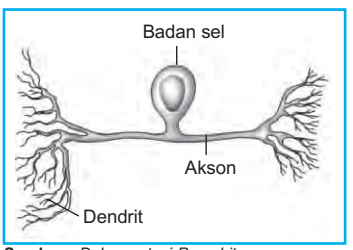
Neuron afferent menyampaikan rangsang dari organ penerima rangsang (reseptor) kepada sistem saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang).

### b. Neuron Intermedier (Interneuron)

Neuron intermedier menyampaikan impuls dari neuron sensorik atau dari neuron intermedier yang lain ke neuron motorik.

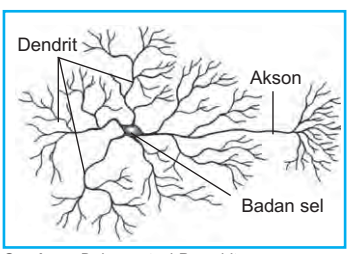
### c. Neuron Efferent (Neuron Motorik)

Neuron efferent menyampaikan impuls dari sistem saraf pusat ke otot dan kelenjar yang akan melakukan respon.



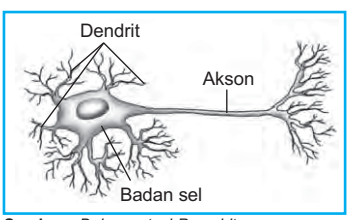

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.20**
Neuron sensorik (Afferent)




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.21**
Interneuron




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 3.22**
Neuron motorik (Efferent)

Badan sel saraf terletak di pusat saraf dan ganglion. Ganglion adalah kumpulan badan sel saraf yang letaknya tertentu, misalnya di kiri-kanan sumsum tulang belakang.

Sel saraf mempunyai beberapa fungsi berikut.

a. Merespon perubahan lingkungan (iritabilitas).
b. Membawa impuls-impuls saraf (pesan) ke pusat saraf maupun sebaliknya (konduktivitas).
c. Bereaksi aktif terhadap rangsang yang datang berupa gerakan pindah atau menghindar.

Di depan telah dibahas mengenai berbagai macam jaringan yang terdapat pada hewan. Tidak semua organisme mempunyai jaringan dalam tubuhnya. Pada organisme tingkat rendah seperti Protozoa, tubuhnya hanya terdiri satu sel. Jadi, Protozoa tidak memiliki jaringan pada tubuhnya. Semakin tinggi tingkatan organisme, semakin kompleks struktur penyusun tubuhnya. Tubuh organisme tingkat tinggi tersusun atas berbagai macam jaringan.

Kelompok hewan Vertebrata juga tersusun dari berbagai macam jaringan seperti yang telah dibahas di depan. Namun, struktur jaringan yang terdapat pada tubuh setiap jenis hewan berbeda-beda walaupun fungsinya sama. Misalnya, jaringan darah pada setiap hewan mempunyai struktur berbeda-beda sebagai hasil adaptasi terhadap lingkungannya. Sekarang, perhatikan Tabel 3.4 mengenai perbandingan sel-sel darah hewan Vertebrata di bawah ini.

**Tabel 3.4** Perbandingan Sel Darah Hewan-Hewan Vertebrata

| No. | Komponen | Ikan | Amfibi | Reptilia | Burung | Mamalia |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Leukosit<br>• Tempat pembentukan | Kelenjar timus, limfa, jalur Peyer di dinding usus halus | Kelenjar timus, limfa, hati, tonsil, faringeal, jalur Peyer di dinding usus halus | Kelenjar timus, sumsum merah, jalur Peyer di dinding usus halus | Kelenjar timus, sumsum merah, jalur Peyer di dinding usus halus, bursa Fabricus | Simpul limfa, kelenjar timus, tonsil, faringeal, limfa, jalur Peyer di dinding usus halus dan apendiks |
| | • Tipe limfoid | Limfosit | Limfosit, monosit | Limfosit, monosit | Limfosit, monosit | Limfosit, monosit |
| | • Granulosit | Neutrofil, eosinofil (granula kasar dan halus) | Neutrofil, eosionofil, sedikit basofil | Eosionofil, sedikit neutrofil dan basofil | Neutrofil, eosionofil, dan sedikit basofil | Neutrofil, sedikit eosionofil, dan basofil |
| | • Trombosit | Ada, berinti | Ada, berinti | Ada, berinti | Ada, berinti | Ada, tidak berinti |
| 2. | Eritrosit<br>• Bentuk | Oval, lebih besar dari mamalia dan burung, (ikan di Antartika tidak punya eritrosit, $O_2$ terlarut dalam plasma) | Oval, besar, volume 100× manusia (eritrosit salamander terbesar di antara Vertebrata) | Oval | Oval | Bundar, cekung |
| | • Inti | Ada | Ada | Ada | Ada | Tidak ada |
| | • Tempat pembentukan utama | Limfa, maturasi di pembuluh darah | Limfa, hati, ginjal, dan sumsum merah (pada katak jantan di musim kawin) | Sumsum merah dan limfa | Sumsum merah dan limfa | Sumsum merah |
| | • Hemoglobin | Ada | Ada | Ada | Ada | Ada |

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

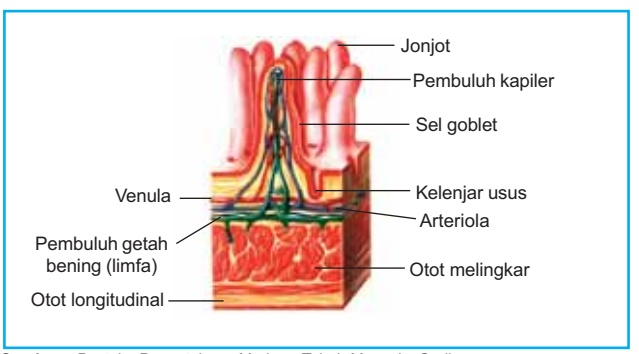
1. Mengapa jaringan tulang rawan bersifat lentur dan lunak?
2. Apa yang akan terjadi apabila neurotransmiter mengalami penghambatan, misalnya oleh senyawa pestisida?
3. Mengapa otot lurik disebut juga otot rangka?
4. Apa perbedaan tulang kompak dengan tulang bunga karang?
5. Di mana terdapat epitelium transisional dan mengapa disebut epitelium transisional? Jelaskan jawaban Anda.

Anda telah mengetahui berbagai macam jaringan yang menyusun tubuh hewan. Jaringan-jaringan tersebut akan bergabung membentuk suatu organ untuk melakukan fungsi tertentu. Kita akan mempelajari mengenai organ dan sistem organ yang terdapat dalam tubuh manusia pada subbab berikut ini.

## B. Organ dan Sistem Organ

Organ adalah kumpulan beberapa jaringan untuk melaksanakan fungsi tertentu di dalam tubuh, misalnya kulit. Berdasarkan letaknya, organ pada tubuh dibedakan menjadi dua macam, yaitu organ dalam dan organ luar. Kulit yang menutupi permukaan luar tubuh kita merupakan salah satu contoh organ luar yang terdiri atas jaringan pengikat, epitelium, otot, saraf, dan jaringan pembuluh darah. Seluruh jaringan yang terdapat pada kulit bersama-sama berfungsi untuk melindungi tubuh dari kekeringan, perubahan suhu, cahaya matahari, zat kimia, infeksi, tekanan mekanik, sebagai tempat pengeluaran keringat dan penimbunan lemak, serta sebagai indra peraba.

Sementara itu, contoh organ dalam yaitu usus. Usus merupakan salah satu organ penyusun sistem pencernaan yang tersusun atas berbagai jaringan, misalnya jaringan epitelium, jaringan pengikat, jaringan otot, dan jaringan saraf. Perhatikan Gambar 3.23 berikut.




**Sumber:** *Pustaka Pengetahuan Modern: Tubuh Manusia*, Grolier

**Gambar 3.23**
Jaringan-jaringan penyusun organ usus

Pada permukaan usus terdapat jonjot-jonjot kecil (vili) yang mirip jari-jari tangan. Permukaan jonjot ditutup oleh sel epitelium. Di dalam setiap jonjot terdapat jaringan pengikat, pembuluh darah, dan saluran limfa. Pembuluh darah berfungsi untuk mengangkut sari-sari makanan berupa glukosa dan asam amino. Sementara itu, saluran

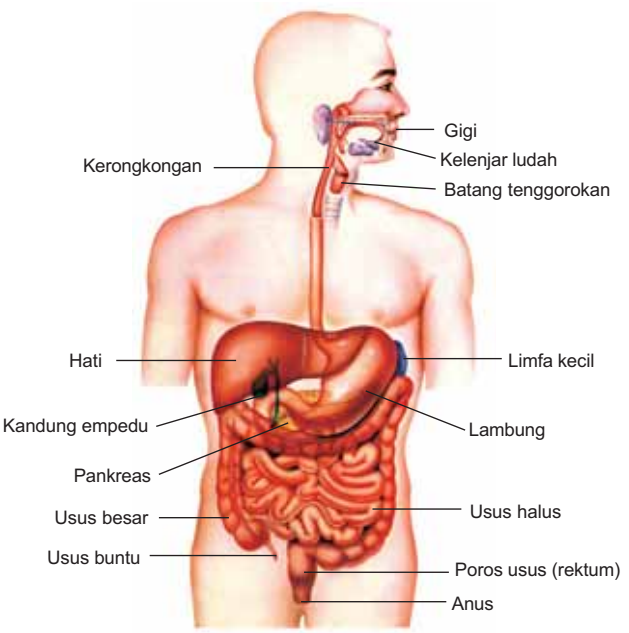
limfa mengangkut sari-sari makanan berupa asam lemak dan gliserol. Jaringan otot yang tersusun secara sirkular dan longitudinal berperan dalam gerakan peristaltik. Terdapat juga jaringan saraf yang bertugas untuk mengkoordinasi kerja jaringan epitelium, jaringan pengikat, dan jaringan otot. Keempat jaringan tersebut membentuk satu kesatuan yang mempunyai fungsi sama yaitu mencerna makanan.

Lakukan tugas berikut agar Anda lebih memahami tentang organ dan sistem organ.

### Tugas Kelompok

Carilah informasi dari buku-buku mengenai berbagai macam organ yang menyusun tubuh manusia. Gambarlah beberapa organ yang Anda temukan beserta bagian-bagiannya atau jaringan-jaringan yang menyusun organ tersebut. Gunakan pensil warna untuk memperjelas bagian-bagian dari organ tersebut. Setelah itu, beri penjelasan mengenai fungsi organ tersebut dan jaringan apa saja yang menyusunnya. Kumpulkan hasil karya kelompok Anda kepada bapak atau ibu guru.

Organ-organ menempati posisi tertentu dalam tubuh kita dan disesuaikan dengan fungsinya. Kumpulan berbagai organ yang bekerja sama melakukan suatu fungsi tertentu disebut **sistem organ**. Misalnya sistem peredaran darah yang tersusun oleh organ jantung, jaringan darah, dan pembuluh darah. Selain sistem peredaran darah juga terdapat sistem organ yang lainnya, misalnya sistem pencernaan. Perhatikan Gambar 3.24.




**Sumber:** *Pustaka Pengetahuan Modern: Tubuh Manusia*, Grolier

**Gambar 3.24**
Sistem pencernaan manusia beserta organ-organ penyusunnya

Organ penyusun sistem pencernaan meliputi mulut, kerongkongan, lambung, usus halus, usus besar, dan anus. Selain itu terdapat kelenjar pencernaan yang meliputi kelenjar ludah,

pankreas, dan hati. Selama proses pencernaan, makanan akan mengalami pemecahan baik secara mekanik maupun kimiawi. Setelah sampai di usus sari-sari makanan akan diserap dan masuk ke dalam sistem peredaran darah untuk diedarkan ke seluruh tubuh.

Setiap organ mempunyai peran penting dalam suatu sistem organ. Oleh karena itu, kerusakan pada salah satu organ dari suatu sistem organ akan mengganggu fungsi dari sistem organ sehingga menimbulkan gangguan pada tubuh. Hal ini karena setiap sistem organ mempunyai peran penting bagi tubuh dalam menyelenggarakan proses kehidupan.

Berbagai sistem organ pada tubuh hewan mamalia dan manusia dijelaskan dalam Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5** Sistem Organ Tubuh Hewan Mamalia dan Manusia

| No. | Sistem | Organ | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Pencernaan (digesti) | Kelenjar ludah, gigi, lidah, laring, esofagus, lambung, usus, hati, kantong empedu, dan pankreas | Mencerna makanan secara fisik dan kimia untuk diabsorpsi darah dan digunakan oleh Jaringan tubuh. |
| 2. | Pernapasan (respirasi) | Hidung, faring, laring, trakea, bronkus, dan paru-paru | Mengambil $O_2$ dan mengeluarkan $CO_2$ dari tubuh. |
| 3. | Urinaria | Ginjal, ureter, kantung kemih, dan uretra | Mengeluarkan hasil metabolisme yang tidak berguna ke luar tubuh dan menjaga keseimbangan sel dengan lingkungannya. |
| 4. | Peredaran (transportasi atau sirkulasi) | Jantung, pembuluh limfatik (getah bening), dan kelenjar limfa | Mengangkut $O_2$ dan sari makanan ke sel-sel tubuh dan mengangkut hasil metabolisme yang tidak berguna ke luar tubuh, serta melindungi tubuh dari penyakit. |
| 5. | Rangka | Tengkorak, tulang belakang, tulang rusuk dan dada, rangka penopang tulang-tulang bahu, rangka penopang tulang pinggul serta tulang anggota badan bagian atas dan bawah | Menggerakkan bagian tubuh dan untuk berpindah tempat menegakkan tubuh, melindungi organ-organ di bawahnya, tempat melekatnya otot, dan alat gerak pasif. |
| 6. | Otot | Otot rangka, otot polos, dan otot jantung | Menentukan postur tubuh, menyimpan glikogen, dan sebagai alat gerak aktif. |
| 7. | Kelenjar buntu (endokrin) | Kelenjar buntu, pituitari, tiroid, paratiroid, pankreas, adrenal, dan kelenjar kelamin (buah zakar dan indung telur) | Memproduksi hormon-hormon untuk mengatur metabolisme dalam tubuh. |
| 8. | Saraf | Otak, sumsum tulang belakang, dan simpul-simpul saraf (ganglion) | Menerima dan merespon rangsang dari lingkungannya. |
| 9. | Perkembangbiakan (reproduksi) | Testis dan ovarium | Perkembangbiakan. |
| 10. | Integumen | Kulit dan derivatnya | Pelindung tubuh. |

Dalam tubuh makhluk hidup terdapat berbagai macam sistem organ. Seperti yang telah dibahas di depan, manusia juga mempunyai beberapa sistem organ. Lakukanlah kegiatan berikut ini untuk lebih memahami sistem organ dalam tubuh manusia.

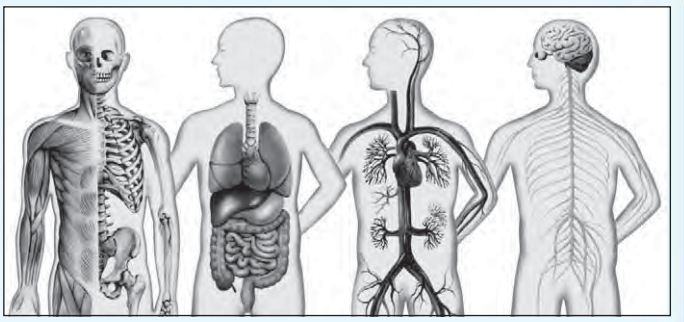
## Eksperimen 4

**Mengidentifikasi Sistem Organ**

Amatilah gambar di samping. Gambar-gambar tersebut menunjukkan beberapa sistem organ yang terdapat pada tubuh manusia.

**Pertanyaan:**

1. Sebutkan masing-masing sistem organ tersebut, beserta organ yang menyusunnya.
2. Apakah antara sistem organ yang satu dengan sistem organ yang lain mempunyai hubungan yang erat? Jelaskan jawaban Anda.
3. Kerusakan pada salah satu anggota akan merusak sistem organ tersebut. Jelaskan pernyataan tersebut.
4. Tulislah kesimpulan Anda dari kegiatan ini. Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.



Anda telah mempelajari berbagai macam sistem organ yang terdapat di dalam tubuh. Kesatuan dari sistem organ dalam tubuh membentuk organisme (individu). Tahapan terbentuknya suatu organisme dapat diringkas sebagai berikut.

Sel telur dibuahi sel sperma → zigot → morula → blastula → gastrula → neurula → jaringan → organ → sistem organ → organisme (individu).

Selain hewan-hewan tingkat tinggi seperti yang telah Anda pelajari di depan, beberapa hewan tingkat rendah juga ada yang sudah mempunyai jaringan. Lakukan kegiatan berikut untuk mengetahui jaringan-jaringan yang menyusun tubuh hewan tingkat rendah.

## Tugas Mandiri

Carilah informasi dari berbagai sumber buku mengenai jaringan yang menyusun tubuh hewan tingkat rendah, misalnya anggota filum Platyhelminthes, Nemathelminthes, Mollusca, Echinodermata, Arthropoda, Coelenterata, dan Annelida. Buatlah laporan dari tugas ini dan bahaslah bersama dengan teman-teman Anda di kelas.

Pemahaman mengenai jaringan, organ, dan sistem organ sangat penting dalam penemuan berbagai macam teknologi di bidang kedokteran. Berdasarkan pengetahuan tentang organ, dewasa ini telah dapat dilakukan transplantasi organ yang berasal dari orang lain. Organ yang ditransplantasikan misalnya kulit, hati, ginjal, dan jantung. Namun, tidak hanya organ-organ tersebut yang dapat ditransplantasikan. Simaklah artikel berikut ini agar Anda merasa lebih jelas.

### Mini Transplantasi Rendah Biaya dan Efek Samping

RS Kanker Dharmais berminat untuk mengaplikasikan mini transplantasi pada pengobatan kanker darah dan kanker pada Jaringan. Selama ini salah satu terapi pada pasien penderita kanker darah dan penyakit kelainan darah lainnya adalah dengan melakukan transplantasi sumsum tulang. Cara ini sudah lama dilakukan dan menyebabkan kesakitan yang sangat luar biasa pada penderitanya.

Proses transplantasi sumsum tulang belakang (*bone marrow transplantation*) rumit. Yang harus dilakukan adalah mencari kecocokan gen pendonor dengan penerima. Apabila gen donor tak cocok, risikonya sangat besar hingga menyebabkan kematian. Oleh karena itu, pendonor lebih banyak diambil dari satu garis keturunan.

Oleh karena faktor kerumitan dan risiko yang sangat tinggi pada transplantasi sumsum tulang secara konvensional, para dokter pun mencari cara lain. Cara itu adalah mini transplantasi yang menggunakan sel induk (*perifer blood stem cell transplantation*-PBSCT) dan darah tali pusat bayi (*umbilical cord blood*-UCB).

Menurut sumber penelitian, darah dari tali pusat bayi dapat digunakan sebagai bahan transplantasi pasien leukimia. Keberhasilannya pun cukup menggembirakan, sekitar 33 persen. Transplantasi darah yang berasal dari tali pusat sebenarnya sudah sejak lama dilakukan. Misalnya, pada anak yang diperkirakan tidak mempunyai cukup sel induk (*stem cell*) untuk memproduksi sel darah merah jika dia dewasa nanti. Namun, keberhasilannya terhadap pasien leukimia baru dapat dibuktikan sekarang ini.

Sel induk adalah sel yang berfungsi sebagai sumber sel baru. Ia sanggup berkembang biak secara tidak terbatas dan berkembang menjadi sel khusus. Sel ini yang menyusun Jaringan tubuh. Bila terjadi perlukaan, sel ini membelah diri dan membuat sel baru, menggantikan sel yang rusak.

**Sumber:** *Republika, Edisi 21 Desember 2004*

### Tahukah Anda

**Kulit Baru untuk Penderita Luka Bakar**

Di Amerika kini ada 3 tim penyelidik yang berlomba membuat pengganti kulit terbaik bagi para penderita luka bakar. Cara yang biasa dilakukan yaitu transplantasi kulit dari bagian tubuh yang tidak terkena luka bakar. Namun, seringkali kulit ini tidak mencukupi maka potongan kulit tersebut akan dipres supaya tambah lebar dan berbentuk seperti jala sehingga dapat menutupi 26 kali luas kulit asli. Penelitian yang lain dilakukan dengan mengkulturkan potongan kulit yang masih tersisa di atas cawan kaca. Cara ini memerlukan waktu yang cukup lama, sedikitnya tiga minggu sampai kulit dari sel pasien cukup jumlahnya.

Dari artikel tersebut, dapat diketahui bahwa tingkat keberhasilan transplantasi organ sangatlah kecil. Hal ini disebabkan transplantasi organ harus memenuhi syarat-syarat tertentu. Lakukan kegiatan diskusi berikut ini untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan transplantasi organ.

### Forum Diskusi

Diskusikan bersama teman-teman Anda mengenai permasalahan-permasalahan di bawah ini.

1. Bagaimana tingkat keberhasilan transplantasi organ?
2. Apa syarat utama dapat dilakukannya transplantasi organ? Jelaskan jawaban Anda.
3. Faktor-faktor apa saja yang dapat mempengaruhi keberhasilan transplantasi organ?
4. Bagaimana pendapat Anda mengenai transplantasi organ?

Presentasikan hasil diskusi kelompok Anda di kelas.

Transplantasi organ dari satu orang ke orang lain sering gagal karena tubuh resipien segera bereaksi menolaknya. Hal ini disebabkan organ yang ditransplantasikan dianggap sebagai benda asing sehingga harus dilawan dengan antibodi. Jadi, transplantasi yang aman dilakukan jika jaringan atau organ yang ditransplantasikan berasal dari tubuhnya sendiri. Misalnya, kulit wajah yang rusak dapat ditransplantasikan dengan kulitnya sendiri yang bisa diambil dari kulit paha. Apabila kulit yang ditransplantasikan berasal dari kulit tubuhnya maka tubuh tidak akan memproduksi antibodi untuk melawan jaringan baru tersebut. Oleh karena itu, jaringan baru akan terbentuk yang diikuti dengan terjadinya vaskularisasi sehingga jaringan baru tersebut akan terus terbentuk dan menyatu menutupi luka.

Pada beberapa kasus transplantasi kulit yang berasal dari tubuh orang lain juga akan terjadi vaskularisasi. Namun, beberapa hari kemudian terdapat sel-sel limfosit dan makrofag yang masuk ke dalam jaringan yang ditransplantasikan. Sel-sel limfosit ini akan mengeluarkan antibodi dan makrofag memakan jaringan asing tersebut. Hal ini dapat menyebabkan resipien meningggal sehingga untuk mengatasi hal ini, biasanya pasien diberi obat penekan sistem imun untuk menghambat produksi antibodi. Namun, penggunaan obat tersebut belum dapat menjamin keamanan pasien.

Transplantasi biasanya dapat dilakukan jika terdapat kecocokan antara gen pendonor dan penerima. Biasanya, pendonor lebih banyak diambil dari satu garis keturunan. Namun, transplantasi organ dari kerabat dekat misalnya ayah, ibu, saudara, dan anak juga belum menjamin keberhasilan transplantasi.

Para pakar juga telah berupaya mendapatkan organ yang memiliki sistem imun identik dengan pasien yang dilakukan dengan teknik peng-*klon*-an sel menjadi organ. Misalnya, menumbuhkan organ (hati dan ginjal) yang berasal dari sel tubuh penderita. Namun, semua ini baru dalam tahap penelitian sehingga belum ada wujud nyata dari upaya ini.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bagaimana sistem hubungan kerja antar-sistem organ dalam tubuh? Berikan contohnya.
2. Apa yang akan terjadi jika dalam suatu sistem organ terdapat salah satu organ yang meng-alami kerusakan? Jelaskan jawaban Anda.
3. Mengapa dalam kasus transplantasi organ sering terjadi penolakan dari tubuh resipien terhadap organ yang ditransplantasikan? Jelaskan jawaban Anda.

## Tugas Proyek

**Mendata Jenis-Jenis Teknologi dalam Bidang Kesehatan**

Seiring dengan perkembangan ilmu biologi dan kedokteran, kini banyak ditemukan berbagai cara pengobatan menggunakan teknologi kesehatan. Seperti transplantasi kulit, transplantasi jantung hingga sedot lemak. Penemuan-penemuan ini tentu tidak hanya cukup sampai disini saja, tetapi perlu diteliti kembali mengenai kelebihan-kelebihan dan kelemahan-kelemahannya. Hasil penemuan-penemuan ini dapat Anda temukan di surat kabar, majalah ataupun media elektronik.

**A. Tujuan**

Mengenal hasil-hasil penemuan dalam bidang biologi, kedokteran, dan teknologi kesehatan melalui pembuatan makalah dan kliping.

**B. Alat dan Bahan**

1. alat tulis
2. kertas manila
3. ketas HVS
4. lem atau selotip
5. paku
6. koran atau majalah

**C. Cara Kerja**

1. Pilihlah salah satu dari tema-tema berikut.
   a. Teknologi yang berhubungan dengan kelainan pada Jaringan (contoh transplantasi kulit).
   b. Teknologi yang berhubungan dengan kelainan pada sistem gerak (contoh bedah tulang).
   c. Teknologi yang berhubungan dengan kelainan pada sistem peredaran darah (contoh transplantasi jantung).
   d. Teknologi yang berhubungan dengan kelainan pada sistem pencernaan makanan (contoh pemotongan usus halus untuk mengurangi obesitas).
2. Carilah berbagai macam informasi dari tema yang Anda pilih di surat kabar, majalah, internet, dan media elektronik lainnya. Informasi yang diperlukan antara lain meliputi:
   a. Berbagai macam cara penemuan-penemuan teknologi sesuai tema yang dipilih.
   b. Latar belakang penemuan.
   c. Pemanfaatan teknologi hasil penemuan.
3. Dari informasi yang Anda peroleh, susunlah menjadi makalah singkat.
4. Buatlah kliping mengenai teknologi hasil penemuan-penemuan dari tema yang Anda pilih untuk mendukung makalah Anda.

**D. Laporan**

Setelah selesai konsultasikan tugas proyek kepada guru dan pajanglah kliping Anda di tempat-tempat strategis. Presentasikan hasil makalah Anda untuk mengakhiri tugas ini.

## Rangkuman

1. Jaringan penyusun tubuh hewan adalah jaringan epitelium, jaringan pengikat, jaringan otot, dan jaringan saraf.
2. Jaringan epitelium berfungsi untuk melapisi permukaan organ tubuh bagian dalam dan dibentuk untuk melaksanakan fungsi absorpsi dan proteksi.
3. Jaringan pengikat berfungsi untuk melekatkan suatu jaringan lain, membungkus organ-organ, mengisi di antara organ-organ, dan menghasilkan imunitas.
4. Jaringan otot tersusun atas sel-sel otot.
5. Jaringan saraf terdiri atas sel-sel saraf yang disebut neuron.
6. Macam-macam jaringan penyusun tubuh hewan yaitu jaringan epitelium, jaringan pengikat, jaringan otot, dan jaringan saraf.
7. Sistem organ yang menyusun tubuh manusia yaitu sistem pencernaan, sistem pernapasan, sistem urinaria, sistem peredaran, sistem rangka, sistem otot, sistem kelenjar buntu, sistem saraf, sistem perkembangbiakan, dan sistem integumen.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Sekelompok sel yang mempunyai struktur dan fungsi sama disebut . . . .
   a. organ
   b. organisme
   c. jaringan
   d. pelindung
   e. penyokong

2. Kita tidak mungkin bisa mengamati jaringan hanya dengan mata telanjang maka diperlukan . . . .
   a. kacamata
   b. lup
   c. lampu
   d. sinar laser
   e. mikroskop

3. Proses perubahan sel menjadi jaringan disebut . . . .
   a. spesialisasi
   b. organisasi
   c. modifikasi
   d. diferensiasi
   e. disfungsi

4. Epitelium yang melapisi organ terluar tubuh terdapat pada . . . .
   a. rongga-rongga tubuh
   b. saluran-saluran
   c. pembuluh darah
   d. kulit
   e. dinding usus halus

5. Jaringan epitelium yang berfungsi sebagai tempat ekskresi terdapat pada . . . .
   a. ginjal
   b. lidah
   c. kulit
   d. kelenjar keringat
   e. dinding usus halus

6. Perhatikan tabel berikut.

| No. | Jaringan | Fungsi |
|---|---|---|
| 1) | Otot lurik | Ekskresi |
| 2) | Kartilago hialin | Proteksi |
| 3) | Epitelium silindris selapis | Cadangan makanan |
| 4) | Epitelium Kelenjar | Sekresi |
| 5) | Saraf | Koordinasi |

   Hubungan yang benar antara jaringan dengan fungsinya adalah . . . .
   a. 1) dan 2)
   b. 2) dan 3)
   c. 3) dan 4)
   d. 4) dan 5)
   e. 5) dan 1)

7. Suatu jaringan memiliki ciri-ciri sebagai berikut.
   1) Melapisi atau menutupi permukaan organ tubuh.
   2) Inti lonjong dengan posisi horizontal.
   3) Terdapat di pembuluh darah dan jantung.

   Ciri-ciri tersebut dimiliki oleh jaringan . . . .
   a. epitelium pipih selapis
   b. ikat serabut padat
   c. epitelium silindris selapis
   d. ikat longgar
   e. epitelium kubus selapis

8. Salah satu fungsi jaringan epitelium yaitu . . . .
   a. pelindung atau proteksi
   b. mengangkut darah
   c. memberi bentuk pada tubuh
   d. mengangkut sari makanan
   e. penguat dan penyokong

9. Di antara jaringan berikut yang tersusun atas matriks semicair dan sejumlah besar bahan serabut protein yaitu jaringan . . . .
   a. saraf
   b. tulang
   c. pengikat
   d. limfa
   e. penyokong

10. Penyusun matriks berupa serat dengan daya elastisitas rendah, daya regang sangat tinggi, berwarna putih, dan terdapat pada tendon. Penyusun matriks yang dimaksud yaitu serat . . . .
    a. elastin
    b. kolagen
    c. perifer
    d. retikuler
    e. hialin

11. Jaringan ini terdapat antara lain pada pembuluh bronki, ujung tulang rusuk, permukaan tulang sendi, dan membentuk sebagian besar rangka embrional. Jaringan ini digolongkan dalam jaringan . . . .
    a. ikat longgar
    b. ikat serabut padat
    c. tulang rawan
    d. rawan hialin
    e. rawan fibrosa

12. Jaringan penyusun tubuh manusia ini mempunyai matriks agak keruh, dan terdapat pada daun telinga, saluran eustachius, dan epiglotis, serta berfungsi memberikan fleksibilitas dan sokongan. Jaringan tersebut adalah . . . .
    a. jaringan tulang rawan hialin
    b. jaringan tulang rawan fibrosa
    c. jaringan tulang rawan elastis
    d. jaringan tulang spons
    e. jaringan pengikat padat

13. Garam mineral yang paling banyak menyusun jaringan tulang yaitu . . . .
    a. kalsium fosfat
    b. kalsium karbonat
    c. magnesium klorida
    d. kalsium klorida
    e. kalsium fluorida

14. Suatu jaringan memiliki ciri-ciri berikut.
    1) gelap dan keruh,
    2) sumber kolagen tersusun sejajar membentuk satu berkas, dan
    3) terdapat pada persendian tulang pinggang.

    Jaringan itu adalah . . . .
    a. rawan hialin
    b. rawan fibrosa
    c. rawan elastis
    d. tulang kompak
    e. tulang spons

15. Jaringan otot berikut yang gerakannya tidak dikontrol oleh kehendak yaitu otot . . . .
    a. polos
    b. jantung
    c. rangka
    d. a dan b benar
    e. b dan c benar

16. Salah satu ciri yang dimiliki oleh otot volunter yaitu . . . .
    a. berinti satu
    b. serabut miofibril polos/tidak berwarna
    c. terdapat pada saluran alat-alat dalam
    d. fungsinya menggerakkan rangka
    e. reaksinya terhadap rangsang lambat

17. Perhatikan ciri-ciri suatu jaringan di bawah ini.
    1) Sel berupa serabut dan bercabang.
    2) Reaksi terhadap rangsang lambat.
    3) Inti sel terdapat di tengah.

    Ciri-ciri di atas dimiliki oleh jaringan yang terdapat pada organ . . . .
    a. lidah
    b. jantung
    c. mata
    d. tulang
    e. usus

18. Otot jantung mempunyai bentuk seperti . . . .
    a. otot polos dan reaksi lambat dipengaruhi oleh susunan saraf
    b. otot lurik dan secara fisiologis seperti otot polos, tetapi tidak dipengaruhi oleh pusat susunan saraf
    c. otot lurik dan reaksi lambat
    d. otot lurik dan reaksi cepat dipengaruhi oleh saraf pusat
    e. otot polos dan reaksi cepat dipengaruhi oleh saraf tak sadar

19. Darah dapat berfungsi atau berperan dalam memberantas penyakit karena . . . .
    a. darah mengandung eritrosit
    b. darah mengandung air
    c. adanya leukosit
    d. adanya protein
    e. adanya garam

20. Impuls (rangsang) dari organ penerima rangsang (reseptor) bisa sampai ke susunan saraf pusat karena peran dari . . . .
    a. neuron afferent
    b. neuron intermedian
    c. neuron efferent
    d. interneuron
    e. neuron motorik

21. Jenis sel makrofag yang tertanam dalam matriks suatu jaringan berperan dalam pertahanan tubuh melalui mekanisme . . . .
    a. pinositosis
    b. fagositosis
    c. lisis
    d. a dan b benar
    e. a dan c benar

22. Pada jaringan tulang rangka yang berfungsi mensintesis dan mempertahankan matriks yaitu . . . .
    a. kondrosit
    b. kondroid
    c. perikondrium
    d. makrofag
    e. kondroblast

23. Melekatnya organ pada otot dinding tubuh dibantu oleh jaringan pengikat . . . .
    a. longgar
    b. fibrosa putih
    c. fibrosa kuning
    d. lemak
    e. darah

24. Jaringan otot dapat berkontraksi karena terdapat . . . .
    a. discus interkalaris
    b. miofibril
    c. kanalikuli
    d. lamela
    e. lakuna

25. Apabila terjadi gangguan, misalnya impuls dari reseptor tidak bisa sampai ke sistem saraf pusat, berarti terjadi gangguan pada . . . .
    a. neuron intermedier
    b. neuron motorik
    c. neuron afferent
    d. neuron efferent
    e. interneuron

26. Bila terjadi gangguan pada jantung, akan terjadi gangguan dalam sistem . . . .
    a. pencernaan
    b. pernapasan
    c. endokrin
    d. transportasi
    e. gerak

27. Jaringan penyusun kulit yang berfungsi melindungi terhadap kehilangan panas yaitu jaringan . . . .
    a. lemak
    b. tulang
    c. rangka
    d. darah
    e. saraf

28. Aktivitas tubuh terganggu karena produksi hormon tidak mencukupi. Hal ini berarti terjadi gangguan pada sistem . . . .
    a. pencernaan
    b. ekskresi
    c. transportasi
    d. saraf
    e. endokrin

29. Salah satu jaringan penyusun kulit yang mendukung fungsi kulit sebagai organ ekskresi keringat yaitu jaringan epitelium . . . .
    a. transisional
    b. kelenjar
    c. bersilia
    d. silindris
    e. selapis

30. Di bawah ini terdapat macam-macam organ.
    1) Ginjal
    2) Jantung
    3) Paru-paru
    4) Pembuluh darah
    5) Laring
    6) Pembuluh getah bening

    Organ yang menyusun sistem sirkulasi yaitu . . . .
    a. 1), 2), dan 3)
    b. 2), 3), dan 4)
    c. 2), 4), dan 6)
    d. 3), 4), dan 6)
    e. 4), 5), dan 6)

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan pengertian istilah-istilah berikut ini.
    a. Sel
    b. Jaringan
    c. Organ
    d. Sistem organ
    e. Sitologi
    f. Histologi
    g. Organologi
2. Sebutkan jaringan epitelium yang berfungsi sebagai kelenjar.
3. Sebutkan perbedaan antara otot polos, otot lurik, dan otot jantung.
4. Jelaskan perbedaan ciri-ciri tulang rawan hialin dengan tulang rawan elastis.
5. Jaringan epitelium simpleks dapat dibedakan menjadi beberapa macam, di antaranya epitelium silindris semu berlapis. Jelaskan mengapa disebut demikian.
6. Jelaskan bahwa jaringan epitelium sebagai pintu gerbang lalu lintas zat.
7. Matriks pada jaringan pengikat terdiri atas serat dan bahan dasar. Sebutkan jenis-jenis serat tersebut dan cirinya secara singkat.
8. Bahan dasar penyusun jaringan pengikat berupa bahan homogen setengah cair. Bahan dasar ini bisa bersifat lentur, tetapi juga dapat bersifat kaku. Mengapa demikian? Jelaskan jawaban Anda.
9. Apakah perbedaan antara fagositosis dengan pinositosis?
10. Dari manakah asal dibentuknya jaringan tulang rawan pada anak dan pada orang dewasa?

C. *Berpikir kritis*

Dewasa ini sering kita dengar istilah sedot lemak. Teknik ini banyak digunakan oleh beberapa orang untuk mengurangi tumpukan jaringan lemak dalam tubuhnya. Sekarang simaklah artikel berikut.

Dapat ditekankan sedot lemak bertujuan untuk memperjelas garis atau bentuk luar tubuh, bukan untuk mengurangi kelebihan berat badan. Sedot lemak ini didesain untuk memindahkan jaringan lemak dari area yang diinginkan, tidak untuk menggantikan pengaturan menu diet yang ada sebelumnya atau olahraga guna menurunkan berat badan. Namun, apa yang terjadi pada sebagian orang yang mengalami masalah kegemukan serius dan ingin melakukan operasi sedot lemak? Kadang-kadang setelah operasi ini orang yang menjalani mungkin belum mengerti hal-hal yang tidak diinginkan akan muncul, yang biasanya berupa komplikasi, seperti kembalinya pembentukan jaringan lemak. Mungkin pula di area lain dari tubuh dijumpai keluhan-keluhan berupa penimbunan lemak baru.

**Sumber:** *Suara Merdeka, Edisi Sabtu, 20 Juli 2002*

Dari kasus di atas, jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

1. Apa yang dimaksud sedot lemak?
2. Apakah sedot lemak cocok untuk semua orang?
3. Apakah sedot lemak dapat menguruskan tubuh?
4. Apakah sedot lemak berbahaya?
5. Di mana sedot lemak dilakukan?
6. Bagaimana pendapat Anda mengenai sedot lemak?

## Refleksi

**Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan Vertebrata**

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Jaringan apa saja yang menyusun tubuh hewan? Bagaimana struktur setiap jaringan tersebut?
2. Apa fungsi setiap jaringan yang menyusun tubuh hewan?
3. Sistem organ apa saja yang menyusun tubuh hewan?
4. Apa yang dimaksud dengan transplantasi jaringan?

Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%

**Pelajari materi bab berikutnya**

# Latihan Ulangan Blok 1

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Penggolongan sel menjadi eukariotik dan prokariotik berdasarkan ada tidaknya . . . .
   a. mitokondria
   b. membran inti
   c. retikulum endoplasma
   d. ribosom
   e. nukleus

2. Transpor membran yang tergolong transpor pasif yaitu . . . .
   a. eksositosis
   b. endositosis
   c. osmosis
   d. fagositosis
   e. pinositosis

3. Di antara organel-organel sel berikut yang menunjukkan ciri khas sel hewan . . . .
   a. dinding sel mitokondria
   b. ribosom-lisosom
   c. vakuola-nukleolus
   d. membran plasma-nukleus
   e. sentrosom-sentriol

4. Pada sel bakteri, organel sel yang berperan sebagai tempat penghasil energi yaitu . . . .
   a. ribosom
   b. mesosom
   c. sitoplasma
   d. dinding sel
   e. membran plasma

5. Perhatikan pernyataan berikut ini.
   1) Mensintesis lemak dan kolesterol
   2) Menampung protein yang disintesis oleh ribosom
   3) Transportasi molekul-molekul dari bagian sel yang satu ke bagian sel yang lain
   4) Menetralkan racun (detoksifikasi)

   Organel sel yang mempunyai fungsi-fungsi di atas yaitu . . . .
   a. kompleks Golgi
   b. ribosom
   c. mitokondria
   d. retikulum endoplasma
   e. lisosom

6. Penghancuran ekor berudu saat menginjak dewasa disebut . . . .
   a. autolisis
   b. autofagi
   c. eksositosis
   d. pinositosis
   e. fagositosis

7. Plastida yang berfungsi untuk menyimpan lemak yaitu . . . .
   a. amiloplas
   b. proteoplas
   c. elaioplas
   d. kromoplas
   e. kloroplas

8. Organel sel tumbuhan yang berfungsi untuk membentuk tenaga yaitu . . . .
   a. kloroplas dan mitokondria
   b. kloroplas dan vakuola
   c. vakuola dan plastida
   d. lisosom dan ribosom
   e. sitoplasma dan ribosom

9. Organel sel yang sering disebut *The power house of cell* yaitu . . . .
   a. kloroplas
   b. mitokondria
   c. lisosom
   d. badan mikro
   e. sentriol

10. Organel sel yang berperan dalam mengarahkan kromosom ke kutub saat pembelahan sel yaitu . . . .
    a. kloroplas
    b. mitokondria
    c. sentriol
    d. nukleus
    e. nukleolus

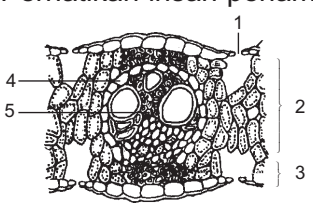
11. Lepasnya membran plasma dari dinding sel pada sel tumbuhan disebut . . . .
    a. krenasi
    b. plasmolisis
    c. lisis
    d. endositosis
    e. eksositosis

12. Nukleolus disebut sebagai organel sel yang tidak tetap karena dapat . . . .
    a. berpindah-pindah tempat
    b. menempel pada organel sel lain
    c. menghilang atau mengecil
    d. menembus keluar sel
    e. membelah diri

13. Pada akar tanaman Dicotyledoneae, titik-titik kaspari terdapat pada . . . .
    a. floeterma
    b. endodermis
    c. perisikel
    d. xilem
    e. empulur

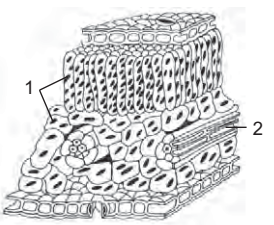
14. Di antara jaringan gabus terdapat celah yang berfungsi sebagai jalan masuk dan keluarnya udara pernapasan. Celah itu disebut . . . .
    a. lentisel
    b. sel korteks
    c. sel feloderm
    d. suberin
    e. perisikel

15. Perhatikan irisan penampang daun berikut.



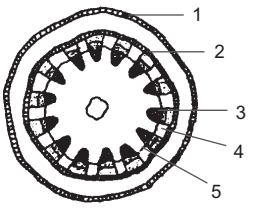

    Jaringan yang berfungsi sebagai tempat pernapasan dan fotosintesis ditunjukkan oleh gambar berlabel nomor . . . .
    a. 1 dan 2
    b. 2 dan 3
    c. 3 dan 5
    d. 3 dan 4
    e. 4 dan 5

16. Bagian 1 dan 2 pada penampang lintang daun di samping untuk . . . .




    a. mengangkut bahan asimilasi dan tempat fotosintesis
    b. mengangkut hasil asimilasi dan tempat fotosintesis
    c. mengangkut $CO_2$ dan tempat fotosintesis
    d. pertukaran gas dan mengangkut hasil fotosintesis
    e. menyimpan hasil fotosintesis dan pertukaran gas

Gambar penampang batang Dicotyledoneae muda di samping, berhubungan dengan soal nomor 15 dan 16.




17. Jaringan penyusun batang berturut-turut dari 1, 2, 3, 4, dan 5 yaitu . . . .
    a. epidermis, endodermis, kambium, xilem, dan floem
    b. epidermis, endodermis, kambium, floem, dan xilem
    c. epidermis, endodermis, floem, kambium, dan xilem
    d. epidermis, floem, endodermis, xilem, dan kambium
    e. epidermis, endodermis, floem, xilem, dan kambium

18. Jaringan nomor 1 berfungsi untuk . . . .
    a. pengangkut zat
    b. sebagai jaringan dasar
    c. sebagai jaringan penunjang
    d. perlindungan terhadap kehilangan air yang berlebihan
    e. penyimpan zat

19. Hasil fotosintesis daun untuk sementara waktu disimpan di jaringan . . . .
    a. spons parenkim
    b. palisade parenkim
    c. stomata
    d. kutikula
    e. epidermis

20. Sulur yang merupakan bentuk modifikasi daun terdapat pada tanaman . . . .
    a. kembang sungsang
    b. mentimun
    c. markisa
    d. semangka
    e. anggur

21. Persamaan ciri-ciri khas struktur tumbuhan Monocotyledoneae dan Dicotyledoneae terdapat pada . . . .
    a. susunan akarnya
    b. morfologi bunganya
    c. sifat haploid sel kelaminnya
    d. bangun dasar daunnya
    e. susunan anatomi batangnya

22. Tanaman anggrek mempunyai akar khusus yang berfungsi mencegah kehilangan air yang terlalu besar yaitu akar . . . .
    a. udara
    b. parasit
    c. tunjang
    d. kontraktif
    e. pneumatoforis

23. Proses penyerapan air dan mineral melalui bulu akar disebut . . . .
    a. difusi
    b. osmosis
    c. endositos
    d. eksositosis
    e. absorbsi

24. Jaringan endodermis terdapat di antara . . . .
    a. xilem dan floem
    b. felem dan felodarma
    c. parenkima dan epidermis
    d. silinder pusat dan epidermis
    e. korteks dan silinder pusat

25. Salah satu organ yang berperan dalam sistem pencernaan adalah . . . .
    a. paru-paru
    b. bronkus
    c. esofagus
    d. trakea
    e. laring

26. Beberapa organ tubuh manusia.
    1) Laring
    2) Lambung
    3) Usus 12 jari
    4) Ginjal
    5) Kolon
    Organ-organ yang menyusun sistem pencernaan yaitu . . . .
    a. 1), 2), dan 3)
    b. 1), 3), dan 5)
    c. 2), 3), dan 4)
    d. 2), 3), dan 5)
    e. 2), 4), dan 5)

27. Sistem organ yang terdiri atas kelenjar pituitari, tiroid, paratiroid, dan pankreas yaitu . . . .
    a. sistem saraf
    b. sistem endokrin
    c. sistem reproduksi
    d. sistem regulasi
    e. sistem ekskresi

28. Salah satu organ reproduksi jantan yaitu . . . .
    a. ovarium
    b. oviduk
    c. vesikula seminalis
    d. vagina
    e. uterus

29. Organisasi dari kesatuan sistem di dalam tubuh yang membentuk organisme atau individu yaitu . . . .
    a. atom suatu unsur → sel → organel → molekul → jaringan → organ → sistem organ → organisme
    b. atom suatu unsur → organel → molekul → jaringan → sel → organ → sistem organ → organisme
    c. atom suatu unsur → molekul → organel → sel → jaringan → organ → sistem organ → organisme
    d. atom suatu unsur → organel → molekul → sel → jaringan → organ → sistem organ → organisme
    e. atom suatu unsur → molekul → organel → jaringan → sel → organ → sistem organ → organisme

30. Di antara dua saluran Havers dihubungkan oleh suatu saluran yaitu . . . .
    a. kanalikuli
    b. volkman
    c. lamela
    d. falopii
    e. varol

31. Suatu granula dalam sel saraf yang dibentuk oleh retikulum endoplasma dan ribosom yaitu . . . .
    a. aksonhillok
    b. badan nissl
    c. miofibril
    d. nodus Ranvier
    e. pulau Langerhans

32. Substansi penyusun jaringan otot yang paling besar yaitu . . . .
    a. air
    b. lemak
    c. garam mineral
    d. protein
    e. glikogen

33. Bagian akson yang tidak tertutupi oleh selubung mielin yaitu . . . .
    a. neurit
    b. aksonhillok
    c. badan nissl
    d. sel Schwann
    e. nodus Ranvier

34. Tremor adalah gangguan yang terjadi pada sistem . . . .
    a. gerak
    b. saraf
    c. pencernaan
    d. saraf dan gerak
    e. saraf dan pencernaan

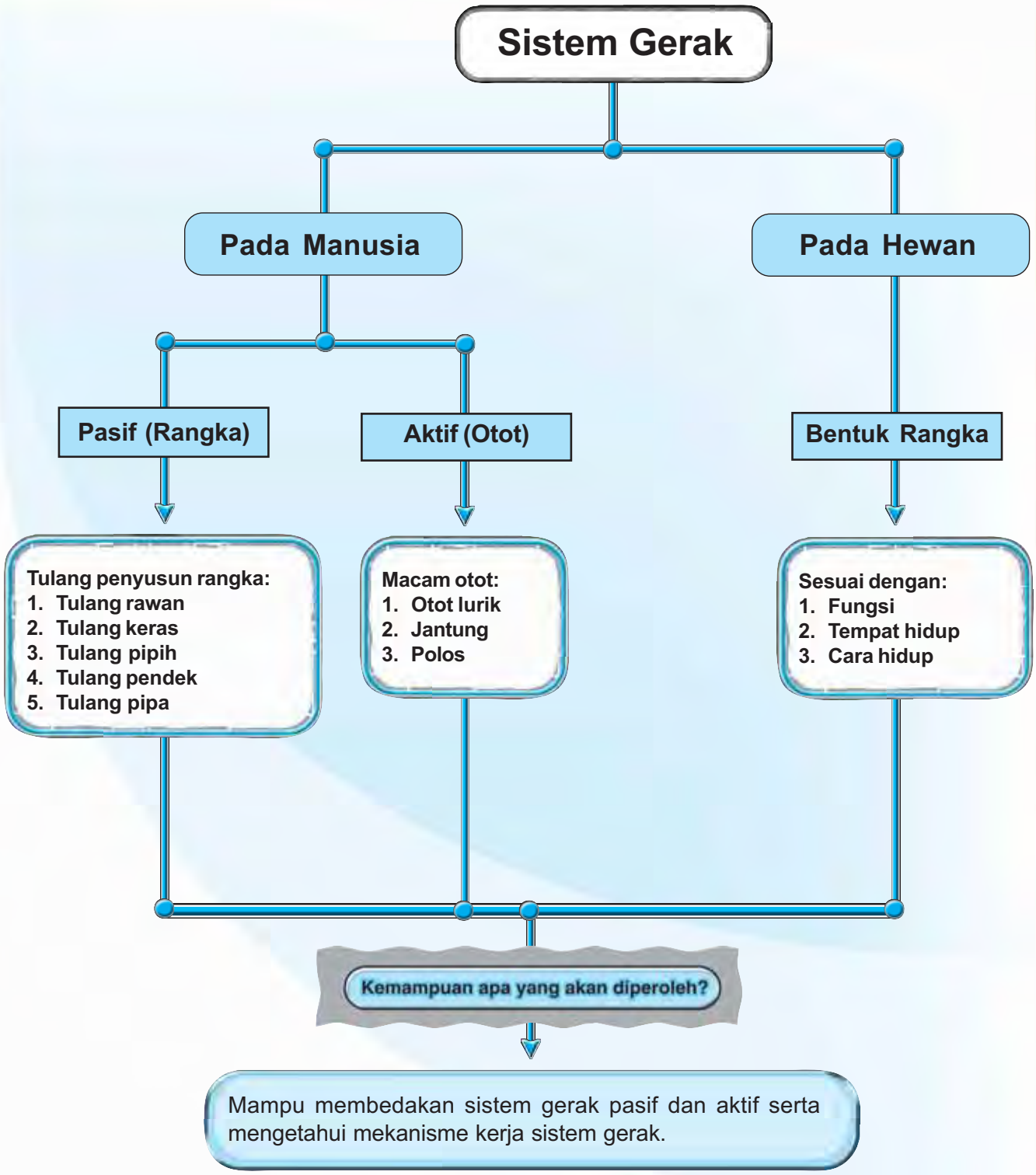
35. Berdasarkan ada tidaknya rongga di dalamnya, tulang dibedakan atas . . . .
    a. tulang rawan dan tulang keras
    b. tulang pendek dan tulang pipa
    c. tulang pipih dan tulang rawan
    d. tulang kompak dan tulang bunga karang
    e. tulang bunga karang dan tulan pipih

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Mengapa nukleolus bukan organel yang tetap?
2. Apa yang dimaksud dengan sifat permeabel pada membran plasma?
3. Jelaskan perbedaan antara sel prokariotik dan eukariotik.
4. Apa perbedaan transpor pasif dan transpor aktif? Menurut Anda, manakah yang lebih menguntungkan sel?
5. Jelaskan perbedaan antara sel hewan dengan sel tumbuhan. Tulislah dalam tabel.
6. Apa yang dimaksud dengan membran plasma bersifat semi permeabel?
7. Bila kita amati di sekitar kita, tanaman yang ditumbuhi tanaman parasit pertumbuhannya tidak optimal. Mengapa demikian?
8. Pada tumbuhan Monocotyledoneae terbentuk lingkaran tahun. Benarkah pernyataan ini? Jelaskan.
9. Apakah perbedaan gutasi dengan transpirasi?
10. Apakah perbedaan struktur tumbuhan Dicotyledoneae dengan Monocotyledoneae?
11. Berdasarkan bagian-bagiannya, terdapat berbagai jenis bunga. Sebutkan jenisnya serta jelaskan bagian-bagiannya dari masing-masing jenis bunga tersebut.
12. Mengapa batang tumbuhan Dicotyledoneae dapat tumbuh membesar sedangkan batang Monocotyledoneae tidak?
13. Jelaskan dua macam transportasi ekstravaskular pada tumbuhan.
14. Sebutkan organ-organ penyusun sistem endokrin jelaskan fungsinya.
15. Jaringan apa sajakah yang menyusun organ kulit?
16. Sebutkan organ-organ penyusun sistem ekskresi dan jelaskan fungsi ekskresi yang dilakukan oleh organ-organ tersebut.
17. Sistem organ apakah yang berfungsi memproduksi hormon-hormon untuk mengatur aktivitas tubuh? Sebutkan pula organ-organnya.
18. Jaringan apa saja yang menyusun organ usus?
19. Jelaskan perbedaan dari otot polos, otot lurik, dan otot jantung.
20. Jelaskan struktur sistem Havers dan sebutkan bagian-bagiannya.

# Bab IV

# Sistem Gerak pada Manusia dan Hewan Vertebrata



Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Pernahkah Anda mendengar kata osteoporosis? Setiap orang dapat mengalami osteoporosis, tetapi banyak yang tidak menyadarinya. Kelainan ini biasa dijumpai pada orang tua. Osteoporosis menyebabkan rasa takut pada masyarakat karena penderita osteoporosis mudah mengalami patah tulang. Patah tulang tersebut terjadi karena kepadatan tulang berkurang sehingga tulang menjadi rapuh. Itulah salah satu penyakit yang dapat menyerang sistem gerak manusia.

Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang sistem gerak manusia dan hewan Vertebrata. Setelah mempelajari materi bab ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan mengenai struktur dan fungsi sistem gerak manusia. Selain itu, Anda juga dapat menyebutkan berbagai jenis penyakit atau kelainan yang dapat terjadi pada sistem gerak manusia.

**Kata Kunci**

alat gerak pasif
alat gerak aktif
rangka
tulang rawan
tulang keras
sendi
asetil kolin
otot lurik
otot polos
otot jantung

Tulang belakang termasuk salah satu bagian dari rangka. Salah satu fungsinya adalah menegakkan tubuh. Apabila jumlah kalsium yang dikonsumsi dalam makanan sehari-hari tidak cukup, tulang belakang dapat terkena osteoporosis. Selain karena kekurangan kalsium, osteoporosis dapat disebabkan karena berkurangnya produksi hormon tertentu dalam tubuh.

Osteoporosis merupakan salah satu penyakit yang dapat menyerang alat gerak kita. Ada dua macam sistem gerak yaitu sistem gerak pasif dan sistem gerak aktif.

## A. Sistem Gerak Pasif

Hewan dan manusia mempunyai kemampuan bergerak dan berpindah tempat karena adanya kerja sama antara rangka dan otot. Otot menempel dan menghubungkan tulang dengan kulit. Otot mempunyai kemampuan untuk berkontraksi sehingga dapat menggerakkan tulang dan kulit. Oleh karenanya, otot disebut **alat gerak aktif**, sedangkan tulang disebut **alat gerak pasif**.

### 1. Rangka

Tulang-tulang yang tersusun sedemikian rupa dengan sistem tertentu disebut **rangka**. Rangka pada hewan Vertebrata berupa endoskeleton (rangka dalam). Tulang-tulang yang menyusun rangka mempunyai struktur yang bermacam-macam sesuai dengan fungsinya.

Rangka mempunyai fungsi sebagai berikut.

a. Penopang dan penunjang tegaknya tubuh.
b. Memberi bentuk tubuh.
c. Melindungi alat-alat atau bagian tubuh yang lunak.
d. Alat gerak pasif.
e. Tempat melekatnya otot-otot rangka
f. Tempat pembentukan sel darah dan penimbunan mineral.

Rangka tubuh dibedakan menjadi tiga macam. Rangka yang terdapat pada hewan yang tubuhnya lunak, misalnya cacing tanah disebut **rangka hidrostatik**. Rangka yang terdapat pada insekta berupa lapisan luar yang membungkus tubuh, dan terbuat dari zat kitin disebut **rangka luar** (**eksoskeleton**). Pada hewan vertebrata terdapat kumpulan tulang rawan dan tulang keras yang membentuk suatu rangkaian menurut aturan tertentu yang disebut **rangka dalam** (endoskeleton).

Rangka dalam tersusun atas berbagai bentuk dan jenis tulang. Coba Anda perhatikan pada tulang ayam. Kekerasan bagian ujung tulang dada dan tulang paha berbeda. Apa yang membuat tulang paha bersifat keras, sedangkan ujung tulang dada bersifat lunak? Apakah hal ini terkait dengan senyawa penyusun tulang? Lakukanlah kegiatan berikut untuk mengetahui lebih jelas salah satu senyawa penyusun tulang.

## Eksperimen 1

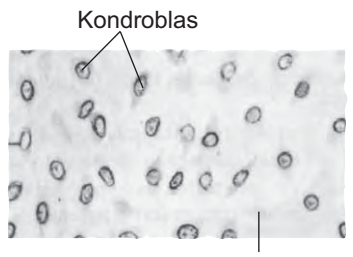
### Menentukan Salah Satu Zat Penyusun Tulang

Ambil satu atau dua potong tulang ayam berukuran kecil. Masukkan tulang tersebut ke dalam larutan HCl 100 ml. Usahakan seluruh tulang terendam dalam larutan HCl tersebut. Diamkan ±15 menit. Ambil kembali tulang tersebut dengan menggunakan pinset. Amati tulang ayam tersebut (pencet dengan ujung pinset).

**Pertanyaan:**

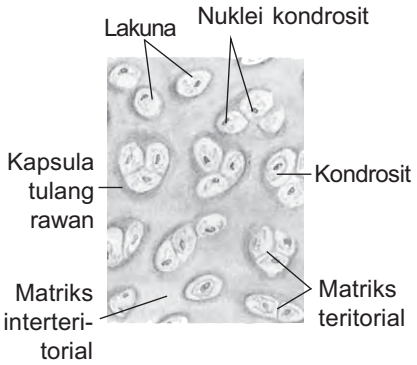
1. Apakah terlihat ada perbedaan kekerasan antara tulang yang dimasukkan ke dalam larutan HCl dengan yang tidak dimasukkan dalam larutan HCl? Mengapa?
2. Apa fungsi kalsium bagi tubuh?
3. Apa kesimpulan dari kegiatan tersebut?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.




**Sumber:** *Histologi Manusia, Fiore*

**Gambar 4.1**
Tulang rawan anak




**Sumber:** *Histologi Manusia, Fiore*

**Gambar 4.2**
Tulang rawan orang dewasa

Dari kegiatan tersebut Anda dapat mengetahui salah satu zat yang terdapat dalam tulang. Apakah pada semua tulang terdapat zat tersebut? Ternyata tidak, kalsium tidak terdapat dalam tulang rawan (misal ujung tulang dada). Apa yang membuatnya berbeda? Marilah kita pelajari dalam uraian materi berikut.

Menurut jaringan penyusun dan sifat-sifatnya, tulang dibedakan menjadi tulang rawan dan tulang keras.

### a. Tulang Rawan

Tulang rawan terdiri atas sel-sel tulang rawan yang disebut **kondroblas**. Sel-sel ini mengeluarkan matriks yang disebut **kondrin**. Lama-kelamaan kondroblas akan terkurung oleh matriksnya sendiri dalam ruangan yang disebut **lakuna**. Di dalam lakuna terdapat kondroblas yang bersifat tidak aktif disebut **kondrosit** (sel tulang rawan).

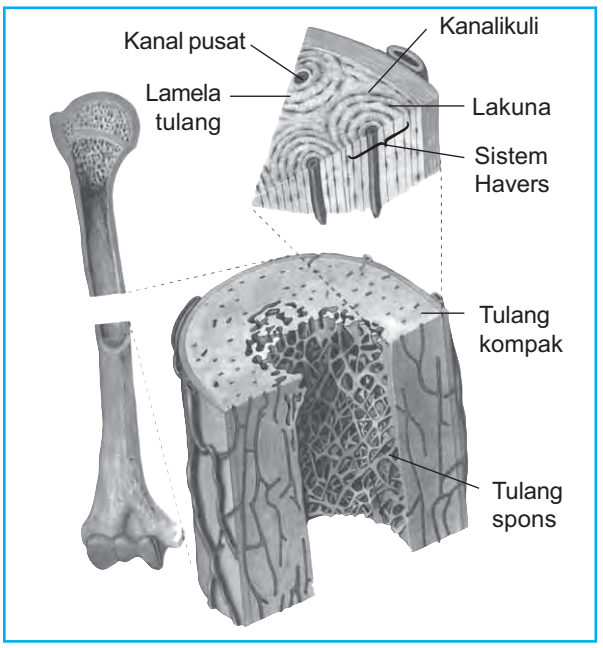
Tulang rawan pada anak-anak berbeda dengan tulang rawan pada orang dewasa. Pada Gambar 4.1 terlihat bahwa tulang rawan pada anak-anak berasal dari mesenkim dan lebih banyak mengandung sel-sel tulang rawan. Sementara itu, tulang rawan orang dewasa lebih banyak mengandung matriks dan berasal dari perikondrium (selaput tulang rawan) yang mengandung kondroblas. Lihat Gambar 4.2. Tulang rawan pada orang dewasa hanya terdapat pada bagian-bagian tertentu.

Matriks pada tulang rawan umumnya berupa hialin yang homogen dan jernih. Matriks yang berserabut lebih banyak mengandung zat kolagen (zat perekat tulang).

### b. Tulang Keras (Osteon)

Coba Anda ingat Eksperimen 1 di atas. Apa yang menyebabkan tulang menjadi keras? Tulang keras merupakan kumpulan sel tulang yang mengeluarkan matriks yang mengandung zat kapur dan fosfat. Kedua zat ini menyebabkan tulang menjadi keras. Pada tulang keras, osteoblas pada lakuna menjadi tidak aktif dan disebut **osteosit** (sel tulang). Antara lakuna satu dengan lakuna lainnya dihubungkan oleh kanalikuli. Di dalam kanalikuli terdapat sitoplasma dan pembuluh darah yang bertugas memenuhi kebutuhan nutrisi osteosit.

Tulang keras dibedakan menjadi dua, yaitu tulang kompak dan tulang spons (tulang berongga). Pada Gambar 4.3 tampak bahwa tulang kompak (tulang padat) mempunyai matriks tulang yang rapat dan padat, misalnya pada tulang pipa. Tulang spons matriksnya berongga. Rongga-rongga pada tulang spons diisi oleh jaringan sumsum tulang. Apabila berwarna merah berarti mengandung sel-sel darah merah, misalnya pada epifisis tulang pipa. Apabila berwarna kuning berarti mengandung sel-sel lemak, misalnya pada diafisis tulang pipa.




**Sumber:** *Biology, Raven and Johnson*

**Gambar 4.3**
Struktur tulang kompak dan tulang spons

Lakukanlah eksplorasi berikut agar Anda dapat membedakan dengan jelas struktur tulang rawan dan tulang keras.

## Tugas Mandiri

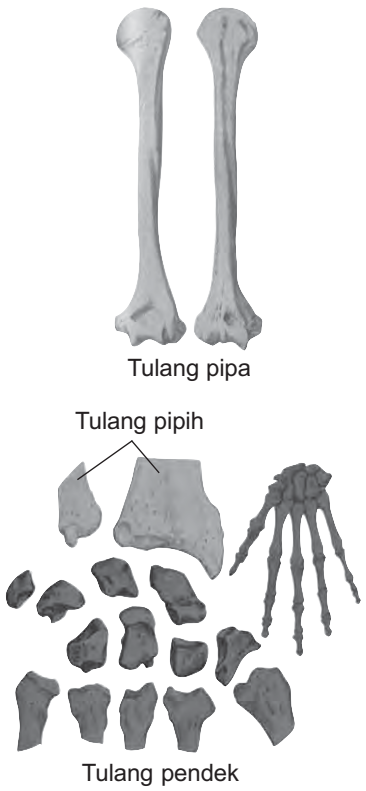
Bedakan ciri struktur tulang rawan dan tulang keras sesuai contoh berikut.

| Ciri-Ciri | Tulang Rawan | Tulang Keras |
|---|---|---|
| • Kandungan dalam matriks | Senyawa kolagen/ perekat | Senyawa kapur/ fosfat |
| • Bagian dalam lakuna yang bersifat pasif | . . . | . . . |
| • Asal:<br>1. Selaput perikondrium<br>2. Mesenkim | | |

Buatlah laporan dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

Ingatkah Anda tentang tulang ayam yang digunakan pada eksperimen di awal bab ini? Apakah bentuk tulang yang digunakan sama? Mengapa ada yang pipih (misal bagian kepala), tetapi mengapa pula ada yang berbentuk tabung memanjang (misal tulang paha)?

Menurut bentuknya, tulang dibedakan menjadi tulang pipih, tulang pendek, dan tulang pipa. Lihat Gambar 4.4. Apakah ciri khas ketiga jenis tulang tersebut?




**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.4**
Macam-macam tulang berdasarkan bentuknya

### a. Tulang Pipih

Tulang pipih berbentuk gepeng memipih. Tulang pipih mempunyai dua lapisan tulang kompak, yaitu *lamina eksterna* dan *interna ossis karnii*. Kedua lapisan dipisahkan oleh satu lapisan tulang spongiosa disebut **diploe**. Contoh: tulang tengkorak, tulang rusuk, dan tulang belikat.

### b. Tulang Pendek

Tulang pendek berbentuk seperti kubus atau pendek tidak beraturan. Tulang ini mempunyai inti tulang spongiosa yang dikelilingi tulang kompak. Contoh: tulang telapak tangan dan kaki, serta ruas-ruas tulang belakang.

### c. Tulang Pipa (Tulang Panjang)

Tulang pipa berbentuk seperti tabung, kedua ujungnya bulat, dan bagian tengahnya silindris (diafisis). Hampir seluruh bagian tulang pipa terdiri dari tulang kompak (tulang padat) dengan sedikit komponen tulang spongiosa (tulang berongga-rongga). Pada bagian dalam tulang tersebut terdapat rongga berisi sumsum tulang. Contoh: tulang paha, tungkai bawah, dan tungkai atas.

Tulang pipa terbagi atas tiga bagian, yaitu bagian ujung disebut **epifisis**, bagian tengah disebut **diafisis** tersusun atas tulang keras. Bagian antara epifisis dan diafisis disebut **cakraepifisis** atau **metafisis** yang terdiri atas tulang rawan dan mengandung banyak osteoblas. Bagian cakraepifisis merupakan bagian yang dapat bertambah panjang terutama dalam usia pertumbuhan.

Cakraepifisis orang dewasa tidak tumbuh meninggi lagi karena sudah menulang semua. Sebaliknya, bagian tengah tulang pipa terdapat sel-sel osteoklas yang merusak tulang sehingga tulang menjadi berongga, kemudian rongga tersebut terisi sumsum tulang.

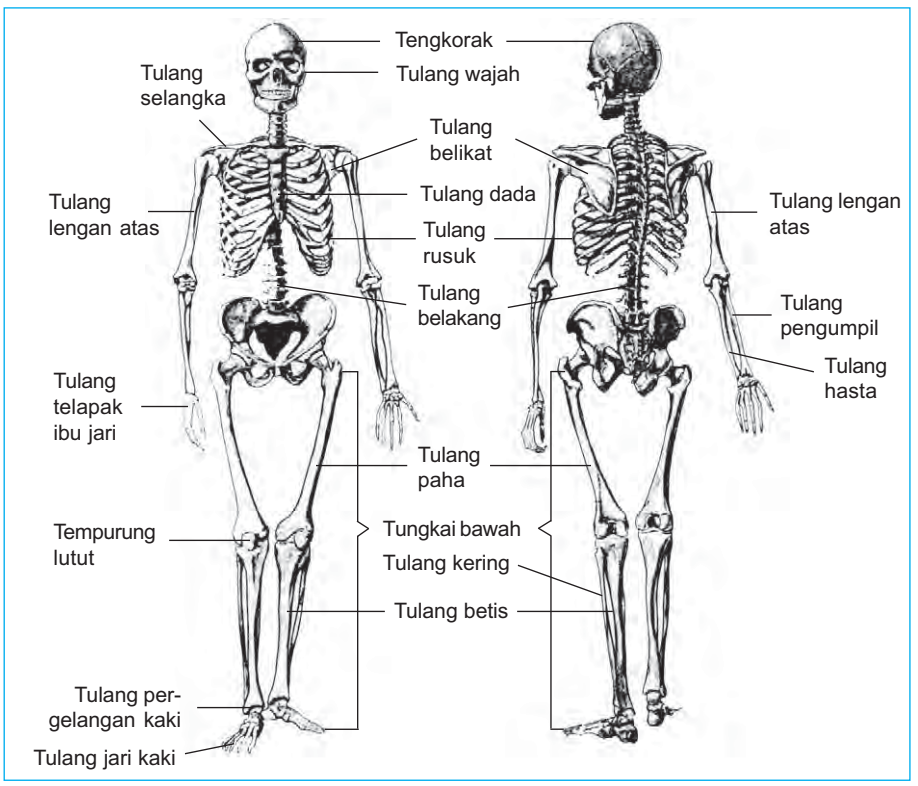
Tulang-tulang dalam tubuh manusia kurang lebih berjumlah 200 buah. Komponen-komponen penyusun tulang adalah air (25%), zat organik berupa serabut (30%), dan zat mineral terutama kalsium fosfat dan sedikit garam magnesium (45%).

Tulang-tulang tersebut akan tersusun sedemikian rupa dengan sistem tertentu sehingga membentuk rangka. Lihat Gambar 4.5. Lalu, apa sebenarnya fungsi rangka bagi makhluk hidup? Kerjakan tugas berikut agar Anda dapat menjawabnya.

## Tugas Mandiri

Ingatlah kembali tentang fungsi rangka yang pernah Anda pelajari ketika SMP. Coba sebutkan fungsi rangka dan berilah contoh tulang-tulang yang mendukung fungsi tersebut.

Rangka manusia dapat dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu skeleton aksial dan skeleton apendikuler. Perhatikan Gambar 4.5 berikut.




**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.5**
Tulang rangka dan bagian-bagiannya

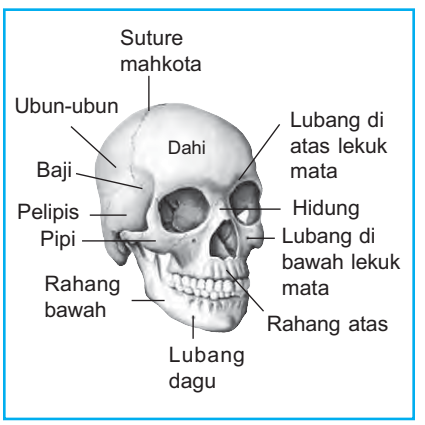
### a. Skeleton Aksial

Skeleton aksial yaitu skeleton yang merupakan sumbu tubuh. Rangka ini meliputi tengkorak, ruas-ruas tulang belakang dan tulang ekor, tulang dada, serta tulang iga atau rusuk.

#### 1) *Tulang Tengkorak*

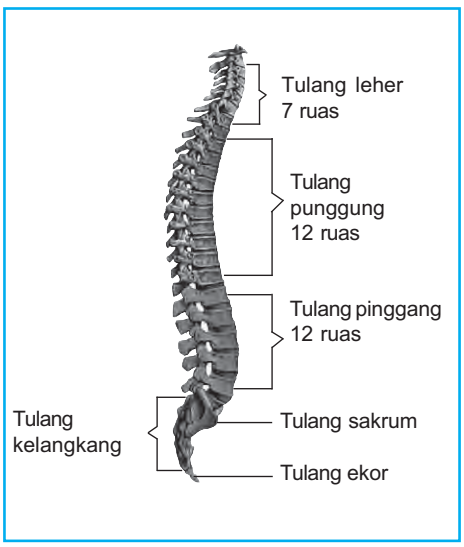
Tulang tengkorak terdiri atas 28 buah tulang. Lihat Gambar 4.6. Tulang tengkorak berfungsi melindungi otak, mata, dan telinga dalam.

Tulang-tulang pembentuk tengkorak dibedakan atas tulang tengkorak wajah (muka) dan tengkorak pelindung otak (kubah). Ingat kembali pelajaran tentang rangka manusia di SMP. Coba sebutkan tulang-tulang penyusun tengkorak wajah dan tengkorak pelindung otak.



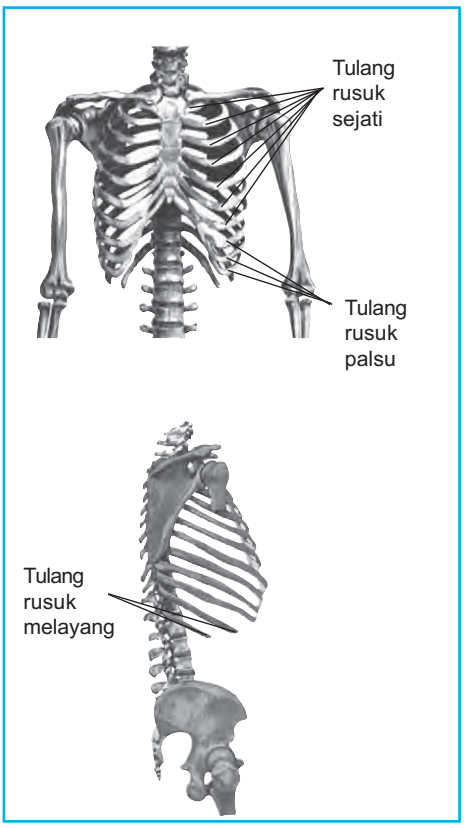

**Sumber:** *Tubuh, Alan E. Nourse*

**Gambar 4.6**
Macam-macam tulang penyusun tengkorak




**Sumber:** *Tubuh, Alan E. Nourse*

**Gambar 4.7**
Tulang belakang




**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.8**
Tulang rusuk dan tulang dada

Hubungan tulang yang terdapat pada tengkorak kepala bersifat *suture* yaitu tidak dapat digerakkan.

Kesatuan susunan tengkorak yang tegak seolah ”terletak” seimbang di atas ruas teratas (pertama) tulang belakang adalah tulang atlas. Sendi yang menghubungkan tengkorak dengan tulang belakang ini disebut **sendi atlas** (sendi putar), sehingga memungkinkan gerak kepala mengangguk ke depan dan ke belakang, menggeleng ke kiri dan ke kanan, bahkan berputar ke kiri dan ke kanan dengan wajah tetap menghadap ke depan.

### 2) *Ruas-Ruas Tulang Belakang (Vertebrae) dan Tulang Ekor*

Ruas-ruas tulang belakang (*vertebrae*) terdiri atas 33 buah ruas tulang yang terbagi menjadi beberapa bagian yang dapat terlihat pada Gambar 4.7.

Tiap *vertebrae* dilindungi oleh lapisan tulang rawan yang disebut **diskus intervertebrae**. Sementara itu, tulang sakrum maupun tulang ekor telah menyatu sejak embrio. Tulang belakang selain untuk menyangga tengkorak merupakan tempat perlekatan tulang-tulang rusuk yang membentang ke kiri dan ke kanan.

Pada tulang belakang terjadi perlengkungan karena berfungsi sebagai penyangga berat dan memungkinkan manusia melakukan berbagai jenis posisi gerak.

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

Tulang dada terdiri dari bagian kepala (*manubrium*), badan (*corpus*), dan ekor (*processus xiphoideus*) yang berupa tulang rawan. Pada tulang dada melekat tulang rusuk (*costae*).

Tulang rusuk terdiri dari 12 pasang. Ujung belakangnya melekat pada ruas-ruas tulang belakang. Tulang rusuk dapat dibedakan menjadi tiga macam sebagai berikut.

a) *Tulang rusuk sejati* berjumlah tujuh pasang. Ujung belakangnya melekat pada ruas-ruas tulang belakang, sedangkan ujung depan melekat pada tulang dada.

b) *Tulang rusuk palsu* berjumlah tiga pasang. Ujung belakang melekat pada tulang belakang dengan ujung depan melekat pada tulang rusuk di atasnya.

c) *Tulang rusuk melayang* berjumlah dua pasang. Ujung belakang melekat pada tulang belakang, sedangkan ujung depan bebas tidak melekat.

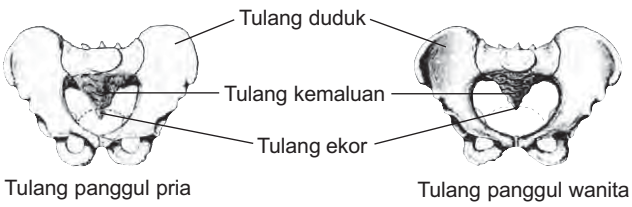
Tulang rusuk dan tulang dada seperti terlihat pada Gambar 4.8 berfungsi untuk melindungi jantung dan paru-paru.

## b. Skeleton Apendikuler

Skeleton apendikuler terdiri atas tungkai atas (tulang anggota depan) dan tungkai bawah (tulang anggota belakang).

Tungkai atas berhubungan dengan tulang aksial pada bahu. Bahu manusia tersusun atas tulang selangka dan tulang belikat. Tungkai atas dan tungkai bawah tersusun atas beberapa tulang seperti Gambar 4.9. Coba sebutkan tulang-tulang pembentuk tungkai atas dan tungkai bawah.

Tungkai bawah berhubungan dengan tulang aksial pada gelang panggul. Gelang panggul terdiri atas tulang sakrum yang merupakan persatuan enam ruas tulang, yaitu sepasang tulang usus kiri kanan, sepasang tulang duduk, dan sepasang tulang kemaluan. Coba perhatikan Gambar 4.10. Mengapa bentuk tulang panggul pria dan wanita tidak persis sama?




**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.10**
Tulang panggul

Struktur tulang panggul sesuai untuk berdiri tegak di atas kedua kaki. Hewan dengan tubuh yang disangga oleh kedua tungkai bawah disebut **bipedal**. Pada hewan berkaki empat, tubuh disangga oleh tungkai atas dan tungkai bawah, disebut **kuadripedal**.

**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.9**
Tulang-tulang tungkai

## 2. Pembentukan Tulang

Rangka manusia terbentuk pada akhir bulan kedua atau awal bulan ketiga pada waktu perkembangan *embrio*. Perhatikan Gambar 4.11. Tulang yang terbentuk mula-mula adalah tulang rawan (kartilago) yang berasal dari jaringan mesenkim (jaringan embrional). Sesudah kartilago terbentuk, rongga yang ada di dalamnya akan terisi oleh osteoblas.

Sel-sel osteoblas terbentuk secara konsentris yaitu dari dalam keluar. Setiap sel melingkari pembuluh darah dan serabut saraf yang membentuk *sistem Havers*.

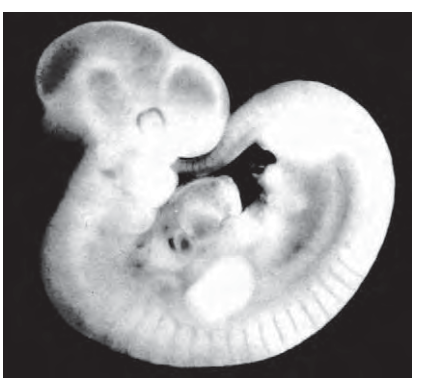
Substansi di sekitar tulang disebut *matriks tulang*, tersusun atas senyawa protein. Selanjutnya terjadi pengisian kapur dan fosfor sehingga matriks tulang menjadi keras. Pengerasan tulang disebut **osifikasi**.

Osifikasi dibedakan menjadi 2 macam sebagai berikut.

a. **Osifikasi kondral** yaitu pembentukan tulang dari tulang rawan. Terjadi pada tulang pipa dan tulang pendek.
b. **Osifikasi desmal** yaitu pembentukan tulang dari membran jaringan mesenkim. Terjadi pada tulang pipih.

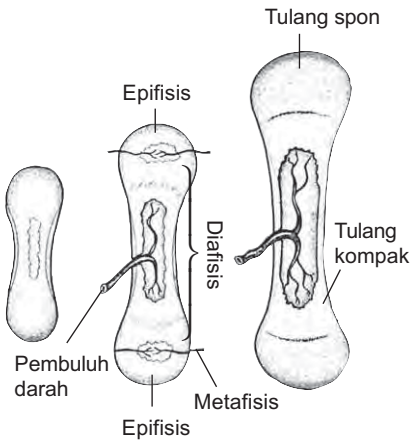
Proses pertumbuhan tulang manusia dimulai sejak janin berusia delapan minggu sampai umur kurang lebih 25 tahun, bahkan lebih dari itu masih terjadi pembentukan tulang. Perhatikan Gambar 4.12 di halaman berikutnya. Urutan proses pembentukan tulang (*osifikasi*) sebagai berikut.

a. Tulang rawan pada embrio mengandung banyak osteoblas, terutama pada bagian tengah epifisis dan bagian tengah diafisis, serta pada jaringan ikat pembungkus tulang rawan.



**Sumber:** *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2, Creative World Publications, Inc.*

**Gambar 4.11**
Pembentukan tulang dimulai sejak tahap embrio




**Sumber:** *Histologi dasar, Penerbit Buku Kedokteran*

**Gambar 4.12**
Perkembangan tulang

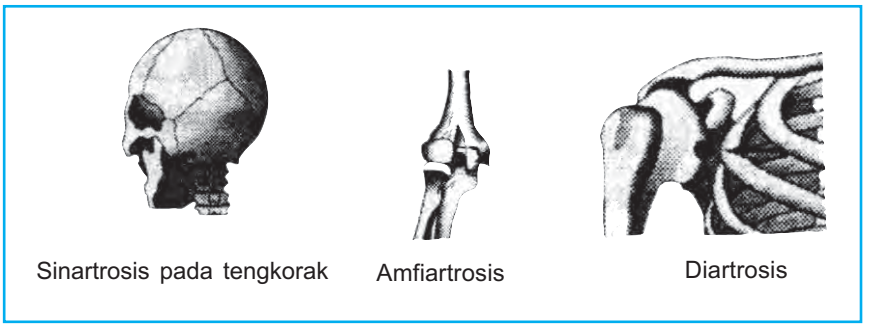
b. Osteosit terbentuk dari osteoblas, tersusun melingkar membentuk sistem Havers. Di tengah sistem Havers terdapat saluran Havers yang banyak mengandung pembuluh darah dan serabut saraf.
c. Osteosit mensekresikan zat protein yang akan menjadi matriks tulang. Setelah mendapat tambahan senyawa kalsium dan fosfat tulang akan mengeras.
d. Selama terjadi penulangan, bagian epifisis dan diafisis membentuk daerah antara yang tidak mengalami pengerasan, disebut *cakraepifisis*. Bagian ini berupa tulang rawan yang mengandung banyak osteoblas.
e. Bagian cakraepifisis terus mengalami penulangan. Penulangan bagian ini menyebabkan tulang memanjang.
f. Di bagian tengah tulang pipa terdapat osteoblas yang merusak tulang sehingga tulang menjadi berongga kemudian rongga tersebut terisi oleh sumsum tulang.

## 3. Hubungan Antartulang (Persendian)

Antartulang dalam tubuh berhubungan satu dengan yang lain agar dapat melakukan fungsinya dengan baik. Hubungan antartulang itu disebut **persendian** (**artikulasi**).

Berdasarkan keleluasaan gerakan yang dihasilkan, ada tiga jenis persendian, yaitu sinartrosis, sinfibrosis, dan diartrosis. Lihat Gambar 4.13.

a. **Sinartrosis** adalah persendian yang tidak dapat digerakkan. Ada dua tipe utama sinartrosis, yaitu suture dan sinkondrosis. ***Suture*** atau ***sinostosis*** adalah hubungan antartulang yang dihubungkan dengan jaringan ikat serabut padat, contohnya pada tengkorak. ***Sinkondrosis*** adalah persendian oleh tulang rawan (kartilago) hialin, contohnya hubungan antara epifisis dan diafisis pada tulang dewasa.
b. **Amfiartrosis** atau **Sinfibrosis** adalah persendian yang dihubungkan oleh tulang rawan (kartilago), jaringan ikat serabut, dan ligamen sehingga memungkinkan terjadi sedikit gerakan. Contohnya sendi antara tulang betis dan tulang kering.
c. **Diartrosis** adalah persendian yang memungkinkan gerakan tulang-tulang secara leluasa. Misalnya sendi engsel pada lutut dan siku serta sendi peluru pada pangkal paha dan lengan atas.



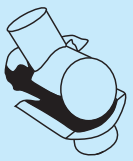
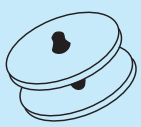
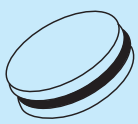

**Sumber:** *Tubuh, Alan E. Nourse*

**Gambar 4.13**
Macam-macam sendi berdasarkan keleluasaan gerak

Ujung tulang yang membentuk persendian (diartrosis) bersifat khas, yaitu berbentuk bonggol, sedangkan ujung yang lain membentuk lekukan yang sesuai ukuran bonggol. Setiap permukaan sendi dilapisi dengan tulang rawan hialin dan dibungkus dengan selaput sinovial yang membentuk minyak sinovial. Minyak sinovial atau minyak sendi ini berfungsi untuk melicinkan gerakan.

Diartrosis meliputi beberapa macam persendian. Berdasarkan arah gerak yang ditimbulkannya, diartrosis dapat dibedakan menjadi beberapa jenis sendi yang dijelaskan dalam Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1** Jenis-Jenis Persendian Diartrosis

| Gambar | Jenis Sendi | Contoh |
|---|---|---|
|  Sendi engsel | 1. **Sendi engsel** adalah persendian yang memungkinkan terjadinya gerakan ke satu arah. | Persendian pada tulang siku dan lutut. |
| Sendi pelana | 2. **Sendi pelana** adalah persendian yang memungkinkan gerakan ke dua arah. | Persendian pada hubungan antara tulang ibu jari dan tulang telapak tangan. |
| Sendi putar | 3. **Sendi putar** adalah persendian tulang yang satu mengitari tulang yang lain sehingga menimbulkan gerak rotasi. | Tengkorak dengan tulang atlas dan radius dengan ulna. |
| Sendi peluru | 4. **Sendi peluru** adalah persendian tulang yang gerakannya paling bebas di antara persendian yang lain, yaitu dapat bergerak ke segala arah. | Tulang lengan atas dengan gelang bahu dan tulang paha dengan gelang panggul. |
|  Sendi geser | 5. **Sendi geser** adalah persendian yang gerakannya hanya menggeser, kedua ujung agak rata dan tidak berporos. Sendi geser disebut juga sendi kepat atau sendi avoid. | Persendian pada hubungan antara ruas-ruas tulang belakang. |
|  Sendi luncur | 6. **Sendi luncur** adalah persendian tulang yang memungkinkan terjadinya gerakan badan melengkung ke depan, ke belakang atau memutar. | Skapula dengan klavikula dan karpal dengan metakarpal. |

Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih memahami macam-macam sendi.

## Eksperimen 2

**Mengamati Macam-Macam Bentuk Sendi**

1. Amati torso manusia dan cermati bagian-bagian yang terbentuk antara tulang paha (femur) dan tulang gelang panggul. Cermati pula bagian yang terbentuk antara tulang lengan atas (humerus) dengan tulang belikat (skapula).
   **Pertanyaan:**
   a. Mampu bergerak ke arah mana sajakah persendian yang terbentuk antara tulang-tulang di atas?
   b. Sebutkan sendi-sendi yang terbentuk selain sendi-sendi di atas, beserta contohnya.
2. Sebutkan perbedaan antara sendi mati, sendi engsel, dan sendi kaku.

| Macam Sendi | Gerakan pada Tulang | Struktur Hubungan Antartulang | Contoh |
|---|---|---|---|
| a. Sendi engsel<br>b. Sendi kaku<br>c. Sendi mati | | | |

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

## 4. Gangguan dan Kelainan pada Tulang

Orang yang mengalami patah tulang biasanya dirawat dengan memasang ”gips” pada daerah tulang yang patah, misal kaki. Menurut Anda apa maksud kaki orang itu ”di gips”? Dapatkah tulangnya yang patah itu tersambung kembali?

Patah tulang merupakan salah satu dari gangguan atau kelainan pada tulang. Kelainan atau gangguan tersebut sering terjadi dan dapat Anda amati di sekitar Anda. Selain karena gangguan mekanis (misalnya pada patah tulang), kelainan tulang dapat terjadi akibat infeksi, gangguan fisiologis, gangguan persendian, dan kesalahan sikap.

**Gambar 4.14**
Fraktura pada tulang kaki

### a. Gangguan Mekanis

Gangguan mekanis pada tulang dapat terjadi akibat jatuh atau benturan dengan benda keras (pukulan). Gangguan ini dapat menyebabkan hal-hal berikut.

1) **Fisura** atau retak tulang, dapat diperbaiki karena periosteum akan membentuk kalus (sambungan).
2) **Fraktura** atau patah tulang, umumnya terjadi pada tulang pipa. Apabila tulang yang patah sampai keluar kulit disebut patah tulang terbuka, sedangkan jika tidak sampai keluar kulit disebut patah tulang tertutup. Lihat Gambar 4.14.
3) **Memar sendi**, apabila selaput sendi mengalami robek.
4) **Urai sendi** yaitu memar sendi yang diikuti lepasnya ujung tulang dari persendian.

Lakukanlah kegiatan berikut agar Anda lebih paham tentang penanganan gangguan mekanis pada tulang.

## Tugas Kelompok

Apakah Anda atau kerabat Anda pernah mengalami patah tulang? Apa yang dilakukan dokter untuk menangani kasus tersebut? Coba lakukan observasi ke rumah sakit atau dokter ahli tulang. Carilah keterangan bagaimana pen atau lempengan besi dimanfaatkan untuk merehabilitasi seorang penderita patah tulang. Apa fungsi dari pen? Dari bahan apakah pen dibuat? Apakah pen akan ditanam pada seorang penderita patah tulang selamanya?

### b. Gangguan Fisiologis

Gangguan ini mengakibatkan kelainan di antaranya berupa:

1) **Hidrocephalus** yaitu suatu kelainan yang ditandai pengumpulan abnormal cairan spinal dan terjadi pelebaran rongga dalam otak sehingga kepala membesar, disebut juga *megalochephalus*.
2) **Mikrocephalus** yaitu gangguan pertumbuhan tulang tengkorak akibat kekurangan zat kapur saat pembentukan tulang pada bayi.
3) **Osteoporosis** yaitu pengeroposan tulang yang terjadi karena kekurangan hormon sehingga tulang mudah patah dan rapuh.
4) **Rakhitis** yaitu gangguan tulang karena kekurangan vitamin D. Biasanya terjadi pada anak-anak dalam masa pertumbuhan. Akibatnya pertumbuhan tulang terganggu sehingga bentuk kaki membelok keluar (berbentuk huruf X) atau membengkok ke dalam (berbentuk huruf O).

### c. Kesalahan Sikap

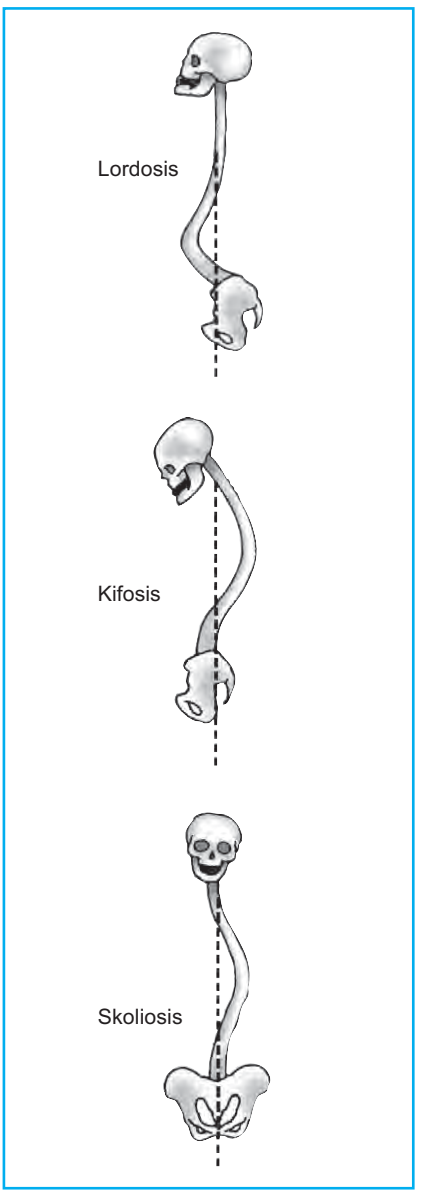
Kesalahan sikap (misal sikap duduk) dapat mengakibatkan beberapa kelainan berikut.

1) **Lordosis** yaitu jika bagian leher dan panggul terlalu membengkok ke depan.
2) **Kifosis** yaitu jika bagian punggung terlalu membengkok ke belakang.
3) **Skoliosis** yaitu jika bagian punggung membengkok ke kanan atau ke kiri.

Ketiga kelainan pada tulang punggung dapat Anda amati pada Gambar 4.15. Lakukanlah tugas berikut agar Anda lebih jelas tentang kelainan akibat kesalahan-kesalahan sikap ini.

## Tugas Kelompok

Kunjungilah dokter di rumah sakit yang melayani pengobatan tulang. Tanyakan penyebab lordosis, kifosis, dan skoliosis. Carilah pula keterangan dari berbagai sumber (media cetak dan elektronik) untuk melengkapi informasi yang telah Anda peroleh dari dokter tersebut. Presentasikan hasilnya di kelas.




**Gambar 4.15**
Kelainan pada tulang punggung

### d. Gangguan Persendian

Persendian dapat mengalami beberapa kelainan atau gangguan, di antaranya sebagai berikut.

1) **Ankilosis** yaitu persendian yang tidak dapat digerakkan karena seolah-olah kedua tulang menyatu.
2) **Dislokasi** yaitu sendi bergeser dari kedudukan semula.
3) **Terkilir** atau **keseleo** yaitu tertariknya ligamen akibat gerak yang mendadak.
4) **Artritis** yaitu peradangan pada satu atau beberapa sendi dan kadang-kadang posisi tulang mengalami perubahan. Artritis dibedakan sebagai berikut.
   a) **Gout artritis** yaitu gangguan persendian akibat kegagalan metabolisme asam urat. Asam urat yang tinggi dalam darah diangkut dan ditimbun dalam sendi yang kecil, biasanya pada jari-jari tangan. Akibatnya ujung-ujung ruas jari tangan membesar.
   b) **Osteoartritis** yaitu suatu penyakit kemunduran, sendi tulang rawan menipis dan mengalami degenerasi. Biasa terjadi karena usia tua.
   c) **Reumathoid** yaitu suatu penyakit kronis yang terjadi pada jaringan penghubung sendi. Sendi membengkak dan terjadi kekejangan pada otot penggeraknya.

### e. Infeksi Sendi

Kelainan tulang akibat infeksi antara lain sebagai berikut.

1) **Artritis eksudatif** yaitu peradangan pada sendi dan terisi cairan nanah.
2) **Artritis sika** yaitu peradangan sendi sehingga rongga sendi menjadi kering (kekurangan minyak sinoval).
3) **Layuh sendi** atau **layuh semu** yaitu suatu keadaan tidak bertenaga pada persendian akibat rusaknya cakraepifisis tulang anggota gerak.
4) **Nekrosis** yaitu kerusakan pada cakraepifisis tulang hingga sebagian tulang mati dan mengering.

Kuman sifilis dan TBC juga dapat menyebabkan infeksi sendi.

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa yang dimaksud rangka? Sebutkan fungsi rangka.
2. Apakah perbedaan struktur antara tulang keras dengan tulang rawan?
3. Perbedaan apakah yang ditunjukkan antara sendi engsel dengan sendi kaku?
4. Gambarkan struktur sendi peluru. Beri keterangan secukupnya.
5. Manakah yang lebih cepat sembuh, patah tulang pada anak-anak atau pada orang dewasa? Mengapa demikian?

## B. Sistem Gerak Aktif

Apakah Anda sering berolahraga? Olahraga apa yang paling Anda gemari? Coba bandingkan otot Anda dengan otot teman Anda yang tidak terbiasa melakukan aktivitas olahraga, apakah ada perbedaan?

Olahraga yang rutin membuat otot selalu terlatih untuk bekerja. Hal itu menyebabkan otot mempunyai kekuatan atau kinerja yang baik. Sebaliknya, apabila tidak sering digunakan, otot akan mengalami kemunduran fungsi. Perhatikan Gambar 4.16.

**Sumber:** *Tubuh, Alan E. Nourse*

**Gambar 4.16**
Elastisitas otot akan terjaga dengan berolahraga

Otot merupakan alat gerak aktif. Pada subbab A telah diuraikan tentang tulang yang berfungsi sebagai alat gerak pasif. Jadi, pada subbab berikut akan kita bahas tentang otot sebagai alat gerak aktif.

### 1. Otot

Otot-otot merupakan alat gerak aktif. Otot mempunyai tiga kemampuan spesifik berikut.

a. Kemampuan untuk memendek (berkontraksi) disebut **kontratibilitas**.
b. Kemampuan untuk melakukan gerakan kebalikan dari gerakan yang ditimbulkan saat kontraksi otot disebut **ekstensibilitas**.
c. Kemampuan untuk kembali ke ukuran semula setelah kontraksi atau ekstensi disebut **elastisitas**. Saat otot kembali ke ukuran semula, otot disebut dalam keadaan relaksasi.

Berdasarkan jenisnya, otot terbagi menjadi tiga macam, yaitu otot jantung, otot lurik, dan otot polos. Lakukanlah eksperimen berikut untuk mengetahui perbedaan struktur masing-masing otot.

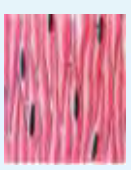
**Eksperimen 3**

**Membandingkan Struktur Otot Jantung, Otot Lurik, dan Otot Polos**

Ambil preparat otot jantung dan otot lurik dari betis *Rana sp*. dan otot polos usus *Rattus norvegicus* yang telah tersedia. Amati masing-masing preparat menggunakan mikroskop. Gambar struktur masing-masing otot tersebut dan beri keterangan setiap bagiannya. Bandingkan preparat yang Anda ambil dengan gambar sel otot di bawah.

Otot lurik

Otot jantung



Otot polos

**Pertanyaan:**

1. Adakah perbedaan struktur pada ketiga otot tersebut? Sebutkan.
2. Tunjukkan bagian terang dan bagian gelap dari otot lurik.
3. Apakah fungsi dari masing-masing otot? Di manakah letaknya?
4. Apa yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan di atas?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Berdasarkan eksperimen di depan, dapat diketahui bahwa otot terbagi menjadi tiga jenis yaitu otot jantung, otot lurik, dan otot polos. Bagaimana sifat ketiga jenis otot itu? Marilah kita pelajari dalam uraian berikut.

**Eksperimen Plus**

**Menguji Kepalan**

Ulurkan tangan ke atas kepala. Hitunglah jumlah kepalan yang bisa Anda lakukan sebelum Anda merasa kesemutan. Setelah rasa kesemutan hilang, cobalah lagi dengan tangan yang lain tetapi kali ini diulurkan ke bawah.

### a. Otot Lurik

Otot lurik atau disebut juga dengan otot rangka karena melekat pada rangka dan berfungsi menggerakkan rangka. Otot lurik tersusun atas serabut-serabut otot atau miofibril yang berinti banyak. Miofibril dalam plasma berwarna gelap dan terang, tersusun teratur, dan tampak bergaris sehingga disebut **otot seran lintang** atau **otot lurik**.

Miofibril membentuk kumpulan serabut yang disebut **otot** atau **daging**. Tiap kumpulan serabut dilindungi oleh selaput yang disebut **fasia propria**, sedangkan otot atau daging dilindungi oleh selaput **fasia superfisialis**.

Biasanya gabungan otot berbentuk kumparan dengan bagian tengahnya menggelembung disebut **empal** atau **ventrikel**. Sementara itu, bagian tepi gabungan otot tersebut mengecil disebut **urat otot** atau **tendon**. Bagian empal dapat berkontraksi mengerut dan mengendur. Setiap otot memiliki dua buah tendon atau lebih. Tendon yang melekat pada tulang yang bergerak disebut **insersio**, sedangkan tendon yang melekat pada tulang yang tidak bergerak disebut **origo**.

Otot lurik disebut otot sadar karena bekerjanya dikendalikan oleh kehendak kita. Kontraksinya cepat, tidak teratur, dan mudah lelah. Otot lurik dapat bergerak karena rangsang berupa panas, dingin, arus listrik, dan rangsang kimia.

### b. Otot Jantung atau Myocardium

Otot jantung hanya terdapat pada jantung. Otot ini secara anatomis mempunyai ciri seperti otot lurik, tetapi berinti banyak dan terletak di tengah. Otot jantung mempunyai cabang-cabang yang menghubungkan sel satu dengan sel-sel lain disebut **anastomosis**. Batas antarselnya tampak jelas dan disebut **diskus interkalaris**.

### c. Otot Polos

Sel-sel otot polos mempunyai bentuk seperti gelendong, berinti satu, dan terdapat di tengah. Miofibril berwarna polos (tidak berwarna gelap dan terang). Kerja otot polos adalah tidak sadar (tidak dipengaruhi kehendak), lambat, teratur, dan tidak mudah lelah. Otot polos terdapat pada dinding saluran pencernaan, saluran pernapasan, dan pembuluh darah sehingga sering disebut **otot alat-alat dalam**.

## 2. Macam-Macam Gerak

Otot bekerja secara berpasangan untuk menghasilkan gerak. Ada dua macam pasangan yang terjadi yaitu antagonis dan sinergis. Pasangan otot yang melakukan gerak berlawanan terhadap otot yang sedang melakukan kontraksi disebut otot **antagonis**. Sebaliknya pasangan otot yang kerjanya saling menunjang disebut otot **sinergis**. Contoh otot sinergis yaitu otot *pronator teres* dan *pronator kuadratus*. Bila keduanya berkontraksi, telapak tangan akan menelungkup.

Otot antagonis memiliki beberapa jenis berikut.

### a. Ekstensi – Fleksi

**Ekstensi** adalah gerak meluruskan, sedangkan **fleksi** adalah gerak membengkokkan. Misalnya saat kita berdiri kaki dalam posisi lurus disebut ekstensi, sedangkan saat jongkok kaki dalam posisi menekuk disebut fleksi. Perhatikan Gambar 4.17.

### b. Abduksi – Adduksi

**Abduksi** adalah gerakan menjauhi badan, sedangkan **adduksi** adalah gerakan mendekati badan. Contoh: gerak tangan sejajar bahu disebut abduksi, sedangkan gerak (sikap sempurna) disebut adduksi. Perhatikan Gambar 4.18.

### c. Depresi – Elevasi

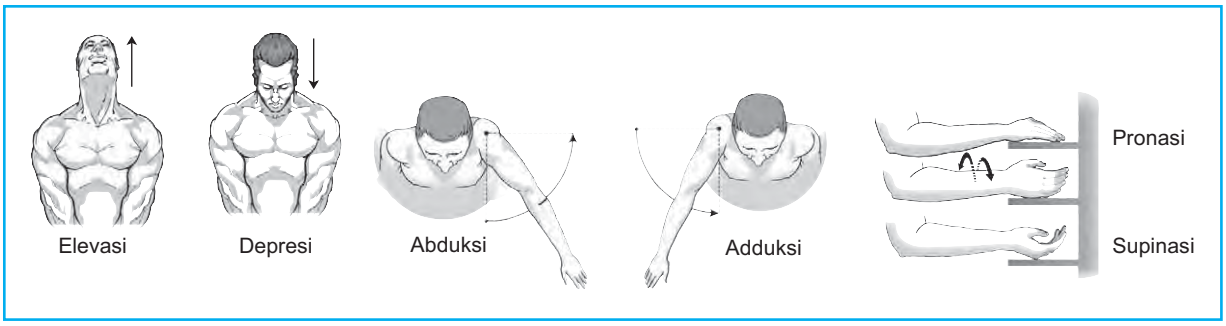
**Depresi** adalah gerak menurunkan, sedangkan **elevasi** adalah gerak mengangkat, misalnya gerakan menunduk dan menengadah. Perhatikan Gambar 4.18.

### d. Supinasi – Pronasi

**Supinasi** adalah gerak menengadahkan tangan, sedangkan **pronasi** adalah gerak menelungkupkan tangan. Kedua macam gerakan ini seperti gerakan melingkar satu sumbu sentral sehingga disebut juga **rotasi**. Perhatikan Gambar 4.18.

**Sumber:** *Biology, Raven and Jonhson*

**Gambar 4.17**
Gerakan otot antagonis fleksi – ekstensi




**Sumber:** *Kinesiologi: The Anatomy of Motion, Ellen Neall Duvall*

**Gambar 4.18**
Jenis-Jenis gerakan otot antagonis

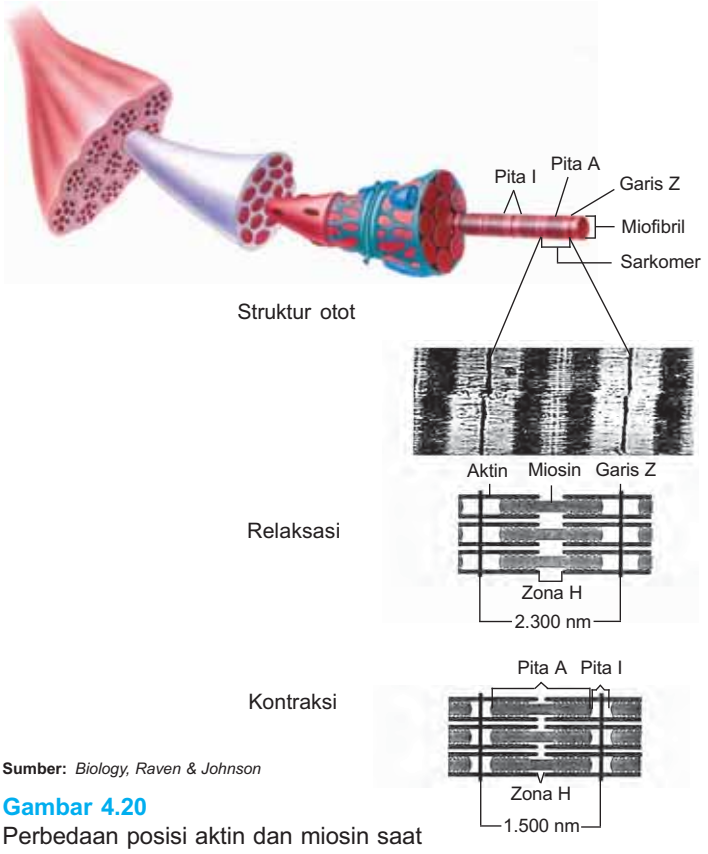
## 3. Mekanisme Gerak Otot dan Sumber Energi

Coba perhatikan Gambar 4.19. Secara makroskopis gumpalan otot memiliki ujung-ujung otot yang disebut **tendon**. Di antara dua tendon terdapat bagian pusat otot yang yang disebut **belli**. Bagian ini memiliki kemampuan berkontraksi. Ujung-ujung otot melekat pada tulang dengan dua tipe perlekatan, yaitu *origo* dan *insersio*.

a. Ujung otot (tendon) yang melekat pada tulang-tulang yang posisinya tetap atau sedikit bergerak saat otot berkontraksi disebut **origo**.
b. Ujung otot (tendon) yang melekat pada tulang-tulang yang mengalami perubahan posisi saat otot berkontraksi disebut **insersio**.

**Sumber:** *Tubuh Manusia, Tira Pustaka*

**Gambar 4.19**
Otot-otot yang bekerja saat kontraksi otot




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 4.20**
Perbedaan posisi aktin dan miosin saat relaksasi dan kontraksi

Secara mikroskopis otot lurik tampak tersusun atas garis-garis gelap dan terang seperti terlihat pada Gambar 4.20. Penampakan tersebut disebabkan adanya miofibril. Setiap miofibril tersusun atas satuan kontraktil yang disebut **sarkomer**. Sarkomer dibatasi dua garis Z (perhatikan gambar). Sarkomer mengandung dua jenis filamen protein tebal disebut **miosin** dan filamen protein tipis disebut **aktin**. Kedua jenis filamen ini letaknya saling bertumpang tindih sehingga sarkomer tampak sebagai gambaran garis gelap dan terang. Daerah gelap pada sarkomer yang mengandung aktin dan miosin dinamakan **pita A**, sedangkan daerah terang hanya mengandung aktin dinamakan **zona H**. Sementara itu, di antara dua sarkomer terdapat daerah terang yang dinamakan **pita I**.

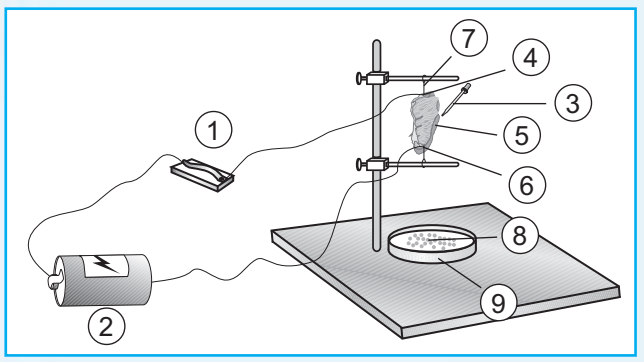
Apa yang terjadi ketika otot berkontraksi? Ketika otot berkontraksi, aktin dan miosin bertautan dan saling menggelincir satu sama lain. Akibatnya zona H dan pita I memendek, sehingga sarkomer pun juga memendek.

Lakukan eksperimen berikut untuk lebih mengetahui mekanisme kontraksi otot.

## Eksperimen 4

### Mengamati Mekanisme Kontraksi Otot

Ambillah otot betis katak lengkap dengan origo dan insersionya. Sebelum otot digunakan, rendam terlebih dahulu dalam larutan Ringer's. Rangkailah perangkat percobaan seperti pada gambar. Sambungkan arus listrik beberapa kali dengan interval waktu yang berbeda (misalnya 1 menit, 30 detik, 1 detik). Amati reaksi yang terjadi.




Keterangan gambar:
1. Penghubung arus
2. Baterai
3. Pipet tetes
4. Tendon (Origo)
5. Empal (Ventrikel)
6. Tendon (Insersio)
7. Benang
8. Larutan Ringer's
9. Petridish

**Pertanyaan:**
1. Apa yang terjadi pada otot katak saat arus listrik disambungkan?
2. Bandingkan hasilnya apabila arus listrik disambungkan terus-menerus.
3. Apa fungsi larutan Ringer's?
4. Apa fungsi baterai?
5. Apa yang dapat Anda simpulkan dari eksperimen tersebut?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Catatan: Selama percobaan otot harus selalu basah. Tetesilah dengan larutan Ringer's dari petridish untuk menjaga otot agar selalu basah.

Dalam otot terdapat zat yang sangat peka terhadap rangsang disebut **asetilkolin**. Otot yang terangsang menyebabkan asetilkolin terurai membentuk miogen yang merangsang pembentukan aktomiosin. Hal ini menyebabkan otot berkontraksi sehingga otot yang melekat pada tulang bergerak.

Jika otot dirangsang berulang-ulang secara teratur dengan interval waktu yang cukup, otot akan berelaksasi sempurna di antara 2 kontraksi. Namun jika jarak rangsang singkat, otot tidak berelaksasi melainkan akan berkontraksi maksimum atau disebut **tonus**. Jika otot terus-menerus berkontraksi, disebut **tetanus**.

Saat berkontraksi, otot membutuhkan energi dan oksigen. Oksigen diberikan oleh darah, sedangkan energi diperoleh dari penguraian ATP (adenosin trifosfat) dan kreatinfosfat. ATP terurai menjadi ADP (adenosin difosfat) + Energi. Selanjutnya, ADP terurai menjadi AMP (adenosin monofosfat) + Energi. Kreatinfosfat terurai menjadi kreatin + fosfat + energi. Energi-energi ini semua digunakan untuk kontraksi otot.

Pemecahan zat-zat akan menghasilkan energi untuk kontraksi otot berlangsung dalam keadaan anaerob sehingga fase kontraksi disebut juga **fase anaerob**.

Energi yang membentuk ATP berasal dari penguraian gula otot atau glikogen yang tidak larut. Glikogen dilarutkan menjadi laktasidogen (pembentuk asam laktat) dan diubah menjadi glukosa (gula darah) + asam laktat. Glukosa akan dioksidasi menghasilkan energi dan melepaskan $CO_2$ dan $H_2O$. Perhatikan skema di samping.

Secara singkat proses penguraian glikogen sebagai berikut.

Proses penguraian glikogen terjadi pada saat otot dalam keadaan relaksasi. Pada saat relaksasi diperlukan oksigen sehingga disebut **fase aerob**.

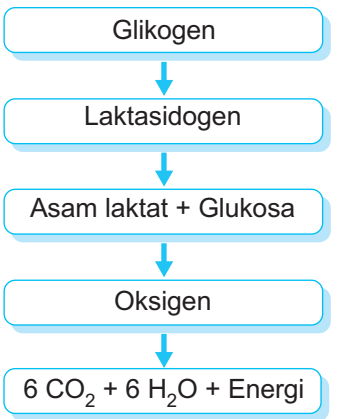
Asam laktat atau asam susu merupakan hasil samping penguraian laktasidogen. Penimbunan asam laktat di dalam otot dapat mengakibatkan pegal dan linu atau menyebabkan kelelahan otot. Penguraian asam laktat memerlukan banyak oksigen. Lakukan kegiatan diskusi berikut agar Anda lebih paham tentang cara kerja otot.

Anda tahu bahwa pembentukan energi untuk aktivitas otot diperlukan oksigen. Sehubungan hal itu diskusikan beberapa hal berikut.

1. Mengapa sehabis berlari napas kita menjadi terengah-engah?
2. Salah satu cara mengurangi pegal otot biasanya dengan mengoleskan balsam pada bagian otot yang selesai berkontraksi. Mereka berharap dengan balsam tersebut rasa pegal dapat dikurangi. Benarkah anggapan itu? Menurut Anda, bagaimana cara mengurangi kelelahan atau pegal linu pada otot?

**Vitamin B1**
**Pengusir Kelelahan**

Vitamin B1 (Thiamin) diketahui dapat mencegah penyakit beri-beri. Di samping itu, vitamin B1 juga memperbaiki metabolisme karbohidrat yang menghasilkan tenaga dan mengurangi penumpukan asam laktat pada otot yang mengalami kelelahan. Hasilnya orang yang mengonsumsinya dalam jumlah cukup akan merasa fit atau tidak lesu karena kekurangan tenaga.



**Manfaat Latihan Aerobik**

Saat berlari, pelari maraton memerlukan banyak energi. Namun, pasokan energi berjalan lambat. Oleh karena itu, mereka tidak bisa mengandalkan respirasi anaerob karena asam laktat akan melumpuhkan otot-otot. Para pelari jarak jauh melakukan latihan aerobik khusus untuk membuat sistem aerob mereka menjadi lebih efektif. Latihan aerobik meningkatkan oksigen dalam darah dan membuat jantung berdetak lebih kuat.

## 4. Gangguan atau Kelainan pada Otot

Pernahkah pada saat Anda bangun tidur merasa leher Anda terasa sakit untuk digerakkan? Mengapa bisa terjadi?

Kesalahan posisi kepala pada saat tidur dapat mengakibatkan otot leher mengalami tekanan yang salah pula. Keadaan ini mengakibatkan otot akan tegang sepanjang malam. Kondisi ini membuat leher menjadi kaku dan sakit jika digerakkan. Kelainan otot tersebut di atas dikenal dengan kaku leher (*stiff*). Apa sajakah kelainan atau gangguan pada otot?

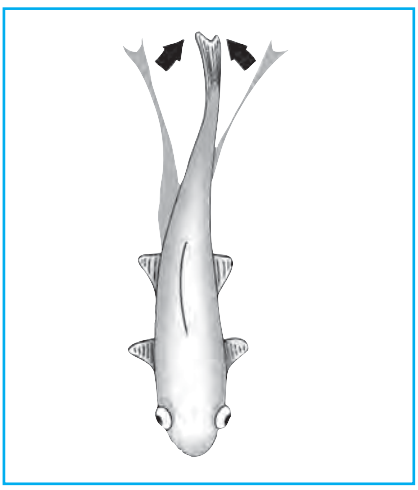
Kelainan otot dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut.

a. **Atrofi otot**, merupakan penurunan fungsi otot karena otot mengecil atau karena kehilangan kemampuan berkontraksi, misalnya lumpuh.
b. **Distorsi otot**, penyakit ini diperkirakan merupakan penyakit genetis dan bersifat kronis pada otot anak-anak.
c. **Hipertrofi otot**, merupakan kelainan otot yang menyebabkan otot menjadi lebih besar dan lebih kuat karena sering digunakan, misalnya pada binaragawan.
d. **Hernia abdominal**, kelainan ini terjadi apabila dinding otot abdominal sobek dan menyebabkan usus melorot masuk ke rongga perut.
e. **Kelelahan otot**, karena kontraksi secara terus-menerus menyebabkan kram atau kejang.
f. **Tetanus**, merupakan penyakit yang menyebabkan otot menjadi kejang karena bakteri tetanus.

## 5. Mekanisme Gerak pada Berbagai Hewan Vertebrata

Anda telah mengetahui mekanisme dan alat gerak pada manusia. Apakah hal yang sama juga terjadi pada hewan Vertebrata?

Sebelum kita membahas proses gerak lebih mendalam, lakukan terlebih dahulu kegiatan berikut.



**Sumber:** *Biology for You, Gareth Williams*

**Gambar 4.21**
Gerakan ekor ikan berfungsi untuk menggerakkan tubuh ke depan

### Tugas Kelompok

Lakukan pengamatan terhadap gerakan seekor burung atau kucing.

1. Amatilah gerakan burung saat akan terbang. Bagaimana burung itu mengawali gerakan saat akan terbang?
2. Amati gerakan kucing saat berusaha berhenti setelah berlari kencang. Apa yang dilakukan kucing tersebut?

Buatlah laporan tugas kelompok Anda dan presentasikan.

Pada dasarnya rangka hewan Vertebrata sama dengan manusia. Namun, bentuk rangka pada setiap hewan disesuaikan dengan fungsi, tempat hidup, dan cara hidupnya.

Ikan mempunyai struktur rangka yang mendukung mekanisme geraknya dalam air. Lihat Gambar 4.21. Ikan bergerak dengan meliuk-liukkan rangka tubuhnya sehingga tubuhnya terdorong ke depan. Siripnya berfungsi sebagai kemudi dan alat penjaga keseimbangan. Namun, kuda laut (*Hyppocampus*)

bergerak dengan dorongan sirip punggung yang berfungsi seperti baling-baling kapal. Pada ikan buntal, siripnya berfungsi sebagai pendorong gerakan maju.

Bagaimana dengan katak? Coba perhatikan Gambar 4.22. Tungkai belakang katak jauh lebih besar daripada tungkai bagian depan. Tungkai belakang katak berfungsi untuk melompat. Oleh karenanya, struktur tungkai belakang katak harus lebih kukuh. Tungkai depan katak terlihat lebih kecil, tetapi mampu menahan tubuhnya saat mendarat.

Burung memiliki struktur tubuh seperti hewan bertulang belakang lainnya, kecuali kedua tungkai depannya berubah menjadi sayap. Lihat Gambar 4.23. Burung mempunyai sejumlah ciri-ciri khusus yang berhubungan dengan kemampuan terbang. Ciri-ciri khusus itu sebagai berikut.

a. Sebagian ruas tulang belakang menjadi satu membentuk titik tumpu yang kuat sewaktu sayap dikepakkan.
b. Tulang yang besar biasanya berongga. Hal ini untuk mengurangi bobot badan. Berat rangka burung hanya 4% dari seluruh berat badan.
c. Pada tulang dada yang berlunas dalam, melekat otot-otot terbang yang kukuh untuk menggerakkan sayap.

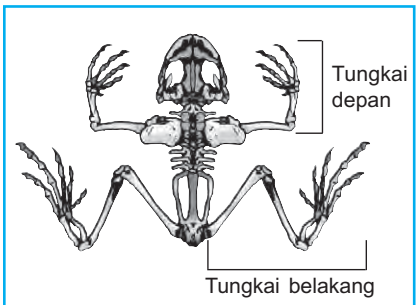
Selain bergerak dengan cara terbang, ada beberapa jenis burung juga dapat berenang dengan kakinya. Burung yang dapat berenang umumnya memiliki selaput pada kakinya.

Golongan reptil misalnya kadal, mempunyai perkembangan yang baik pada rangka bagian tungkai. Begitu pula dengan jenis cecak. Struktur telapak kaki cecak memiliki bantalan kaki pelekat sehingga memungkinkan gerakan memanjat dinding dan berlari di langit-langit secara terbalik. Pada ular, gerakan terjadi saat rangka tubuh meliuk ke kiri dan ke kanan. Gerakan ini dikenal sebagai **lokomosi berkelok-kelok**. Bagian samping tubuh ular bertumpu pada bagian permukaan yang tidak rata dan bila ayunan gelombang sampai ke belakang, ular akan meluncur ke depan dengan sisik licin yang menutupi perutnya. Golongan reptil yang lain misalnya penyu, mempunyai sirip pipih sehingga menjadi perenang yang baik. Namun, keberadaan sirip tersebut justru membuat penyu susah bergerak di darat.

Tungkai pada reptil terletak di samping tubuh. Akibatnya reptil memiliki badan yang menggantung di antara kaki. Proporsi tubuh dengan keempat alat gerak menopang seluruh tubuh ini menyebabkan reptil memiliki keseimbangan yang lebih stabil dibandingkan mamalia. Pada mamalia yang paling berfungsi menopang tubuh adalah tungkai tubuh bagian bawah. Meskipun demikian, dengan tipe tubuh seperti itu mamalia menjadi lebih leluasa bergerak.

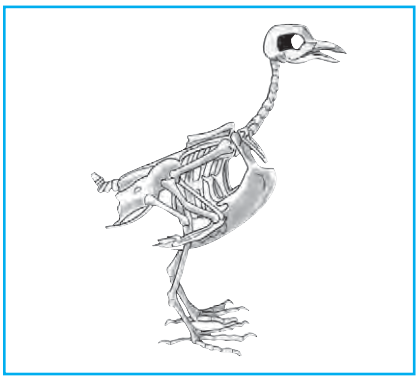
Cara mamalia berjalan dapat dibedakan sebagai berikut.

a. **Hewan pejalan sol** berjalan dengan seluruh bagian telapak kakinya mengenai atau menyentuh tanah (misalnya beruang, landak, tikus pondok, dan lain-lain). **Hewan pejalan setengah pejalan sol** adalah hewan yang berjalan di atas jari kakinya pada saat berjalan cepat. Manusia termasuk setengah pejalan sol.




**Sumber:** *Ensiklopedi Indonesia Seri Fauna: Reptilia dan Amfibia, Redaksi Ensiklopedi Indonesia*

**Gambar 4.22**
Rangka katak



**Sumber:** *Biology for You, Gareth Williams*

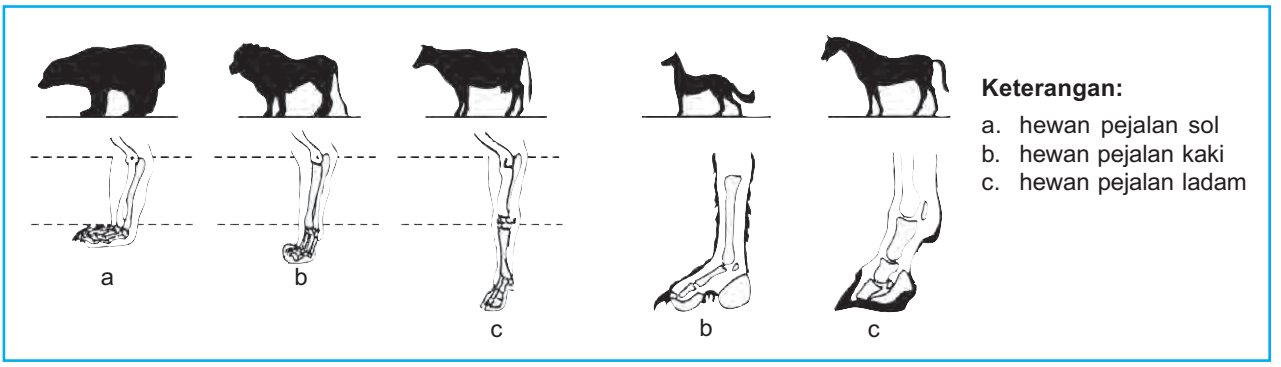
**Gambar 4.23**
Rangka tulang burung

**Tahukah Anda**

**Kekuatan Otot**

Sebuah otot dapat mengangkat benda hingga 1.000 kali beratnya sendiri. Para ilmuwan telah menghitung bahwa otot-otot dalam tubuh seseorang mengandung kekuatan yang cukup untuk mengangkat benda seberat 25 ton.

b. **Hewan pejalan kaki** berjalan dengan jari-jari kakinya yang mengenai atau menyentuh permukaan tanah (terdapat pada kebanyakan hewan pemangsa seperti singa, anjing, kucing, dan lain-lain).
c. **Hewan pejalan ladam** berjalan dengan ujung telapak (ladam) kakinya yang keras (misalnya kuda, sapi, kambing, domba, dan lain-lain).




**Sumber:** *Biologi, Kimball*

**Gambar 4.24**
Cara mamalia berjalan

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa perbedaan struktur otot jantung, otot lurik, dan otot polos?
2. Bagaimanakah pembebasan dan penggunaan energi pada mekanisme kontraksi otot?
3. Apakah semua ujung otot yang berhubungan dengan tulang akan bergerak saat mengalami kontraksi?
4. Jelaskan mekanisme kontraksi dan relaksasi otot.
5. Apakah ”kram” otot itu? Mengapa hal itu dapat terjadi?

## Rangkuman

1. Sistem gerak terbagi dua, yaitu sistem gerak aktif dan sistem gerak pasif.
2. Menurut jenisnya, tulang dibedakan menjadi tulang rawan dan tulang keras.
3. Menurut bentuknya, tulang dibedakan menjadi tulang pipih, tulang pendek, dan tulang pipa.
4. Fungsi tulang rangka sebagai berikut.
   a. Alat gerak pasif.
   b. Memberi bentuk tubuh.
   c. Melindungi alat-alat atau bagian tubuh yang lunak.
   d. Tempat melakatnya otot-oto rangka.
   e. Tempat pembentukan sel darah dan penimbunan mineral.

5. Skeleton terbagi dua, yaitu skeleton aksial dan skeleton apendikuler.
6. Ada 3 jenis persendian, yaitu sinartrosis, amfiartrosis, dan diartrosis.
7. Jenis-jenis persendian diartrosis yaitu sendi engsel, sendi pelana, sendi putar, sendi peluru, sendi geser, dan sendi luncur.
8. Berdasarkan jenisnya, otot terbagi menjadi tiga yaitu otot lurik, otot polos, dan otot jantung.
9. Otot lurik bekerja secara sadar, kontraksinya cepat, tidak teratur, dan mudah lelah.
10. Otot polos bekerja secara tidak sadar, lambat, teratur, dan tidak mudah lelah.
11. Otot jantung bekerja secara tidak sadar, lambat, teratur, dan tidak mudah lelah.
12. Tendon memiliki dua tipe pelekatan yaitu origo dan insersio.
13. Miofibril tersusun atas satuan kontraktil atau sarkomer. Sarkomer mengandung dua jenis filamen protein tebal disebut miosin dan filamen protein tipis disebut aktin.
14. Saat berkontraksi otot membutuhkan energi dan oksigen. Oksigen diberikan oleh darah, sedangkan energi diperoleh dari penguraian ATP dan kreatinfosfat.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Tulang disebut alat gerak pasif, sebab . . . .
   a. melekat pada otot rangka
   b. saling berhubungan membentuk sendi
   c. tidak mempunyai kemampuan berkontraksi
   d. sebagai tempat pembentukan sel-sel darah
   e. merupakan penopang dan penunjang bentuk tubuh.
2. Saat perkembangan embrio, rangka tubuh masih berupa tulang rawan. Selanjutnya rongga dalam tulang rawan tersebut akan terisi oleh sel-sel pembentuk tulang yang disebut . . . .
   a. osteoblas
   b. osteosit
   c. kondrosit
   d. kondroblas
   e. kondrin
3. Sendi yang menghubungkan tulang-tulang tengkorak disebut . . . .
   a. amfiartrosis
   b. diartrosis
   c. sinkondrosis
   d. sinostosis
   e. suture
4. Tulang rawan pada orang dewasa berasal dari . . . .
   a. kondroblas
   b. kondrin
   c. perikondrium
   d. mesenkim
   e. osteoblas
5. Perhatikan jenis-jenis tulang berikut.
   1) tulang pipa
   2) tulang rawan
   3) tulang pipih
   4) tulang pendek
   5) tulang spons

   Kelompok tulang berdasarkan bentuknya ditunjukkan oleh nomor . . . .
   a. 1), 2), dan 3)
   b. 1), 3), dan 4)
   c. 2), 3), dan 4)
   d. 2), 3), dan 5)
   e. 3), 4), dan 5)
6. Pada proses osifikasi, terjadi pengisian matriks-matriks tulang oleh . . . .
   a. protein dan lemak
   b. sulfat dan fosfor
   c. kapur dan fosfor
   d. kapur dan karbon
   e. karbon dan hidrogen

7. Suatu sistem pada tulang yang terbentuk oleh sel-sel tulang yang tersusun secara konsentris dan melingkari pembuluh darah dan saraf disebut sistem . . . .
   a. pembuluh
   b. Havers
   c. sendi
   d. rangka
   e. saraf

8. Ciri-ciri tulang rusuk sejati yaitu . . . .
   a. jumlah 2 pasang, dan ujung belakang melekat pada tulang belakang, dan ujung depan melekat pada tulang rusuk di atasnya
   b. jumlah 3 pasang, ujung belakang melekat pada tulang belakang, dan ujung depan melekat pada tulang rusuk di atasnya
   c. jumlah 3 pasang, ujung belakang melekat pada tulang belakang, dan ujung depan melekat pada tulang dada
   d. jumlah 7 pasang, ujung belakang melekat pada tulang belakang, dan ujung depan melekat pada tulang rusuk di atasnya
   e. jumlah 7 pasang, ujung belakang melekat pada tulang belakang, dan ujung depan melekat pada tulang dada

9. Perhatikan beberapa jenis tulang berikut.
   1) tulang usus
   2) tulang selangka
   3) tulang duduk
   4) tulang kemaluan
   5) tulang belikat

   Gelang panggul merupakan persatuan dari tulang-tulang . . . .
   a. 1), 3), dan 4)
   b. 1), 4), dan 5)
   c. 2), 3), dan 5)
   d. 2), 4), dan 5)
   e. 3), 4), dan 5)

10. Antara tengkorak dengan tulang atlas dihubungkan oleh sendi . . . .
   a. pelana
   b. putar
   c. engsel
   d. peluru
   e. geser

11.

   Persendian yang terjadi pada gambar di samping berupa sendi . . . .
   a. peluru
   b. pelana
   c. geser
   d. putar
   e. luncur

12. Tulang tengkorak pada bayi (sebelum mengalami osifikasi) dihubungkan oleh jaringan ikat. Hubungan ini disebut . . . .
   a. sinartrosis
   b. sinostrosis
   c. sinkondrosis
   d. diartrosis
   e. sinfibrosis

13. Kelainan bentuk tulang belakang seperti gambar di samping disebut . . . .

   a. lordosis
   b. skoliosis
   c. kifosis
   d. rakitis
   e. artritis

14. Kerusakan selaput tulang yang mengakibatkan sebagian tulang mati dan mengering disebut . . . .
   a. infeksi
   b. artritis sika
   c. artritis eksudatif
   d. nekrosis
   e. layuh sendi

15. Perhatikan ciri-ciri gangguan sistem gerak berikut ini.
   1) Rasa nyeri pada jaringan pengikat.
   2) Sendi menjadi bengkak.
   3) Terjadi kekejangan pada otot-otot penggerak.
   4) Tulang rawan mengalami degenerasi.

   Berdasarkan ciri-ciri di atas, jenis gangguan pada sistem gerak itu disebut . . . .
   a. reumathoid
   b. osteoartritis
   c. layuh semu
   d. rakitis
   e. ”gout” artritis

16. Otot lurik disebut juga sebagai otot seran lintang karena . . . .
   a. otot lurik mampu berkontraksi
   b. mempunyai percabangan
   c. miofibril dalam plasma berwarna gelap dan terang
   d. berbentuk gelendong
   e. berinti banyak dan terletak di tepi

17. Perbedaan struktur otot polos dengan otot yang lain yaitu . . . .
   a. mempunyai percabangan yang menghubungkan sel satu dengan yang lain
   b. membentuk gelendong
   c. berinti banyak dan terletak di tengah
   d. tersusun atas serabut-serabut
   e. dilindungi oleh fasia propia

18. Kontraksi otot bisep dan trisep saat kita bermain tenis meja yaitu . . . .
    a. abduksi dan adduksi
    b. depresi dan elevasi
    c. supinasi dan pronasi
    d. rotasi dan ekstensi
    e. fleksi dan ekstensi
19. Fungsi larutan Ringer's yaitu . . . .
    a. melindungi jaringan agar dapat tetap hidup meski terpisah dari organ tubuh yang lain
    b. agar origo dapat berubah posisi saat kontraksi
    c. melindungi posisi fasia
    d. mempercepat proses kontraksi
    e. menjaga kedudukan origo dan insersio
20. Rasa pegal atau linu setelah melakukan aktivitas berat disebabkan oleh . . . .
    a. timbunan asam fosfat
    b. timbunan asam laktat
    c. bergesernya posisi fasia
    d. berkurangnya $O_2$ pada otot
    e. penguraian asam laktat
21. Protein spesifik yang membentuk serat otot yaitu . . . .
    a. aktin
    b. sarkoplasma
    c. miosin
    d. sarkolemma
    e. aktomiosin
22. Di antara jenis vitamin berikut yang dapat membantu mengurangi timbunan asam laktat dalam otot yaitu . . . .
    a. vitamin $B_1$
    b. vitamin C
    c. vitamin K
    d. vitamin A
    e. vitamin E
23. Pada saat otot berkontraksi, terjadi proses kimiawi yang menghasilkan energi dengan persamaan reaksi . . . .
    a. glukosa + $O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + E$
    b. ATP + ADP $\rightarrow$ P + E
    c. ATP + AMP $\rightarrow$ P + E
    d. ATP + $O_2 \rightarrow$ ADP + P + E
    e. ADP + ATP $\rightarrow$ P + E
24. Otot pada binaragawan terlihat kekar. Namun dilihat dari segi kesehatan, otot tersebut termasuk suatu kelainan yang disebut . . . .
    a. hernia abdominal
    b. hipertrofi otot
    c. atrofi otot
    d. distorsi otot
    e. miastenia gravis
25. Orang yang mengalami koma dalam jangka waktu lama, saat siuman tidak segera dapat menggerakkan anggota badannya seperti orang normal. Selain karena masih dalam kondisi pemulihan, hal itu juga terjadi karena otot mengecil. Kelainan ini disebut . . . .
    a. stiff
    b. tetanus
    c. atrofi otot
    d. hipertrofi otot
    e. distorsi otot

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bedakan antara tetanus dengan tonus pada otot rangka.
2. Mengapa tulang pada orang dewasa tidak dapat mengalami pertumbuhan?
3. Mengapa struktur tulang panggul wanita berbeda dengan pria?
4. Persendian jenis apakah yang terdapat pada tengkorak? Mengapa tulang belakang pada tengkorak tidak dapat bergerak?
5. Terangkan mekanisme terjadinya kontraksi otot.

C. *Berpikir kritis.*

Pada masa pemerintahan ratu Inggris (1837–1901), gadis-gadis kecil yang berasal dari kalangan status sosial menengah ke atas sudah disuruh mengenakan korset sejak usia 3–4 tahun. Secara bertahap korset ini diperpanjang, diperkaku, dan diperketat.

Pada usia remaja, para gadis sudah terbiasa mengenakan korset berbahan gips yang kuat, yang ditopang rangka tulang ikan paus atau besi. Saat itu otot punggung mereka sudah terlanjur lemah sehingga tidak mampu duduk atau berdiri lama tanpa ditopang. Korset juga dapat mengganggu sistem kerja alat-alat tubuh bagian dalam, sehingga wanita tidak bisa menarik napas panjang.

**Sumber:** *Intisari*

**Pertanyaan:**

1. Mengapa korset dapat mengganggu sistem kerja alat-alat tubuh bagian dalam?
2. Mengapa otot punggung mereka menjadi lemah?

## Refleksi

**Sistem Gerak pada Manusia dan Hewan Vertebrata**

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa yang dimaksud sistem gerak pasif dan sistem gerak aktif?
2. Apa fungsi tulang?
3. Apa fungsi otot?
4. Sebutkan tipe-tipe persendian dan contoh-contohnya.
5. Apa perbedaan otot jantung, otot lurik, dan otot polos?
6. Sebutkan gangguan dan kelainan yang dapat menyerang tulang dan otot.
7. Bagaimana cara kerja kontraksi otot?
8. Jelaskan bentuk rangka hewan-hewan Vertebrata.

Pelajari kembali

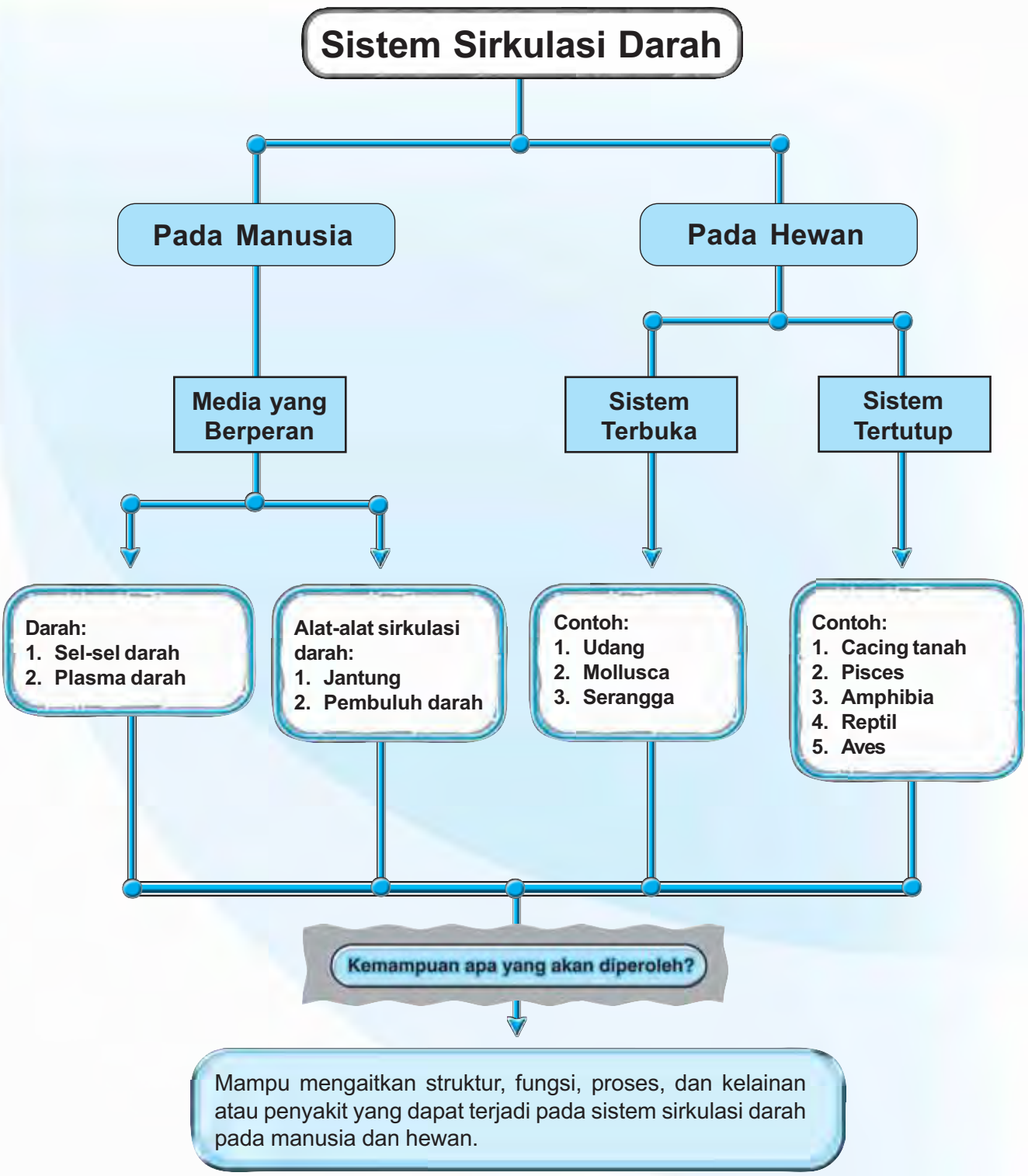
Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%

**Pelajari materi bab berikutnya**

# Bab V

# Sistem Sirkulasi Darah pada Manusia dan Hewan



## Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Anemia merupakan salah satu jenis penyakit yang banyak dijumpai di masyarakat. Orang awam lebih mengenal anemia dengan penyakit kurang darah. Anemia ditandai dengan badan lesu, mata berkunang-kunang, dan kepala pusing sehingga menyebabkan aktivitas menurun. Jika gejala seperti ini Anda alami, segera periksakan ke dokter. Anemia atau kurang darah jangan Anda sepelekan, karena darah merupakan komponen penting dalam tubuh Anda. Itulah salah satu jenis penyakit yang dapat terjadi pada sistem peredaran darah.

Pada bab ini, Anda akan mempelajari tentang sistem peredaran darah manusia dan hewan. Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan dapat menjelaskan struktur, fungsi, dan proses yang terjadi pada sistem peredaran darah. Selain itu, Anda juga diharapkan dapat menjaga kesehatan sistem peredaran darah.

### Kata Kunci

sirkulasi darah
eritrosit
leukosit
trombosit
plasma darah
resipien
donor jantung
arteri
vena
kapiler
golongan darah
diastole
sistole
atrium
ventrikel

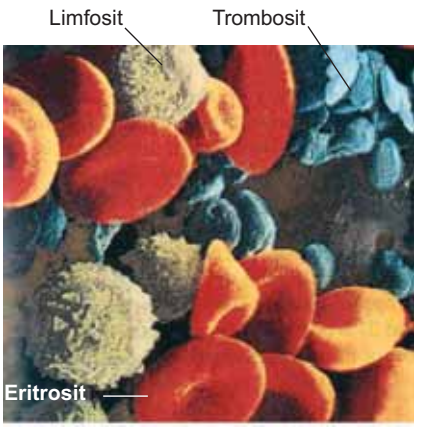
Darah memang bukan sembarang cairan biasa. Cairan yang identik dengan warna merah ini mempunyai peranan yang luar biasa bagi tubuh. Beredarnya darah dalam tubuh tidak dapat terlepas dari alat-alat sirkulasi. Pada waktu SMP kelas VIII, Anda tentu telah mempelajari sistem sirkulasi darah pada manusia. Bagaimana sistem sirkulasi darah pada manusia itu? Anda akan mempelajarinya secara mendalam dalam subbab berikut.

## A. Sistem Sirkulasi Darah pada Manusia

Setiap saat, dalam tubuh manusia terjadi proses sirkulasi berbagai macam zat yang dibutuhkan tubuh. Diperlukan media pengantar dan alat-alat yang turut berperan dalam sirkulasi untuk melakukan proses ini. Media dan alat-alat ini bekerja bersama-sama membentuk suatu sistem yang dikenal dengan sistem sirkulasi darah. Media yang berperan mengedarkan zat-zat penting ke seluruh tubuh ini adalah **darah**.

### 1. Darah

Darah merupakan suspensi berwarna merah yang terdapat dalam pembuluh darah. Warna merah ini dapat berubah-ubah, kadang-kadang berwarna merah tua dan kadang-kadang berwarna merah muda. Hal ini tergantung pada kadar oksigen dan karbon dioksida yang terkandung di dalamnya. Dalam tubuh manusia mengalir sekitar 6 liter darah. Darah manusia terdiri dari dua komponen, yaitu **sel-sel darah** dan **plasma darah** atau **cairan darah**. Struktur sel darah manusia dapat Anda amati pada Gambar 5.1 dan pada Tabel 5.2. Sementara itu, komponen plasma darah beserta strukturnya terdapat pada Tabel 5.1.



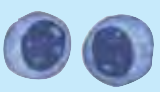

**Sumber:** *Biology, Glenn dan Susan Toole*

**Gambar 5.1**
Struktur sel darah manusia

**Tabel 5.1** Komponen Plasma Darah Beserta Strukturnya

| Komponen Plasma 55% | Struktur |
|---|---|
| Air 90–92%<br>Zat-zat terlarut 7–8%<br>• Protein<br>• Garam mineral<br>• Bahan organik<br>• Sisa metabolik<br>• Hormon<br>• Gas | Cairan berwarna kuning pucat |

**Tabel 5.2** Komponen Sel-Sel Darah Beserta Strukturnya

| Komponen Sel-Sel Darah 45% | Struktur | Per $mm^3$ Darah |
|---|---|---|
| Eritrosit | | 4–6 juta |
| Leukosit |  | 4,5–10 ribu |
| Trombosit | | 150–300 ribu |

Coba Anda lakukan kegiatan berikut untuk mengenal dua komponen penyusun darah.

**Tugas Kelompok**

Sediakan darah segar kambing atau sapi. Darah segar ini, dapat Anda peroleh dari tukang jagal kambing atau sapi. Setelah itu, tempatkan darah tersebut dalam tabung reaksi. Diamkan beberapa saat dan amati apa yang terjadi. Tentukan sel-sel darah dan plasma darahnya.

## a. Sel-Sel Darah

Sel-sel darah merupakan sel-sel hidup. Dari kegiatan di atas Anda dapat melihat adanya dua lapisan dari darah yang didiamkan. Lapisan atas berupa cairan darah atau plasma darah. Lapisan bawah merupakan sel-sel darah yang terdiri dari **eritrosit** (sel-sel darah merah), **leukosit** (sel-sel darah putih), **trombosit** (keping-keping darah atau sel pembeku darah).

Setiap bagian dari sel-sel darah ini memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda-beda. Simak uraian berikut agar Anda dapat mengetahuinya dengan lebih jelas.

### 1) *Eritrosit (Sel Darah Merah)*

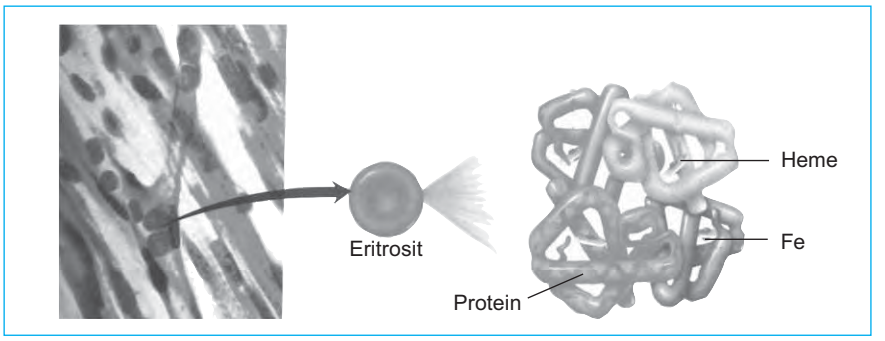
Eritrosit merupakan bagian utama dari sel-sel darah. Setiap $mm^3$ darah pada seorang laki-laki dewasa mengandung kira-kira 5 juta sel darah merah dan pada seorang perempuan dewasa kira-kira 4 juta sel darah merah. Tiap-tiap sel darah merah mengandung 200 juta molekul hemoglobin. Hemoglobin (Hb) merupakan suatu protein yang mengandung senyawa besi *hemin*. Hemoglobin mempunyai fungsi mengikat oksigen di paru-paru dan mengedarkan ke seluruh jaringan tubuh. Jadi, dapat dikatakan bahwa di paru-paru terjadi reaksi antara hemoglobin dengan oksigen.

$2\ Hb_2 + 4\ O_2 \rightarrow 4\ Hb\ O_2$ (**oksihemoglobin**)

Setelah sampai di sel-sel tubuh, terjadi reaksi pelepasan oksigen oleh Hb.

$4\ Hb\ O_2 \rightarrow 2\ Hb_2 + 4\ O_2$

Kandungan hemoglobin inilah yang membuat darah berwarna merah. Amatilah Gambar 5.2 untuk mengenal struktur hemoglobin.




**Sumber:** *Inquiry into life, S.S Mader*

**Gambar 5.2**
Struktur hemoglobin

Eritrosit mempunyai bentuk bikonkaf, seperti cakram dengan garis tengah 7,5 μm, dan tidak berinti. Warna eritrosit kekuning-kuningan dan dapat berwarna merah karena dalam sitoplasmanya terdapat pigmen warna merah berupa hemoglobin.

Eritrosit dibentuk dalam sumsum merah tulang pipih, misalnya di tulang dada, tulang selangka, dan di dalam ruas-ruas tulang belakang. Pembentukannya terjadi selama tujuh hari. Pada awalnya eritrosit mempunyai inti, kemudian inti lenyap dan hemoglobin terbentuk. Setelah hemoglobin terbentuk, eritrosit dilepas dari tempat pembentukannya dan masuk ke dalam sirkulasi darah.

Eritrosit dalam tubuh dapat berkurang karena luka sehingga mengeluarkan banyak darah atau karena penyakit, seperti malaria dan demam berdarah. Keadaan seperti ini dapat mengganggu pembentukan eritrosit.

Masa hidup eritrosit hanya sekitar 120 hari atau 4 bulan, kemudian dirombak di dalam hati dan limpa. Sebagian hemoglobin diubah menjadi **bilirubin** dan **biliverdin**, yaitu pigmen biru yang memberi warna empedu. Zat besi hasil penguraian hemoglobin dikirim ke hati dan limpa, selanjutnya digunakan untuk membentuk eritrosit baru. Kira-kira setiap hari ada 200.000 eritrosit yang dibentuk dan dirombak. Jumlah ini kurang dari 1% dari jumlah eritrosit secara keseluruhan.

Lakukan eksperimen berikut untuk melihat bentuk eritrosit secara langsung.

**Tahukah Anda**

**Memperlambat Kehilangan Darah**

**Sumber:** *Ilmu Kedokteran, Balai Pustaka*

Apabila seseorang mengalami luka besar, memungkinkan darah banyak yang keluar, sehingga pasien tidak sadarkan diri bahkan meninggal. Oleh karena itu, pendarahan perlu dikendalikan dengan cara menekan langsung tempat yang terluka, kemudian membalutnya dengan perban.

**Eksperimen 1**

**Mengamati Bentuk Eritrosit**

Sediakan jarum lanset, kaca preparat, kapas, alkohol 70%, dan larutan Hayem. Usap salah satu jari dengan kapas yang telah dibasahi alkohol 70%. Tusuk jari tersebut menggunakan jarum lanset, kemudian teteskan darah sebanyak 1 tetes pada kaca preparat. Tetesi darah pada kaca preparat dengan larutan Hayem sebanyak 2 tetes. Kemudian tutup menggunakan kaca penutup. Amati menggunakan mikroskop dan gambarlah penampakan sel-sel eritrosit tersebut. Warnai gambar yang telah Anda buat.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana ciri-ciri eritrosit?
2. Apakah sel-sel tersebut mempunyai inti?
3. Apa kesimpulan dari eksperimen ini?

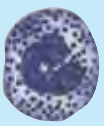
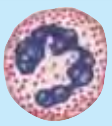
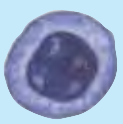
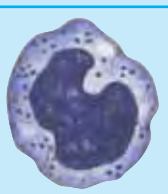
Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

### 2) *Leukosit (Sel Darah Putih)*

Jumlah leukosit lebih sedikit dibandingkan dengan eritrosit. Pada laki-laki dan perempuan dewasa setiap $mm^3$ darah hanya terdapat kira-kira 4.500 sampai 10.000 butir. Leukosit mempunyai bentuk bervariasi dan mempunyai ukuran lebih besar dari eritrosit. Leukosit mempunyai inti bulat dan cekung. Sel-sel ini dapat bergerak bebas secara amuboid serta dapat menembus dinding kapiler (**diapedesis**).

Leukosit dapat dibedakan menjadi dua, yaitu **granulosit** (plasmanya bergranula) dan **agranulosit** (plasmanya tidak bergranula). Apa perbedaan kedua jenis leukosit tersebut? Pelajarilah dalam Tabel 5.3 berikut.

**Tabel 5.3** Jenis-Jenis Leukosit Granulosit dan Agranulosit

| Leukosit | | Keterangan |
|---|---|---|
| Bergranula |  Basofil | • Setiap $mm^3$ darah mengandung 20–50 butir.<br>• Plasma bersifat basa dan terdapat bintik-bintik biru yang mengandung histamin.<br>• Bersifat fagosit. |
| | Eosinofil | • Tiap $mm^3$ darah mengandung 100–400 butir.<br>• Plasma bersifat asam dan terdapat bintik-bintik biru.<br>• Bersifat fagosit. |
| |  Neutrofil | • Tiap $mm^3$ darah mengandung 3.000–7.000 butir.<br>• Plasma bersifat netral dan terdapat bintik-bintik.<br>• Bersifat fagosit. |
| Tidak Bergranula |  Limfosit | • Tiap $mm^3$ darah mengandung 1.500–3.000 butir.<br>• Dapat bergerak bebas, dapat membentuk zat antibodi. |
| |  Monosit | • Tiap $mm^3$ darah mengandung 100–700 butir.<br>• Dapat bergerak cepat.<br>• Bersifat fagosit.<br>• Monosit dapat membesar dan berkembang menjadi makrofag. Makrofag merupakan sel fagositik terbesar dan berumur panjang. |

Lakukan eksperimen berikut agar Anda dapat mengamati leukosit dengan lebih jelas.

## Eksperimen 2

### Mengamati Bentuk Leukosit

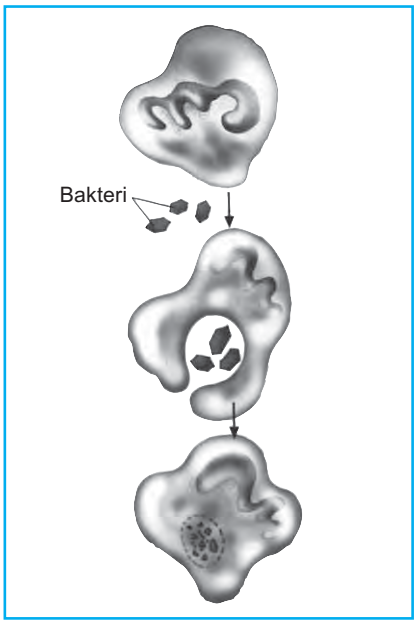
Sediakan jarum lanset, kaca preparat, kapas, alkohol 70%, dan larutan Turk. Usap salah satu jari dengan kapas yang telah dibasahi alkohol 70%. Tusuk jari tersebut menggunakan jarum lanset, kemudian teteskan darah sebanyak 1 tetes pada kaca preparat. Tetesi darah pada kaca preparat dengan larutan Turk sebanyak 2 tetes. Kemudian tutup menggunakan kaca penutup. Amati menggunakan mikroskop dan gambar serta warnailah penampakan sel-sel leukosit tersebut.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana ciri-ciri sel leukosit?
2. Bagaimana bentuk inti sel-sel ini?
3. Apa kesimpulan dari eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Leukosit dibentuk dalam sumsum tulang merah, limpa, kelenjar limpa, dan jaringan retikuloendotelium. Tugas utama leukosit adalah ”memakan” kuman penyakit dan benda-benda asing lain, seperti bakteri yang ada di dalam tubuh. Oleh sebab itu, leukosit dikenal sebagai **fagosit**. Proses fagositosis pada leukosit dapat Anda amati pada Gambar 5.3. Selain itu, leukosit khususnya limfosit dapat melemahkan bakteri atau zat-zat berbahaya yang masuk ke dalam tubuh. Kadang-kadang leukosit juga sebagai alat pengangkut lemak sehingga leukosit lebih banyak terdapat di dalam **pembuluh kil** dan **pembuluh limfa**.



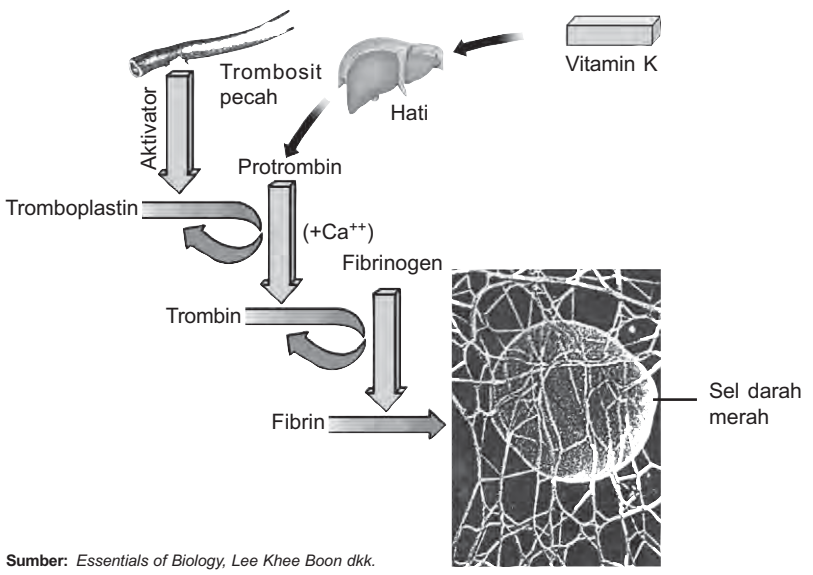

**Sumber:** *Essentials of Biology, Lee Khee Boon dkk*

**Gambar 5.3**
Proses fagositosis pada leukosit

### 3) *Trombosit (Keping Darah)*

Trombosit berbentuk oval tidak berinti, berukuran kecil, yaitu sekitar 3–4 mm. Pada umumnya setiap $mm^3$ darah terdapat 150.000 sampai 350.000 trombosit. Trombosit dibentuk dalam sumsum tulang dan mempunyai umur lebih kurang 10 hari. Trombosit mudah pecah dan akan mengeluarkan enzim trombosit atau tromboplastin. Enzim ini berperan dalam proses pembekuan darah.

Proses pembekuan darah dapat Anda amati pada Gambar 5.4 berikut.

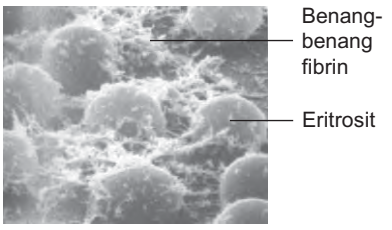



**Sumber:** *Essentials of Biology, Lee Khee Boon dkk.*

**Gambar 5.4**
Proses pembekuan darah

**Protrombin** adalah senyawa globulin yang larut dalam plasma dan dibuat di hati dengan bantuan vitamin K. Kalau kekurangan vitamin K, pembentukan protrombin terganggu. Dengan demikian, proses pembekuan darah juga terganggu.

Jika terjadi luka, darah keluar sehingga darah berhubungan dengan udara. **Trombosit** yang keluar bersama darah akan pecah karena bergesekan dengan luka dan mengeluarkan **trombokinase** atau **tromboplastin**. Dengan bantuan ion-ion $Ca^{2+}$, tromboplastin mengubah **protrombin** dalam darah menjadi **trombin**. Trombin akan mengubah **fibrinogen** yang ada dalam darah menjadi **benang-benang fibrin**, yaitu berupa benang-benang halus yang menutup luka sehingga darah tidak keluar lagi. Lihat Gambar 5.5. Lakukan eksperimen berikut untuk mengetahui proses pembekuan darah.




**Sumber:** *Comprehensive Biology; Lam Peng Kwan*

**Gambar 5.5**
Benang-benang fibrin

## Eksperimen 3

**Mengamati Proses Pembekuan Darah**

Sediakan jarum lanset, kaca preparat, tusuk gigi, kapas, alkohol 70%, dan *stop-watch*. Dari kelompok Anda pilihlah 1 orang sebagai probandus.

Usaplah salah satu jari probandus dengan kapas yang telah dibasahi alkohol 70%. Tusuk jari tersebut menggunakan jarum lanset, kemudian teteskan darah sebanyak 2 tetes pada gelas benda.

Aduk perlahan-lahan tetesan darah sampai darah mengental dan terlihat benang-benang fibrin. Aduklah menggunakan tusuk gigi.

Catat waktu yang diperlukan darah untuk menjendal, dimulai dari adukan dengan tusuk gigi sampai terlihat benang-benang. Bandingkan waktu pembekuan darah kelompok Anda dengan kelompok lain. Catatlah hasil pengamatan dalam tabel berikut.

**Pertanyaan:**

| Probandus | Waktu (Detik) |
|---|---|
| Kelompok 1 | . . . |
| Kelompok 2 | . . . |
| Kelompok 3 | . . . |
| dst. | . . . |

1. Mengapa darah akan mengental setelah diaduk menggunakan tusuk gigi?
2. Jelaskan proses pembekuan darah.
3. Apa kesimpulan dari eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

### b. Plasma Darah (Cairan Darah)

Coba ingat kembali hasil eksperimen Anda tentang dua lapisan darah yang terbentuk saat darah didiamkan. Di depan telah dibahas pula mengenai lapisan bawah yang terdiri atas sel-sel darah. Kini akan dibahas mengenai lapisan atas yang berupa plasma darah (cairan darah). Plasma darah ini mengandung berbagai macam zat organik, anorganik, dan air.

Senyawa atau zat-zat kimia yang larut dalam cairan darah antara lain sebagai berikut.

1) Sari makanan dan mineral yang terlarut dalam darah, misalnya monosakarida, asam lemak, gliserin, kolesterol, asam amino, dan garam-garam mineral.
2) Enzim, hormon, dan antibodi, sebagai zat-zat hasil produksi sel-sel.
3) Protein yang terlarut dalam darah, molekul-molekul ini berukuran cukup besar sehingga tidak dapat menembus dinding kapiler.
   Contoh:
   a) *Albumin*, berguna untuk menjaga keseimbangan tekanan osmotik darah.
   b) *Globulin*, berperan dalam pembentukan *g-globulin*, merupakan komponen pembentuk zat antibodi.
   c) *Fibrinogen*, berperan penting dalam pembekuan darah.
4) Urea dan asam urat, sebagai zat-zat sisa dari hasil metabolisme.
5) $O_2$, $CO_2$, dan $N_2$ sebagai gas-gas utama yang terlarut dalam plasma.

Bagian plasma darah yang mempunyai fungsi penting adalah serum. **Serum** merupakan plasma darah yang dikeluarkan atau dipisahkan fibrinogennya dengan cara memutar darah dalam **sentrifuge**. Serum tampak sangat jernih dan mengandung zat antibodi. **Antibodi** ini berfungsi untuk membinasakan protein asing yang masuk ke dalam tubuh. Protein asing yang masuk ke dalam tubuh disebut **antigen**.

Berdasarkan cara kerjanya, antibodi dalam plasma darah dapat dibedakan sebagai berikut.

1) **Aglutinin** : menggumpalkan antigen.
2) **Presipitin** : mengendapkan antigen.
3) **Antitoksin** : menetralkan racun.
4) **Lisin** : menguraikan antigen.

Antigen yang terdapat dalam sel darah dikenal dengan nama **aglutinogen**, sedangkan antibodi terdapat di dalam plasma darah dinamakan **aglutinin**. Aglutinogen membuat sel-sel darah peka terhadap **aglutinasi** (penggumpalan). Adanya aglutinogen dan aglutinin di dalam darah ini pertama kali ditemukan oleh **Karl Landsteiner** (1868–1943) dan **Donath**.

Di dalam darah terdapat dua jenis aglutinogen, yaitu **aglutinogen A** dan **aglutinogen B**. Berdasarkan ada tidaknya aglutinogen dalam darah, Landsteiner membagi empat macam golongan darah, yaitu darah golongan *A*, *B*, *AB*, dan *O*. Sistem penggolongan darah ini dinamakan **sistem ABO**.

Bagaimana cara menentukan golongan darah berdasarkan ada tidaknya aglutinin dan aglutinogen? Perhatikan dengan saksama rambu-rambu berikut.

- Bila di dalam sel darah seseorang mengandung ***aglutinogen A*** dan serum darahnya dapat membuat ***aglutinin b***, maka rumus darah orang tersebut adalah (A, b) dan mempunyai ***golongan darah A***.
- Bila di dalam sel darah seseorang mengandung ***aglutinogen B*** dan serum darahnya dapat membuat ***aglutinin a***, maka rumus darah orang tersebut adalah (B, a) dan mempunyai ***golongan darah B***.
- Bila di dalam sel darah seseorang mengandung ***aglutinogen A*** dan ***aglutinogen B***, tetapi serum darahnya ***tidak dapat membuat aglutinin***, maka rumus darah orang tersebut adalah (A, B) dan mempunyai ***golongan darah AB***.
- Bila di dalam sel darah seseorang ***tidak mengandung aglutinogen*** dan serum darahnya dapat membuat ***aglutinin a dan b***, maka rumus darah orang tersebut adalah (–, ab) dan mempunyai ***golongan darah O***.

**Tahukah Anda**

**Bank Darah**

Sebelum tahun 1930-an, transfusi darah umumnya diambil dari donor-donor tertentu. Biasanya dari salah seorang kerabat pasien dan darah dalam keadaan ”masih hangat”.

Mulai Perang Dunia II, metode penyaringan darah dikembangkan, darah diberi bahan-bahan kimia supaya lebih tahan lama, unsur darah yang bermacam-macam di pisahkan serta disimpan di tempat dingin. Kini bank-bank darah menyediakan beraneka ragam produk darah dalam jumlah besar untuk keperluan bedah rutin serta gawat darurat.

**Tabel 5.4** Macam Golongan Darah

| No. | Golongan Darah | Aglutinogen dalam Sel Darah Merah | Aglutinin dalam Plasma Darah |
|---|---|---|---|
| 1. | A | A | b |
| 2. | B | B | a |
| 3. | AB | A dan B | – |
| 4. | O | – | a dan b |

Mengetahui jenis golongan darah menjadi suatu hal yang penting terutama saat akan melakukan transfusi darah. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam tranfusi darah pada pendonor darah adalah jenis aglutinogen dalam eritrosit, sedangkan pada resipien adalah jenis aglutinin dalam plasma darah.

Orang yang mendapat darah disebut **resipien** dan orang yang memberi darah disebut **donor**. Sel darah yang diberikan kepada resipien berupa senyawa protein. Apabila senyawa ini tidak sesuai, maka senyawa tersebut akan bersifat sebagai antigen. Sel darah akan digumpalkan atau mengalami aglutinasi. Tiap-tiap orang memiliki golongan darah tertentu, ini berarti bahwa sel darah seseorang mengandung zat aglutinogen tertentu dan plasma darahnya dapat membuat aglutinin tertentu pula.

Jadi, mengetahui golongan darah diri sendiri merupakan sesuatu yang penting. Lakukan eksperimen berikut untuk mengetahui golongan darah Anda.

## Eksperimen 4

### Menentukan Golongan Darah

Sediakan jarum lanset, kaca preparat, tusuk gigi, kapas, alkohol 70%, serum anti A, dan serum anti B. Tentukan 10 orang probandus dari teman sekelas Anda.

Sediakan 10 gelas benda untuk 10 orang. Usap salah satu jari (biasanya jari tengah atau jari manis) dengan kapas yang telah dibasahi alkohol. Tusuk jari tersebut menggunakan jarum lanset, kemudian teteskan darah sebanyak 2 tetes pada gelas benda.

Tambahkan setetes serum anti A pada tetes pertama dan setetes serum anti B pada tetes darah lainnya. Hati-hati, jangan sampai tertukar. Campurkan tetesan serum dan darah dengan menggunakan tusuk gigi. Amati yang terjadi pada masing-masing campuran, kemudian tuliskan pengamatan Anda dalam bentuk tabel.

| No. | Nama Probandus | Perlakuan | | Golongan Darah |
|---|---|---|---|---|
| | | Anti A | Anti B | |
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |
| 6. | | | | |
| 7. | | | | |
| 8. | | | | |
| 9. | | | | |
| 10. | | | | |

**Keterangan:**
Tandai terjadinya aglutinasi dengan tanda +.

**Pertanyaan:**

1. Mengapa tiap golongan darah memberikan reaksi yang berbeda ketika dicampur dengan serum anti A dan serum anti B?

2. Sebutkan jenis antigen dan antibodi dalam darah yang Anda periksa.
3. Apa yang terjadi jika orang yang bergolongan darah A mendonorkan darahnya kepada orang bergolongan darah B? Mengapa demikian?
4. Buatlah kesimpulan dari eksperimen ini.

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Setelah mengetahui golongan darah Anda, berhati-hatilah saat melakukan transfusi darah. Jangan sampai terjadi kekeliruan sehingga terjadi penggumpalan darah yang dapat mengakibatkan kematian.

Kunjungilah kantor PMI terdekat. Carilah informasi mengenai beberapa hal berikut.

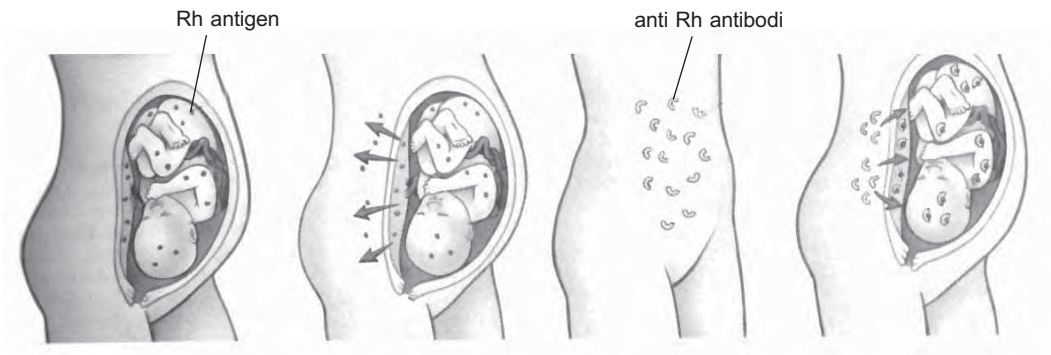
- Apakah syarat-syarat yang harus dipenuhi bagi pendonor darah?
- Apakah seorang hipertensi harus rutin mendonorkan darahnya?
- Mengapa darah yang diambil pada saat donor darah tidak mengalami pembekuan setelah dikeluarkan dari tubuh pendonor?

Selain sistem darah ABO, **Landsteiner** dan **Wiener** pada tahun 1940 juga mengelompokkan darah dengan **sistem Rhesus**, yaitu rhesus positif ($Rh^+$) dan rhesus negatif ($Rh^-$). Berdasarkan sistem ini, jika darah seseorang diberi serum anti Rh terjadi penggumpalan, orang tersebut bergolongan rhesus positif ($Rh^+$). Sebaliknya, jika tidak terjadi penggumpalan, orang tersebut bergolongan rhesus negatif ($Rh^-$).

Jadi, dalam melakukan transfusi darah jika hanya memperhatikan golongan A, B, O saja tidak cukup, tetapi juga harus memperhatikan golongan rhesusnya. Walaupun golongan darah sama-sama A, tetapi jika rhesusnya berbeda maka akan terjadi penggumpalan. Namun Anda tidak perlu cemas, di Indonesia mayoritas penduduknya mempunyai golongan rhesus positif ($Rh^+$), dan sangat jarang ditemukan orang bergolongan rhesus negatif ($Rh^-$).

Ketidakcocokan golongan Rh antara suami dan istri dapat mengakibatkan kematian pada bayi yang dikandungnya. Apa yang akan terjadi jika pasangan suami istri memiliki golongan darah Rh berbeda? Jika anak yang dikandung bergolongan darah $Rh^+$ maka akan terbentuk antigen Rh dalam darah bayi yang mengakibatkan penggumpalan. Kelahiran bayi pertama selamat, tetapi bayi selanjutnya akan menderita **eritroblastosis fetalis** atau disebut **sakit kuning**. Bayi yang menderita penyakit kuning menurut **Philip Lavine** dapat diberi pertolongan dengan mengganti darah bayi seluruhnya.

Perhatikan Gambar 5.6 berikut.




**Sumber:** *Inquiry into Life, S.S. Mader*

**Gambar 5.6**
Skema proses terbentuknya antigen Rh pada bayi

Menyimak uraian di depan, keberadaan darah dalam tubuh mempunyai arti penting bagi kehidupan seseorang. Hal ini disebabkan darah mempunyai beberapa fungsi penting sebagai berikut.

### a. Mengangkut Oksigen dari Paru-Paru ke Seluruh Jaringan Tubuh

Kandungan oksigen dalam darah antara 0,36% – 20%. Meningkatnya kadar oksigen dalam darah karena adanya ikatan oksigen dengan hemoglobin. Namun, hemoglobin juga mampu mengikat karbon monoksida yang bersifat racun. Gas ini biasa dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor. Jika gas ini terhirup dan berikatan dengan hemoglobin, kandungan oksigen dalam darah menurun. Keadaan ini dapat memberikan dampak bagi kesehatan tubuh.

### b. Mengangkut Sari-Sari Makanan dari Usus ke Jaringan Tubuh

Sari-sari makanan seperti asam lemak, asam amino, dan monosakarida masuk ke dalam sistem sirkulasi melalui kapiler yang berada di villi usus halus. Sari-sari makanan ini diangkut menuju ke dalam sel-sel tubuh. Sari-sari makanan ini untuk metabolisme, aktivitas, dan membentuk sel-sel atau jaringan yang baru.

### c. Mengangkut Karbon Dioksida dari Jaringan Tubuh ke Paru-Paru

Karbon dioksida hasil respirasi sel dilepas dari plasma dan masuk ke dalam dinding kapiler secara difusi, kemudian dibawa ke paru-paru untuk dibuang. Karbon dioksida yang ada dalam darah antara 2,7% hingga 60%. Sebagian karbon dioksida membentuk hidrogen karbonat atau bikarbonat berupa ion ($HCO_3^-$) yang diangkut ke plasma dan sel darah merah. Di paru-paru, hidrogen karbonat diuraikan menjadi

air dan karbon dioksida. Karbon dioksida dalam pembuluh kapiler secara difusi masuk ke dalam alveolus paru-paru.

### d. Mengangkut Hasil Ekskresi dari Jaringan Tubuh ke Ginjal

Tubuh dalam melakukan metabolisme menghasilkan zat-zat sisa yang bersifat racun, misalnya urea dan asam urat. Zat sisa ini oleh darah diangkut ke ginjal untuk menjalani beberapa proses agar bisa dikeluarkan dari tubuh.

### e. Mengatur dan Mengontrol Temperatur Tubuh

Tubuh saat beraktivitas akan melepaskan panas. Panas yang dihasilkan diedarkan ke seluruh tubuh oleh darah sehingga di seluruh tubuh terdapat kesamaan temperatur. Jika udara di lingkungan dingin, maka pembuluh kapiler akan menciut untuk menghemat panas tubuh. Ketika udara di lingkungan panas, maka pembuluh kapiler akan melebar dan aliran darah semakin cepat sehingga panas tubuh dapat diedarkan ke seluruh tubuh.

### f. Mengatur Distribusi Hormon

Di dalam tubuh terdapat kelenjar yang menghasilkan hormon. Hormon ini diangkut oleh plasma dan dikirim ke bagian tubuh yang memerlukannya.

Darah memerlukan alat-alat sirkulasi untuk melakukan berbagai fungsi di atas. Mengenai alat-alat sirkulasi darah akan dibahas pada materi berikut.

## 2. Alat-Alat Sirkulasi Darah

Sistem sirkulasi darah pada manusia terdiri atas alat-alat sirkulasi, yaitu **jantung** dan **pembuluh darah**. Coba Anda lakukan kegiatan berikut, untuk mempermudah mempelajari alat-alat sirkulasi.

### Tugas Kelompok

Sediakan sterofoam, kertas warna, jarum pentul, perekat, gunting, dan spidol. Coba Anda buat sebuah carta alur sirkulasi darah secara berkelompok. Berilah keterangan gambar secukupnya. Dalam pengerjaan tugas ini, Anda dapat berpedoman dengan bagan di samping.

Gambar hasil karya ini dapat digunakan untuk membantu mempelajari sistem sirkulasi darah.

**Keterangan:**

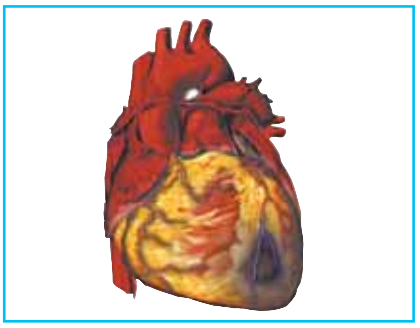
- Gunakan kertas warna merah muda untuk bagian yang mengandung oksigen.
- Gunakan kertas warna hitam untuk bagian yang mengandung karbon dioksida.

### Tahukah Anda

**Denyut Jantung**

Setiap hari jantung berdenyut kurang lebih 100.000 kali dan memompakan darah sekitar 2.000 galon (38.000 liter). Jika usia Anda sampai 70 tahun, jantung Anda telah berdenyut lebih dari 2,5 miliar kali.

Dari kegiatan eksplorasi di depan, Anda dapat mengenali alat tubuh yang berperan dalam sirkulasi. Simak uraian berikut, untuk mengenali alat-alat sirkulasi lebih lanjut.



**Sumber:** *Essentials of Biology, Lee Khee Boon dkk.*

**Gambar 5.7**
Morfologi jantung

## a. Jantung

Jantung terletak dalam rongga dada. Ukuran jantung sebesar genggaman tangan pemiliknya dengan berat sekitar 300 gram. Lihat Gambar 5.7. Jantung dalam sistem sirkulasi berfungsi sebagai alat pemompa darah.

Jantung tersusun atas otot jantung (**miokardium**). Bagian jantung luar dilapisi oleh selaput jantung (**perikardium**). Perikardium terdiri dari 2 lapisan. Lapisan luar disebut **lamina panistalis** dan lapisan dalam yang menempel pada dinding jantung disebut **lamina viseralis**. Di antara kedua lapisan tersebut terdapat ruangan **kavum perikardii** yang berisi **cairan perikardii**. Cairan ini berfungsi untuk menahan gesekan. Bagian dalam jantung dilapisi **endokardium**.

Coba Anda lakukan eksperimen berikut, agar dapat mengamati lapisan-lapisan penyusun jantung.

### Eksperimen 5

**Mengamati Bagian-Bagian Jantung**

Sediakan jantung kelinci atau marmot. Belahlah secara melintang. Amati dan tunjukkan miokardium, perikardium, lamina panistalis, lamina viseralis, dan endokardiumnya.

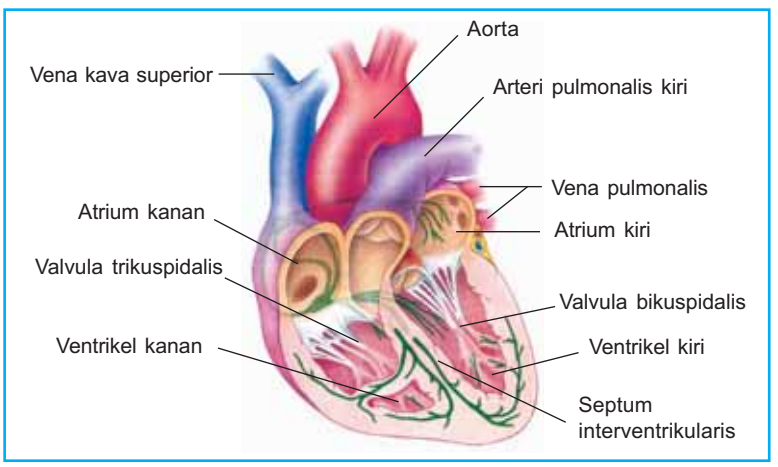
**Pertanyaan:**

Tunjukkan lapisan jantung yang paling tebal. Jelaskan alasannya.

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Lubang antara atrium kiri dan kanan pada janin disebut **foramen ovale**, namun menjelang kelahiran lubang tersebut akan menutup.

Jantung mempunyai empat ruangan, yaitu atrium sinister (serambi kiri), atrium dexter (serambi kanan), ventrikel sinister (bilik kiri), dan ventrikel dexter (bilik kanan). Antarsisi kiri dan kanan jantung dipisahkan oleh **septum** (sekat) yang berupa otot yang padat. Perhatikan Gambar 5.8.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 5.8**
Bagian-bagian jantung

Atrium merupakan ruangan jantung tempat masuknya darah dari pembuluh balik (vena). Antara atrium kiri dan ventrikel kiri terdapat katup **valvula bikuspidalis** (katup berdaun dua). Katup ini berfungsi mencegah darah dalam ventrikel kiri agar tidak mengalir kembali ke atrium kiri saat jantung berkontraksi.

Ventrikel mempunyai otot lebih tebal dari pada atrium, keadaan ini disebabkan ventrikel berfungsi memompa darah keluar jantung. Antara atrium kanan dengan ventrikel kanan terdapat katup **valvula trikuspidalis** (katup berdaun tiga). Katup ini berfungsi mencegah darah dalam ventrikel kanan agar tidak mengalir kembali ke atrium saat jantung berkontraksi.

Jantung terus-menerus memompa darah ke seluruh bagian tubuh. Jantung memompa darah dengan cara berkontraksi sehingga jantung dapat mengembang dan mengempis. Kontraksi jantung ini menimbulkan denyutan yang dapat dirasakan pada pembuluh nadi di beberapa tempat.

Frekuensi denyut nadi dapat diukur untuk mengetahui tingkat kesehatan jantung seseorang. Lakukan eksperimen berikut untuk dapat menghitung frekuensi denyut nadi.

## Eksperimen 6

### Menghitung Denyut Nadi

Sediakan *stop-watch* atau arloji. Hitunglah denyut nadi Anda dengan cara berikut.

1. Tempelkan jari telunjuk dan jari tengah Anda pada pergelangan tangan. Bila perlu tekan sedikit hingga denyutan semakin terasa.
2. Hitunglah jumlah denyut nadi dalam 1 menit, kemudian catat. Ulangi sebanyak 3 kali, kemudian ambil rata-ratanya.
3. Hitung pula denyut nadi Anda setelah selesai berlari-lari selama 5 menit.

Kumpulkan data penghitungan jumlah nadi seluruh teman sekelas Anda, dan bandingkan.

**Pertanyaan:**

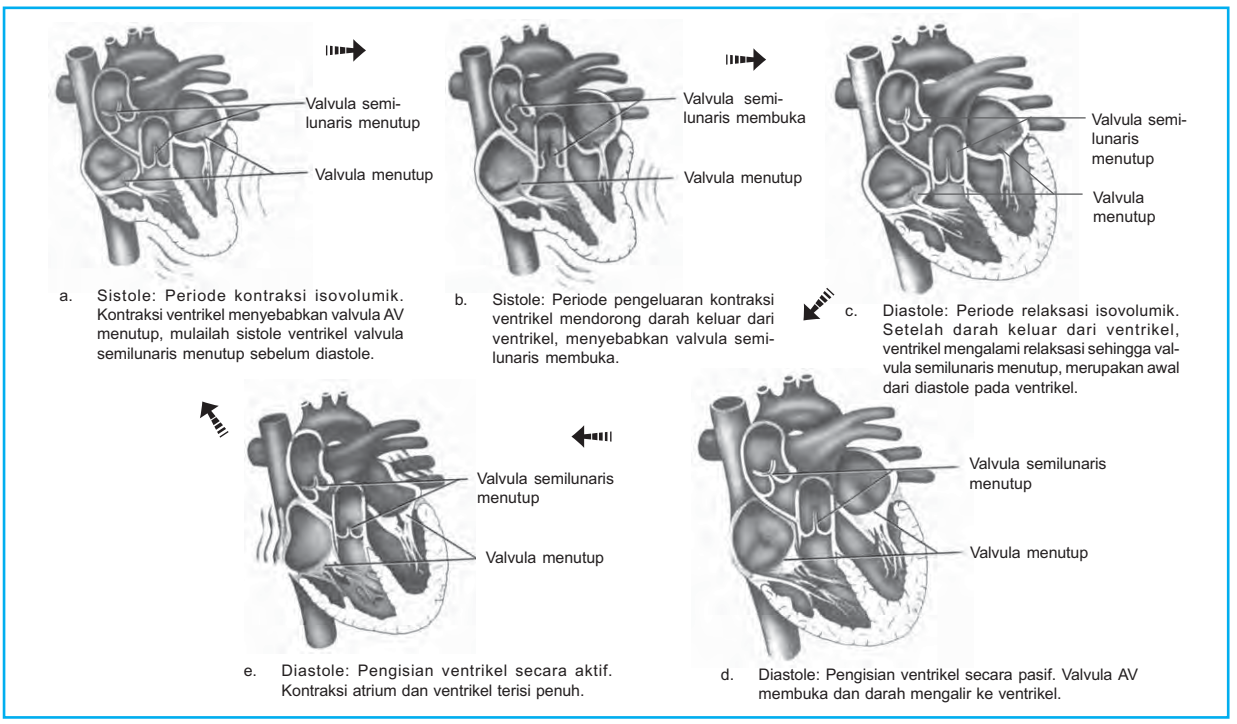
1. Mengapa terjadi perbedaan frekuensi denyut nadi antara saat istirahat dengan setelah berlari-lari?
2. Menurut Anda, apakah denyut nadi setiap orang sama? Jelaskan alasannya.
3. Berdasarkan eksperimen di atas, coba Anda simpulkan faktor apa saja yang mempengaruhi frekuensi denyut nadi.

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

| Nama | Jenis Kelamin | Jumlah Denyut Nadi | |
|---|---|---|---|
| | | Istirahat | Setelah Berlari-lari |
| | | | |

Saat berkontraksi, atrium dan ventrikel mengembang dan menguncup secara bergantian. Bila atrium mengembang, jantung mengisap darah dari seluruh tubuh melalui pembuluh balik (vena kava superior dan vena kava inferior). Darah yang diisap ini masuk ke atrium kanan dan darah dari vena pulmonalis yang kaya oksigen masuk ke atrium kiri.

Bila atrium menguncup maka ventrikel mengembang dan darah mengalir dari atrium ke ventrikel. Ventrikel merupakan bagian jantung yang berfungsi memompa darah meninggalkan jantung. Perhatikan Gambar 5.9.




a. Sistole: Periode kontraksi isovolumik. Kontraksi ventrikel menyebabkan valvula AV menutup, mulailah sistole ventrikel valvula semilunaris menutup sebelum diastole.

b. Sistole: Periode pengeluaran kontraksi ventrikel mendorong darah keluar dari ventrikel, menyebabkan valvula semi-lunaris membuka.

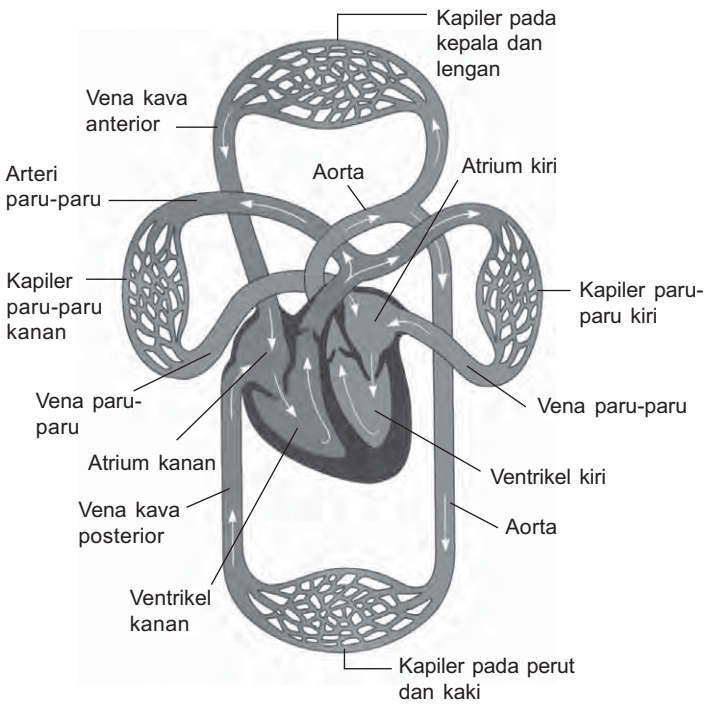
c. Diastole: Periode relaksasi isovolumik. Setelah darah keluar dari ventrikel, ventrikel mengalami relaksasi sehingga valvula semilunaris menutup, merupakan awal dari diastole pada ventrikel.

e. Diastole: Pengisian ventrikel secara aktif. Kontraksi atrium dan ventrikel terisi penuh.

d. Diastole: Pengisian ventrikel secara pasif. Valvula AV membuka dan darah mengalir ke ventrikel.

**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 5.9**
Serangkaian proses kontraksi dan relaksasi yang menyebabkan pergerakan darah dalam jantung




**Sumber:** *Tubuh Manusia, Hamparan Dunia Ilmu dan Time-Life*

**Gambar 5.10**
Peradaran darah dalam tubuh

Saat ventrikel menguncup dari ventrikel kiri, darah yang kaya oksigen dipompa ke seluruh bagian tubuh, sedangkan dari ventrikel kanan darah yang kaya $CO_2$ di pompa ke paru-paru. Setelah darah terpompa keluar, otot ventrikel mengendur dan mengalami relaksasi maksimum sehingga tekanan jantung sangat rendah. Peristiwa ini disebut **diastole**.

Saat darah masuk ke dalam ventrikel, rangsang melalui berkas His terputus dalam waktu kurang sepersepuluh detik. Keadaan ini digunakan oleh otot jantung untuk beristirahat. Setelah itu, otot ventrikel menguncup dan darah dalam jumlah banyak dipompa dari ventrikel ke pembuluh arteri pulmonalis serta aorta, keadaan ini membuat tekanan ruangan jantung menjadi maksimum. Peristiwa ini disebut **sistole**. Pelajari dengan saksama kerja jantung pada berikut dan aliran darah dalam jantung pada Gambar 5.10.

Jadi, sistole dan diastole merupakan tekanan darah karena jantung pada saat itu mengeluarkan dan memasukkan darah. Tekanan darah dapat diukur menggunakan **tensimeter** atau **spigmomanometer**. Tekanan darah orang dewasa normal sekitar $^{120}/_{80}$ mmHg (milimeter air raksa). Nilai 120 menunjukkan tekanan sistole, sedangkan 80 menunjukkan tekanan diastole. Tekanan darah ini dapat digunakan sebagai indikasi kondisi kesehatan seseorang.

Coba lakukan eksperimen berikut untuk mengetahui kondisi kesehatan Anda.

## Eksperimen 7

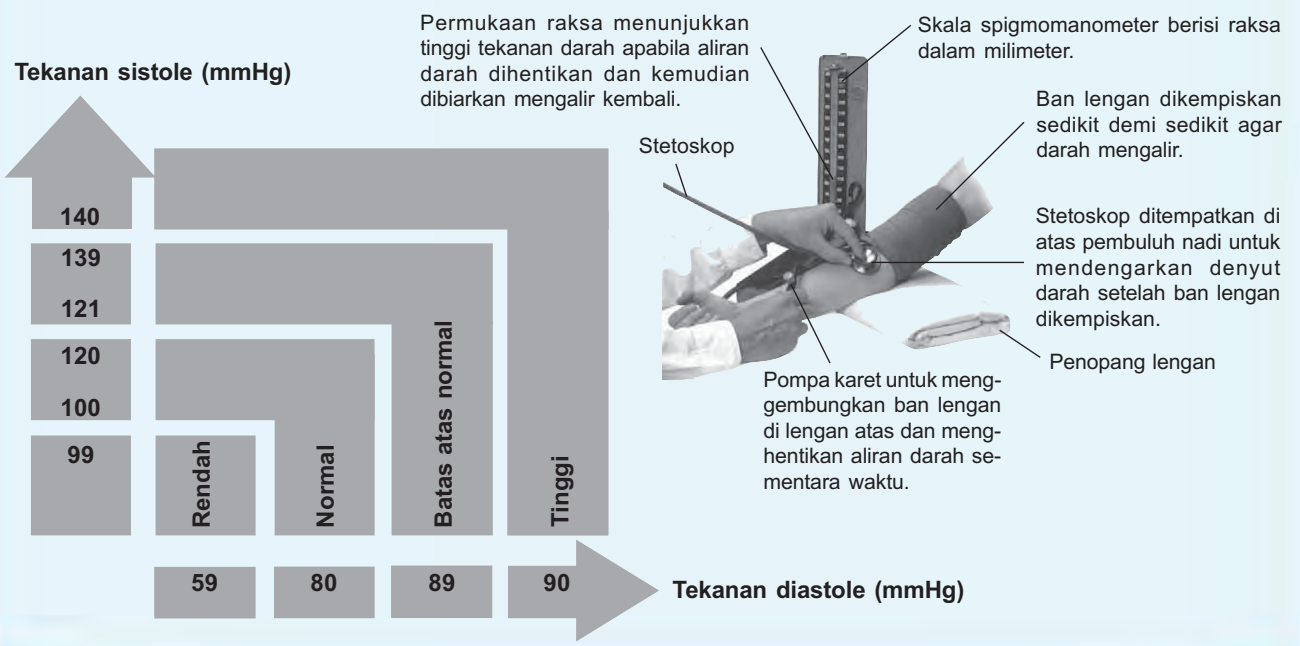
### Mengukur Tekanan Darah

Ukur tekanan darah teman sebangku Anda menggunakan spigmomanometer. Pengukuran tekanan darah dilakukan dengan cara berikut.

1. Bebatlah lengan kiri probandus.
2. Tentukan posisi pembuluh arteri pada lengan yang dibebat dan letakkan stetoskop di tempat tersebut.
3. Sebelum udara dipompa, melalui stetoskop terdengar bunyi denyut nadi, setelah udara dipompakan semakin penuh maka bunyi denyut nadi semakin melemah dan kemudian hilang. Pada waktu bunyi mulai melemah coba catatlah berapa tinggi permukaan raksa (angka diastole).
4. Setelah itu, udara dikeluarkan sembari didengarkan denyut nadi melalui stetoskop. Pada waktu denyut nadi kembali terdengar pertama kali hendaknya dicatat tinggi permukaan air raksa (angka sistole).
5. Pengosongan udara dilanjutkan terus sehingga bunyi denyut mulai melemah dan permukaan raksa dicatat tingginya. Jika mungkin, dicatat pula tinggi permukaan raksa ketika bunyi menghilang sama sekali (angka diastole).

Ulangi pengukuran tekanan darah ini hingga tiga kali dan hitunglah rata-ratanya. Coba tentukan tekanan darah teman Anda dan buatlah kesimpulan dengan mencocokkan tekanan darah teman Anda dengan tabel yang telah disediakan.

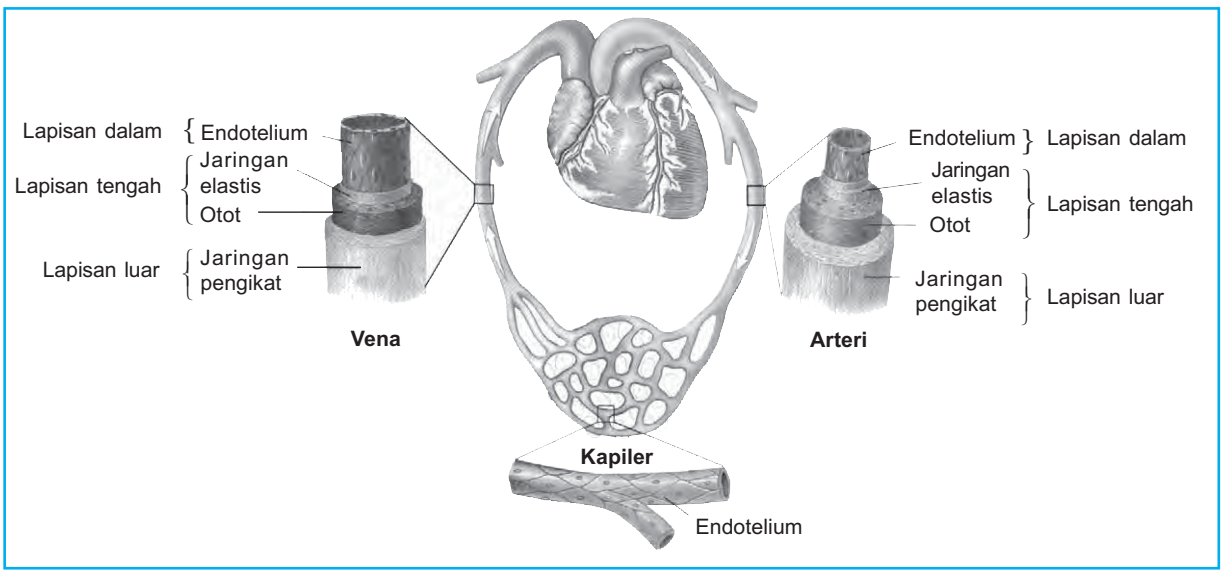
Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.



## b. Pembuluh Darah

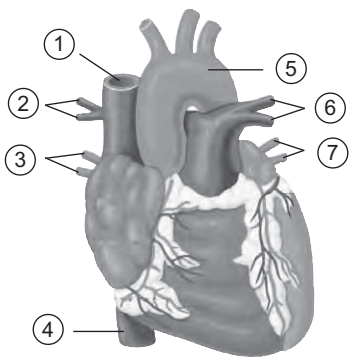
Selain alat pemompa, darah juga memerlukan pembuluh untuk dapat beredar ke seluruh tubuh. Pembuluh ini berbentuk bulat, dengan ukuran berbeda-beda, dan berdiameter antara 0,01 mm hingga 10 mm.

Ada tiga macam pembuluh darah, yaitu **arteri**, **vena**, dan **kapiler**. Ketiga pembuluh darah tersebut selalu berhubungan satu dengan lainnya dan membentuk suatu sistem. Perhatikan Gambar 5.11 dan gambar 5.12.




**Sumber:** *Inquiry into Life, S.S. Mader*

**Gambar 5.11**
Berbagai macam pembuluh darah




**Keterangan:**
1. Vena kava superior
2. Arteri pulmonalis sebelah kanan
3. Vena pulmonalis sebelah kanan
4. Vena kava inferior
5. Aorta
6. Arteri pulmonalis sebelah kiri
7. Vena pulmonalis sebelah kiri

**Sumber:** *Biology, Mader*

**Gambar 5.12**
Jenis dan letak pembuluh darah di sekitar jantung

### 1) *Arteri (Pembuluh Nadi)*

Arteri merupakan pembuluh darah yang membawa darah keluar dari jantung. Arteri yang membawa darah dari bilik kiri menuju seluruh tubuh disebut **aorta**. Sementara itu, pembuluh yang membawa darah dari bilik kanan menuju paru-paru disebut **arteri pulmonalis**. Arteri mengandung darah kaya oksigen, kecuali arteri pulmonalis mengandung darah kaya karbon dioksida.

Arteri bercabang-cabang membentuk cabang lebih kecil yang disebut **arteriole**. Arteriole ini membentuk cabang-cabang lebih kecil dan ujung-ujungnya berhubungan langsung dengan sel-sel tubuh. Cabang-cabang ini disebut **kapiler**.

### 2) *Vena (Pembuluh Balik)*

Vena merupakan pembuluh yang membawa darah ke jantung. Vena bercabang-cabang membentuk **venula**. Venula membentuk cabang-cabang lebih kecil yang disebut **kapiler**. Vena yang berhubungan langsung dengan jantung atau paru-paru dikenal dengan **vena kava**.

Vena mengandung banyak darah kaya karbon dioksida, kecuali vena pulmonalis mengandung banyak

oksigen. Vena merupakan pembuluh berdinding lebih tipis, kurang elastis, dan lubang pembuluh lebih besar daripada arteri. Pembuluh ini mempunyai beberapa katup untuk mencegah agar darah tidak berbalik arah.

### 3) *Kapiler*

Kapiler merupakan pembuluh darah berukuran kecil sebagai perpanjangan arteri dan vena. Dinding sel pembuluh ini bersifat permeabel sehingga cairan tubuh dan zat-zat terlarut dapat keluar masuk melalui dinding selnya. Selain itu, juga terjadi pertukaran oksigen, karbon dioksida, zat-zat makanan, serta hasil-hasil ekskresi dengan jaringan yang ada di sekeliling kapiler.

Beberapa pembuluh kapiler mempunyai lubang berukuran sempit sehingga sel darah merah dapat rusak jika melewatinya. Diameter pembuluh ini dapat berubah-ubah. Kapiler dapat menyempit karena pengaruh temperatur lingkungan yang rendah dan membesar bila ada pengaruh temperatur lingkungan yang tinggi serta bahan kimia, seperti histamin.

Meskipun ukuran arteriole dan kapiler lebih kecil dibandingkan dengan arteri dan vena, tetapi jumlah volume darah secara keseluruhan lebih besar di arteriole dan kapiler. Volume darah di dalam kapiler 800 kali volume darah di dalam arteri dan vena.

Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih memahami tentang arteri, vena, dan kapiler.

**Tahukah Anda**

**Ciri-Ciri Arteri Sehat dan Tidak Sehat**

Arteri yang sehat mempunyai otot yang elastis, kenyal, dan mempunyai daya dorong yang besar. Dinding arterinya pun tidak keras. Arteri tidak sehat dindingnya mengeras akibat adanya endapan lemak serta kalsium. Adanya endapan ini mengakibatkan elastisitas dan kekenyalan arteri berkurang, serta terjadi penyempitan arteri.

**Tugas Kelompok**

Kini Anda telah mengetahui perbedaan antara arteri, vena, dan kapiler. Carilah perbedaan di antara ketiga pembuluh tersebut untuk menambah pemahaman Anda tentang pembuluh-pembuluh darah. Catatlah hasilnya seperti dalam tabel berikut.

| Nama Pembuluh | Ciri-Ciri Struktur | Fungsi | Aliran Darahnya |
|---|---|---|---|
| 1. Arteri<br>2. Vena<br>3. Kapiler | | | |

Presentasikan hasil kegiatan kelompok Anda di kelas.

Jadi, antara arteri, vena, dan kapiler bekerja sama mengedarkan darah. Berdasarkan peredarannya, sistem sirkulasi darah manusia dibedakan menjadi dua macam, yaitu sirkulasi darah kecil dan sirkulasi darah besar.

Coba Anda ingat-ingat materi SMP, apa yang dimaksud sirkulasi darah kecil dan sirkulasi darah besar? Sebutkan alur sirkulasinya. Menurut Anda, apakah sirkulasi darah kecil dan besar terjadi secara bersama-sama atau bergantian?

## c. Gangguan pada Sistem Sirkulasi Darah

Pada sistem sirkulasi darah sering terjadi gangguan yang di antaranya disebabkan oleh pola hidup yang tidak sehat dan kerusakan organ ataupun keturunan. Uraian berikut ini akan menjelaskan mengenai beberapa gangguan yang sering mempengaruhi sistem sirkulasi darah.

1) **Anemia** dikenal sebagai penyakit kurang darah. Namun sebenarnya anemia merupakan penyakit yang disebabkan oleh sedikitnya jumlah hemoglobin dalam eritrosit. Kekurangan hemoglobin ini menyebabkan kemampuan darah mengikat oksigen berkurang.
   Anemia ada yang bersifat genetis dan dapat menyebabkan kematian, di antaranya adalah anemia **sickle cell** dan **talasemia**. Anemia sickle cell ditandai dengan bentuk eritrosit seperti bulan sabit. Talasemia merupakan anemia yang disebabkan gagalnya pembentukan hemoglobin akibat rusaknya gen globin. Namun, umumnya anemia disebabkan kekurangan ion besi atau vitamin $B_{12}$ yang dapat membantu pematangan sel eritrosit.
2) ***Blue baby***, merupakan penyakit bayi saat lahir yaitu seluruh tubuhnya berwarna biru. Penyakit ini disebabkan foramen ovale tidak tertutup.
3) **Hemofilia**, darah penderita sukar membeku. Apabila penderita mengalami luka, darah akan mengucur terus. Keadaan ini dapat menyebabkan kekurangan darah dan mengakibatkan kematian. Penyakit ini bersifat genetis dan berpeluang besar diturunkan bagi anak laki-laki. Hal ini karena gen pembawa hemofilia terkait pada kromosom X, sehingga wanita hemofilia tidak pernah dijumpai karena bersifat **letal**.
4) **Leukemia** dikenal sebagai **kanker darah**, yaitu pertumbuhan leukosit yang melebihi jumlah normal sehingga leukosit ini membinasakan sel darah merah dengan cara memakannya.
5) **Sklerosis**, yaitu penyakit yang dikarenakan oleh pengerasan pembuluh darah. Jika pengerasan ini disebabkan oleh kolesterol, dinamakan **aterosklerosis** dan jika disebabkan oleh endapan kapur dinamakan **arteriosklerosis**. Sklerosis ini dapat mempersempit pembuluh sehingga dapat menaikkan tekanan darah. Pengerasan pembuluh ini dapat terjadi di bagian otak dan dapat mengakibatkan **stroke**.
6) **Koronaria trombosis**, yaitu terbentuknya gumpalan darah dalam arteri koronaria sehingga aliran darah terganggu dan berkurang. Akibatnya, otot jantung kekurangan $O_2$ serta kontraksinya menjadi lemah sehingga dapat mengakibatkan serangan jantung. Keadaan ini kalau tidak segera ditolong, dapat mengakibatkan kematian.
7) **Varises** adalah pelebaran vena, umumnya terjadi di daerah betis. Kalau terjadi di sekitar anus disebut **hemoroid** atau **ambeien**.

**Tahukah Anda**

**Pemacu Jantung**

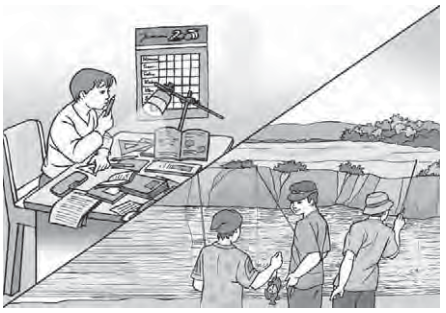
**Sumber:** *Ilmu Kedokteran, Balai Pustaka*

Alat pacu jantung mengirimkan pulsa-pulsa listrik melalui otot-otot jantung, sehingga jantung dapat berdetak. Namun adakalanya jantung berdetak terlalu cepat, terlalu lambat, atau tidak terkoordinasi. Alat pacu elektronik ditemukan pertama kali pada tahun 1960, diletakkan di dekat jantung dan memberikan sinyal secara teratur ke jantung. Pada tahun 1973 ditemukan baterai litium yang tahan lama, alat pacu yang terprogram oleh komputer baru dikembangkan pada tahun 1980-an.

8) **Embolus** adalah jenis penyakit jantung akibat tersumbatnya arteri menuju otak oleh trombus. Trombus merupakan darah yang membeku.

Berbagai gangguan sistem sirkulasi darah seperti di depan dapat dicegah atau dikurangi dengan pola hidup sehat. Beberapa contoh pola hidup sehat seperti berikut.

| | |
|---|---|
| **1. Tidak merokok**<br> | Bahaya rokok bagi tubuh.<br>• Merusak arteri.<br>• Darah mudah membentuk trombus.<br>• Lemak mudah mengendap di pembuluh arteri. |
| **2. Berolahraga secara teratur**<br> | Olahraga secara teratur dapat memperlancar aliran darah serta dapat membakar lemak, sehingga penyumbatan lemak di arteri dapat dicegah. |
| **3. Mengonsumsi makanan sehat dan seimbang**<br> | Kurangi makan makanan yang berlemak tinggi, karena dapat meningkatkan kadar kolesterol dalam darah. Kolesterol ini dapat menyumbat arteri dan suplai darah ke jantung menjadi berkurang. Konsumsilah makanan yang mengandung banyak lemak tidak jenuh seperti pada ikan dan organisme laut lainnya. |
| **4. Hindari obesitas**<br> | Obesitas atau kegemukan dapat menjadi salah satu pemicu penyakit jantung. Oleh karena itu, perbanyaklah melakukan aktivitas agar lemak-lemak yang terdapat di jaringan-jaringan bawah kulit dan arteri menjadi luruh. |

| | |
|---|---|
| **5. Hindari stres**<br>  | Stres dapat memicu atau meningkatkan tekanan darah seseorang, karena stres membuat jantung dan arteri bekerja lebih berat. Maka, hindari stres dengan menata diri secara baik dan luangkan waktu untuk bersantai. |

## Materi Pengayaan

### Apakah Pembuluh Limfa (Getah Bening) Itu?

Di dalam tubuh, selain pembuluh darah juga terdapat pembuluh limfa. Pembuluh ini mengangkut cairan dari jaringan menuju darah. Selain itu, juga mengangkut lemak dan bahan-bahan asing untuk dirombak ke nodus limfa. Pembuluh limfa bermuara di berbagai jaringan dan peredarannya termasuk sirkulasi terbuka. Di dalam tubuh terdapat dua pembuluh limfa berukuran besar sebagai berikut.

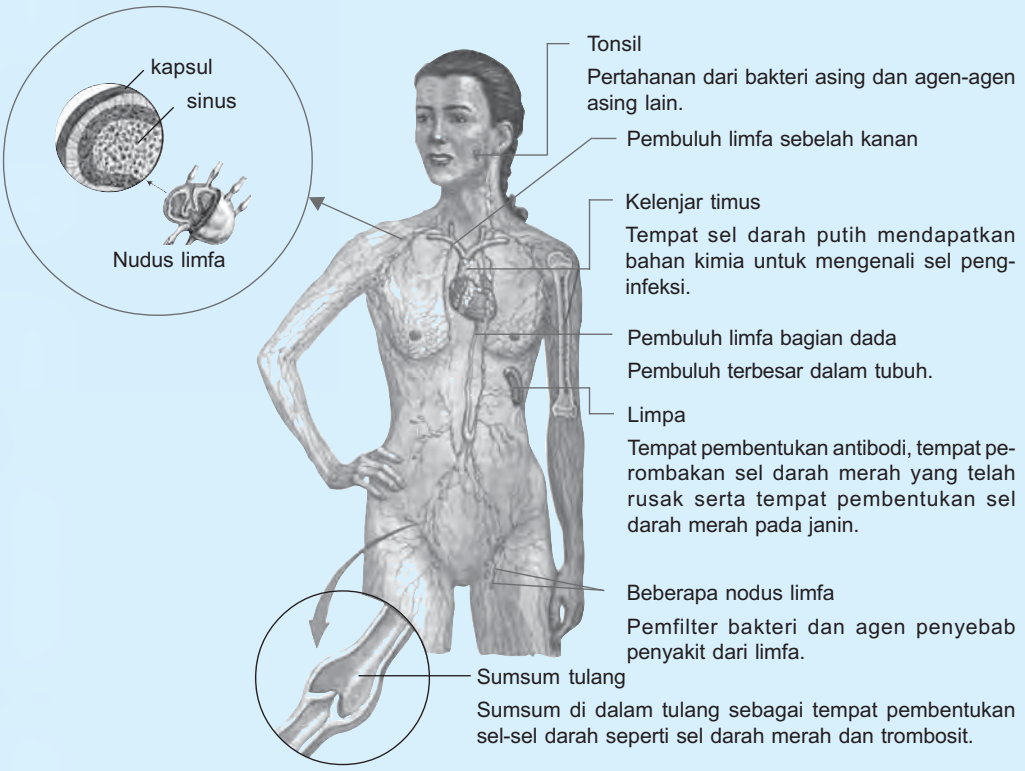
1. **Ductus Limfaticus Dexter (Pembuluh Limfa Kanan)**
   Pembuluh limfa ini mengangkut limfa yang berasal dari kepala, dada sebelah kanan, dan lengan kanan. Pembuluh limfa kanan bermuara pada pembuluh balik di bawah **vena subclavia dextra** (vena yang melewati tulang selangka sebelah kanan).
2. **Ductus Thoracicus (Pembuluh Limfa Dada)**
   Pembuluh ini mengangkut limfa yang berasal dari bagian tubuh lain dan bermuara ke pembuluh balik di bawah **vena subclavia sinestra** (vena yang melewati tulang selangka kiri). Pembuluh limfa dada juga merupakan tempat bermuaranya **pembuluh kil** atau pembuluh lemak, yaitu pembuluh yang mengumpulkan asam lemak yang diserap dari usus. Lemak inilah yang menyebabkan cairan limfa berwarna kuning keputih-putihan.

Limfa berasal dari cairan seluruh bagian tubuh. Hal ini memungkinkan di dalam limfa terdapat kuman-kuman penyakit. Kuman-kuman penyakit ini perlu difilter oleh pembuluh limfa. Proses ini dilakukan oleh **kelenjar limfa**. Jadi, bila terdapat kuman pada suatu luka, maka kuman tersebut akan dibinasakan sebelum masuk ke dalam sirkulasi darah.

Di dalam tubuh manusia terdapat beberapa kelenjar tubuh sebagai berikut.

1. Kelenjar limfa di lipat siku, ketiak, lipatan paha, lutut, dan leher.
2. Kelenjar limfa di selaput lendir usus.
3. Kelenjar folikel di pangkal lidah.
4. Tonsil.
5. Adenoid di dinding tekak.

Amati gambar berikut untuk mengetahui pembuluh limfa dan letak kelenjar limfa.




**Sumber:** *Inquiry into Life, S.S. Mader*

**Pembuluh limfa**

Sistem sirkulasi limfa juga mempunyai beberapa fungsi penting di dalam tubuh di antaranya sebagai berikut.

1. Mengambil kelebihan cairan di dalam jaringan dan mengirimkannya ke darah.
2. Mengabsorpsi lemak dan asam laktat di usus halus dan mengangkutnya ke darah.
3. Membantu mempertahankan tubuh dari penyakit yaitu dengan melawan bibit penyakit yang masuk, menyaring racun yang dihasilkan oleh bibit penyakit tersebut, serta membentuk antibodi.

Aliran limfa dalam pembuluh limfa ini dipengaruhi oleh kontraksi otot rangka. Jadi, terdapat perbedaan antara sirkulasi darah dengan sirkulasi limfa, perbedaan ini dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel Perbedaan Sistem Sirkulasi Limfa dan Sistem Sirkulasi Darah

| No. | Hal Perbedaan | Sistem Limfa | Sistem Darah |
|---|---|---|---|
| 1. | Cairan yang diedarkan | Getah bening | Darah |
| 2. | Warna cairan | Kuning muda | Merah |
| 3. | Sistem sirkulasi | Terbuka | Tertutup |
| 4. | Penyebab aliran | Disebabkan kontraksi otot rangka | Disebabkan kontraksi jantung |
| 5. | Macam pembuluh | Pembuluh limfa dada bagian kiri dan kanan | Ada dua macam, yaitu arteri dan vena |
| 6. | Kadar protein | 3% | 8% |
| 7. | Zat yang diangkut | Lemak (asam lemak + gliserol) | Oksigen, $CO_2$, monosakarida, dan asam amino |

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut*.

1. Darah manusia tampak berwarna merah. Apa yang menyebabkan darah berwarna merah?
2. Apabila darah diletakkan dalam tabung reaksi dan didiamkan beberapa saat, darah akan terpisah menjadi 2 lapisan. Komponen apa sajakah yang menyusun 2 lapisan tersebut? Jelaskan.
3. Dari pengamatan tampak bahwa eritrosit tidak berinti. Apakah sejak pembentukannya, sel ini memang sudah tidak berinti? Jelaskan.
4. Leukosit mempunyai bentuk beraneka macam. Coba Anda gambarkan bagian-bagiannya.
5. Bedakan peranan dan tempat terbentuknya antara eritrosit dengan leukosit.
6. Saat terjatuh kita sering mengalami luka dan mengeluarkan darah. Namun, keluarnya darah ini tidak berlangsung lama karena dengan cepat darah akan membeku dan menutupi luka. Coba jelaskan prosesnya serta sebutkan faktor yang mempengaruhi kecepatan proses ini.
7. Seseorang bergolongan darah AB dengan Rhesus negatif mengalami kecelakaan dan membutuhkan transfusi darah. Golongan darah apakah yang cocok untuknya? Jelaskan.
8. Seorang gadis yang bergolongan darah A dengan $Rh^-$ bingung menentukan calon suami yang diajukan oleh kedua orang tuanya. Ayahnya mencarikan calon suami seorang pemuda Indonesia dengan golongan darah O dengan $Rh^-$ dan ibunya mencarikan calon suami seorang pemuda Belanda bergolongan darah A dengan $Rh^+$. Menurut Anda, pria manakah yang harus dipilih sebagai suami gadis tersebut agar kelak dapat mewujudkan keinginannya untuk mempunyai anak lebih dari satu? Jelaskan.
9. Orang wanita yang sedang hamil telah diperiksa tekanan darahnya sebesar $^{100}/_{60}$ mmHg. Normalkah tekanan darah wanita ini? Jelaskan.
10. Jantung manusia terdiri atas 4 ruangan. Tiap ruangan tersusun dari otot-otot yang memiliki ketebalan khas. Ketebalan jantung disesuaikan dengan fungsinya. Benarkah pernyataan ini? Jelaskan.
11. Darah diedarkan melalui suatu pembuluh. Mengapa darah yang beredar melalui pembuluh ini tidak dapat balik lagi, misalnya darah dari ventrikel kiri tidak dapat kembali ke atrium kiri? Jelaskan.
12. Dalam pembuluh darah dapat mengalir darah kaya $O_2$ atau darah yang hanya mengandung $CO_2$. Sebutkan pembuluh yang senantiasa mengangkut darah kaya $O_2$ atau $CO_2$ saja.
13. Dalam tubuh manusia terjadi dua macam sistem sirkulasi darah, yaitu sistem sirkulasi darah besar dan kecil. Jelaskan alur sirkulasi darah besar dan kecil tersebut, disertai dengan alat-alat yang berperan.
14. Selain darah, dalam tubuh manusia juga terdapat limfa. Sistem sirkulasi ini mempunyai peranan yang berbeda. Coba Anda sebutkan perbedaan peranan antara sistem sirkulasi darah dengan limfa.
15. Berdasarkan hasil pemeriksaan hematologi, seseorang dinyatakan menderita *sickle cell anemia*. Apa yang terjadi pada orang tersebut? Bagaimana pengaruhnya terhadap tubuh orang tersebut?
16. Apakah yang dimaksud dengan sistem sirkulasi limfa dan apa saja fungsinya?
17. Jelaskan berbagai macam fungsi dari nodus limfa, limpa, tonus, dan sumsum tulang.
18. Bagaimana cara tubuh melindungi diri dari bakteri secara nonspesifik?
19. Bagaimana cara memperoleh imunitas secara aktif maupun pasif?
20. Sebutkan perbedaan T sel dan B sel dilihat dari tempat pembentukan, peranannya, serta cara memberantas patogen.

Seperti manusia, hewan juga memiliki sistem sirkulasi darah. Bagaimana sistem sirkulasi darah pada hewan? Samakah dengan sirkulasi darah pada manusia?

## B. Sistem Sirkulasi Darah pada Hewan

Seperti manusia, hewan juga memiliki sistem sirkulasi darah. Bagaimana sistem sirkulasi darah pada hewan? Samakah dengan sirkulasi darah pada manusia?

Sebelum membahas lebih lanjut tentang sirkulasi darah hewan, terlebih dahulu kita mengamati darah hewan. Apakah setiap darah hewan berwarna merah? Lakukan eksperimen berikut untuk mengetahui alat sirkulasi pada hewan.

### Eksperimen 8

**Mengamati Darah Hewan**

Sediakan hewan seperti udang, siput, serangga, dan ikan. Biuslah hewan-hewan tersebut menggunakan kloroform. Setelah terbius belahlah hewan-hewan tersebut menggunakan skalpel. Amati cairan yang keluar dari tubuh hewan-hewan tersebut.

**Pertanyaan:**

1. Apakah cairan yang keluar dari tubuh hewan-hewan tersebut semua berwarna merah?
2. Bagaimana warna cairan yang keluar dari hewan siput dan serangga? Apakah cairan tersebut berfungsi sebagai darah?
3. Tuliskan kesimpulan Anda dari eksperimen ini.

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen tersebut dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Semua hewan mempunyai sistem sirkulasi yang membawa cairan ke seluruh tubuh. Cairan yang diedarkan ada 2 macam, yaitu **darah** dan **hemolimfa**. Darah selalu mengalir dalam pembuluh darah dan hemolimfa mengalir ke dalam rongga tubuh yang disebut **hemocoel**. Hemolimfa merupakan campuran darah dan cairan interstitiil.

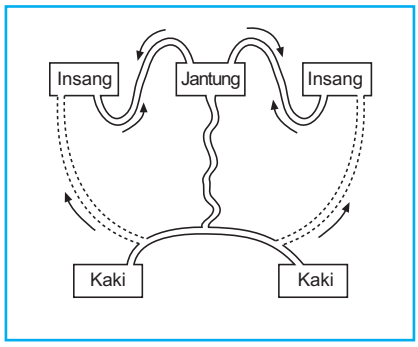
Jadi, berdasarkan tempat mengalirnya cairan tubuh, sistem sirkulasi hewan dibedakan menjadi 2, yaitu sistem sirkulasi darah terbuka dan sistem sirkulasi darah tertutup.

### 1. Sistem Sirkulasi Darah Terbuka

Pada sistem sirkulasi darah terbuka, darah dan cairan lainnya tidak selamanya diedarkan melalui pembuluh darah. Namun, pada saat tertentu darah meninggalkan pembuluh darah dan langsung beredar di dalam rongga-rongga tubuh dan akhirnya kembali lagi ke dalam pembuluh.

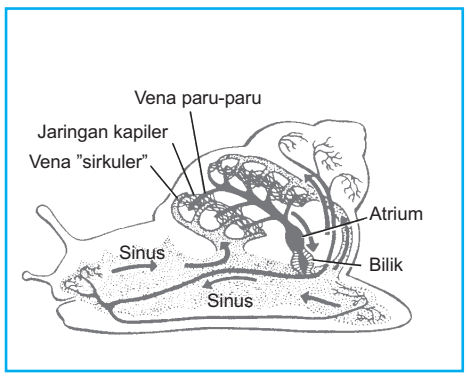
Sistem sirkulasi darah terbuka terdiri dari jantung, sejumlah sinus (rongga), dan sejumlah arteri. Jantung berotot tebal, berbentuk sadel atau tabung yang terbungkus oleh perikardium. Arteri merupakan saluran yang berasal dari jantung dan mempunyai valve (katub-katub). Valve ini untuk mencegah darah masuk kembali ke jantung.

Berikut ini dijelaskan sistem sirkulasi darah terbuka pada beberapa hewan.




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 5.13**
Diagram sirkulasi darah pada udang




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 5.14**
Sirkulasi darah pada siput

### a. Sirkulasi Darah pada Udang

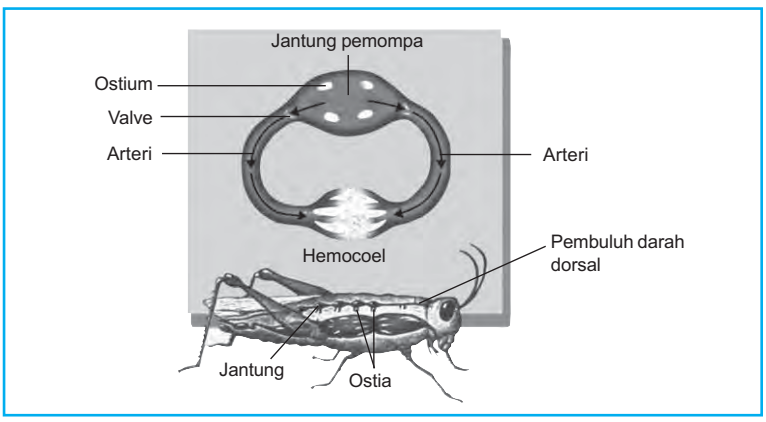
Mula-mula darah dipompa dari jantung melalui pembuluh darah menuju bagian bawah tubuh, seperti bagian kaki. Darah dari bagian kaki mengalir menuju insang bagian kiri dan kanan tanpa melalui pembuluh. Di insang, darah mengikat $O_2$ dan kemudian kembali ke jantung. Perhatikan Gambar 5.13.

### b. Sirkulasi Darah pada Mollusca

Alat sirkulasi darah siput terdiri atas jantung dan pembuluh darah yang masih sederhana. Jantung siput terdiri atas atrium dan ventrikel, terletak di dalam rongga perikardial. Jalan sirkulasi darah pada siput diawali dengan darah dipompa dari jantung mengalir melalui sinus menuju jaringan tubuh. Dari jaringan tubuh, darah kembali lagi ke jantung. Lihat Gambar 5.14.

### c. Sirkulasi Darah pada Serangga

Serangga memiliki alat sirkulasi darah terbuka yang terdiri atas jantung yang beruas-ruas dan aorta. Serangga tidak memiliki pembuluh kapiler dan vena. Perhatikan Gambar 5.15.




**Sumber:** *Biology, Mader*

**Gambar 5.15**
Diagram sistem sirkulasi darah terbuka pada serangga

Jantung memompa hemolimfa menuju aorta dorsal hingga jantung dalam keadaan kosong. Selanjutnya hemolimfa menuju hemocoel. Saat jantung berkontraksi, ostium menutup dan pada saat saat jantung mengalami relaksasi, hemolimfa dialirkan kembali menuju jantung.

Darah serangga tidak berwarna karena tidak mengandung hemoglobin, tetapi mengandung **hemosianin**. Darah serangga hanya digunakan untuk mengangkut sari makanan dari usus ke seluruh tubuh. Darah serangga tidak digunakan untuk pengangkutan gas $O_2$ maupun $CO_2$. Pengangkutan gas $O_2$ dan $CO_2$ dilakukan oleh **sistem trakea**.

## 2. Sistem Sirkulasi Darah Tertutup

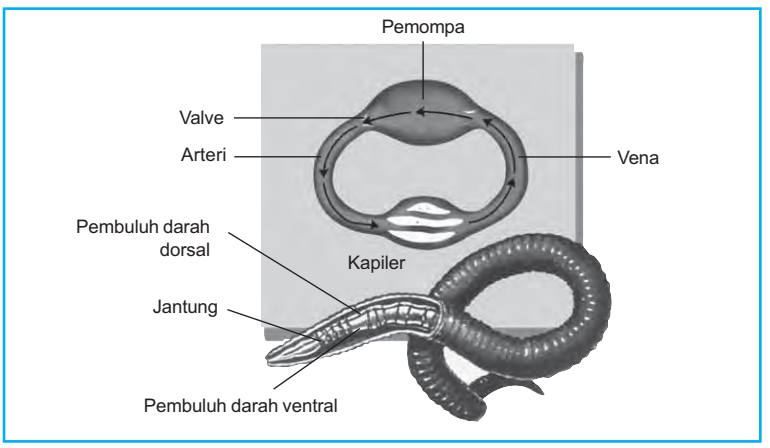
Pada sistem sirkulasi darah tertutup, darah mengalir ke seluruh jaringan tubuh melalui pembuluh. Jantung memompa darah ke seluruh jaringan tubuh melalui pembuluh dan kembali ke jantung juga melalui pembuluh.

Alat-alat yang menyusun sistem sirkulasi darah tertutup sudah lengkap, yaitu terdiri atas jantung sebagai alat pemompa darah, pembuluh aorta, pembuluh arteri, pembuluh vena, pembuluh kapiler, plasma, dan sel darah, serta jaringan tubuh yang dialirinya.

Berikut ini dijelaskan beberapa hewan yang memiliki sistem sirkulasi darah tertutup.

## a. Cacing Tanah

Sistem sirkulasi pada cacing tanah terdiri atas lima pasang jantung pembuluh atau jantung semu yang terletak pada segmen tubuh VII hingga XI. Lima pembuluh darah sejajar dengan panjang tubuh. Pada setiap segmen tubuh terdapat sepasang pembuluh penghubung, pembuluh darah dorsal (punggung), pembuluh ventral (perut), serta anyaman pembuluh kapiler. Jantung pembuluh terdiri dari pembuluh-pembuluh yang berukuran besar, yaitu pembuluh dorsal dan ventral yang mampu berkontraksi. Amati Gambar 5.16.




**Sumber:** *Biology, Mader*

**Gambar 5.16**
Sistem sirkulasi darah pada cacing

Aliran darah terjadi karena adanya kontraksi jantung semu (lengkung aorta). Jantung memompa darah dari pembuluh darah dorsal ke pembuluh darah ventral kemudian ke seluruh tubuh. Pertukaran gas pernapasan terjadi di dalam jaringan-jaringan tubuh melalui kapiler. Dari seluruh tubuh, darah menuju dorsal tubuh kemudian baru kembali ke jantung.

### Tugas Kelompok

Ujilah kreativitas Anda dengan membuat torso alat sirkulasi darah pada cacing. Anda bebas menggunakan berbagai alat dan bahan. Torso ini akan mempermudah Anda mempelajari sistem sirkulasi darah pada cacing. Selamat mencoba!

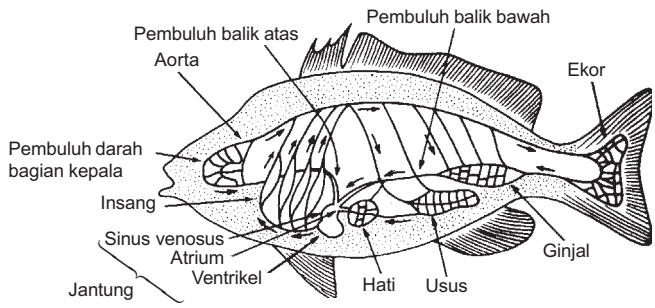
## b. Pisces (Ikan)

Alat sirkulasi darah ikan terdiri atas jantung dan sinus venosus. Jantung terdiri atas dua ruangan yaitu atrium dan ventrikel. Jantung terletak di belakang insang, yaitu di dalam

rongga perikardium. Sinus venosus adalah struktur penghubung berupa rongga yang menerima darah dari vena dan terbuka di ruang depan jantung. Di antara atrium dan ventrikel terdapat klep untuk menjaga aliran darah tetap searah.

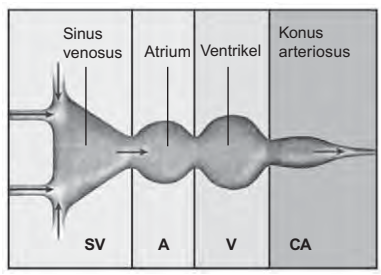
Proses sirkulasi darah bermula dari darah yang kaya $CO_2$ dari seluruh tubuh kembali ke jantung melalui vena dan berkumpul di sinus venosus kemudian masuk ke atrium, dilanjutkan ke ventrikel dan dipompa menuju insang melewati konus arteriosus. Di insang oksigen diikat dan $CO_2$ dilepaskan, kemudian masuk ke aorta dorsalis dan diedarkan ke seluruh tubuh, lalu kembali ke jantung melalui vena. Perhatikan Gambar 5.17.

Sirkulasi darah ikan disebut sirkulasi darah tunggal karena darah beredar hanya sekali melalui jantung, yaitu jantung → insang → seluruh tubuh → jantung.




A

Sistem sirkulasi darah lengkap




B

Diagram jantung ikan

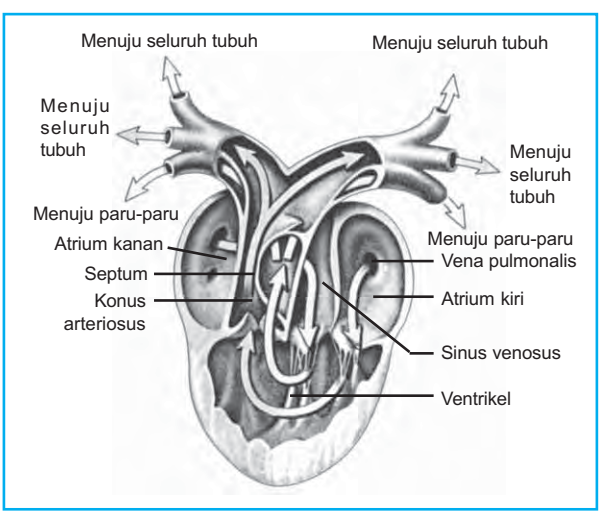
**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 5.17**
Sistem sirkulasi darah ikan

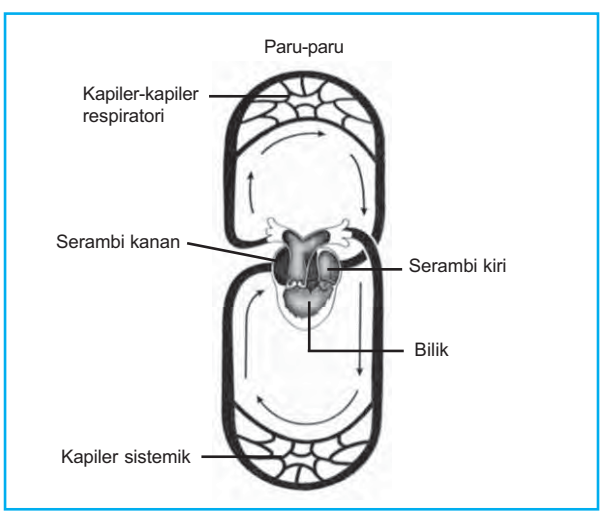
## c. Amphibia (Katak)

Alat sirkulasi darah katak terdiri atas jantung, arteri, vena, kapiler, dan sinus venosus. Lihat Gambar 5.18. Jantung terdiri dari 3 ruangan yaitu atrium kiri, atrium kanan, dan satu ventrikel. Di antara atrium dan ventrikel terdapat sekat. Antara atrium kanan dan kiri terdapat katup. Sinus venosus terletak di sebelah dorsal jantung.




**Sumber:** *Biologi, Sriyono*

**Gambar 5.18**
Jantung Amphibia (katak)




**Sumber:** *Biologi, Sriyono*

**Gambar 5.19**
Diagram sistem sirkulasi pada katak

Perhatikan Gambar 5.19. Aliran darah diawali dari seluruh tubuh yang kaya $CO_2$ masuk ke jantung melalui vena kava. Darah ini mula-mula berkumpul di sinus venosus dan akan masuk ke atrium kanan, dan menuju ventrikel, lalu dipompa menuju paru-paru. Selanjutnya, darah dari paru-paru yang kaya $O_2$ masuk ke atrium kiri dan menuju ventrikel. Selain dari paru-paru, $O_2$ juga dapat diperoleh melalui kapiler-kapiler di bawah kulit. $O_2$ ini masuk ke dalam kulit secara difusi.

Jadi, di dalam ventrikel kedua jenis darah bercampur. Selanjutnya, darah kaya $O_2$ dari ventrikel dipompa menuju arteri untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh. Kulit amfibi juga berperan sebagai alat pernapasan. Oksigen masuk melalui kulit secara difusi, ke kapiler-kapiler di bawah kulit.

Darah beredar dari jantung ke seluruh tubuh, kemudian kembali lagi ke jantung. Selain itu, juga terjadi aliran darah dari jantung menuju paru-paru, kemudian kembali lagi ke jantung.

Lakukan eksperimen berikut agar Anda dapat mengamati aliran darah katak.

## Eksperimen 9

**Mengamati Sirkulasi Darah Kecebong**

Sediakan kecebong katak hijau, kapas, kaca preparat cekung, cawan petri, dan mikroskop. Letakkan kecebong pada cawan petri yang telah diberi kapas basah.

Amati menggunakan mikroskop stereo dan perhatikan jalan aliran darahnya.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimana aliran darah pada kecebong, menyebar atau terpusat di satu tempat?
2. Gambarkan secara skematis sistem sirkulasi darah kecebong setelah tumbuh menjadi katak.
3. Apa kesimpulan Anda dari eksperimen ini?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

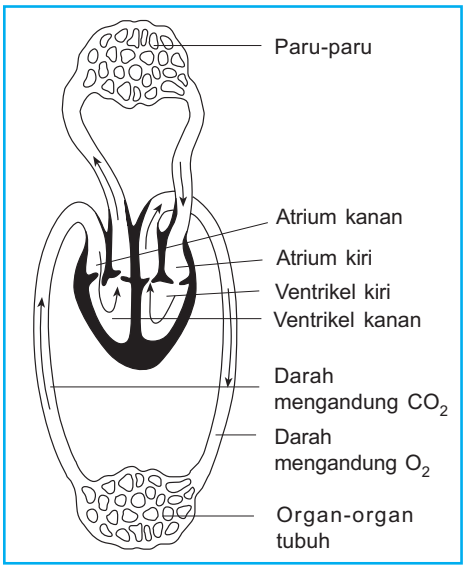
### d. Reptilia

Sistem sirkulasi reptil lebih maju dibandingkan dengan katak. Perhatikan Gambar 5.20. Jantung terdiri dari empat ruangan yaitu ventrikel kanan, ventrikel kiri, atrium kanan, dan atrium kiri serta sebuah sinus venosus. Antara ventrikel kanan dan kiri terdapat sekat yang belum sempurna sehingga terjadi percampuran darah yang kaya $O_2$ dalam ventrikel kiri dengan darah yang kaya $CO_2$ dalam ventrikel kanan.

Khusus pada jantung buaya, pada sekat antar-ventrikel terdapat lubang kecil yang disebut **foramen panizzae** yang berfungsi sebagai berikut.

1) Memungkinkan distribusi oksigen yang cukup ke alat pencernaan.
2) Memelihara keseimbangan tekanan cairan di dalam jantung pada waktu menyelam.

Sistem sirkulasi darah pada reptil termasuk sistem sirkulasi darah ganda. Darah dari vena yang kaya $CO_2$ masuk ke jantung melalui sinus venosus ke bagian




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

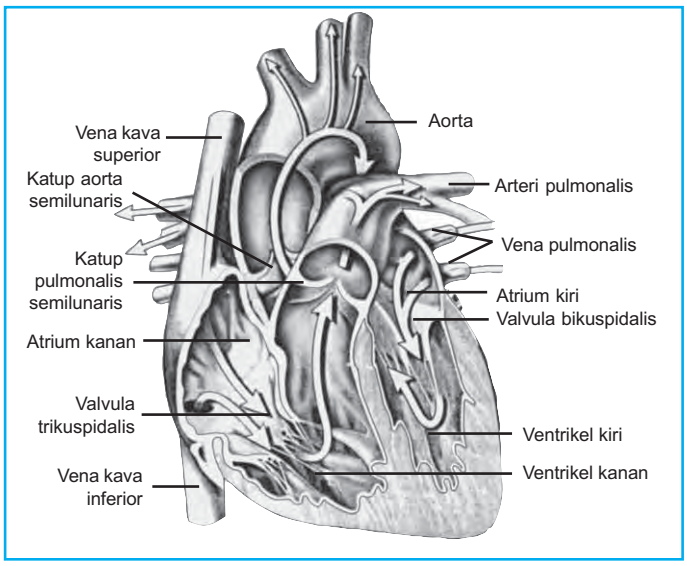
**Gambar 5.20**
Bagan sirkulasi darah pada Reptilia

atrium kanan lalu ke ventrikel kanan. Kemudian, darah dipompa menuju paru-paru. Darah dari paru-paru yang kaya $O_2$ masuk ke atrium kiri, dilanjutkan ke ventrikel kiri. Darah dari ventrikel kiri dipompa keluar melalui aorta menuju ke seluruh tubuh.

### e. Aves

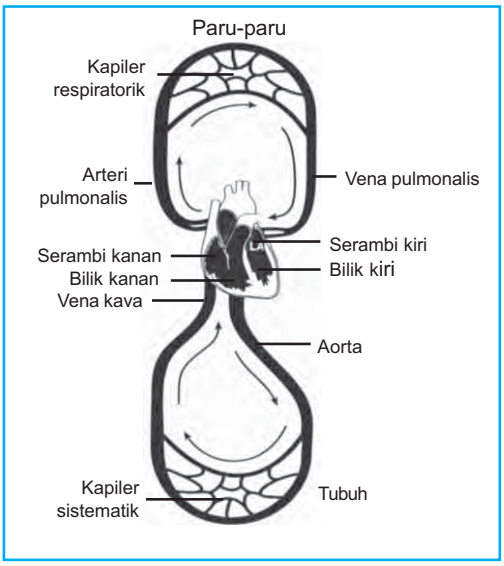
Perhatikan Gambar 5.21. Alat sirkulasi darah berupa jantung yang terdiri dari 4 ruang dengan sekat sempurna, arteri dan vena. Sistem sirkulasi darah Aves sama dengan sirkulasi darah pada manusia.

Alur sirkulasi darah pada Aves dapat Anda amati pada Gambar 5.22.




**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

**Gambar 5.21**
Jantung Aves




**Sumber:** *Biologi, Sriyono*

**Gambar 5.22**
Sirkulasi pada Aves

Darah dari vena kava masuk ke atrium kanan, lalu ke ventrikel kanan. Kemudian, darah dipompa ke paru-paru melalui arteri pulmonalis. Darah dari paru-paru kembali ke atrium kiri melalui vena pulmonalis, lalu menuju ventrikel kiri. Di ventrikel kiri darah dipompa ke seluruh tubuh melalui aorta.

Kini Anda telah mengenal dan memahami sistem dan alat sirkulasi darah pada hewan. Tentu Anda semakin mensyukuri nikmat Tuhan yang telah menciptakan makhluknya dengan sempurna.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Sistem sirkulasi darah pada udang berbeda dengan ikan. Sebutkan perbedaan sistem sirkulasi darah kedua hewan tersebut.
2. Darah pada serangga mempunyai fungsi berbeda dengan darah udang. Sebutkan perbedaan fungsi darah pada kedua hewan tersebut.
3. Mengapa darah serangga tidak berwarna merah?
4. Jantung ikan, katak, reptil, dan burung berbeda. Tunjukkan letak perbedaan jantung keempat hewan tersebut menggunakan gambar.
5. Apa perbedaan jantung buaya dengan jantung anggota reptil lain?

## Rangkuman

1. Sistem sirkulasi ada dua macam yaitu sistem sirkulasi darah dan sistem sirkulasi limfa (getah bening)
2. Sistem sirkulasi darah terdiri dari darah dan alat peredaran darah.
3. Sistem sirkulasi getah bening terdiri dari cairan limfa dan pembuluh limfa.
4. Darah manusia tersusun atas sel-sel darah dan plasma darah. Sel-sel darah terdiri atas eritrosit, leukosit, dan trombosit. Plasma darah tersusun dari air, protein, hormon, mineral, enzim, antibodi, urea, $O_2$, $CO_2$, dan $N_2$.
5. Eritrosit berbentuk bikonkaf, seperti cakram dengan garis tengah 7,5 μm, dan tidak berinti.
6. Leukosit tidak berwarna serta mempunyai inti bulat dan cekung.
7. Trombosit berbentuk oval tidak berinti dan berukuran kecil sekitar 3–4 μm.
8. Fungsi darah:
   a) mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh jaringan tubuh
   b) mengangkut sari-sari makanan dari usus ke jaringan tubuh
   c) mengangkut karbon dioksida dari jaringan tubuh ke paru-paru
   d) mengangkut hasil ekskresi dari jaringan tubuh ke ginjal
   e) mengatur dan mengontrol temperatur tubuh
9. Jantung mempunyai empat ruangan yaitu serambi kiri, serambi kanan, bilik kiri, dan bilik kanan.
10. Pembuluh darah manusia terdiri dari arteri, vena, dan kapiler.
11. Ada empat golongan darah yaitu A, B, AB, dan O.
12. Gangguan atau penyakit yang terjadi pada sistem sirkulasi darah yaitu anemia, *blue baby*, hemofilia, leukimia, sklerosis, koronaria trombosis, varises, dan embolus.
13. Sistem sirkulasi hewan dibedakan menjadi dua yaitu sistem sirkulasi darah terbuka dan sistem sirkulasi darah tertutup. Pada sistem sirkulasi darah terbuka, darah dan cairan lainnya tidak selamanya diedarkan melalui pembuluh darah. Pada sistem sirkulasi darah tertutup, darah mengalir ke seluruh jaringan tubuh melalui pembuluh.
14. Sistem sirkulasi darah terbuka terdapat pada udang dan serangga. Sistem sirkulasi darah tertutup terdapat pada Pisces, Amphibia, Reptilia, dan Aves.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Pengangkutan oksigen dari paru-paru dilakukan oleh darah. Bagian darah yang mengikat oksigen tersebut yaitu . . . .
   a. leukosit
   b. plasma darah
   c. eritrosit
   d. hemoglobin
   e. sel-sel darah

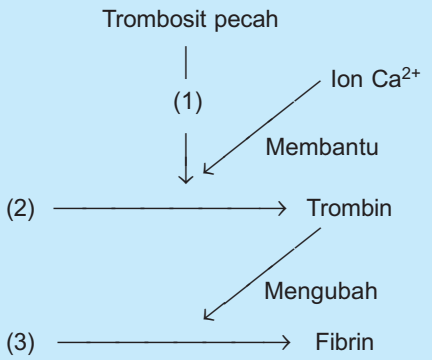
2. Katup-katup dalam arteri berfungsi . . . .
   a. memperlambat aliran
   b. agar darah tidak balik
   c. mengurangi tekanan darah
   d. mempercepat aliran
   e. menghentikan aliran darah untuk sementara

3. Komponen darah yang membantu meng-absorpsi sejumlah $O_2$ yaitu . . . .
   a. garam organik
   b. protein plasma
   c. keping darah
   d. sel darah merah
   e. sel darah putih

4. Limfosit adalah leukosit yang berfungsi untuk . . . .
   a. pengangkutan $O_2$
   b. mengangkut $CO_2$
   c. mengangkut enzim
   d. membentuk hormon
   e. pertahanan tubuh

5. Bagian darah yang berperan dalam pembekuan yaitu . . . .
   a. fibrinogen
   b. monosit
   c. limfosit
   d. trombosit
   e. leukosit

6. Perhatikan skema pembekuan darah berikut.




   Isian yang tepat untuk (1), (2), dan (3) yaitu . . . .
   a. trombin, protrombin, tromblopastin
   b. trombokinase, protrombin, fibrinogen
   c. protrombin, trombin, trombokinase
   d. trombokinase, trombin, vitamin K
   e. tromboplastin, trombin, asam sitrat

7. Karl Landsteiner membagi darah menjadi 4 golongan, yaitu A, B, AB, dan O berdasarkan . . . .
   a. banyak sedikitnya protein dalam plasma
   b. adanya antigen dalam darah
   c. ada tidaknya aglutinogen
   d. ada tidaknya aglutinogen dan aglutinin
   e. reaksi aglutinogen terhadap protein asing

8. Jika dalam darah seseorang terdapat aglutinogen B dan aglutinin negatif, orang tersebut mempunyai golongan darah . . . .
   a. A
   b. B
   c. AB
   d. O
   e. A atau AB

9. Pembekuan dan pengawetan darah untuk donor dapat dilakukan dengan cara . . . .
   a. disimpan dalam tempat dingin bersuhu 0°C
   b. didiamkan dalam suhu kamar
   c. menambahkan vitamin B
   d. menambahkan serum darah
   e. menambahkan natrium oksalat

10. Fungsi darah yaitu . . . .
   a. sebagai hasil metabolisme
   b. sebagai tempat pembentukan hormon
   c. sebagai alat penerima rangsang
   d. menjaga kestabilan suhu tubuh
   e. mengatur keseimbangan gula darah

11. Pembuluh darah dalam tubuh manusia yang mengandung banyak $O_2$ yaitu . . . .
   a. vena
   b. venula
   c. vena pulmonalis dan aorta
   d. sinus venosus
   e. vena kava

12. Darah yang mengalir dalam vena tidak dapat mengalir ke bagian sebelumnya karena di sepanjang vena terdapat . . . .
   a. katup
   b. arteri
   c. valvula
   d. valvula trikuspidalis
   e. valvula bikuspidalis

13. Pembuluh darah yang mempunyai volume darah terbesar terdapat pada bagian . . . .
   a. kapiler
   b. vena
   c. arteri
   d. pembuluh limfa
   e. jantung

14. Terjadinya pembekuan darah di daerah pembuluh darah disebut . . . .
   a. embolus
   b. trombusis
   c. stroke
   d. arteriosklerosis
   e. thalasemia

15. Bagian jantung yang menerima darah dari pulmo yaitu . . . .
   a. atrium sinister
   b. atrium dexter
   c. ventrikel sinister
   d. ventrikel dexter
   e. arteri pulmonalis

16. Keseimbangan osmotik darah tetap terjaga karena peran protein darah yang disebut . . . .
   a. globulin
   b. fibrinogen
   c. albumin
   d. γ-globulin
   e. lisin

17. Pembuluh darah yang membawa darah keluar dari jantung (ventrikel kiri) menuju anggota tubuh serta ke organ tubuh lainnya disebut pembuluh . . . .
   a. arteri
   b. vena
   c. kapiler
   d. arteriole
   e. limfa

18. Beberapa kelainan sistem sirkulasi sebagai berikut.
    1) hemofilia
    2) eritoblastosis fetalis
    3) leukemia
    4) *anemia sickle cell*
    5) *blue baby*

    Kelainan sistem sirkulasi yang bersifat genetis yaitu . . . .
    a. 1) dan 2)
    b. 1) dan 4)
    c. 2) dan 3)
    d. 3) dan 4)
    e. 4) dan 5)

19. Hewan yang memiliki sistem sirkulasi darah tertutup yaitu . . . .
    a. belalang dan katak
    b. siput dan ikan
    c. cacing tanah dan katak
    d. cacing tanah dan udang
    e. udang dan nyamuk

20. Pada Arthropoda, darah dan cairan tubuhnya disebut . . . .
    a. hemoglobin
    b. hemolimfa
    c. hemosianin
    d. hemocoel
    e. sinus

21. Sirkulasi darah serangga tidak berfungsi untuk mengangkut $O_2$ sebab . . . .
    a. $O_2$ dipenuhi dari difusi melalui permukaan tubuh
    b. $O_2$ dipenuhi dari sistem respirasi melalui paru-paru
    c. $O_2$ dapat diperoleh dari hasil metabolisme
    d. $O_2$ dapat diperoleh melalui trakea
    e. $O_2$ berdifusi langsung ke dalam sel melalui permukaan tubuh

22. Beberapa pernyataan tentang sistem sirkulasi darah sebagai berikut.
    1) Dalam 1 kali sirkulasi, darah melalui jantung 2 kali.
    2) Darah tidak selalu beredar melalui pembuluh.
    3) Darah selalu beredar melalui pembuluh.
    4) Terdapat pada ikan dan cacing tanah.

    Pernyataan yang berhubungan dengan sistem sirkulasi darah tertutup yaitu . . . .
    a. 1) dan 2)
    b. 1) dan 3)
    c. 2) dan 3)
    d. 2) dan 4)
    e. 3) dan 4)

23. Sistem sirkulasi darah pada cacing bersifat tertutup sebab . . . .
    a. peredarannya melalui pembuluh darah punggung
    b. peredarannya melalui pembuluh darah perut
    c. selama peredarannya, darah selalu dalam pembuluh
    d. sistem sirkulasi darah terdapat pembuluh darah punggung, perut, dan samping
    e. sistem sirkulasi sampingnya terdapat 5 pasang lengkung

24. Sirkulasi darah jantung menuju paru-paru dan kembali ke jantung disebut sirkulasi darah . . . .
    a. tunggal
    b. kecil
    c. besar
    d. ganda
    e. terbuka

25. Darah serangga mempunyai ciri dan fungsi sebagai berikut.
    1) Hanya digunakan untuk mengangkut sari makanan.
    2) Berwarna merah muda.
    3) Mengandung hemosianin.
    4) Hanya digunakan untuk mengangkut $O_2$ dan $CO_2$.
    5) Untuk mengangkut sari makanan dan udara pernapasan.

    Ciri dan fungsi darah pada serangga yaitu . . . .
    a. 1) dan 2)
    b. 1) dan 3)
    c. 2) dan 4)
    d. 3) dan 4)
    e. 3) dan 5)

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Mengapa seseorang yang bergolongan darah A dilarang mendonorkan darahnya kepada seseorang yang bergolongan darah B? Jelaskan.
2. Mengapa otot ventrikel lebih tebal daripada otot atrium?
3. Sebutkan fungsi kelenjar limfa.
4. Menurut Anda, adakah darah hewan yang tidak mengandung hemoglobin? Jelaskan.
5. Apakah perbedaan antara:
    a. sirkulasi darah terbuka dengan tertutup?
    b. sirkulasi darah tunggal dengan ganda?

C. *Berpikir kritis*

Nomor K.T.P. : 1208/05682/722008
Nama lengkap : SRI LESTARI,S.SI
Jenis kelamin : WANITA Golongan darah : B
Tempat/tgl. lahir : KLATEN, 21 MAR 1978
Kawin/ tidak kawin : BLM KAWIN Agama : ISLAM
Pekerjaan :
Alamat : DK. PLUNDUNGAN
R.T. 04 R.W. 08 Klaten, 31 OKT 2002
Kelurahan/Desa : MOJAYAN a.n. BUPATI KLATEN
Kecamatan : KLATEN TENGAH CAMAT,
Berlaku hingga :
21 MAR 2005

Mengapa dalam surat identitas diri seperti KTP selalu mencantumkan jenis golongan darah pemilik surat tersebut?

## Refleksi

**Sistem Sirkulasi Darah pada Manusia dan Hewan**

Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa yang dimaksud sistem sirkulasi darah?
2. Alat-alat apa saja yang menyusun sistem sirkulasi darah manusia?
3. Apa saja komponen-komponen darah?
4. Apa fungsi darah bagi tubuh?
5. Bagaimana proses terjadinya pembekuan darah?
6. Bagaimana cara menentukan golongan darah manusia?
7. Apa saja bagian-bagian jantung?
8. Gangguan atau penyakit apa saja yang dapat terjadi pada sistem sirkulasi darah?
9. Apakah yang dimaksud dengan sirkulasi getah bening?
10. Apa yang dimaksud sistem sirkulasi darah terbuka dan sistem sirkulasi darah tertutup?
11. Hewan-hewan apa saja yang memiliki sistem sirkulasi darah terbuka dan sistem sirkulasi darah tertutup?

Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%

Selamat . . . !

Anda telah menyelesaikan materi pelajaran Biologi kelas XI Semester 1. Ingat, sebentar lagi Anda akan menghadapi Ulangan Semester. Belajarlah dengan tekun agar Anda dapat melanjutkan ke materi pelajaran semester 2.

# Latihan Ulangan Blok 2

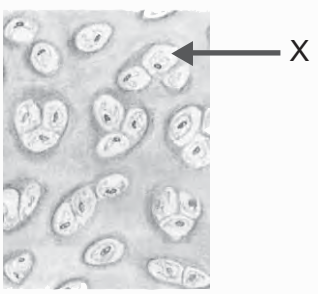
A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Hewan berikut ini yang memiliki rangka berupa eksoskeleton yaitu . . . .
   a. burung dara
   b. belalang
   c. cacing tanah
   d. ular
   e. ikan

2. Matriks yang dihasilkan oleh sel-sel kondroblas disebut . . . .
   a. lakuna
   b. kondrosit
   c. kondrin
   d. mesenkim
   e. osteosit

3. Zat yang terkandung dalam matriks sehingga tulang menjadi keras adalah . . . .
   a. zat besi dan fosfat
   b. zat besi dan kapur
   c. zat kapur dan fosfat
   d. zat kalsium dan kapur
   e. zat kapur dan kolagen

4. Pada gambar tulang manusia dewasa di bawah, yang diberi tanda X dinamakan . . . .



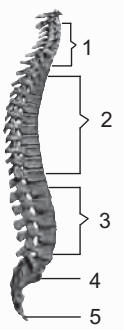

   a. osteosit
   b. matriks
   c. kanalikuli
   d. kondroblas
   e. lakuna

5. Tulang-tulang berikut yang merupakan contoh tulang pendek pada manusia adalah . . . .
   a. tulang tengkorak, tulang ekor
   b. tulang belikat, tulang dada
   c. tulang pergelangan kaki, tulang belakang
   d. tulang betis, tulang dada
   e. tulang pergelangan kaki, tulang hasta

6. Contoh tulang yang memiliki sumsum tulang yaitu . . . .
   a. tulang paha
   b. tulang belikat
   c. tulang tengkorak
   d. tulang pergelangan kaki
   e. tulang tempurung lutut

7. Bagian tulang yang dapat bertambah panjang pada masa pertumbuhan adalah . . . .
   a. epifisis
   b. diafisis
   c. cakra epifisis
   d. Havers
   e. matriks tulang

8. Pada gambar di samping, tulang sakrum ditunjukkan oleh nomor . . . .
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5




9. Tulang rusuk terdiri dari . . . .
   a. 7 pasang rusuk sejati, 3 pasang rusuk palsu, 3 pasang rusuk melayang
   b. 7 pasang rusuk sejati, 2 pasang rusuk palsu, 2 pasang rusuk melayang
   c. 3 pasang rusuk sejati, 7 pasang rusuk palsu, 2 pasang rusuk melayang
   d. 3 pasang rusuk sejati, 3 pasang rusuk palsu, 2 pasang rusuk melayang
   e. 7 pasang rusuk sejati, 3 pasang rusuk palsu, 2 pasang rusuk melayang

10. Sel yang dapat menyebabkan tulang pipa berongga adalah . . . .
    a. kondrosit
    b. osifikasi
    c. osteoblas
    d. esteosit
    e. esteoklas

11. Berikut ini adalah macam-macam tulang.
    1) tulang baji
    2) tulang rahang atas
    3) tulang ekor
    4) tulang rusuk
    5) tulang pelipis
    6) tulang rahang bawah
    7) tulang kemaluan
    8) tulang belikat
    9) tulang ubun-ubun
    10) tulang punggung

    Tulang-tulang yang merupakan bagian dari tengkorak manusia adalah . . . .
    a. 1), 2), 3), 4), 5)
    b. 1), 2), 4), 8), 9)
    c. 2), 3), 4), 6), 7)
    d. 2), 3), 5), 9), 10)
    e. 1), 2), 5), 6), 9)

12. Persendian pada tulang siku dan tulang lutut disebut sendi . . . .
    a. engsel
    b. peluru
    c. geser
    d. putar
    e. luncur

13. Minyak sinovial terdapat di . . . .
    a. tengah tulang pipa
    b. persendian diartrosis
    c. persendian sinartrosis
    d. persendian amfiartrosis
    e. tulang tengkorak

14. Kelainan pada gambar di samping disebut . . . .
    a. lordosis
    b. kiposis
    c. skoliosis
    d. osteoporosis
    e. rakitis

15. Bagian yang ditunjuk merupakan gangguan pada tulang yang dinamakan . . . .
    a. fisura
    b. lordosis
    c. skoliosis
    d. osteoporosis
    e. fraktura

16. Gangguan pertumbuhan tulang akibat kekurangan zat kapur pada saat bayi disebut . . . .
    a. rakitis
    b. hidrocephalus
    c. osteoporosis
    d. mikrocephalus
    e. ankilosis

17. Sendi peluru terdapat di antara . . . .
    a. tulang pengumpil dan tulang lengan atas
    b. gelang panggul dan tulang paha
    c. tulang dada dan tulang rusuk
    d. tulang metakarpal dan tulang jari tangan
    e. tulang paha dan tulang betis

18.
    1 2 3
    Gambar di atas berturut-turut (1–2–3) merupakan jenis otot . . . .
    a. polos – rangka – jantung
    b. lurik – polos – jantung
    c. rangka – jantung – polos
    d. jantung – lurik – polos
    e. jantung – polos – lurik

19. Bagian otot yang melekat pada tulang disebut . . . .
    a. sarkomer
    b. belli
    c. tendon
    d. miofibril
    e. zona H

20. Anda ingin melihat burung yang terbang di atas Anda, maka Anda harus menggerakkan kepala ke atas. Hal ini termasuk gerakan jenis . . . .
    a. adduksi
    b. elevasi
    c. depresi
    d. pronasi
    e. supinasi

21. Berikut ini yang termasuk pejalan sol adalah . . . .
    a. sapi
    b. landak
    c. kucing
    d. kambing
    e. kuda

22. Lunas merupakan ciri yang terdapat pada . . . .
    a. burung
    b. kuda
    c. katak
    d. kura-kura
    e. ular

23. Penimbunan asam laktat dapat menyebabkan . . . .
    a. tetanus
    b. kelelehan otot
    c. atrofi otot
    d. hipertrofi otot
    e. distorsi otot

24. Gerak lokomosi berkelok-kelok terjadi pada . . . .
    a. katak
    b. ular
    c. kadal
    d. cecak
    e. buaya

25. Pembuluh darah yang banyak mengandung oksigen adalah . . . .
    a. vena paru-paru, vena, aorta
    b. vena paru-paru dan aorta
    c. vena dan arteri paru-paru
    d. arteri paru-paru
    e. vena paru-paru, vena, aorta, dan arteri paru-paru

26. Serum terdapat di dalam . . . .
    a. plasma darah
    b. eritrosit
    c. leukosit
    d. trombosit
    e. limfosit

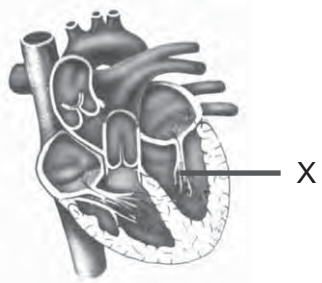
27. Komponen darah yang berperan penting dalam proses pembekuan darah adalah . . . .
    a. eritrosit
    b. leukosit
    c. limfosit
    d. monosit
    e. trombosit

28. Penyakit *Erithroblastosis fetalis* pada bayi dapat terjadi bila . . . .
    a. ibu $Rh^+$, ayah $Rh^+$
    b. ibu $R^+$, ayah $Rh^-$
    c. ibu $Rh^-$, ayah $Rh^+$
    d. ibu $Rh^-$, ayah $Rh^-$
    e. ibu $Rh^+$, ayah $Rh^-$, anak $Rh^+$

29. Jika orang bergolongan darah A ditransfusi dengan darah bergolongan B, maka . . . .
    a. terjadi aglutinasi
    b. tidak selalu terjadi aglutinasi
    c. tidak terjadi aglutinasi
    d. mungkin akan terjadi aglutinasi
    e. tergantung pada perbandingan darah donor dan resipien

30. Pembuluh yang dilewati darah dari bilik kanan menuju paru-paru disebut . . . .
    a. arteri
    b. aorta
    c. vena
    d. arteri pulmonalis
    e. vena pulmonalis

31. Bagian yang ditunjuk (X) berfungsi untuk . . . .




    a. mencegah alirah darah dari bilik kiri ke serambi kiri
    b. mencegah aliran balik dari aorta dan arteri pulmonlis
    c. mengalirkan darah dari bilik kiri ke serambi kiri
    d. mengalirkan darah dari bilik kanan ke serambi kanan
    e. mencegah aliran darah dari bilik kanan ke serambi kanan

32. Jalur peredaran darah kecil adalah . . . .
    a. jantung – vena pulmonalis – paru-paru – aorta pulmonalis – jantung
    b. jantung – seluruh tubuh – jantung
    c. jantung – arteri pulmonalis – paru-paru vena pulmonalis – jantung
    d. jantung – paru-paru – aorta pulmonalis – vena pulmonalis – jantung
    e. jantung – paru-paru – vena pulmonalis – aorta pulmonalis – jantung

33. Pengambilan limpa (*lien*) dapat menyebabkan . . . .
    a. kematian
    b. peningkatan sistem kekebalan tubuh
    c. peningkatan pembentukan eritrosit
    d. peningkatan aktivitas hati sebagai pengambil alih fungsi limpa
    e. seluruh fungsi limpa dipindahkan pada kelenjar limfa

34. Pengerasan pembuluh darah karena timbunan zat kapur disebut . . . .
    a. hemoroid
    b. aterosklerosis
    c. embolus
    d. arteriosklerosis
    e. hemofilia

35. Hewan yang mempunyai sistem peredaran darah terbuka adalah . . . .
    a. cacing tanah
    b. ikan
    c. burung
    d. belalang
    e. katak

36. Penyakit pada sistem peredaran darah yang bersifat menurun yaitu . . . .
    a. anemia
    b. hemofilia
    c. varises
    d. hemoroid
    e. atherosklerosis

37. Jantung katak terdiri dari . . . .
    a. 1 atrium, 1 ventrikel
    b. 1 atrium, 2 ventrikel
    c. 2 atrium, 1 ventrikel
    d. 2 atrium, 2 ventrikel, sekat belum sempurna
    e. 2 atrium, 2 ventrikel, sekat sempurna

38. Darah berwarna merah karena mengandung . . . .
    a. eritrosit
    b. leukosit
    c. trombosit
    d. hemoglobin
    e. protrombin

39. Berikut ini merupakan sel darah putih yang bergranula, *kecuali* . . . .
    a. bosofil, eosinofil
    b. basofil, neutrofil
    c. eosinofil, limfosit
    d. neutrofil, limfosit
    e. limfosit, monosit

40. Berikut ini ciri-ciri dari sel darah:
    1) bentuk bikonkaf
    2) bentuk oval
    3) bentuk bervariasi
    4) tidak berinti
    5) inti bulat dan cekung

    Ciri-ciri keping darah yaitu . . . .
    a. 1 dan 4
    b. 2 dan 4
    c. 3 dan 4
    d. 1 dan 5
    e. 2 dan 5

41. Sel-sel leukosit yang dapat membesar dan berkembang menjadi makrofag adalah . . . .
    a. basofil
    b. eosinofil
    c. neutrofil
    d. limfosit
    e. monosit

42. Oksigen dari paru-paru diangkut ke seluruh tubuh manusia oleh . . . .
    a. darah
    b. eritrosit
    c. plasma darah
    d. leukosit
    e. trombosit

43. Darah serangga tidak berwarna karena mengandung . . . .
    a. hemolimfa
    b. hemocoel
    c. hemoglobin
    d. hemosianin
    e. hemofilia

44. Enzim yang berperan dalam proses pembekuan darah adalah . . . .
    a. tromboplastin
    b. protrombin
    c. trombin
    d. fibrinogen
    e. fibrin

45. Hewan yang mempunyai *Foramen panizzae* adalah . . . .
    a. katak
    b. ikan
    c. cacing tanah
    d. burung
    e. buaya

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa saja fungsi rangka bagi manusia?
2. Bagaimana tulang pipa pada manusia dapat bertambah panjang?
3. Apa saja tulang-tulang yang menyusun tungkai atas? Berdasar bentuknya termasuk jenis tulang apa?
4. Gangguan tulang apa saja yang mungkin terjadi apabila seseorang terjatuh dari pohon setinggi 3 meter?
5. Jelaskan tiga macam kelainan pada otot.
6. Jelaskan komponen-komponen dari sel-sel darah dan sebutkan karakteristik dari sel-sel darah tersebut.
7. Jelaskan bagaimana proses terjadinya pembekuan darah.
8. Jelaskan perbedaan sistem sirkulasi darah terbuka dan tertutup. Berikan contoh spesiesnya.
9. Sebutkan perbedaan antara sistem sirkulasi limfa dengan sistem sirkulasi darah.
10. Sebutkan dan jelaskan macam-macam gangguan yang sering mempengaruhi sistem sirkulasi darah.

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Organel sel yang berfungsi dalam sistesis protein adalah . . . .
   a. nukleus
   b. vakuola
   c. ribosom
   d. mitokondria
   e. kloroplas

2. Organel sel yang hanya dimiliki oleh sel tumbuhan yaitu . . . .
   a. kloroplas
   b. mitokondria
   c. ribosom
   d. sentriol
   e. lisosom

3. Lipatan membran dalam kloroplas membentuk struktur yang disebut . . . .
   a. tilakoid
   b. grana
   c. stroma
   d. klorofil
   e. leukoplas

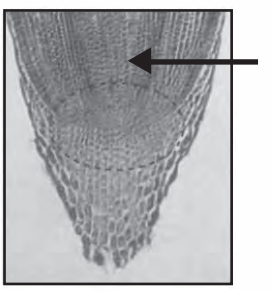
4. Plastida yang mengandung pigmen non-fotosintetik yaitu . . . .
   a. kloroplas
   b. leukoplas
   c. kromoplas
   d. proteoplas
   e. amiloplas

5. *Omnis cellula ex cellulae* dikemukakan oleh . . . .
   a. Robert Brown
   b. Johanes Purkinye
   c. Scheleiden dan Schwan
   d. Max Schultze
   e. Rudolph Virchow

6. Bila sel tumbuhan diletakkan dalam larutan gula, akan terjadi . . . .
   a. plasmolisis
   b. deplasmolisis
   c. krenasi
   d. lisis
   e. fagositosis

7. Organela yang didalamnya berisi enzim katalase dan oksidase yaitu . . . .
   a. lisosom
   b. mikrobodi
   c. mitokondria
   d. badan golgi
   e. ribosom

8. Di bawah ini yang termasuk jaringan penguat yaitu . . . .
   a. xilem
   b. floem
   c. parenkim
   d. epidermis
   e. sklerenkim

9. 

   Pada gambar di atas, gambar yang ditunjuk akan membentuk jaringan . . . dan . . . .
   a. epidermis dan kambium
   b. parenkim dan kambium
   c. epidermis dan parenkim
   d. berkas pengangkut primer dan kambium
   e. berkas pengangkut primer dan parenkim

10. Stomata memiliki beberapa bagian. Bagian yang mengandung kloroplas disebut . . . .
    a. sel penutup
    b. porus
    c. sel tetangga
    d. ruang udara dalam
    e. mulut daun

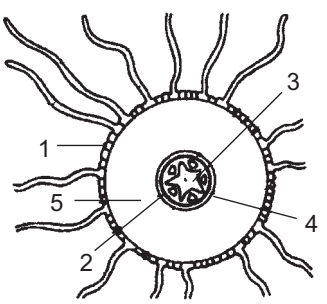
11. Trikomata yang menghasilkan sekret (trikomata glandular) terdapat pada . . . .
    a. Lauraceae
    b. Moraceae
    c. *Durio zibetinus*
    d. *Nicotiana tabacum*
    e. *Hibiscus tiliaceus*

12. Jaringan tumbuhan yang berfungsi mengangkut dan mengedarkan zat-zat makanan hasil fotosintesis dari daun ke seluruh bagian tumbuhan adalah jaringan . . . .
    a. xilem
    b. floem
    c. kolenkim
    d. sklerenkim
    e. parenkim

13. Unsur-unsur xilem yang memiliki lempeng perforasi adalah . . . .
    a. trakea
    b. trakeida
    c. parenkim
    d. serabut xilem
    e. sel pengiring

14. Transportasi apoplas tidak dapat melewati xilem. Hal ini karena xilem mempunyai pita kaspari pada sel-sel . . . .
    a. epidermis
    b. endodermis
    c. ektodermis
    d. korteks
    e. stele

15. Perjalanan air dari akar menuju daun dapat terlaksana karena adanya sel-sel hidup. Ini merupakan pernyataan dari . . . .
    a. Teori adhesi – kohesi
    b. Teori Dixon Joly
    c. Teori vital
    d. Teori kapilaritas
    e. Teori tekanan akar

16. 

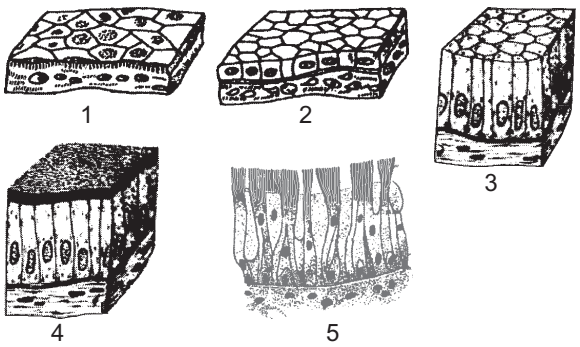
Gambar di atas merupakan gambar penampang melintang akar Dicotyledoneae. Bagian yang berfungsi dalam pembentukan cabang akar dan kambium gabus adalah . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

17. Berikut ini adalah nama-nama yang memiliki pola pertumbuhan batang monacaulis, *kecuali* . . . .
    a. *Musa* sp
    b. *Cocos nucifera*
    c. *Arenga pinnata*
    d. *Gleichenia* sp
    e. *Tectona grandis*

18. Jaringan yang mengisi hampir seluruh bagian tubuh tumbuhan yaitu . . . .
    a. floem
    b. felogen
    c. feloderma
    d. parenkim
    e. endoderm

19. Tempat berlangsungnya proses fotosintesis adalah di . . . .
    a. epidermis
    b. mesofil
    c. berkas pengangkut
    d. stomata
    e. kutikula

20.
Bagian yang ditunjuk merupakan bagian-bagian bunga yang disebut dengan . . . .
    a. kepala sari dan bakal buah
    b. kepala putik dan bakal buah
    c. kepala sari dan kepala putik
    d. bakal buah dan tangkai putik
    e. bakal buah dan tangkai sari

21. 


Berdasarkan gambar epitelium di atas yang merupakan jaringan epitelium silindris selapis adalah nomor . . . .
a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

22. Sel jaringan pengikat yang tertanam dalam matriks dan berfungsi untuk menghasilkan substansi heparin dan histamin yaitu . . . .
a. fibroblast
b. sel mast
c. makrofag
d. sel lunak
e. sel darah putih

23. Berikut ini yang merupakan contoh organ dalam yaitu . . . .
a. usus
b. sistem pencernaan
c. otot
d. saraf
e. epitelium

24. Berikut ini yang merupakan contoh dari tulang pipih yaitu . . . .
a. tulang telapak tangan
b. tulang rusuk
c. ruas tulang belakang
d. tulang paha
e. tungkai atas

25. Persendian yang memungkinkan gerakan tulang-tulang secara leluasa disebut . . . .
a. suture
b. sinkondrosis
c. diartrosis
d. sinartrosis
e. sinfibrosis

26. Gambar di samping menunjukkan kelainan pada tulang punggung yang disebut dengan . . . .
a. ankilosis
b. osteoporosis
c. lordosis
d. kifosis
e. skoliosis

27. Gerak tangan sejajar bahu disebut dengan gerak . . . .
a. abduksi
b. adduksi
c. ekstensi
d. fleksi
e. supinasi

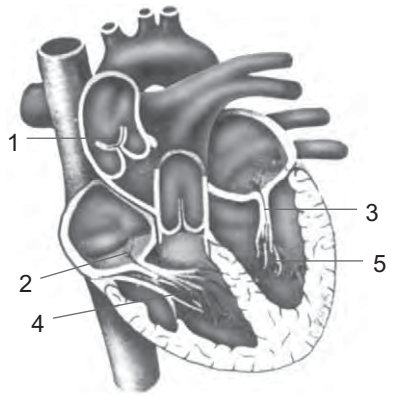
28. Hipertrofi otot merupakan kelainan pada otot yang disebabkan oleh . . . .
a. otot yang mengecil
b. bakteri tetanus
c. otot sering digunakan
d. dinding otot abdominal sobek
e. kontraksi yang terjadi terus menerus

29. Daerah gelap pada sarkomer hanya mengandung . . . .
a. aktin
b. miosin
c. tendon
d. belli
e. mikrofibril

30. Sel leukosit yang mampu membesar dan berkembang menjadi makrofag yaitu . . . .
a. basofil
b. eosinofil
c. neutrofil
d. limfosit
e. monosit

31. Enzim yang berperan dalam proses pembekuan darah adalah . . . .
a. trombin
b. protrombin
c. tromboplastin
d. fibrinogen
e. fibrin

32. Antibodi dalam plasma darah yang berfungsi untuk mengendapkan antigen yaitu . . . .
a. aglutinin
b. antitoksin
c. antigen
d. presipitin
e. lisin

33. 


Bagian jantung yang berfungsi mencegah darah dalam ventrikel kanan agar tidak mengalir kembali ke atrium kanan saat jantung berkontraksi adalah nomor . . . .

a. 1
b. 2
c. 3
d. 4
e. 5

34. Pengerasan pembuluh darah akibat adanya timbunan lemak disebut . . . .

a. aterosklerosis
b. talasemia
c. hemoroid
d. embolus
e. arteriosklerosis

35. Berikut ini adalah hewan yang mempunyai sistem peredaran darah tertutup, *kecuali* . . . .

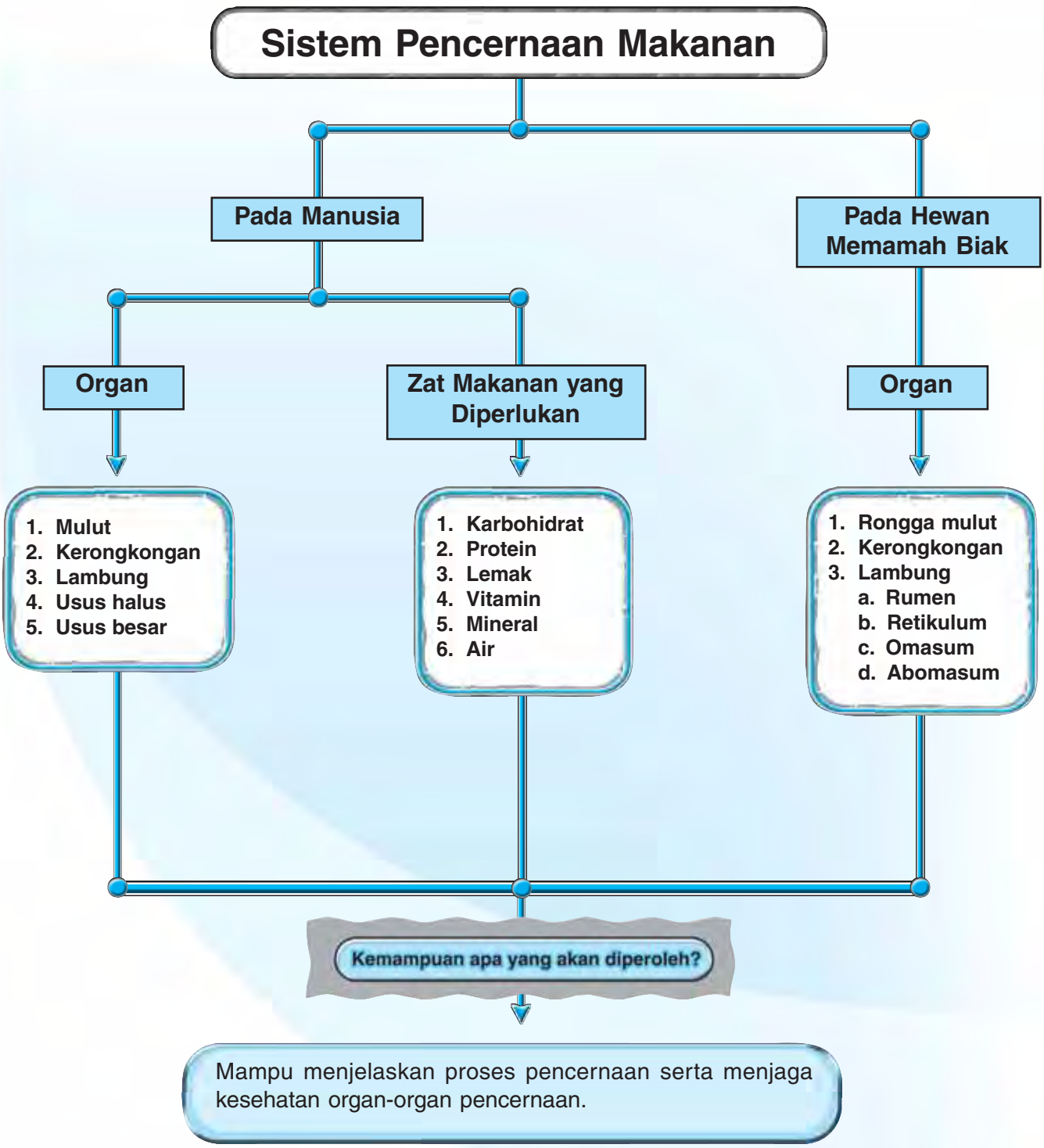
a. ikan
b. katak
c. kadal
d. cacing tanah
e. belalang

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan perbedaan sel tumbuhan dan sel hewan.
2. Apakah perbedaan difusi dan osmosis?
3. Sebutkan fungsi-fungsi lisosom.
4. Mengapa batang tumbuhan Monocotyledoneae tidak mengalami pertumbuhan? Jelaskan.
5. Jelaskan tentang derivat epidermis dan berikan contohnya.
6. Apakah perbedaan xilem dan floem? Jelaskan dengan gambar.
7. Sebutkan fungsi epitelium silindris selapis bersilia.
8. Mengapa kelenjar endokrin disebut kelenjar buntu?
9. Jelaskan perbedaan otot polos, otot lurik, dan otot jantung.
10. Sebutkan dan jelaskan tiga jenis persendian berdasarkan keleluasaan gerak yang dihasilkan.
11. Mengapa jika anak-anak mengalami patah tulang lebih cepat sembuh daripada orang dewasa?
12. Jelaskan empat macam otot antagonis.
13. Apakah yang dimaksud dengan sistem sirkulasi limfa?
14. Jelaskan sistem sirkulasi darah pada serangga.
15. Jelaskan perbedaan jantung buaya dan jantung reptil lainnya.

# Bab VI

# Sistem Pencernaan Makanan



## Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Tubuh sehat merupakan keinginan setiap orang. Hal ini karena dapat mendukung kelancaran aktivitas kita. Namun, orang-orang di sekitar kita banyak yang merasa tubuhnya tidak ideal, seperti terlalu kurus atau terlalu gemuk. Gemuk dan kurus sangat dipengaruhi oleh pola makan. Menurut ahli gizi, pola makan seseorang dapat berpengaruh terhadap kesehatan. Tahukah Anda bagaimana pola makan yang sehat itu? Bagaimana pola makan dapat mempengaruhi kesehatan pencernaan kita?

Setelah mempelajari bab ini, diharapkan Anda dapat memahami mengenai sistem pencernaan manusia dan cara menjaga kesehatan organ-organ pencernaan.

### Kata Kunci

makanan
gigi
lambung
kerongkongan
usus halus
usus besar
anus
enzim
pencernaan
energi
ruminansia
karbohidrat
protein

Pola makan sangat berpengaruh terhadap kesehatan alat pencernaan kita. Misalnya kebiasaan mengonsumsi makanan pedas dapat berpengaruh terhadap asam lambung, demikian juga dengan mengonsumsi makanan berserat dapat mempermudah buang air besar. Sebelum membahas lebih lanjut tentang hubungan antara kesehatan dengan pola makan, Anda perlu terlebih dahulu mengenal berbagai macam organ-organ penyusun sistem pencernaan.

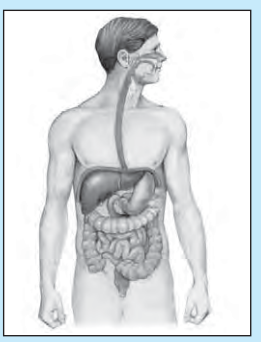
## A. Organ-Organ Pencernaan

Proses pencernaan merupakan suatu proses yang melibatkan organ-organ pencernaan dan kelenjar-kelenjar pencernaan. Antara proses dan organ-organ serta kelenjarnya merupakan kesatuan sistem pencernaan. Sistem pencernaan berfungsi memecah bahan-bahan makanan menjadi sari-sari makanan yang siap diserap dalam tubuh.

Saat di SMP Anda telah mempelajari materi tentang alat pencernaan. Coba lakukan kegiatan berikut untuk mengingat kembali nama-nama organ yang menyusun sistem pencernaan.

### Forum Diskusi

Persiapkan torso atau gambar sistem pencernaan seperti gambar di samping. Pelajari dengan saksama torso atau gambar tersebut bersama teman kelompok Anda. Selanjutnya, diskusikan beberapa pertanyaan berikut.



**Pertanyaan:**

1. Sebutkan secara urut organ-organ yang menyusun sistem pencernaan.
2. Jelaskan pula fungsi setiap organ tersebut.
3. Menurut Anda pada organ apa saja terjadi proses pencernaan mekanis, kimiawi, atau kedua-duanya?

Berdasarkan prosesnya, pencernaan makanan dapat dibedakan menjadi dua macam seperti berikut.

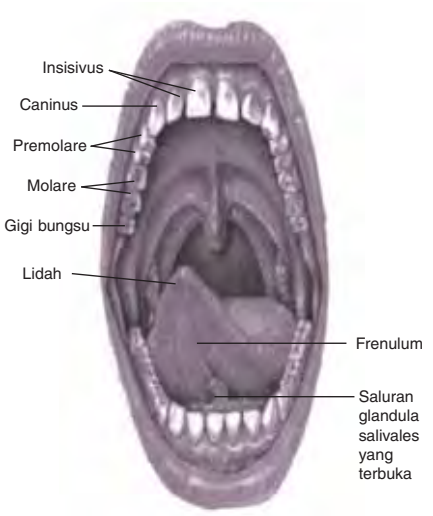
1. **Proses mekanis**, yaitu pengunyahan oleh gigi dengan dibantu lidah serta peremasan yang terjadi di lambung.
2. **Proses kimiawi**, yaitu pelarutan dan pemecahan makanan oleh enzim-enzim pencernaan dengan mengubah makanan yang bermolekul besar menjadi molekul yang berukuran kecil.

Makanan mengalami proses pencernaan sejak makanan berada di dalam mulut hingga proses pengeluaran sisa-sisa makanan hasil pencernaan. Adapun proses pencernaan makanan meliputi hal-hal berikut.

1. *Ingesti*: pemasukan makanan ke dalam tubuh melalui mulut.
2. *Mastikasi*: proses mengunyah makanan oleh gigi.
3. *Deglutisi*: proses menelan makanan di kerongkongan.
4. *Digesti*: pengubahan makanan menjadi molekul yang lebih sederhana dengan bantuan enzim, terdapat di lambung.

5. *Absorpsi*: proses penyerapan, terjadi di usus halus.
6. *Defekasi*: pengeluaran sisa makanan yang sudah tidak berguna untuk tubuh melalui anus.

Saat melakukan proses-proses pencernaan tersebut diperlukan serangkaian alat-alat pencernaan sebagai berikut.




**Sumber:** *Pelatihan Sains*

**Gambar 6.1**
Bagian-bagian mulut

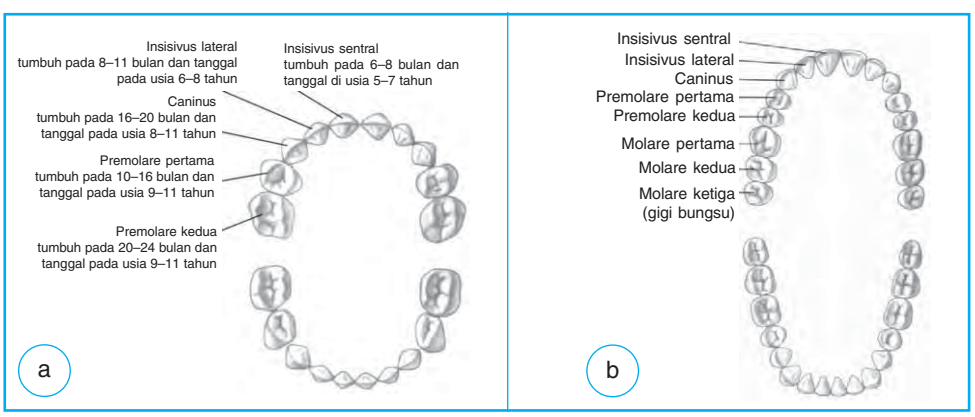
## 1. Mulut

Makanan pertama kali masuk ke dalam tubuh melalui mulut. Makanan ini mulai dicerna secara mekanis dan kimiawi. Di dalam mulut seperti Gambar 6.1, terdapat beberapa alat yang berperan dalam proses pencernaan yaitu gigi, lidah, dan kelenjar ludah (*glandula salivales*).

### a. Gigi

Pada manusia, gigi berfungsi sebagai alat pencernaan mekanis. Di sini, gigi membantu memecah makanan menjadi potongan-potongan yang lebih kecil. Hal ini akan membantu enzim-enzim pencernaan agar dapat mencerna makanan lebih efisien dan cepat. Selama pertumbuhan dan perkembangan, gigi manusia mengalami perubahan, mulai dari gigi susu dan gigi tetap (permanen). Gigi pertama pada bayi dimulai saat usia 6 bulan. Gigi pertama ini disebut **gigi susu** (*dens lakteus*). Lihat Gambar 6.2 a. Pada anak berusia 6 tahun, gigi berjumlah 20, dengan susunan sebagai berikut.

1) Gigi seri (*dens insisivus*), berjumlah 8 buah, berfungsi memotong makanan.
2) Gigi taring (*dens caninus*), berjumlah 4 buah, berfungsi merobek makanan.
3) Gigi geraham kecil (*dens premolare*), berjumlah 8 buah, berfungsi mengunyah makanan.




**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 6.2**
Susunan gigi susu pada anak-anak (a) dan gigi permanen pada orang dewasa (b)

Ketika usia anak berkisar antara 6 tahun hingga 14 tahun, gigi susu mulai tanggal dan kemudian digantikan oleh **gigi permanen** (Gambar 6.2 b). Gigi permanen berjumlah 32 buah, yang berarti ada penambahan geraham besar yang berjumlah 12 buah.

Perhatikanlah rumus gigi berikut ini.

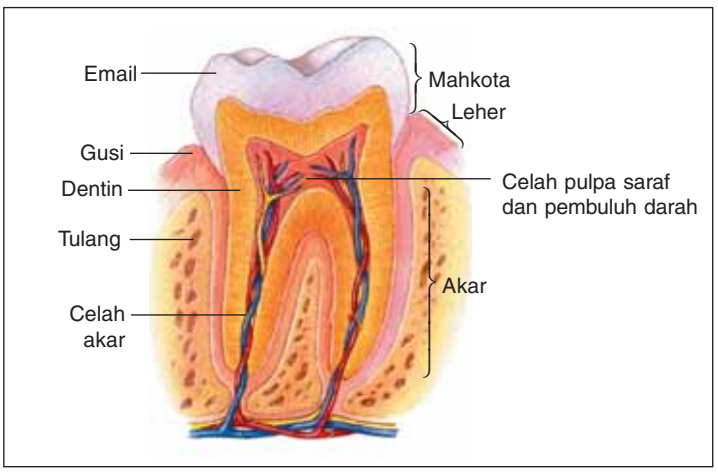
1) Rumus gigi sulung (susu)

$$\frac{M_0P_2C_1I_2 \mid I_2C_1P_2M_0}{M_0P_2C_1I_2 \mid I_2C_1P_2M_0}$$

2) Rumus gigi tetap (permanen)

$$\frac{M_3P_2C_1I_2 \mid I_2C_1P_2M_3}{M_3P_2C_1I_2 \mid I_2C_1P_2M_3}$$

**Keterangan:**
I : Insisivus (gigi seri)
C : Caninus (gigi taring)
P : Premolare (gigi geraham depan)
M : Molare (gigi geraham belakang)




**Sumber:** *Biology, Raven and Johnson*

**Gambar 6.3**
Struktur gigi

Perhatikan Gambar 6.3 di atas. Setiap gigi tertanam dalam rahang dan dilindungi oleh gusi. Struktur luar gigi terdiri atas bagian-bagian berikut.

1) Mahkota gigi (*corona*) merupakan bagian yang tampak dari luar.
2) Akar gigi (*radix*) merupakan bagian gigi yang tertanam di dalam rahang.
3) Leher gigi (*colum*) merupakan bagian yang terlindung oleh gusi.

Adapun penampang gigi dapat diperlihatkan bagian-bagiannya sebagai berikut.

1) Email (*glazur* atau *enamel*) merupakan bagian terluar gigi. Email merupakan struktur terkeras dari tubuh, mengandung 97% kalsium dan 3% bahan organik.
2) Tulang gigi (*dentin*), berada di sebelah dalam email, tersusun atas zat dentin.
3) Sumsum gigi (*pulpa*), merupakan bagian yang paling dalam. Di pulpa terdapat kapiler, arteri, vena, dan saraf.
4) Semen merupakan pelapis bagian dentin yang masuk ke rahang.

**Tahukah Anda**

**Apa Kegunaan Air Liur?**

Air liur mempunyai berbagai macam fungsi penting, misalnya untuk mengubah pati menjadi gula serta membuat makanan licin dan mudah ditelan. Air liur juga membuat mulut steril, membantu indra pengecapan, dan diperkirakan mengandung zat yang melawan bakteri serta membantu penyembuhan luka.

Lakukan tugas berikut, agar dapat menambah pemahaman Anda tentang gigi meningkat.

**Tugas Kelompok**

Carilah informasi secara berkelompok mengenai hal-hal berikut.

1. Berbagai macam penyakit gigi.
2. Cara menjaga dan merawat kesehatan gigi.
3. Pengaruh asesoris gigi terhadap kesehatan gigi (contoh: penggunaan kawat gigi).

Informasi ini dapat Anda peroleh dari berbagai sumber seperti dokter, surat kabar, atau internet. Buatlah laporan tertulis dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

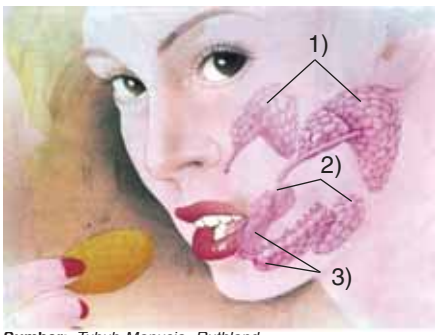
### b. Lidah

Lidah dalam sistem pencernaan berfungsi untuk membantu mencampur dan menelan makanan, mempertahankan makanan agar berada di antara gigi-gigi atas dan bawah saat makanan dikunyah serta sebagai alat perasa makanan. Lidah dapat berfungsi sebagai alat perasa makanan karena mengandung banyak reseptor pengecap atau perasa. Lidah tersusun atas otot lurik dan permukaannya dilapisi dengan lapisan epitelium yang banyak mengandung kelenjar lendir (*mukosa*).

### c. Kelenjar ludah

Terdapat tiga pasang kelenjar ludah di dalam rongga mulut, yaitu *glandula parotis*, *glandula submaksilaris*, dan *glandula sublingualis* atau *glandula submandibularis*. Amati gambar 6.4 agar Anda mengenali letak ketiga kelenjar ludah tersebut.

Air ludah berperan penting dalam proses perubahan zat makanan secara kimiawi yang terjadi di dalam mulut. Setelah makanan dilumatkan secara mekanis oleh gigi, air ludah berperan secara kimiawi dalam proses membasahi dan membuat makanan menjadi lembek agar mudah ditelan. Ludah terdiri atas air (99%) dan enzim amilase. Enzim ini menguraikan pati dalam makanan menjadi gula sederhana (glukosa dan maltosa). Makanan yang telah dilumatkan dengan dikunyah dan dilunakkan di dalam mulut oleh air liur disebut **bolus**. Bolus ini diteruskan ke sistem pencernaan selanjutnya.




**Sumber:** *Tubuh Manusia, Ruthland*

**Gambar 6.4**
Letak kelenjar ludah

**Keterangan:**

1) Glandula parotis merupakan kelenjar ludah di dekat telinga, menyekresikan ludah yang mengandung enzim ptialin (amilase).
2) Glandula submaksilaris merupakan kelenjar ludah di samping rahang atas, menyekresikan ludah yang mengandung air dan lendir.
3) Glandula submandibularis merupakan kelenjar ludah di bawah lidah, menyekresikan ludah yang mengandung air dan lendir.

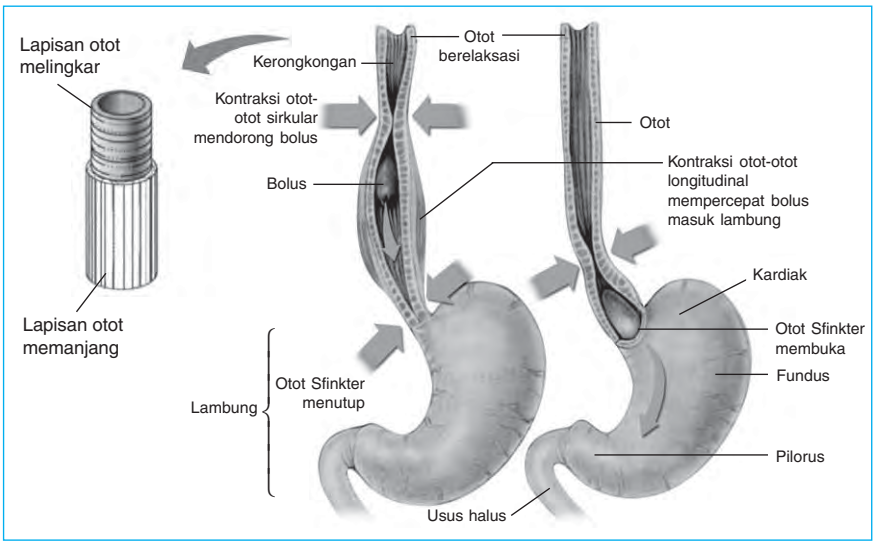
## 2. Kerongkongan (*Esofagus*)

Kerongkongan merupakan saluran panjang (± 25 cm) yang tipis sebagai jalan bolus dari mulut menuju ke lambung. Fungsi kerongkongan ini sebagai jalan bolus dari mulut menuju lambung.

Bagian dalam kerongkongan senantiasa basah oleh cairan yang dihasilkan oleh kelenjar-kelenjar yang terdapat pada dinding kerongkongan untuk menjaga agar bolus menjadi basah dan licin. Keadaan ini akan mempermudah bolus bergerak melalui kerongkongan menuju ke lambung. Bergeraknya bolus dari mulut

ke lambung melalui kerongkongan disebabkan adanya gerak *peristaltik* pada otot dinding kerongkongan.

Gerak peristaltik dapat terjadi karena adanya kontraksi otot secara bergantian pada lapisan otot yang tersusun secara memanjang dan melingkar. Proses gerak bolus di dalam kerongkongan menuju lambung dapat diamati pada Gambar 6.5 berikut.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 6.5**
Proses gerak bolus secara peristaltik dari kerongkongan menuju lambung

Tahukah Anda mengapa saat menelan makanan, bolus tidak dapat masuk ke dalam saluran pernapasan? Simak Gambar 6.6 dan penjelasan berikut, untuk mendapatkan jawabannya.

Sebelum seseorang mulai makan, bagian belakang mulut (atas) terbuka sebagai jalannya udara dari hidung. Di kerongkongan, epiglotis yang seperti gelambir mengendur sehingga udara masuk ke paru-paru. Ketika makan, makanan dikunyah dan ditelan masuk ke dalam kerongkongan. Sewaktu makanan bergerak menuju kerongkongan, langit-langit lunak beserta jaringan mirip gelambir di bagian belakang mulut (*uvula*) terangkat ke atas dan menutup saluran hidung. Sementara itu, sewaktu makanan bergerak ke arah tutup trakea, epiglotis akan menutup sehingga makanan tidak masuk trakea dan paru-paru tetapi makanan tetap masuk ke kerongkongan.

## 3. Lambung

Lambung merupakan saluran pencernaan yang berbentuk seperti kantung, terletak di bawah sekat rongga badan. Dengan mengamati Gambar 6.5, Anda dapat mengetahui bahwa lambung terdiri atas tiga bagian sebagai berikut.

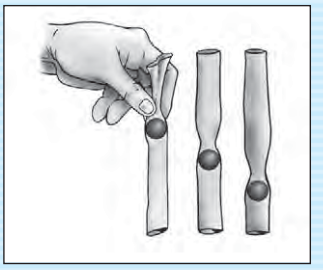
a. Bagian atas disebut **kardiak**, merupakan bagian yang berbatasan dengan esofagus.
b. Bagian tengah disebut **fundus**, merupakan bagian badan atau tengah lambung.
c. Bagian bawah disebut **pilorus**, yang berbatasan dengan usus halus.

Daerah perbatasan antara lambung dan kerongkongan terdapat otot sfinkter kardiak yang secara refleks akan terbuka bila ada bolus masuk. Sementara itu, di bagian pilorus terdapat otot

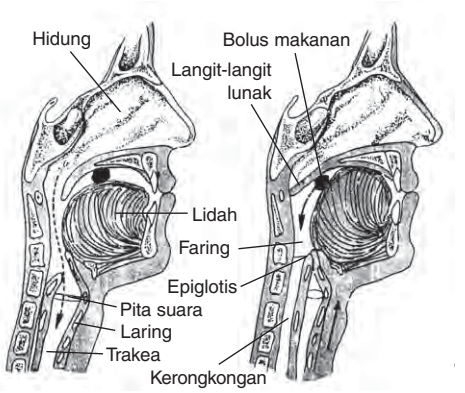
### Eksperimen Plus

**Memperagakan Gerak Peristaltik**

Makanan ditranspor dari mulut ke lambung dengan didorong suatu gerakan yang disebut gerak peristaltik. Gerak peristaltik dalam kerongkongan dapat ditunjukkan dengan gerak kelereng melalui pipa karet. Pipa karet yang digunakan harus sesuai dengan ukuran kelereng. Perhatikan gambar berikut.



Dapatkah Anda membandingkan gerak kelereng melalui pipa karet dengan gerak bolus melalui kerongkongan?

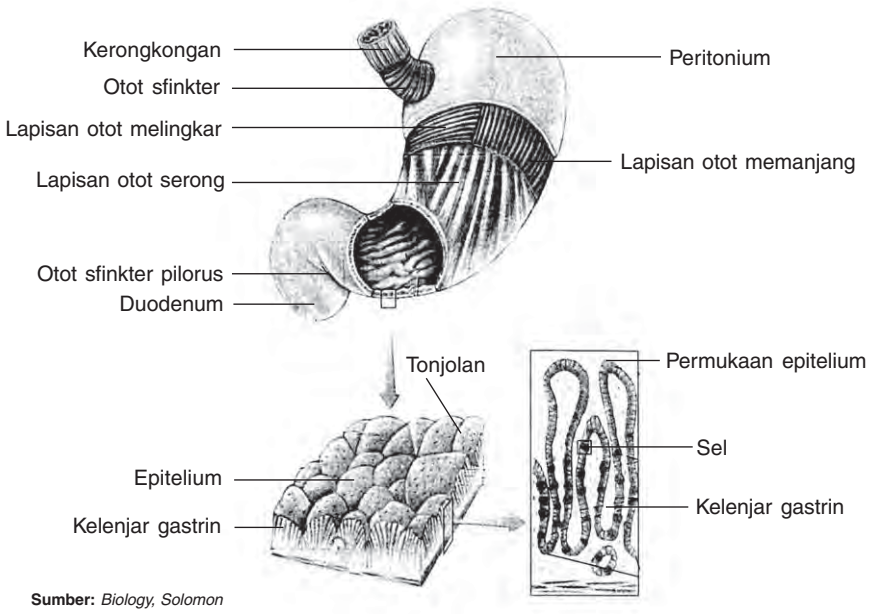



**Sumber:** *Zoologi umum, Ville, Walker, dan Barnes*

**Gambar 6.6**
Posisi lidah dan epiglotis selama bernapas (a) dan saat menelan (b)

yang disebut **sfinkter pilorus**. Otot-otot lambung ini dapat berkontraksi seperti halnya otot-otot kerongkongan. Apabila otot-otot ini berkontraksi, otot-otot tersebut menekan, meremas, dan mencampur bolus-bolus tersebut menjadi **kimus** (***chyme***). Lihat Gambar 6.7.

Gerak peremasan seperti ini dikenal sebagai proses pencernaan secara mekanis. Pencernaan ini disebabkan oleh otot-otot dinding lambung. Dinding lambung terdiri atas otot polos yang berbentuk memanjang, melingkar, dan serong.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 6.7**
Struktur lambung yang tersusun dari lapisan-lapisan otot

Sementara itu, pencernaan secara kimiawi dibantu oleh getah lambung. Getah ini dihasilkan oleh kelenjar yang terletak pada dinding lambung di bawah fundus, sedangkan bagian dalam dinding lambung menghasilkan lendir yang berfungsi melindungi dinding lambung dari abrasi asam lambung, dan dapat beregenerasi bila cidera. Getah lambung ini dapat dihasilkan akibat rangsangan bolus saat masuk ke lambung. Getah lambung mengandung bermacam-macam zat kimia, yang sebagian besar terdiri atas air. Getah lambung juga mengandung HCl/asam lambung dan enzim-enzim pencernaan seperti renin, pepsinogen, dan lipase.

Asam lambung memiliki beberapa fungsi berikut.

a. Mengaktifkan beberapa enzim yang terdapat dalam getah lambung, misalnya **pepsinogen** diubah menjadi **pepsin**. Enzim ini aktif memecah **protein** dalam bolus menjadi **proteosa** dan **pepton** yang mempunyai ukuran molekul lebih kecil.
b. Menetralkan sifat alkali bolus yang datang dari rongga mulut.
c. Mengubah kelarutan garam mineral.
d. Mengasamkan lambung (pH turun 1–3), sehingga dapat membunuh kuman yang ikut masuk ke lambung bersama bolus.
e. Mengatur membuka dan menutupnya katup antara lambung dan usus dua belas jari.
f. Merangsang sekresi getah usus.

**Tahukah Anda**

**Produksi Getah Lambung**

Produksi getah lambung dipengaruhi oleh jumlah makanan yang masuk ke lambung serta emosi. Bila makanan yang masuk ke lambung sedikit, produksi HCl sedikit pula. Bila makanan yang masuk ke lambung banyak maka produksi HCl banyak pula. Pada saat seseorang emosi, dapat terjadi jumlah makanan yang masuk sedikit tetapi sekresi HCl berlebihan. Hal ini dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan selaput lendir lambung, yaitu menimbulkan radang atau ulkus. Jadi, jagalah emosi Anda dan makanlah secara teratur untuk mencegah terjadinya radang lambung.

Enzim renin dalam getah lambung berfungsi mengendapkan kasein atau protein susu dari air susu. Lambung dalam suasana asam dapat merangsang pepsinogen menjadi pepsin. Pepsin ini berfungsi memecah molekul-molekul protein menjadi molekul-molekul peptida. Sementara itu, lipase berfungsi mengubah lemak menjadi asam lemak dan *gliserol*.

Selanjutnya, kimus akan masuk ke usus halus melalui suatu sfinkter pilorus yang berukuran kecil. Apabila otot-otot ini berkontraksi, maka kimus didorong masuk ke usus halus sedikit demi sedikit.

## 4. Usus halus

Usus halus merupakan saluran berkelok-kelok yang panjangnya sekitar 6–8 meter, lebar 25 mm dengan banyak lipatan yang disebut **vili** atau **jonjot-jonjot usus**. Vili ini berfungsi memperluas permukaan usus halus yang berpengaruh terhadap proses penyerapan makanan. Lakukan eksperimen berikut untuk mengetahui pengaruh lipatan terhadap proses penyerapan.

### Eksperimen 1

**Mengetahui Pengaruh Bentuk Usus terhadap Besarnya Daya Serap**

Sediakan dua buah handuk yang sama ukurannya, air, stoples, dan kertas label. Selanjutnya, lipatlah handuk pertama sebanyak empat kali sehingga membentuk sebuah persegi kecil. Siapkanlah stoples dengan menempelkan kertas label pada sisi stoples dari atas ke bawah. Isilah stoples dengan air dan beri tanda pada ketinggian permukaan air. Celupkan handuk yang dilipat ke dalam stoples yang berisi air tersebut. Angkatlah handuk dan beri tanda pada kertas label tinggi permukaan air yang tersisa. Setelah itu, isi kembali stoples dengan air setinggi tanda yang pertama dan masukkan handuk kedua yang dilipat sebanyak dua kali. Bandingkanlah perbedaan air yang terserap oleh kedua handuk tersebut.

**Pertanyaan:**

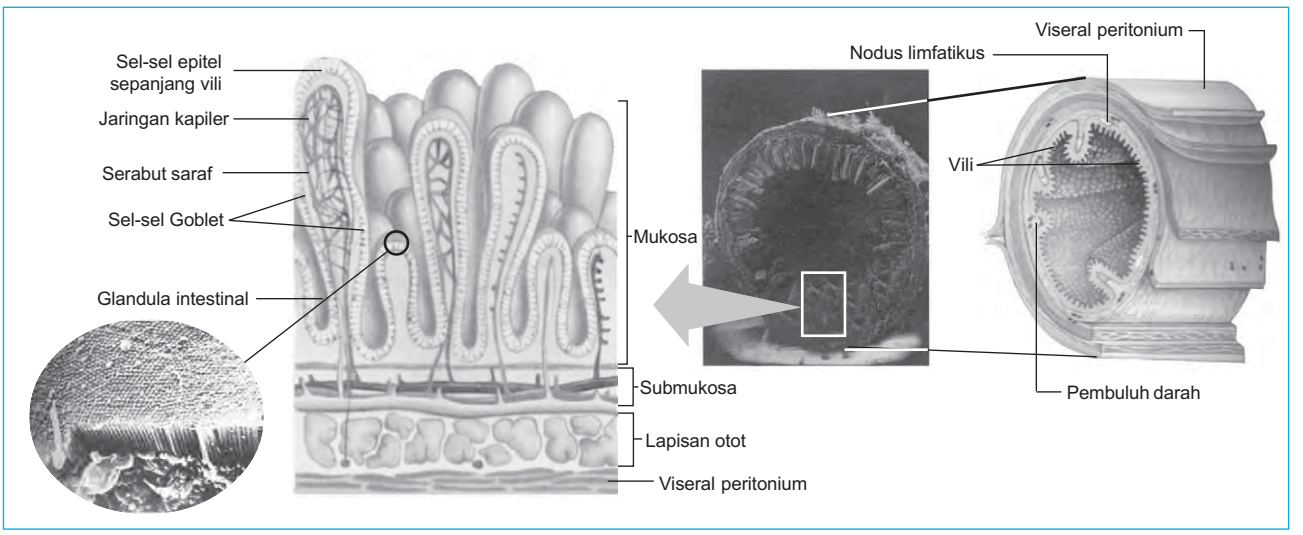
1. Bagaimana daya serap antara kedua handuk tersebut?
2. Handuk mana yang mempunyai daya serap lebih besar? Jelaskan.
3. Jika handuk tersebut diumpamakan sebagai usus maka bagaimana bentuk usus sesungguhnya?
4. Mengapa bentuk usus harus berlipat-lipat? Jelaskan.
5. Apakah bentuk usus dapat meningkatkan daya serap? Jelaskan.

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini kepada bapak atau ibu guru.

Usus halus terbagi menjadi tiga bagian seperti berikut:

a. *duodenum* (usus 12 jari), panjangnya ± 25 cm,
b. *jejunum* (usus kosong), panjangnya ± 7 m,
c. *ileum* (usus penyerapan), panjangnya ± 1 m.

Simaklah Gambar 6.8 berikut, agar Anda lebih mengenal struktur usus halus.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 6.8** Struktur anatomi dan histologi usus halus

**Tahukah Anda**

**Seluas Apakah Usus Halus Kita?**

Permukaan dalam usus halus terdiri dari ribuan jonjot usus. Daerah permukaan yang berupa jonjot ini merupakan hasil perapatan permukaan. Jika jonjot ini diratakan, dinding ini akan seluas 4.500 meter persegi, lebih kurang seluas lapangan sepak bola Amerika yang bertaraf internasional.

Kimus yang berasal dari lambung mengandung molekul-molekul pati yang telah dicernakan di mulut dan lambung, molekul-molekul protein yang telah dicernakan di lambung, molekul-molekul lemak yang belum dicernakan serta zat-zat lain. Selama di usus halus, semua molekul pati dicernakan lebih sempurna menjadi molekul-molekul glukosa. Sementara itu molekul-molekul protein dicerna menjadi molekul-molekul asam amino, dan semua molekul lemak dicerna menjadi molekul gliserol dan asam lemak.

Pencernaan makanan yang terjadi di usus halus lebih banyak bersifat kimiawi. Berbagai macam enzim diperlukan untuk membantu proses pencernaan kimiawi ini.

Hati, pankreas, dan kelenjar-kelenjar yang terdapat di dalam dinding usus halus mampu menghasilkan getah pencernaan. Getah ini bercampur dengan kimus di dalam usus halus. Getah pencernaan yang berperan di usus halus ini berupa cairan empedu, getah pankreas, dan getah usus.

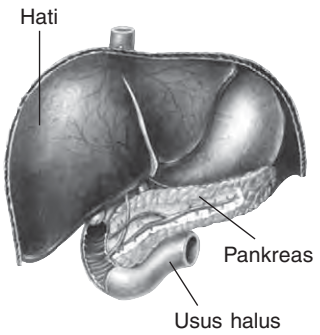
### a. Cairan Empedu

Cairan empedu berwarna kuning kehijauan, 86% berupa air, dan tidak mengandung enzim. Akan tetapi, mengandung mucin dan garam empedu yang berperan dalam pencernaan makanan. Cairan empedu tersusun atas bahan-bahan berikut.

1) Air, berguna sebagai pelarut utama.
2) Mucin, berguna untuk membasahi dan melicinkan duodenum agar tidak terjadi iritasi pada dinding usus.
3) Garam empedu, mengandung natrium karbonat yang mengakibatkan empedu bersifat alkali. Garam empedu juga berfungsi menurunkan tegangan permukaan lemak dan air (mengemulsikan lemak).

Cairan ini dihasilkan oleh hati. Perhatikan Gambar 6.9. Hati merupakan kelenjar pencernaan terbesar dalam tubuh yang beratnya ± 2 kg. Dalam sistem pencernaan, hati berfungsi sebagai pembentuk empedu, tempat penimbunan zat-zat makanan dari darah dan penyerapan unsur besi dari darah yang telah rusak. Selain itu, hati juga berfungsi membentuk darah pada janin atau pada keadaan darurat, pembentukan fibrinogen dan heparin untuk disalurkan ke peredaran darah serta pengaturan suhu tubuh.

Empedu mengalir dari hati melalui saluran empedu dan masuk ke usus halus. Dalam proses pencernaan ini, empedu berperan dalam proses pencernaan lemak, yaitu sebelum lemak dicernakan, lemak harus bereaksi dengan empedu terlebih dahulu. Selain itu, cairan empedu berfungsi menetralkan asam klorida dalam kimus, menghentikan aktivitas pepsin pada protein, dan merangsang gerak peristaltik usus.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 6.9**
Hati sebagai organ penghasil getah yang membantu pencernaan makanan

### b. Getah Pankreas

Getah pankreas dihasilkan di dalam organ pankreas. Pankreas ini berperan sebagai **kelenjar eksokrin** yang menghasilkan getah pankreas ke dalam saluran pencernaan dan sebagai **kelenjar endokrin** yang menghasilkan hormon insulin. Hormon ini dikeluarkan oleh sel-sel berbentuk pulau-pulau yang disebut **pulau-pulau langerhans**. Insulin ini berfungsi menjaga gula darah agar tetap normal dan mencegah diabetes melitus.

Getah pankreas ini dari pankreas mengalir melalui saluran pankreas masuk ke usus halus. Dalam pankreas terdapat tiga macam enzim, yaitu lipase yang membantu dalam pemecahan lemak, tripsin membantu dalam pemecahan protein, dan amilase membantu dalam pemecahan pati.

### c. Getah Usus

Pada dinding usus halus banyak terdapat kelenjar yang mampu menghasilkan getah usus. Getah usus mengandung enzim-enzim seperti berikut.

1) *Sukrase*, berfungsi membantu mempercepat proses pemecahan sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa.
2) *Maltase*, berfungsi membantu mempercepat proses pemecahan maltosa menjadi dua molekul glukosa.
3) *Laktase*, berfungsi membantu mempercepat proses pemecahan laktosa menjadi glukosa dan galaktosa.
4) *Enzim peptidase*, berfungsi membantu mempercepat proses pemecahan peptida menjadi asam amino.

Monosakarida, asam amino, asam lemak, dan gliserol hasil pencernaan terakhir di usus halus mulai diabsorpsi atau diserap melalui dinding usus halus terutama di bagian jejunum dan ileum. Selain itu vitamin dan mineral juga diserap. Vitamin-vitamin yang larut dalam lemak, penyerapannya bersama dengan pelarutnya, sedangkan vitamin yang larut dalam air penyerapannya dilakukan oleh jonjot usus.

**Eksperimen Plus**

**Mengamati Bentuk Emulsi**

Isilah dua stoples dengan air kemudian tambahkan 5 tetes minyak goreng ke dalam setiap stoples. Tambahkan 5 tetes sabun cuci cair hanya ke dalam salah satu stoples. Tutup stoples dan kocoklah supaya tercampur. Biarkan kedua stoples itu selama 5 sampai 10 menit.

**Pertanyaan:**

1. Apa yang terjadi pada kedua stoples?
2. Apakah yang terjadi setelah air dan minyak tersebut ditambah air sabun.
3. Dari kegiatan tersebut, apakah yang dimaksud emulsi?
4. Mengapa lemak harus di-emulsikan di dalam usus halus?
5. Apa yang berperan sebagai agen pengemulsi lemak?

Bahaslah hasil kegiatan ini bersama teman-teman Anda.

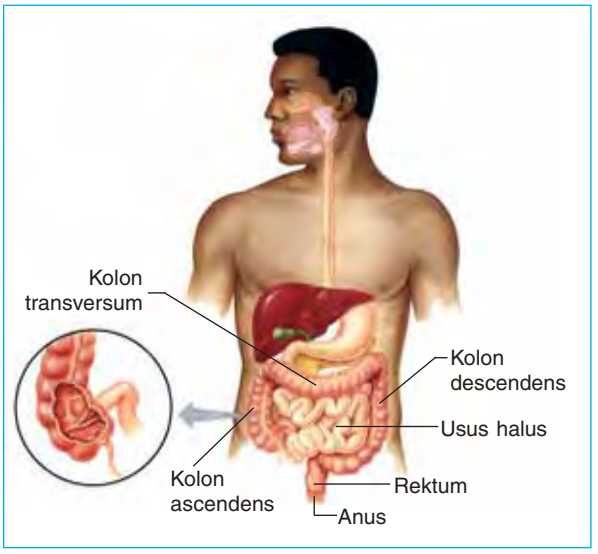
Penyerapan mineral sangat beragam berkaitan dengan sifat kimia tiap-tiap mineral dan perbedaan struktur bagian-bagian usus. Sepanjang usus halus sangat efisien dalam penyerapan $Na^+$, tetapi tidak untuk $Cl^-$, $HCO_3^-$, dan ion-ion bivalen. Ion $K^+$ penyerapannya terbatas di jejunum. Penyerapan $Fe^{++}$ terjadi di duodenum dan jejunum.

Proses penyerapan di usus halus ini dilakukan oleh villi (jonjot-jonjot usus). Di dalam villi ini terdapat pembuluh darah, pembuluh kil (limfa), dan sel goblet. Di sini asam amino dan glukosa diserap dan diangkut oleh darah menuju hati melalui sistem vena porta hepatikus, sedangkan asam lemak bereaksi terlebih dahulu dengan garam empedu membentuk emulsi lemak. Emulsi lemak bersama gliserol diserap ke dalam villi. Selanjutnya di dalam villi, asam lemak dilepaskan, kemudian asam lemak mengikat gliserin dan membentuk lemak kembali. Lemak yang terbentuk masuk ke tengah villi, yaitu ke dalam pembuluh kil (limfa).

Melalui pembuluh kil, emulsi lemak menuju vena sedangkan garam empedu masuk ke dalam darah menuju hati dan dibentuk lagi menjadi empedu. Bahan-bahan yang tidak dapat diserap di usus halus akan didorong menuju usus besar (*kolon*).

## 5. Usus besar

Usus besar atau kolon memiliki panjang ± 1 meter dan terdiri atas *kolon ascendens*, *kolon transversum*, dan *kolon descendens*. Di antara *intestinum tenue* (usus halus) dan *intestinum crassum* (usus besar) terdapat *sekum* (usus buntu). Pada ujung sekum terdapat tonjolan kecil yang disebut **appendiks** (umbai cacing) yang berisi massa sel darah putih yang berperan dalam imunitas.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 6.10**
Usus besar dan saluran anus

Zat-zat sisa di dalam usus besar ini didorong ke bagian belakang dengan gerakan peristaltik. Zat-zat sisa ini masih mengandung banyak air dan garam mineral yang diperlukan oleh tubuh. Air dan garam mineral kemudian diabsorpsi kembali oleh dinding kolon, yaitu kolon ascendens. Zat-zat sisa berada dalam usus besar selama 1 sampai 4 hari. Pada saat itu terjadi proses pembusukan terhadap zat-zat sisa dengan dibantu bakteri *Escherichia coli*, yang mampu membentuk vitamin K dan $B_{12}$. Selanjutnya dengan gerakan peristaltik, zat-zat sisa ini terdorong sedikit demi sedikit ke saluran akhir dari pencernaan yaitu **rektum** dan akhirnya keluar dengan proses defekasi melewati anus. Lihat Gambar 6.10.

Defekasi diawali dengan terjadinya penggelembungan bagian rektum akibat suatu rangsang yang disebut **refleks gastrokolik**. Kemudian akibat adanya aktivitas kontraksi rektum dan otot sfinkter yang berhubungan mengakibatkan terjadinya defekasi. Di dalam usus besar ini semua proses pencernaan telah selesai dengan sempurna.

## 6. Kelainan dan Gangguan pada Sistem Pencernaan

Sistem pencernaan kita terkadang mengalami beberapa kelainan dan gangguan akibat pola makan yang tidak sehat, di antaranya sebagai berikut.

a. Diare merupakan gangguan sistem pencernaan akibat feses yang keluar dalam bentuk encer dan terjadi karena adanya iritasi pada selaput lendir dinding kolon oleh bakteri disentri. Selain itu, diare ini juga dapat disebabkan diet yang salah, zat-zat beracun atau makanan yang dikonsumsi dapat menimbulkan iritasi pada dinding lambung.

b. Sembelit (*konstipasi*) merupakan gangguan sistem pencernaan yang disebabkan oleh keterlambatan defekasi. Keterlambatan defekasi ini akibat absorpsi atau penyerapan air pada feses di usus besar berlebihan. Hal ini menyebabkan feses menjadi kering dan keras sehingga sulit dikeluarkan. Sembelit juga dapat disebabkan oleh pola makan yang kurang sehat, kebiasaan menahan buang air besar pada saat normal, atau juga karena emosi seperti rasa gelisah, takut, cemas, dan stres.

c. *Gastritis* merupakan gangguan sistem pencernaan akibat lapisan mukosa lambung mengalami peradangan atau iritasi. Peradangan atau iritasi dinding mukosa lambung ini dapat disebabkan oleh makanan yang kotor atau kelebihan asam dalam lambung.

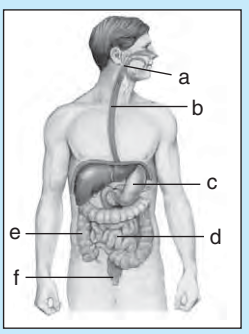
d. *Appendisitis* merupakan gangguan sistem pencernaan yang disebabkan oleh peradangan pada umbai cacing (appendiks). Peradangan ini ditandai dengan adanya nanah dan pembengkakan pada umbai cacing.

e. *Hemoroid* merupakan pembengkakan vena di daerah anus, atau biasa disebut wasir. Hemoroid dapat terjadi pada orang-orang yang sering menderita sembelit. Gejala hemoroid ini meliputi rasa gatal-gatal, nyeri, dan pendarahan di anus.

### Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Perhatikan gambar di samping.
   a. Berilah nama organ-organ pencernaan di samping.
   b. Tunjukkan organ pencernaan yang melakukan proses mekanik, kimiawi, atau kedua-duanya.




2. Makanan pada saat di mulut, lambung, dan usus halus mengalami pemecahan molekul-molekul. Coba Anda uraikan pemecahan apa yang terjadi di mulut, lambung, dan usus halus.
3. Pada sistem pencernaan, selain organ-organ pencernaan juga melibatkan kelenjar-kelenjar pencernaan. Coba Anda sebutkan organ-organ yang berperan sebagai kelenjar pencernaan, tetapi tidak termasuk saluran pencernaan.
4. Pada saat makanan dipecah menjadi molekul-molekul yang berukuran kecil selalu melibatkan enzim-enzim pencernaan. Coba Anda sebutkan nama-nama enzim yang berperan pada setiap organ pencernaan beserta fungsinya.
5. Berikan alasan mengapa para orang tua sering menasehati anaknya agar saat makan tidak boleh banyak bicara dan tertawa.

6. Mengapa pada saat kita terlambat makan, lambung terasa perih?
7. Coba tentukan organ-organ pencernaan yang menjadi tempat terjadinya proses-proses berikut ini.
   a. Penyerapan asam lemak dan gliserol.
   b. Penyerapan air.
   c. Pengeluaran defekasi.
8. Mengapa bolus dapat bergerak di kerongkongan dan masuk ke lambung?
9. a. Apa peranan hati pada proses pencernaan makanan?
   b. Apa peranan empedu di dalam usus halus?
10. a. Menurut Anda, apakah yang dimaksud dengan gerak peristaltik?
    b. Apakah gerak peristaltik hanya terjadi di bagian kerongkongan saja?

## B. Makanan Sehat, Bergizi, dan Seimbang

Zat makanan disebut juga biomolekul karena merupakan senyawa atau molekul kimia yang dibutuhkan untuk dapat hidup dengan baik (*bio* = hidup; *molekul* = senyawa). Zat makanan tersebut dapat dikelompokkan menurut jumlah yang dibutuhkan oleh makhluk hidup yaitu zat makanan makro dan zat makanan mikro. Zat makanan makro, yaitu zat makanan yang diperlukan tubuh dalam jumlah besar, antara lain berupa karbohidrat, protein, lemak, dan air. Zat makanan mikro, yaitu zat makanan yang diperlukan tubuh dalam jumlah sedikit, antara lain berupa vitamin dan mineral.

### 1. Karbohidrat (Hidrat Arang)

Tubuh terasa lemah dan tidak bertenaga saat lapar sehingga dapat menghambat aktivitas. Jangan biarkan rasa lapar berlarut-larut, segeralah makan agar tubuh kembali bertenaga. Karbohidrat merupakan salah satu zat makanan penghasil tenaga. Adakah fungsi lain dari karbohidrat?

Karbohidrat mempunyai beberapa fungsi bagi tubuh antara lain sebagai berikut.

a. Sumber energi utama dan tidak dapat diganti dengan sumber energi yang lain pada beberapa organ, yaitu otak, lensa mata, dan sel saraf.
b. Menjaga keseimbangan asam dan basa dalam tubuh.
c. Membantu proses penyerapan kalsium.
d. Bahan pembentuk senyawa kimia yang lain, misalnya lemak dan protein.
e. Berperan penting dalam penurunan sifat, misalnya karbohidrat dengan atom C lima buah merupakan komponen asam nukleat (DNA, RNA).

Jika diuraikan, ternyata karbohidrat hanya terdiri dari 3 unsur, yaitu karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Senyawa yang termasuk karbohidrat sangat banyak mulai dari senyawa sederhana hingga senyawa dengan berat molekul 500.000 atau lebih.

**Tahukah Anda**

**Apa yang Terjadi pada Makanan dalam Saluran Pencernaan?**

Makanan mengalami reaksi biokimia dalam saluran pencernaan. Makanan yang merupakan molekul berukuran besar dipecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dengan penambahan air. Reaksi tersebut dinamakan hidrolisis.

Karbohidrat mempunyai fungsi yang sangat penting yaitu sebagai sumber energi utama bagi tubuh. Dengan mengonsumsi karbohidrat yang cukup kita bisa memperoleh energi untuk melakukan berbagai aktivitas sehari-hari. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat maka kita harus mengonsumsi makanan yang mengandung karbohidrat. Jenis makanan apa saja yang mengandung karbohidrat? Coba Anda amati beberapa macam makanan yang mengandung karbohidrat pada Gambar 6.11di bawah ini.

Nasi Jagung Kentang

**Gambar 6.11**
Sumber karbohidrat

Anda telah mengetahui beberapa jenis makanan sumber karbohidrat. Makanan sumber karbohidrat seperti di atas mengandung amilum. Bagaimana Anda bisa membuktikan bahwa makanan tersebut mengandung amilum? Lakukanlah kegiatan berikut untuk mengetahuinya.

**Tahukah Anda**

**Mengapa Penderita Diabetes Dianjurkan Makan Kentang?**

Beras dan kentang merupakan sumber karbohidrat, tetapi keduanya mempunyai perbedaan. Beras mempunyai kandungan glukosa lebih besar tetapi kurang serat, sedangkan kentang lebih banyak mengandung serat tetapi kandungan glukosanya rendah. Itulah sebabnya mengapa penderita penyakit gula *(diabetes mellitus)* disarankan mengonsumsi kentang dan diet nasi.

## Eksperimen 2

**Menunjukkan Adanya Amilum dalam Bahan Makanan**

Ambil sepotong kentang dan ketela serta sebutir beras dan jagung. Keratlah sedikit beras dan jagung tadi hingga terbentuk butiran-butiran tepung. Tetesilah keratan beras dan jagung serta potongan kentang dan ketela dengan larutan yodium. Amatilah perubahan yang terjadi. Ulangi kegiatan itu sekali lagi, tetapi bahan-bahan makanan tersebut telah direbus (dalam keadaan matang). Bandingkan hasilnya.

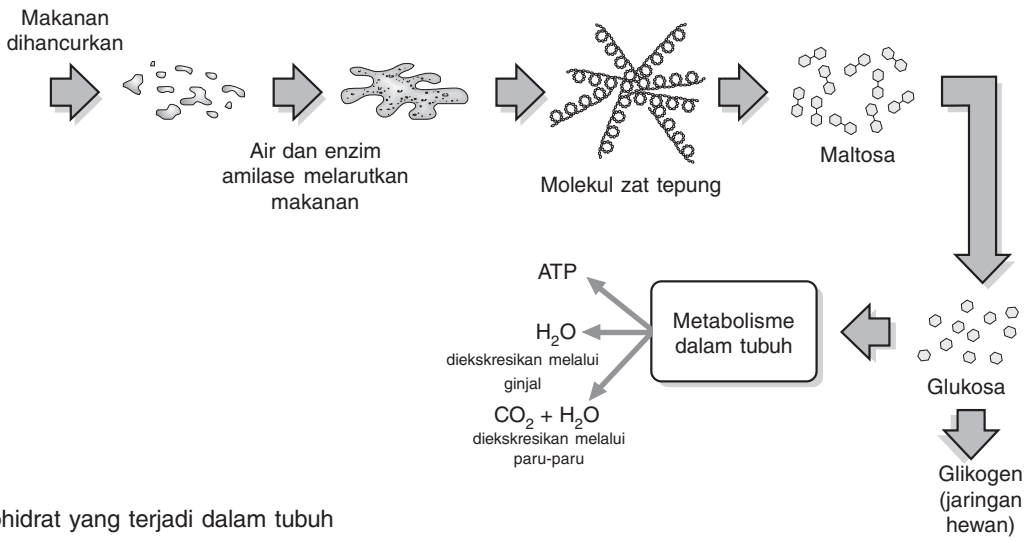
**Pertanyaan:**

1. Bagaimanakah warna bahan-bahan makanan sebelum dan sesudah ditetesi larutan yodium?
2. Adakah perbedaan perubahan warna antara bahan makanan yang tidak direbus dengan bahan makanan yang telah direbus? Jelaskan.
3. Di antara bahan-bahan makanan tersebut, manakah yang mengandung amilum paling banyak? Jelaskan alasannya.
4. Kesimpulan apa yang Anda peroleh dari kegiatan di atas?

Buatlah laporan hasil eksperimen ini dan kumpulkan kepada guru Anda.

Di dalam tubuh, karbohidrat mengalami metabolisme. Hasil pencernaan karbohidrat berupa monosakarida, glukosa, fruktosa, dan galaktosa. Hasil pencernaan itu akan diserap oleh kapiler jonjot usus kemudian diangkut ke hati oleh *vena portae hepatis*.

Fruktosa dan galaktosa diubah menjadi glukosa, kemudian di dalam hati diubah menjadi glikogen. Perubahan glukosa menjadi glikogen merupakan usaha tubuh untuk menjaga keseimbangan gula darah. Bila terjadi kelebihan glukosa dalam darah, kelebihan glukosa tersebut akan disimpan dalam otot dan hati dalam bentuk glikogen. Amati Gambar 6.12 berikut, agar Anda lebih mudah memahaminya.




**Gambar 6.12**
Proses pencernaan karbohidrat yang terjadi dalam tubuh

Konsumsi makanan yang mengandung karbohidrat akan menimbulkan rasa kenyang dan menghasilkan tenaga untuk beraktivitas. Setiap 1 gram karbohidrat akan dioksidasi di dalam tubuh menghasilkan energi 4,2 kalori. Konsumsi karbohidrat yang berlebihan akan diubah oleh hati menjadi glikogen dan lemak. Lemak inilah yang kemudian disimpan dalam tubuh sehingga mengakibatkan kegemukan *(obesitas)*.

## 2. Protein

**Sumber:** *Tabloid Bola* (*Edisi minggu kedua, April 1994*)

**Gambar 6.13**
Protein sangat dibutuhkan pada masa pertumbuhan

Coba perhatikan Gambar 6.13 tentang pertandingan bola basket. Menurut Anda apakah syarat utama agar dapat bergabung dengan tim bola basket? Ya, benar, tubuh harus tinggi. Tubuh akan menjadi tinggi jika pertumbuhan Anda tidak terhambat. Menurut para ahli gizi, protein yang terkandung dalam bahan makanan berperan utama dalam pertumbuhan. Apakah fungsi protein dalam makanan bagi tubuh kita?

Protein merupakan unsur penting dalam tubuh karena sebagai komponen utama pembentukan enzim yang berfungsi sebagai biokatalis. Protein juga merupakan komponen penyusun tubuh, seperti kuku dan rambut. Selain itu, protein mempunyai fungsi sebagai berikut.

a. Untuk pertumbuhan, perbaikan, dan pemeliharaan sel-sel tubuh.
b. Merupakan sumber energi, setiap 1 gram protein menghasilkan energi sebesar 4,1 kalori.
c. Penyusun hormon, zat antibodi, dan organela lainnya.
d. Menjaga keseimbangan asam basa dalam tubuh.
e. Penyusun protoplasma

Pada dasarnya protein tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan kadang-kadang mengandung belerang (S) atau fosfor (P). Unsur-unsur ini tersusun dalam struktur dasar penyusun protein.

Protein dapat diperoleh dari berbagai sumber bahan makanan. Berdasarkan asalnya, protein dapat dibedakan menjadi dua sebagai berikut.

a. Protein hewani, berasal dari hewan. Umumnya mengandung protein yang lengkap, terdapat pada ikan, daging, susu, telur, larva serangga, lebah, belalang, laron, kepompong, dan lain-lain. Lihat Gambar 6.14.a.
b. Protein nabati, berasal dari tumbuh-tumbuhan. Protein nabati terdapat pada kacang-kacangan, sayuran, dan biji-bijian. Pada umumnya protein nabati mengandung protein yang tidak lengkap, kecuali pada kacang-kacangan yaitu kedelai. Lihat Gambar 6.14.b.

Bagaimana cara mengetahui adanya protein dalam bahan makanan? Lakukan eksperimen berikut untuk mengetahuinya.

(a)

(b)

**Sumber:** *Comprehensive Biology, Lam Peng Kwan*

**Gambar 6.14**
Bahan makanan sumber protein hewani (a) dan protein nabati (b)

## Eksperimen 3

### Menguji Adanya Protein dalam Bahan Makanan

Siapkan bahan makanan yang mengandung protein, misalnya tempe dan tahu. Selanjutnya, haluskan dan buatlah larutan dari bahan makanan tersebut. Ambil 3 ml larutan tersebut, masukkan dalam tabung reaksi. Ke dalam tabung tersebut, tambahkan 1 ml NaOH 40% dan 1 tetes $CuSO_4$ 0,5% kemudian diamati.

**Pertanyaan:**

1. Perubahan apa yang terjadi pada larutan dalam tabung tersebut? Menunjukkan apa perubahan tersebut?
2. Hal tersebut menunjukkan adanya zat apa yang terdapat dalam larutan makanan tersebut?
3. Apa yang terjadi jika larutan tempe atau tahu diganti dengan larutan gula atau minyak? Samakah hasilnya?
4. Coba ujilah bahan makanan lain dengan cara seperti tersebut di atas.

Buatlah laporan kegiatan dan presentasikan di depan kelas.

Di dalam tubuh, protein diubah menjadi asam amino oleh beberapa reaksi hidrolisis serta enzim-enzim yang bersangkutan. Enzim-enzim yang bekerja pada proses hidrolisis protein antara lain pepsin, tripsin, kemotripsin, karboksipeptidase, dan aminopeptidase.

Protein yang telah dipecah menjadi asam amino kemudian diabsorpsi oleh dinding usus halus dan sampai ke pembuluh darah. Setelah diabsorpsi dan masuk dalam pembuluh darah, asam amino tersebut sebagian besar langsung digunakan oleh jaringan dan sebagian lain mengalami proses pelepasan gugus amin (gugus yang mengandung N) di hati. Proses pelepasan

**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 6.15**
Penderita kwashiorkor

**Sumber:** *Tubuh Manusia, Widyadara*

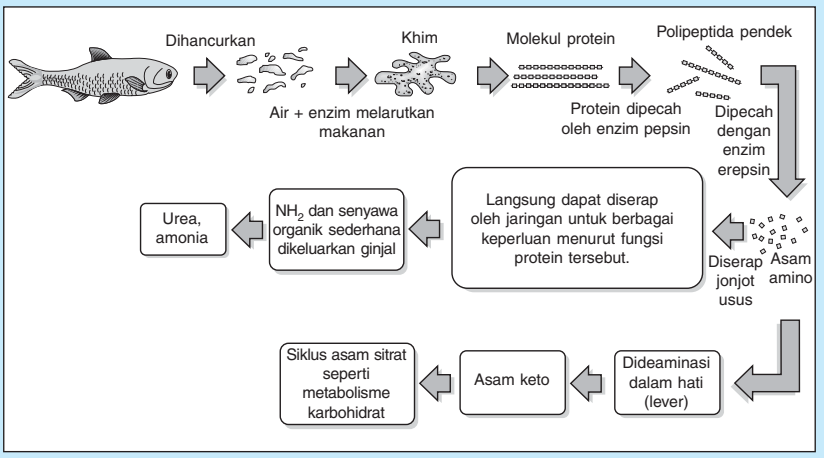
**Gambar 6.16**
Penderita marasmus

**Sumber:** *Matra* (*November, 1994*)

**Gambar 6.17**
Pendaki gunung memerlukan bekal makanan dengan kadar lemak tinggi

gugus amin ini dikenal dengan **deaminasi protein**. Cermatilah skema berikut, untuk dapat memahami proses metabolisme protein dalam tubuh.

**Forum Diskusi**




Perhatikan gambar di atas, kemudian diskusikan bersama teman sekelompok Anda mengenai hal-hal berikut.

1. Di mana sajakah proses metabolisme protein tersebut berlangsung?
2. Enzim-enzim apa saja yang berperan dalam metabolisme protein?
3. Zat-zat apa saja yang dihasilkan selama proses itu berlangsung?

Buatlah laporan hasil diskusi mengenai proses metabolisme protein dan presentasikan di depan kelas.

Protein tidak dapat disimpan di dalam tubuh sehingga bila kelebihan akan segera dibuang atau diubah menjadi zat lain. Zat sisa hasil penguraian protein yang mengandung nitrogen akan dibuang bersama air seni dan yang tidak mengandung nitrogen akan diubah menjadi karbohidrat dan lemak. Oksidasi 1 gram protein dapat menghasilkan energi 4,2 kalori. Kelebihan protein dalam tubuh dapat mengakibatkan pembengkakan hati dan ginjal karena beban kerja organ-organ tersebut lebih berat dalam menguraikan protein dan mengeluarkannya melalui air seni.

Kekurangan protein pun tidak baik bagi tubuh. Gangguan kekurangan protein biasanya terjadi bersamaan dengan kekurangan karbohidrat. Gangguan tersebut dinamakan busung lapar atau *Hunger Oedema* (HO). Ada dua bentuk busung, yaitu *kwashiorkor* dan *marasmus*. Perhatikan gangguan pertumbuhan yang terjadi pada penderita kwashiorkor dan marasmus pada Gambar 6.15 dan 6.16.

## 3. Lemak (Lipid)

Udara di pegunungan sangat dingin. Melihat kenyataan ini, pendaki gunung yang berpengalaman selalu membekali diri dengan makanan berlemak seperti coklat dan keju. Tahukah Anda alasannya? Perhatikan Gambar 6.17.

Lemak merupakan penghasil energi terbesar. Dalam setiap 1 gram lemak yang dioksidasi akan menghasilkan ± 9,3 kalori. Fungsi lemak yang lain, adalah sebagai pelarut vitamin (A, D, E, dan K), pelindung alat-alat tubuh, penahan rasa lapar karena lemak membutuhkan waktu yang lama untuk dicerna dan sebagai penyedap makanan. Seperti halnya karbohidrat, lemak tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan kadangkala ditambah fosfor (P) serta nitrogen (N). Tidak seperti karbohidrat dan protein, lemak tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik. Contoh makanan yang mengandung lemak adalah daging, susu, keju, mentega, minyak, kemiri, kacang-kacangan, dan avokad. Perhatikan Gambar 6.18.

Anda telah mengenal berbagai jenis bahan makanan yang mengandung lemak. Anda dapat membuktikan adanya kandungan lemak dalam bahan makanan melalui kegiatan berikut.

**Gambar 6.18**
Makanan yang mengandung banyak lemak

## Eksperimen 4

### Mengidentifikasi Adanya Lemak dalam Bahan Makanan

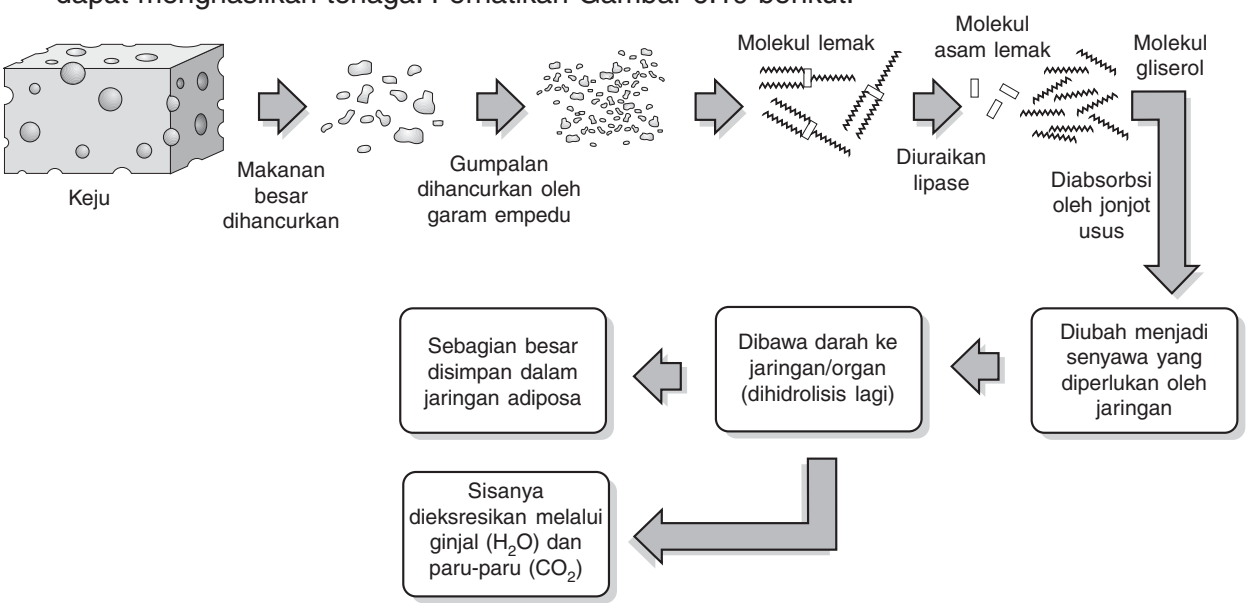
Siapkan minyak goreng. Ambil 2 ml minyak goreng dan masukkan dalam tabung. Selanjutnya, tambahkan eter ke dalam tabung tersebut. Tutup mulut tabung dengan jari kemudian kocoklah. Setelah dikocok beberapa menit, bukalah tutup tabung agar eter keluar. Lakukan hal tersebut terus-menerus hingga 8–10 kali. Pindahkan larutan tersebut ke cawan porselen supaya eter menguap. Usapkan sisa larutan dalam cawan porselen dengan kertas dan amati perubahan yang terjadi.

**Pertanyaan:**

1. Bagaimanakah kondisi kertas setelah diolesi sisa larutan?
2. Peristiwa tersebut menunjukkan bahwa dalam minyak goreng terkandung apa?
3. Mengapa larutan tersebut ditambah eter? Bisakah eter diganti dengan air?
4. Kesimpulan apa yang bisa diperoleh dari eksperimen di atas?

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini dan diskusikan hasilmu dengan kelompok lain dan kumpulkan kepada guru Anda.

Lemak terlebih dulu harus mengalami proses pemecahan untuk dapat menghasilkan tenaga. Perhatikan Gambar 6.19 berikut.




**Gambar 6.19**
Proses pencernaan lemak yang terjadi dalam tubuh

Di dalam tubuh, lemak mengalami metabolisme. Lemak akan dihidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol dengan bantuan enzim lipase. Proses ini berlangsung dalam saluran pencernaan. Sebelum diserap usus, asam lemak akan bereaksi dengan garam-garam empedu membentuk senyawa seperti sabun, selanjutnya senyawa seperti sabun akan diserap jonjot usus. dan akan terurai menjadi asam lemak dan garam empedu. Asam lemak tersebut akan bereaksi dengan gliserol membentuk lemak, kemudian diangkut oleh pembuluh getah bening usus menuju pembuluh getah bening dada kiri, selanjutnya ke pembuluh balik bawah selangka kiri.

Lemak dikirim dari tempat penimbunannya ke hati dalam bentuk lesitin untuk dihidrolisis menjadi asam lemak dan gliserol. Selanjutnya gliserol akan diubah menjadi gula otot atau glikogen dan asam lemak akan diubah menjadi asetil koenzim

Gangguan metabolisme berupa tertimbunnya senyawa aseton dapat menyebabkan gangguan pernapasan. Kesulitan bernapas terjadi karena meningkatnya tingkat keasaman dan jumlah $CO_2$ yang tertimbun. Kelainan ini dinamakan **asidosis**.

**Gambar 6.20**
Buah-buahan, sumber utama vitamin

## 4. Vitamin

Vitamin merupakan senyawa organik yang sangat diperlukan oleh tubuh dalam jumlah sedikit, tidak menghasilkan energi dan berperan sebagai zat pengatur dalam tubuh. Bahan makanan yang merupakan sumber utama vitamin, antara lain buah-buahan. Perhatikan Gambar 6.20. Salah satu vitamin yang terdapat dalam buah-buahan adalah vitamin C. Bagaimana Anda dapat mengetahui adanya vitamin C dalam bahan makanan? Untuk mengetahuinya, lakukan kegiatan berikut.

### Eksperimen 5

**Uji Vitamin C**

Larutkan ± 3 tetes yodium ke dalam 200 ml akuades. Siapkan buah yang akan diuji, misalnya jeruk, pepaya, mangga, pisang, dan mentimun. Lumatkan buah tersebut satu per satu. Kemudian masukkan masing-masing buah tersebut pada larutan yang diberi tetesan yodium, dengan satu buah satu larutan (jangan dicampur). Amatilah perubahan yang terjadi.

**Catatan:** Sebagai acuan penelitian larutkan tablet vitamin C kemudian tetesi dengan larutan yodium. Amati perubahan warna yang terjadi.

**Pertanyaan:**

1. Perubahan apakah yang terjadi pada larutan yodium tersebut?
2. Apakah perubahan akhir yang terjadi pada larutan-larutan tersebut?
3. Perubahan tersebut menunjukkan apa?
4. Cobalah lakukan percobaan tadi untuk buah-buahan lain yang ada di sekitar Anda dan catat hasilnya.

Buatlah laporan tertulis hasil eksperimen ini kemudian kumpulkan kepada bapak atau ibu guru.

Berdasarkan kelarutannya, vitamin dapat dibedakan menjadi dua, yaitu vitamin yang larut dalam lemak (vitamin A, D, E, dan K) dan larut dalam air (vitamin B dan C). Telah disebutkan di depan bahwa tubuh kita membutuhkan sedikit vitamin. Secara umum vitamin berfungsi sebagai pengatur proses-proses kimia dalam tubuh. Agar lebih jelas, perhatikan Tabel 6.2 berikut.

**Tabel 6.2** Macam-Macam Vitamin yang Diperlukan Tubuh

| Nama Vitamin | Sumber | Fungsi Faal | Akibat Avitaminosis |
|---|---|---|---|
| A : Aseroftol<br>Antiseroftol<br>$C_{20}H_{30}O$ | Mentega, hati, minyak ikan, telur, susu, tumbuhan yang berwarna hijau dan kuning | – Memelihara jaringan epitel<br>– Regenerasi rodopsin di retina<br>– Pertumbuhan tulang dan gigi<br>– Proses oksidasi dalam tubuh | – *Hemeralopia* yang timbul karena menurunnya kemampuan sel basilus pada waktu senja<br>– Bintik bitot (kerusakan pada retina)<br>– *Seroftalmia* (kornea mata mengering karena terganggunya kelenjar air mata)<br>– *Keratomalasi* (kornea mata rusak sama sekali karena berkurangnya produksi minyak meibom)<br>– Frinoderma (kulit kaki dan tangan bersisik karena pembentukan epitel kulit terganggu)<br>– Pendarahan pada selaput usus, ginjal, dan paru-paru karena rusaknya epitel organ<br>– Proses pertumbuhan terhenti |
| $B_1$ : Aneurin (Thiamin)<br>Aneuritik<br>anti beri-beri<br>$C_{12}H_{17}ON_4S$ | Ragi, kecambah, kulit ari padi/beras, wortel, hati, telur, susu, ginjal, dan margarin | – Pembuatan neurotransmiter<br>– Sebagai koenzim dalam metabolisme karbohidrat<br>– Keseimbangan air di dalam tubuh<br>– Penyerapan lemak oleh jonjot usus | – Beri-beri<br>– Selera makan hilang<br>– Pertumbuhan terhenti<br>– Transpor cairan tubuh terganggu<br>– Metabolisme karbohidrat terganggu sehingga terjadi timbunan asam piruvat dalam sel, yang akan menjadi racun dalam sel<br>– Kontraksi otot jantung dan sistem saraf pusat melemah |
| $B_2$ : Riboflavin<br>Laktoflavin<br>$C_{17}H_{22}O_6N_4$ | Ragi, telur, hati, daging, ginjal, otak, dan jantung | – Metabolisme gula dan protein<br>– Rangsang saraf mata<br>– Pertumbuhan<br>– Pemeliharaan jaringan kulit sekitar mulut<br>– Merupakan enzim pada oksidasi dalam sel<br>– Menghasilkan energi dalam sel | – Keilosis (luka pada sudut mulut)<br>– Katarak (lensa mata menjadi keruh)<br>– Pertumbuhan terhenti<br>– Peradangan pada kornea mata sehingga pandangan kabur |
| $B_3$ : Asam pantotenat<br>$C_9H_{17}O_5N$ | Hati, daging, ikan, ragi, dan beras | – Membentuk koenzim A<br>– Sintesis hormon<br>– Kestabilan gula darah | – Dermatitis<br>– Insomnia<br>– Internitis<br>– Gangguan fungsi saraf<br>– Kelelahan |
| $B_6$ : Piridoksin<br>$C_8H_{12}O_3N$ | Hati, ikan, daging, dan sayur | – Metabolisme lemak<br>– Pembuatan sel darah merah dan kulit<br>– Penyusun enzim dekarboksilase dan transaminase<br>– Pertumbuhan<br>– Aktivitas urat saraf | – Pelagra<br>– Anemia<br>– Obstipasi<br>– Kejang-kejang dan amat peka terhadap rangsang<br>– Pertumbuhan terhambat |
| $B_7$ : Asam nikotinat<br>Niasin Anti pelagra<br>$C_6H_5NO_2$ | Hati, susu, kedelai, ragi, bayam, ikan, daging, dan tomat | – Pertumbuhan<br>– Metabolisme sel<br>– Pemecahan karbohidrat, lemak, dan protein<br>– Koenzim | – Pelagra<br>– Dermatitis: kulit pecah-pecah, eksim, dan mengelupas<br>– Diare<br>– Dimensia: kekacauan mental, pelupa, letih, dan suka melamun<br>– Pendarahan usus dan gusi |
| $B_{11}$: Asam folat<br>$C_{19}H_{19}O_6N_7$ | Hati, ginjal, sayuran, daging sapi, pisang, polongan, biji gandum, dan ragi | – Pembentukan sel darah merah<br>– Metabolisme kelompok metil<br>– Sintesis DNA dan RNA yang berperan dalam pembelahan sel | – Anemia pernisiosa<br>– Peradangan lidah<br>– Diare |

| Nama Vitamin | Sumber | Fungsi Faal | Akibat Avitaminosis |
|---|---|---|---|
| $B_{12}$: Sianokobalamin Anti anemia Pernisiosa $C_{63}H_{90}N_{14}O_{14}PC_9$ | Hati, ikan, susu, telur, udang, kerang, dan keju | – Sintesis asam amino<br>– Pembentukan sel darah<br>– Metabolisme sel dalam pertumbuhan | Anemia pernisiosa |
| Biotin, Vitamin H $C_{10}H_{16}O_3N_2S$ | Ragi, beras, sayuran, dan buah-buahan | – Respirasi aerob<br>– Metabolisme lemak | Dermatitis |
| Para amino asam benzoat | Ragi dan hati | – Pertumbuhan rambut | Rambut rontok, uban |
| Kolin | Hati dan beras | – Pertumbuhan kulit<br>– Metabolisme lemak | – Gangguan pada kulit dan ginjal<br>– Timbunan lemak di sekitar hati |
| C : Asam askorbat Antiskorbut $C_6H_8O_6$ | Sayur, buah segar, hati, dan ginjal | – Metabolisme lemak<br>– Pembentukan jaringan ikat (kolagen)<br>– Kesehatan gusi<br>– Aktivator enzim (koenzim)<br>– Oksidasi dan dehidrasi dalam sel<br>– Pembentukan trombosit | – Skorbut, pendarahan gusi<br>– Pendarahan kulit<br>– Kerusakan sendi<br>– Menurunnya permeabilitas sel kapiler darah<br>– Pendarahan dalam sumsum tulang |
| D : Ergosterol Kalsiferol Antirakhitis $C_{28}H_{44}O$ | Minyak ikan, susu, mentega, kuning telur, dan ragi | – Penyerapan kalsium dan fosfor di alat pencernaan<br>– Aktivitas kelenjar endokrin<br>– Proses osifikasi | – Rakhitis<br>– Osteomalasi<br>– Gangguan metabolisme zat kapur dan fosfor |
| E : Tokoferol Antisterilitas $C_{29}H_{50}O_2$ | Kecambah, kuning telur, susu, lemak, daging, dan ragi | – Menjalankan fungsi reproduksi<br>– Membentuk DNA, RNA, dan sel darah merah<br>– Mencegah pendarahan pada ibu hamil dan mencegah keguguran<br>– Pembentukan protrombin<br>– Menjalankan fungsi hati | – Keguguran (abortus)<br>– Mati embrio<br>– Kemandulan (sterilitas)<br>– Kemunduran hipofisis dan kelenjar gondok<br>– Layu otot karena saraf rusak |
| K : Filoguinon Antihemoragia $C_{31}H_{46}O_2$ | Sayuran dan bakteri susu | – Pembentukan protrombin<br>– Menjalankan fungsi hati | Darah sukar membeku |

## 5. Mineral

Seperti halnya vitamin, tubuh kita memerlukan sejumlah kecil mineral. Mineral yang diperlukan tubuh dalam bentuk garam atau unsur. Garam mineral mudah larut dan mudah diserap tubuh tanpa proses pencernaan. Berdasarkan jumlah kebutuhan dalam tubuh, mineral dapat dibedakan menjadi dua, yaitu makroelemen dan mikroelemen.

a. *Makroelemen* adalah mineral yang diperlukan tubuh dalam jumlah besar. Makroelemen meliputi kalium (K), kalsium (Ca), natrium (Na), fosfor (P), magnesium (Mg), belerang (S), dan klor (Cl).

b. *Mikroelemen* yaitu mineral yang diperlukan tubuh dalam jumlah sedikit. Misalnya besi (Fe), mangan (Mn), kobalt (Co), molibdenum (Mo), dan selenium (Se).

Mineral terdapat dalam berbagai bahan makanan dari hewan dan tumbuhan. Perhatikan Gambar 6.21. Apa sajakah fungsi mineral bagi tubuh dan akibatnya jika kekurangan salah satu mineral? Coba cermati penjelasan dalam Tabel 6.3 berikut.

**Gambar 6.21**
Sayur mayur merupakan sumber utama mineral

**Tabel 6.3** Macam-Macam Mineral yang Dibutuhkan Tubuh

| Mineral | Sumber | Fungsi | Akibat Defisiensi | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| Kalsium (Ca) | Susu, sayuran hijau, kacang-kacangan, dan daging | – Pembentukan tulang dan gigi yang dipengaruhi oleh vitamin D<br>– Pembekuan darah<br>– Aktivitas saraf dan otak<br>– Aktivator enzim<br>– Aktivitas otot jantung<br>– Melindungi tubuh terhadap absorpsi zat radioaktif | – Riketsia<br>– Osteoporosis<br>– Darah sukar membeku<br>– Rakitis<br>– Hipokalsemia<br>– Pertumbuhan terhambat | – Kalsium akan ditimbun di dalam tulang khususnya tulang spon<br>– Jumlah kebutuhan tubuh/hari = 0,8 gram<br>– Penggunaan dalam tubuh diatur oleh kelenjar tiroid yang menghasilkan hormon kalsitonin berfungsi menurunkan kadar Ca darah, dan kelenjar paratiroid yang menghasilkan hormon paratiroid berfungsi meningkatkan kadar Ca darah<br>– Adanya vitamin D meningkatkan absorbsi Ca<br>Kelebihan Ca akan menyebabkan:<br>– Hiperkalsemia<br>– Kalsifikasi jaringan dan tulang rawan |
| Fosfor (P) | Susu, kacang-kacangan, daging, dan sayuran | – Pembentukan tulang dan gigi<br>– Metabolisme<br>– Kontraksi otot<br>– Aktivitas saraf<br>– Komponen enzim, DNA, RNA, dan ATP<br>– Membentuk fosfatid, bagian dari plasma<br>– Menjaga keseimbangan asam basa<br>– Pengaturan aktivitas hormon<br>– Efektivitas beberapa vitamin | – Kerapuhan tulang dan gigi<br>– Sakit pada tulang<br>– Anak: Rakhitis<br>– Dewasa: Osteomalasia | Fosfor sebagai fosfat memainkan peranan penting dalam struktur dan fungsi semua sel hidup |
| Natrium (Na) | Daging, garam, mentega, dan produk peternakan | – Transmisi saraf<br>– Kontraksi otot<br>– Menjaga tekanan osmotik darah<br>– Sebagai buffer (dalam bentuk Na-karbonat)<br>– Mempertahankan iritabilitas sel otot<br>– Komponen anorganik cairan ekstra sel | – Dehidrasi<br>– Shock<br>– Gangguan pada jantung<br>– Kejang otot<br>– Kelelahan<br>– Suhu tubuh meningkat | – Jumlah kebutuhan tubuh/hari = 15–20 g<br>– Na juga terdapat pada NaCl<br>– Kelebihan unsur ini akan menimbulkan gejala hipertensi |
| Klor (Cl) | Garam, susu, daging, dan telur | – Pembentukan HCl dalam lambung yang berperan dalam penyerapan Fe dan emulsi lemak<br>– Aktivator enzim<br>– Bahan ion klorit yang penting untuk transfer $CO_2$ dari darah ke paru-paru<br>– Memelihara keseimbangan asam basa, elektrolit, dan tekanan osmosis | – Kontraksi otot abnormal<br>– Hilangnya rambut dan gigi<br>– Pencernaan terganggu | Jumlah kebutuhan tubuh/hari = 15–20 g |
| Magnesium (Mg) | Kacang-kacangan, sayuran hijau, makanan hasil laut, dan sereal | – Pembentukan tulang, darah, dan otot<br>– Aktivator enzim<br>– Kontraksi otot<br>– Aktivitas saraf<br>– Respirasi intrasel<br>– Sintesis protein | – Gangguan mental dan emosi<br>– Kontraksi otot terganggu<br>– Fungsi ginjal terganggu<br>– Peredaran darah terganggu | Kelebihan unsur ini akan menyebabkan gangguan fungsi saraf |

| Mineral | Sumber | Fungsi | Akibat Defisiensi | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| Kalium (K) | Sayuran, buah-buahan, dan kecap | – Mengatur detak jantung<br>– Memelihara keseimbangan air<br>– Transmisi saraf<br>– Memelihara keseimbangan asam basa<br>– Katalisator<br>– Kontraksi otot<br>– Mengatur sekresi insulin dari pankreas<br>– Memelihara permeabilitas membran sel | – Gangguan jantung<br>– Kontraksi otot terganggu<br>– Pernapasan terganggu | Kelebihan unsur ini menyebabkan kelemahan otot dan terganggunya denyut jantung |
| Sulfur (S) | Sayuran, telur, daging, susu, dan buah-buahan | – Aktivator enzim<br>– Berperan dalam penyimpanan dan pembebasan energi<br>– Komponen vitamin (thiamin, biotin, dan asam pantotenat)<br>– Komponen dalam proses detoksikasi | – Belum diketahui<br>– Anemia<br>– Gondok<br>– Pendengaran berkurang | – Kebutuhan tubuh/hari = 15–30 mg<br>– Penyebaran di usus lebih mudah karena adanya HCl lambung |
| Zat besi (Fe) | Daging, sayuran hijau, dan biji-bijian | – Pembentukan hemoglobin<br>– Komponen enzim sitokrom (enzim dalam respirasi) | Anemia | Ditranspor sebagai transferin dan disimpan sebagai feritin |
| Yodium (I) | Makanan hasil laut, telur, susu, garam beryodium, tiram, dan rumput laut | – Aktivitas kelenjar tiroid<br>– Komponen hormon tiroksin<br>– Komponen hormon triyodotironin | – Gondok<br>– Pendengaran berkurang | Disimpan dalam kelenjar tiroid sebagai tiroglobulin |
| Fluorin (F) | Kuning telur, susu, otak, dan air minum | – Memelihara gigi<br>– Mencegah kekurangan Mg, osteoporosis, dan penyakit periodental | – Kerusakan karang gigi (caries dentis) | Tidak terbukti secara esensial untuk nutrisi manusia, tapi esensial untuk pertumbuhan tikus |
| Seng (Zn) | Ikan laut, hati, daging, telur, dan susu | – Membantu penyembuhan luka dan kesehatan kulit<br>– Metabolisme karbohidrat, protein, dan lemak<br>– Pertumbuhan dan reproduksi<br>– Kepekaan terhadap rasa dan bau<br>– Pembentukan enzim | – Pertumbuhan terhambat<br>– Penyembuhan luka terhambat | Menjadi kofaktor enzim laktat dehidrogenase, fosfatase alkali, karbonik anhidrase, dan sebagainya |
| Tembaga (Cu) | Padi-padian, polong-polongan, kerang, ginjal, dan hati | – Pembentukan eritrosit dan hemoglobin<br>– Komponen enzim dan protein<br>– Aktivitas saraf<br>– Sintesis substansi seperti hormon | – Anemia<br>– Gangguan saraf dan tulang | Ditranspor oleh albumin dan terikat pada seruloplasmin |

## 6. Air

Sebagian besar tubuh manusia kurang lebih 70% terdiri dari air. Hampir semua reaksi kimia di dalam tubuh terjadi pada medium air. Secara umum air berfungsi sebagai bahan pelarut dalam tubuh. Air berguna untuk melakukan proses metabolisme dalam tubuh seperti pencernaan, ekskresi, penguapan, dan lain-lain. Air merupakan komponen utama protoplasma, darah dan limfa, sehingga air berfungsi juga untuk mengangkut sisa metabolisme dari jaringan ke luar tubuh, serta mengangkut nutrisi ke seluruh tubuh.

Kita memerlukan 2,5 liter air setiap harinya, karena setiap hari badan kita kehilangan lebih dari 2,5 liter. Air keluar dari tubuh melalui air kencing, bersama feses, keringat, dan berupa uap air dari paru-paru. Kebutuhan air dalam tubuh dapat diperoleh dari air minum, makanan, buah, dan sayuran.

Keseimbangan air dalam tubuh diatur oleh hormon dari kelenjar hipofisis dan anak ginjal. Kedua kelenjar ini menghasilkan hormon yang mengatur keseimbangan cairan dari darah dan cairan tubuh serta mengatur penyerapan air dalam usus dan pengeluarannya melalui ginjal.

Anda telah mengenal kandungan zat-zat gizi dalam makanan. Makanan kita sehari-hari dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok berikut.

a. Makanan yang mengandung banyak karbohidrat nabati, terdapat dalam sumber makanan pokok, misalnya beras, jagung, dan gandum.
b. Makanan yang mengandung banyak garam mineral terdapat dalam sayur mayur, misalnya kubis, wortel, kacang panjang, dan tomat.
c. Makanan yang mengandung banyak protein terdapat dalam lauk pauk, misalnya protein dari tumbuhan: tahu dan tempe; atau protein dari hewan: daging dan ikan.
d. Makanan yang mengandung banyak vitamin dan sifatnya menyegarkan, terdapat dalam buah-buahan.

Makanan yang terdiri atas sumber makanan pokok, sayur mayur, lauk pauk, dan buah-buahan dinamakan makanan 4 sehat dan akan menjadi 5 sempurna jika ditambahkan susu. Susunan menu makanan yang seimbang terdiri dari 50% karbohidrat, 10% lemak, 10% protein hewan, air, serta sejumlah kecil vitamin dan mineral. Jumlah zat gizi makanan yang diperlukan manusia agar tetap sehat berbeda-beda tergantung pada banyak faktor, di antaranya ditentukan oleh umur, berat badan, tingkat kesehatan, jenis kelamin, aktivitas yang dilakukan, serta iklim lingkungan.

Anda telah memahami tentang zat-zat makanan yang diperlukan tubuh beserta fungsinya. Zat-zat makanan itu harus masuk tubuh dalam jumlah cukup agar tubuh kita tetap sehat dan dapat melakukan aktivitas dengan baik. Menu makanan kita sehari-hari harus bergizi dan seimbang. Sebenarnya tidak terlalu sulit menerapkan pola makan yang sehat dan juga tidak harus mengeluarkan biaya mahal. Perhatikan beberapa tips berikut.

### a. Pilihlah Bahan Makanan yang Masih Alami

Proses pengolahan, misalnya pengawetan seringkali mengakibatkan menurunnya nilai gizi. Riset telah membuktikan bahwa zat gizi, nutrisi, dan antioksidan dari bahan pangan alami lebih baik kualitasnya dibanding bahan pangan olahan maupun makanan suplemen.

### b. Hindari Konsumsi Makanan Instan yang Berlebihan

Makanan instan hanya mengandung zat gizi tertentu. Umumnya makanan instan mengandung zat penghasil tenaga dalam jumlah besar dan zat gizi yang lain hanya sedikit atau bahkan tidak ada.

**Tahukah Anda**

**Air Putih yang Menyehatkan**

Inilah cara mudah, murah, dan praktis agar tubuh sehat. Perbanyaklah minum air putih, minimal 8 gelas (± 2,5 liter) sehari.

Bagamana caranya? Minumlah 2 gelas air putih 1–2 jam sebelum sarapan, 2 gelas 1–2 jam sebelum makan siang, 2 gelas 1–2 jam sebelum makan malam, dan 2 gelas 1–2 jam sebelum tidur. Cobalah! Hasilnya akan terlihat dalam 2–3 bulan kemudian.

**Tahukah Anda**

**Mengapa Serat dalam Makanan Dapat Menurunkan Kolesterol?**

Dalam pencernaan, serat dalam makanan berikatan dengan empedu yang mengandung kolesterol dan akan mengeluarkannya melalui tinja. Dengan cara ini, serat makanan membantu menurunkan kadar kolesterol. Oleh karena itu, jangan lupa mengonsumsi sayur dan buah dalam menu makan kita sehari-hari.

**Tugas Kelompok**

Cari informasi kandungan zat gizi yang terkandung dalam beberapa produk makanan instan. Tulislah informasi tersebut dalam bentuk tabel dan bahaslah bersama teman sekelas mengenai dampak penggunaan produk makanan instan bagi kesehatan tubuh.

### c. Susunlah Makanan Secara Bervariasi

Variasilah menu makanan dengan berbagai makanan. Setiap bahan makanan mengandung zat gizi yang berbeda-beda dan jumlahnya juga tertentu. Menu makanan yang bervariasi akan mencegah terjadinya kekurangan atau kelebihan zat gizi tertentu.

### d. Gunakan *Suplemen* Mineral dan Vitamin Seperlunya Saja

Penggunaan suplemen mineral dan vitamin harus sesuai dengan dosis yang dianjurkan. Apabila dikonsumsi melebihi dosis dapat berbahaya bagi tubuh. Misalnya saja, seseorang yang minum tablet suplemen kalsium (Ca) dalam dosis tinggi. Bila dikonsumsi terus-menerus dalam waktu lama maka akan terjadi penimbunan Ca dalam jumlah besar dan akan mengalami defisiensi Mg, Zn, dan Fe.

### e. Makanlah Secukupnya

Kekurangan zat gizi karena makan terlalu sedikit tentu akan mengganggu metabolisme sehari-hari. Sebaliknya, makan terlalu banyak akan mengakibatkan penimbunan di dalam tubuh sehingga terjadi kegemukan atau peningkatan kadar zat-zat tertentu. Keadaan ini akan membebani kerja hati, jantung, dan ginjal.

### f. Makanlah Secara Teratur

Mengatur masukan makanan ke dalam tubuh sangatlah penting. Jadwal makan yang tidak teratur dapat mengakibatkan sakit mag karena adanya iritasi pada saluran pencernaan.

Makan secukupnya secara teratur lebih menyehatkan daripada sekali makan dalam jumlah yang banyak. Kebiasaan makan secukupnya dan teratur dapat menjaga kadar gula darah agar tidak naik/turun secara drastis. Dalam kondisi tersebut, pankreas akan menghasilkan insulin dalam jumlah yang relatif stabil.

Setelah Anda memahami tips-tips pola makan sehat, faktor kebersihan makanan juga perlu diperhatikan. Makanan yang bersih berarti terbebas dari kotoran dan kuman penyakit. Perlu diperhatikan kebersihan pada tahap penyiapan bahan, saat memasak, dan saat penyajiannya. Hal ini bertujuan untuk mewujudkan makanan yang bersih.

Setelah membahas tentang pola makan sehat, sekarang kita lihat pada diri kita sehari-hari. Bagaimanakah pola makan kita? Sudahkah memenuhi standar kesehatan? Lakukan tugas berikut untuk menjawabnya.

## Tugas Mandiri

Carilah buku panduan cara menyusun menu makanan yang bergizi seimbang. Kemudian catatlah daftar menu Anda selama satu hari. Kemudian diskusikanlah dengan teman Anda apakah dalam menu tersebut sudah tercapai kebutuhan tubuh akan gizi optimum? Perlukah tambahan konsumsi vitamin maupun suplemen makanan? Catat pula daftar aktivitas harian Anda agar dapat menentukan kecukupan nutrisi sehari-hari.
Kumpulkan daftar menu beserta kesimpulan yang Anda buat kepada guru.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bagaimanakah pola makan yang baik bagi penderita diabetes agar penyakitnya tidak kambuh?
2. Pada pengujian zat makanan digunakan beberapa reagen. Coba sebutkan reagen apa saja yang dibutuhkan untuk menguji amilum, protein, dan lemak.
3. Apa sajakah zat gizi yang terkandung dalam makanan? Sebutkan fungsi tiap-tiap zat gizi tersebut di dalam tubuh manusia.
4. Mengapa makan sedikit demi sedikit dapat mencegah terjadinya hiperglikemia?
5. Apa yang dimaksud makanan instan? Mengapa makanan ini banyak diminati oleh penduduk di kota-kota besar?

**Sumber:** *Biology, Raven & Johnson*

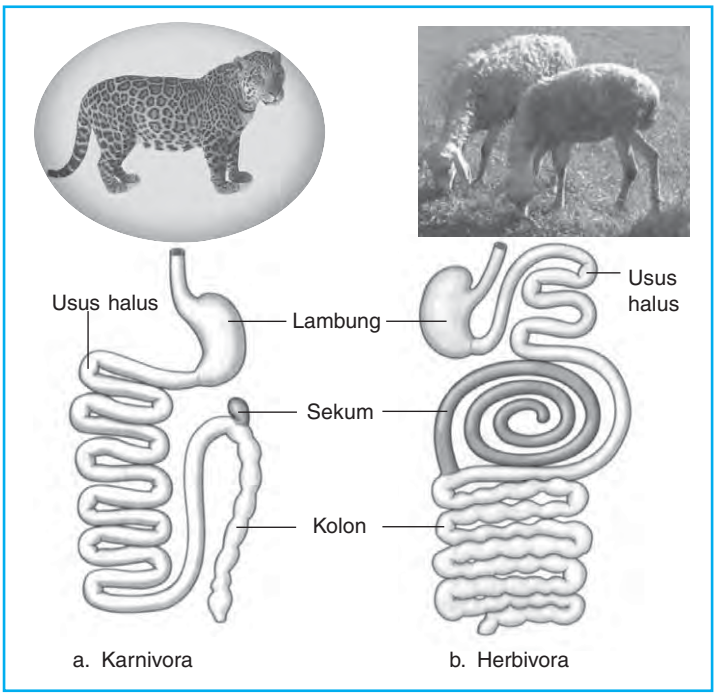
**Gambar 6.22**
Sapi merupakan contoh hewan memamah biak

## C. Sistem Pencernaan pada Hewan Memamah Biak

Hewan memamah biak (**Ruminansia**) adalah hewan herbivora murni, misalnya sapi, kerbau, dan kambing. Perhatikan Gambar 6.22. Disebut hewan memamah biak karena memamah atau mengunyah makanannya sebanyak dua fase. Pertama saat makanan tersebut masuk ke mulut. Makanan tersebut tidak dikunyah hingga halus dan terus ditelan. Selang beberapa waktu makanan tersebut dikeluarkan kembali ke mulut untuk dikunyah sampai halus.

Makanan hewan memamah biak berupa rumput atau tumbuhan. Sel tumbuhan tersusun dari bahan selulosa yang sulit dicerna. Oleh karena jenis makanan tersebut, hewan memamah

biak mempunyai sistem pencernaan dengan struktur khusus yang berbeda dengan hewan karnivora dan omnivora. Perhatikan Gambar 6.23.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 6.23**
Perbandingan saluran pencernaan hewan karnivora dan herbivora

Saluran pencernaan hewan memamah biak terdiri atas organ-organ berikut.

## 1. Rongga Mulut (*Cavum Oris*)

Gigi yang terdapat dalam rongga mulut berbeda dengan mamalia lain dalam hal berikut.

a. Gigi seri (*insisivus*) mempunyai bentuk yang sesuai untuk menjepit makanan berupa tetumbuhan seperti rumput.
b. Gigi taring (*caninus*) tidak berkembang.
c. Gigi geraham belakang (*molare*) berbentuk datar dan lebar.

Makanan yang direnggut dengan bantuan lidah secara cepat dikunyah dan dicampur dengan air liur dalam mulut, kemudian ditelan masuk ke dalam lambung melalui esofagus.

## 2. Kerongkongan *(Esofagus)*

Esofagus merupakan saluran penghubung antara rongga mulut dengan lambung. Di sini tidak terjadi proses pencernaan. Esofagus pada sapi sangat pendek dan lebar, serta lebih mampu membesar (berdilatasi). Esofagus berdinding tipis dan panjangnya bervariasi, diperkirakan sekitar 5 cm.

## 3. Lambung

Lambung mempunyai peranan penting untuk menyimpan makanan sementara yang akan dikunyah kembali (kedua kali). Selain itu, pada lambung juga terjadi proses pembusukan dan peragian.

### Tahukah Anda

**Tahukah Anda tentang Gigi Sapi?**

Susunan gigi sapi sebagai berikut.

| | |
|---|---|
| 3 3 0 0 0 0 3 3 | Rahang atas |
| M P C I I C P M | Jenis gigi |
| 3 3 0 4 4 0 3 3 | Rahang bawah |

Keterangan:
I : Insisivus = gigi seri
C : Caninus = gigi taring
P : Premolare = gigi geraham depan
M : Molare = gigi geraham belakang

Berdasarkan susunan gigi di atas, terlihat bahwa sapi (hewan memamah biak) tidak mempunyai gigi seri bagian atas dan taring, tetapi memiliki geraham lebih banyak dibandingkan dengan manusia. Hal ini sesuai dengan fungsinya untuk mengunyah makanan berserat, yaitu penyusun dinding sel tumbuhan yang terdiri atas 50% selulosa.

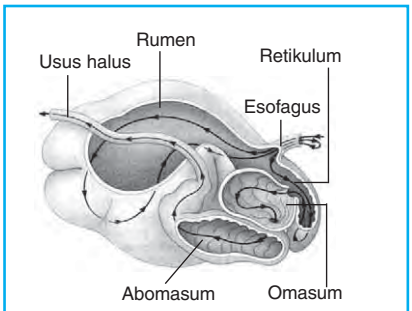
Lambung **Ruminansia** terdiri atas empat ruangan (perhatikan Gambar 6.24), yaitu:

a. *rumen* (perut besar/perut urat daging),
b. *retikulum* (perut jala),
c. *omasum* (perut buku),
d. *abomasum* (perut kelenjar/perut masam).

Ukuran ruangan tersebut bervariasi sesuai dengan umur dan makanan alamiahnya. Kapasitas rumen 80%, retikulum 5%, omasum 7–8%, dan abomasum 7–8%.

Mula-mula makanan masuk ke dalam rumen. Makanan yang masuk ke lambung ini telah bercampur dengan ludah yang bersifat alkali sehingga memberi suasana basa dengan pH ± 8,5.

Selanjutnya, dalam lambung sapi berlangsung proses pencernaan sebagai berikut.




**Sumber:** *Biology, Reven & Johnson*

**Gambar 6.24**
Lambung hewan memamah biak

### a. Rumen

Rumen berfungsi sebagai gudang sementara bagi makanan yang ditelan. Setelah rumen cukup terisi makanan, sapi beristirahat. Di dalam rumen terdapat populasi bakteri dan Protozoa. Mikroorganisme tersebut menghasilkan enzim yang menguraikan polisakarida, misalnya enzim: hidrolase, amilase, oligosakharase, glikosidase, dan enzim selulase yang berfungsi untuk menguraikan selulosa. Selain itu juga terdapat enzim yang menguraikan protein, yaitu enzim *proteolitik*; dan enzim pencerna lemak.

### b. Retikulum

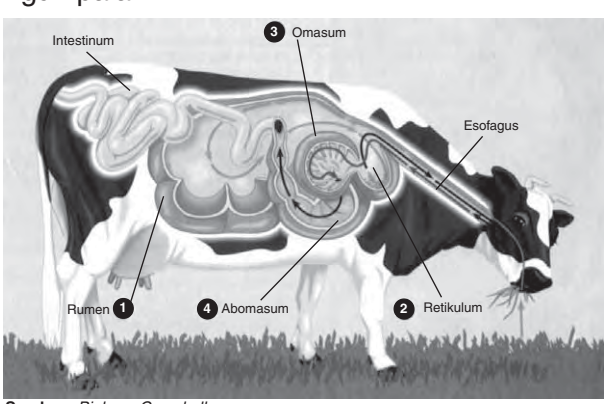
Di dalam retikulum makanan diaduk-aduk kemudian dicampur dengan enzim yang dihasilkan oleh bakteri yang ada, hingga akhirnya menjadi gumpalan-gumpalan yang masih kasar (bolus). Pengadukan dilakukan oleh kontraksi otot dinding retikulum. Kemudian, gumpalan makanan tersebut didorong kembali ke mulut untuk dikunyah lebih sempurna (dimamah kedua kali), sambil beristirahat. Setelah itu, gumpalan makanan ditelan lagi masuk ke omasum melewati rumen dan retikulum.

### c. Omasum

Di dalam omasum terdapat kelenjar yang memproduksi enzim yang akan bercampur dengan bolus. Makanan dijadikan lebih halus lagi di omasum. Kadar air dari gumpalan makanan dikurangi (terjadi absorpsi air), kemudian gumpalan makanan diteruskan keabomasum.

### d. Abomasum

Di dalam abomasum makanan dicernakan lagi dengan bantuan enzim dan asam klorida. Abomasum merupakan perut yang sebenarnya, karena di sini terjadi pencernaan sebenarnya secara kimiawi oleh enzim-enzim pencernaan. Enzim yang dikeluarkan oleh dinding abomasum sama dengan yang terdapat pada lambung mamalia lain. Misalnya, enzim pepsin merombak protein menjadi asam amino.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 6.25**
Saluran pencernaan Ruminansia (memamah biak)

## Tahukah Anda

**Mengapa Kambing Suka Menjilati Tanah?**

**Sumber:** *Biology, Campbell*

Beberapa herbivora misalnya kambing, tidak dapat mencukupi kebutuhan $Na^+$ dan $Cl^-$ dari tumbuh-tumbuhan. Kebutuhan kedua mineral tersebut diperoleh dengan cara menjilati garam alami yang ada di permukaan tanah.

Asam klorida (HCl) selain mengaktifkan pepsinogen yang dikeluarkan dinding abomasum, juga sebagai *desinfektan* (zat pembunuh bakteri, karena bakteri akan mati pada pH yang sangat rendah). Namun, bakteri yang mati dapat dicerna menjadi sumber protein bagi hewan memamah biak. Dengan demikian, hewan memamah biak tidak memerlukan asam amino esensial seperti pada manusia. Kemudian, makanan yang telah halus dari ruang abomasum didorong masuk ke usus halus. Di usus halus ini sari-sari makanan diserap dan diedarkan oleh darah ke seluruh tubuh. Selanjutnya sisa makanan keluar melalui anus. Perhatikan sistem pencernaan sapi pada Gambar 6.25 pada halaman sebelumnya.

Apabila sapi meminum air, lipatan dinding antara rumen dan retikulum membentuk saluran yang menghubungkan mulut-esofagus-omasum-abomasum. Keadaan yang demikian mengakibatkan air yang diminum dapat langsung masuk ke abomasum.

Pada anak sapi yang masih menyusu induknya, rumen, retikulum, dan omasum masih kecil serta belum berfungsi. Saluran lipatan tertutup oleh gerakan refleks sehingga air susu yang diisap dari puting susu induknya langsung masuk ke abomasum.

Pada kelinci, marmot, dan kuda, fermentasi selulosa terjadi di dalam sekum. Sekum (usus buntu) adalah kantong (bagian usus besar) yang berada di antara pertemuan usus halus dengan usus besar dan umbai cacing. Di dalam sekum banyak bakteri selulolitik. Selain itu, pada hewan-hewan tersebut hanya terjadi pengunyahan satu kali, sehingga feses yang dikeluarkan lebih kasar dan berserat daripada feses sapi (yang mengalami pengunyahan selulosa dua kali.

Anda telah mempelajari sistem pencernaan pada hewan memamah biak. Apa perbedaan sistem pencernaan hewan memamah biak dengan manusia? Lakukanlah kegiatan berikut, agar Anda dapat mengetahuinya.

## Forum Diskusi

Buatlah gambar organ yang menyusun sistem pencernaan hewan memamah biak dan manusia. Selanjutnya, diskusikan perbedaan antara sistem pencernaan hewan memamah biak dengan manusia meliputi hal-hal berikut.

a. Organ-organ penyusun sistem pencernaan.
b. Jalannya makanan yang masuk ke dalam sistem pencernaan.

Bahaslah hasil diskusi bersama teman-teman dan guru Anda di kelas.

## Uji Kompetensi C

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa perbedaan gigi hewan memamah biak dengan gigi hewan pada umumnya?
2. Lambung sapi terdiri atas 4 bagian. Bagian manakah yang merupakan perut sebenarnya? Mengapa demikian?
3. Jelaskan mekanisme pencernaan makanan dalam lambung sapi.
4. Apa peran penting mikroorganisme dalam saluran pencernaan hewan memamah biak?
5. Mengapa feses hewan memamah biak lebih lembut dibandingkan feses hewan herbivora yang lain?

## Rangkuman

1. Sistem pencernaan manusia dimula dari mulut menuju kerongkongan, lambung, usus halus, usus besar, rektum, dan berakhir di anus.
2. Alat pencernaan di mulut yaitu gigi (seri, taring, dan geraham) lidah, dan kelenjar ludah.
3. Di dalam lambung terjadi pencernaan secara kimiawi karena lambung menghasilkan getah lambung yang bersifat asam (HCl) dan enzim renin, pepsinogen, dan lipase.
4. Usus halus mengandung jonjot-jonjot usus untuk menyerap makanan.
5. Pencernaan secara kimiawi di usus halus dibantu oleh cairan empedu, getah pankreas, dan getah usus.
6. Sistem pencernaan hewan *Ruminansia* berbeda dengan mamalia lainnya. Gigi seri memiliki bentuk yang sesuai untuk menjepit makanan, gigi taring tidak berkembang, gigi geraham belakang datar dan lebar. Terdapat dua fase dalam mengunyah makanan.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Perhatikan beberapa fungsi zat makanan berikut.
   1) sumber energi
   2) untuk pertumbuhan, perbaikan, dan pemeliharaan sel-sel tubuh
   3) menjadi pelindung alat-alat tubuh
   4) sebagai pembentuk enzim
   5) menjaga suhu tubuh

   Fungsi protein terdapat pada nomor . . . .
   a. 1) dan 2)
   b. 1) dan 5)
   c. 2) dan 4)
   d. 3) dan 4)
   e. 3) dan 5)
2. Protein dalam tubuh akan segera dirombak dan digunakan tubuh dalam bentuk . . . .
   a. polipeptida
   b. asam amino
   c. protein hewani
   d. protein nabati
   e. glukosa
3. Terdapat ciri-ciri dan fungsi bahan makanan sebagai berikut.
   1) Sumber energi
   2) Pembentuk senyawa kimia lain
   3) Pertumbuhan dan pemeliharaan
   4) Bantalan lemak
   5) Larut dalam air

Ciri dan fungsi lipid adalah . . . .
a. 1) dan 2)
b. 1) dan 4)
c. 1), 4), dan 5)
d. 2) dan 3)
e. 3) dan 4)

4. Perhatikan beberapa hal berikut.
1) Insisivus memiliki bentuk untuk menggigit makanan berupa rumput.
2) Premolare memiliki bentuk datar dan lebar.
3) Ukuran usus lebih pendek.
4) Adanya koloni bakteri dan Protozoa pada lambungnya.
5) Struktur lambung memiliki empat ruangan, yaitu: *rumen*, *retikulum*, *omasum*, dan *abomasum*.

Pernyataan tersebut yang *bukan* merupakan struktur khusus sistem pencernaan Ruminansia terdapat pada . . . .
a. 1) dan 2)
b. 1) dan 3)
c. 2) dan 4)
d. 3) dan 4)
e. 3) dan 5)

5. Tahap-tahap pada proses pencernaan makanan sebagai berikut.
1) ingesti
2) absorbsi
3) deglutisi
4) digesti
5) mastikasi
6) defekasi

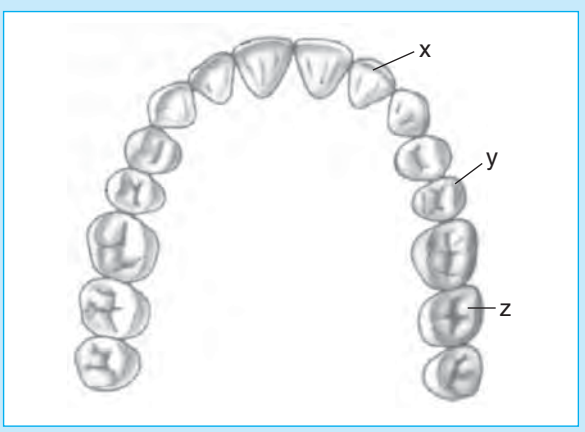
Proses pencernaan makanan yang terjadi di mulut terdapat pada nomor . . . .
a. 1), 2), 3), dan 4)
b. 1), 3), 4), dan 5)
c. 2), 3), 4), dan 5)
d. 2), 3), 5), dan 6)
e. 3), 4), 5), dan 6)

6. Perhatikan organ-organ yang berperan dalam proses pencernaan makanan berikut.
1) faring
2) laring
3) kerongkongan
4) tenggorokan
5) lambung
6) pankreas
7) hati
8) usus 12 jari

Organ-organ yang termasuk saluran pencernaan makanan terdapat pada . . . .
a. 1), 2), 3), dan 5)
b. 1), 3), 5), dan 8)
c. 1), 4), 5), dan 6)
d. 2), 3), 5), dan 8)
e. 2), 4), 5), dan 8)

7. Organ ini bagian dari alat pencernaan makanan, terdapat di dalam mulut, berjumlah empat, fungsiku untuk merobek makanan. Usia berapa waktu tumbuh dan tanggal organ ini?

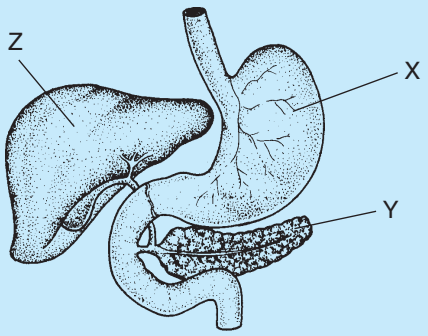
a. Tumbuh 8–11 bulan dan tanggal 6–8 tahun.
b. Tumbuh 16–20 bulan dan tanggal 9–12 tahun.
c. Tumbuh 20–24 bulan dan tanggal 5–7 tahun.
d. Tumbuh 16–20 bulan dan tanggal 8–11 tahun.
e. Tumbuh 20–24 bulan dan tanggal 6–8 tahun.

8. 


Gambar di atas adalah gambar gigi permanen, bagian yang ditunjuk x, y, dan z berturut-turut . . . .
a. insisivus sentral, premolare kedua, dan molare pertama
b. insisivus lateral, premolare ketiga, dan molare kedua
c. insisivus lateral, premolare kedua, dan molare kedua
d. insisivus sentral, premolare kedua, dan molare ketiga
e. insisivus sentral, premolare kedua, dan molare kedua

9. Ludah mengandung beberapa bahan seperti . . . .
   a. Na-karbonat, Na-fosfat, dan eritrosit
   b. K-fosfat, K-karbonat, dan leukosit
   c. enzim ptialin, enzim lisozim, dan trombosit
   d. leukosit, Na-fosfat, dan enzim lisozim
   e. eritrosit, ptialin, dan Na-karbonat

Gambar berikut berhubungan dengan soal nomor 10 dan 11.




10. Proses pencernaan makanan yang terjadi dalam organ bertanda X yaitu . . . .
    a. amilum menjadi maltosa oleh enzim ptialin
    b. protein menjadi pepton oleh enzim pepsin
    c. pepton menjadi asam amino oleh enzim tripsin
    d. emulsi lemak menjadi asam lemak dan gliserol
    e. pepton menjadi asam amino oleh enzim erepsin

11. Selain menghasilkan enzim, organ bertanda Y juga menghasilkan garam $NaHCO_3$. Fungsi senyawa garam ini yaitu . . . .
    a. merangsang sel-sel kelenjar usus mengeluarkan hormon sekretin
    b. mengemulsikan lemak
    c. menetralkan keasaman isi usus
    d. membunuh kuman penyakit yang masuk dalam lambung
    e. mengatur klep di antara lambung dengan usus halus

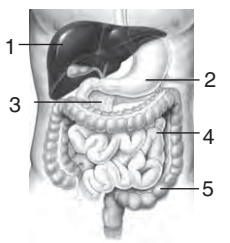
12. Sekresi getah lambung dirangsang oleh . . . .
    a. hormon sekretin dari sel epitel usus
    b. enzim erepsinogen dari kelenjar Lieberkuhn
    c. hormon gastrin dari kelenjar buntu dinding lambung
    d. asam klorida dari daerah fundus
    e. makanan dari kerongkongan

13. Dari tabel di bawah ini yang sesuai antara organ, enzim yang dihasilkan, serta fungsinya adalah . . . .

| Organ | Enzim | Fungsinya Mengubah |
|---|---|---|
| 1. Kelenjar parotis | sakarose | amilum → disakarida |
| 2. Lambung | pepsin | protein → pepton |
| 3. Pankreas | lipase | lemak → gliserol |
| 4. Usus halus | maltase | maltosa → glukosa |
| 5. Kolon | enterokinase | pepton → asam amino |

    a. 1, 2, dan 3
    b. 1, 3, dan 5
    c. 2, 3, dan 4
    d. 2, 4, dan 5
    e. 3, 4, dan 5

14. Berdasarkan gambar di samping, erepsin dihasilkan oleh organ yang bernomor . . . .




    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

15. Perhatikan tabel berikut.

| Daerah Saluran Pencernaan | Getah Pencerna | Enzim |
|---|---|---|
| I. Lambung | a. Getah usus | 1. Amilase |
| II. Duodenum | b. Getah pankreas | 2. Erepsin |
| III. Ileum | c. Cairan empedu | 3. Renin |
| | d. Getah lambung | 4. Tripsin |
| | e. HCl | 5. Invertase |
| | | 6. Pepsin |

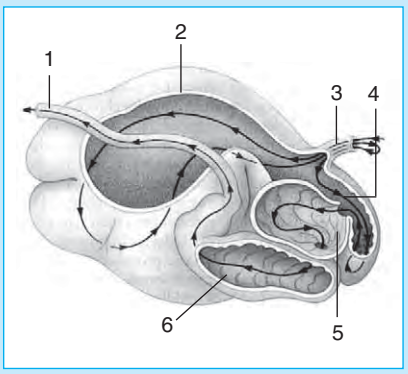
Pasangan yang tepat untuk daerah saluran pencernaan, getah pencerna, dan enzim adalah . . . .
    a. I, D, dan 4
    b. I, E, dan 3
    c. II, C, dan 5
    d. III, A, dan 2
    e. III, E, dan 2

16. Perhatikan beberapa pernyataan berikut.
    1) Vitamin yang larut dalam air penyerapannya dilakukan oleh jonjot usus.
    2) Ion $Na^+$ diserap di sepanjang usus halus.

3) Ion $K^+$ diserap di duodenum dan jejunum.
4) Ion $Fe^{++}$ diserap di duodenum dan jejunum.
5) Nikotin diserap di mukosa lambung.

Tempat penyerapan zat-zat yang tepat dijelaskan pada . . . .
a. 1), 2), dan 4)
b. 1), 2), dan 5)
c. 2), 3), dan 4)
d. 2), 4), dan 5)
e. 3), 4), dan 5)

17. Perhatikan gambar lambung hewan memamah biak di bawah.




Bagian yang ditunjuk nomor 3 dan 4 berturut-turut berfungsi untuk . . . .
a. pembentukan bolus menjadi lebih halus serta pencernaan makanan dengan bantuan HCl
b. pembentukan bolus yang kasar serta penghubung antara mulut dan lambung
c. penghubung antara mulut dan lambung serta pembentukan bolus yang kasar
d. pembentukan bolus menjadi lebih halus serta penguraian makanan oleh enzim-enzim pencernaan
e. penghubung antara rongga mulut dan lambung serta pencernaan makanan oleh enzim-enzim pencernaan

18. Pada gambar soal nomor 17, bagian yang merupakan perut sebenarnya dan bagian yang terdapat populasi bakteri dan Protozoa, berturut-turut ditunjuk pada nomor . . . .
a. 2 dan 5
b. 2 dan 6
c. 5 dan 2
d. 5 dan 6
e. 6 dan 2

19 Peranan bakteri dan Protozoa dalam membantu pencernaan makanan hewan memamah biak adalah . . . .
a. membusukkan makanan dan menghasilkan metana
b. melumatkan dan membusukkan makanan
c. mencerna dan menghancurkan selulosa
d. mengurai selulosa dan memproduksi metana
e. membantu memproduksi asam lemak

20. Perhatikan beberapa pernyataan berikut.
1) Sapi mengalami pencernaan selulosa hanya pada rumen.
2) Kelinci mengalami pencernaan selulosa hanya pada sekum.
3) Sekum hewan karnivora lebih kecil dibanding herbivora.
4) Kolon hewan herbivora lebih pendek dibanding karnivora.
5) Pada kuda terjadi pengunyahan makanan dua kali.

Pernyataan yang tidak tepat terdapat pada nomor . . . .
a. 1) dan 3)
b. 2) dan 4)
c. 3) dan 5)
d. 2) dan 3)
e. 1) dan 5)

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Coba terangkan tentang sumber, fungsi, dan akibat jika kekurangan vitamin $B_3$.
2. Sebutkan sumber, fungsi, dan akibat jika kekurangan fluorin (F).
3. Bagaimana mekanisme gerak peristaltik pada kerongkongan?
4. Lambung terdiri atas tiga bagian yang saling berhubungan satu sama lain. Gambarkan dan sebutkan bagian-bagian tersebut.
5. Aku adalah suatu cairan. Aku dihasilkan di hati. Warnaku kuning kehijauan. Aku mempunyai pigmen yang merupakan hasil perombakan sel darah merah. Jelaskan apa yang terkandung di dalamku dan apa gunanya.

6. Mengapa kita dapat tersedak jika menelan makanan sambil berbicara?
7. Mengapa orang yang sering stres mudah mengalami iritasi (perlukaan) lambung?
8. Mengapa seseorang dapat mengalami konstipasi? Bagaimana mengatasinya?
9. Jelaskan yang dimaksud makanan bergizi dan seimbang.
10. Hewan *Ruminansia* mempunyai struktur gigi yang khusus dibanding hewan lain. Coba terangkan bagaimana kekhususan struktur gigi hewan Ruminansia.
11. Mengapa hewan memamah biak tidak memerlukan asam amino esensial seperti pada manusia?
12. Pada dasarnya sistem pencernaan pada sapi dan kuda sama, tetapi ada beberapa hal yang membedakan antara keduanya. Terangkan perbedaannya.
13. Bagian mana dari lambung hewan memamah biak yang fungsinya sama dengan lambung manusia? Berikan penjelasan Anda.
14. Jelaskan mekanisme pencernaan hewan memamah biak dengan singkat dan jelas.
15. Apa perbedaan proses masuknya makanan ketika sapi minum air dengan ketika makan makanan padat (rumput)?

C. *Berpikir kritis*

Koko suka berolahraga. Koko minum minuman berenergi setiap kali akan berolahraga agar staminanya tetap prima. Ia merasakan energinya bertambah segera setelah minum minuman itu. Suatu ketika ia mengalami keanehan setelah minum minuman berenergi. Bukan badannya berenergi, tetapi perutnya perih dan melilit bukan kepalang. Ia teringat bahwa perutnya lapar saat akan minum minuman itu.

1. Benarkah minuman berenergi benar-benar membuat badan lebih bertenaga?
2. Apa sebenarnya fungsi minuman tersebut?
3. Mengapa perut Koko yang lapar terasa perih setelah minum minuman berenergi?

## Refleksi

### Sistem Pencernaan Makanan

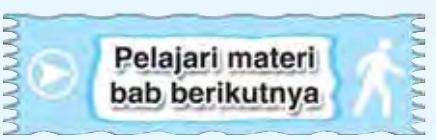
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa perbedaan susunan gigi pada anak-anak dan orang dewasa?
2. Jelaskan urutan saluran pencernaan dari mulut sampai anus. Apa saja senyawa kimia yang membantu proses pencernaan makanan di dalamnya?
3. Apa fungsi karbohidrat bagi tubuh?
4. Jelaskan peran lambung bagi hewan memamah biak.
5. Apa peran penting air bagi sistem pencernaan manusia?

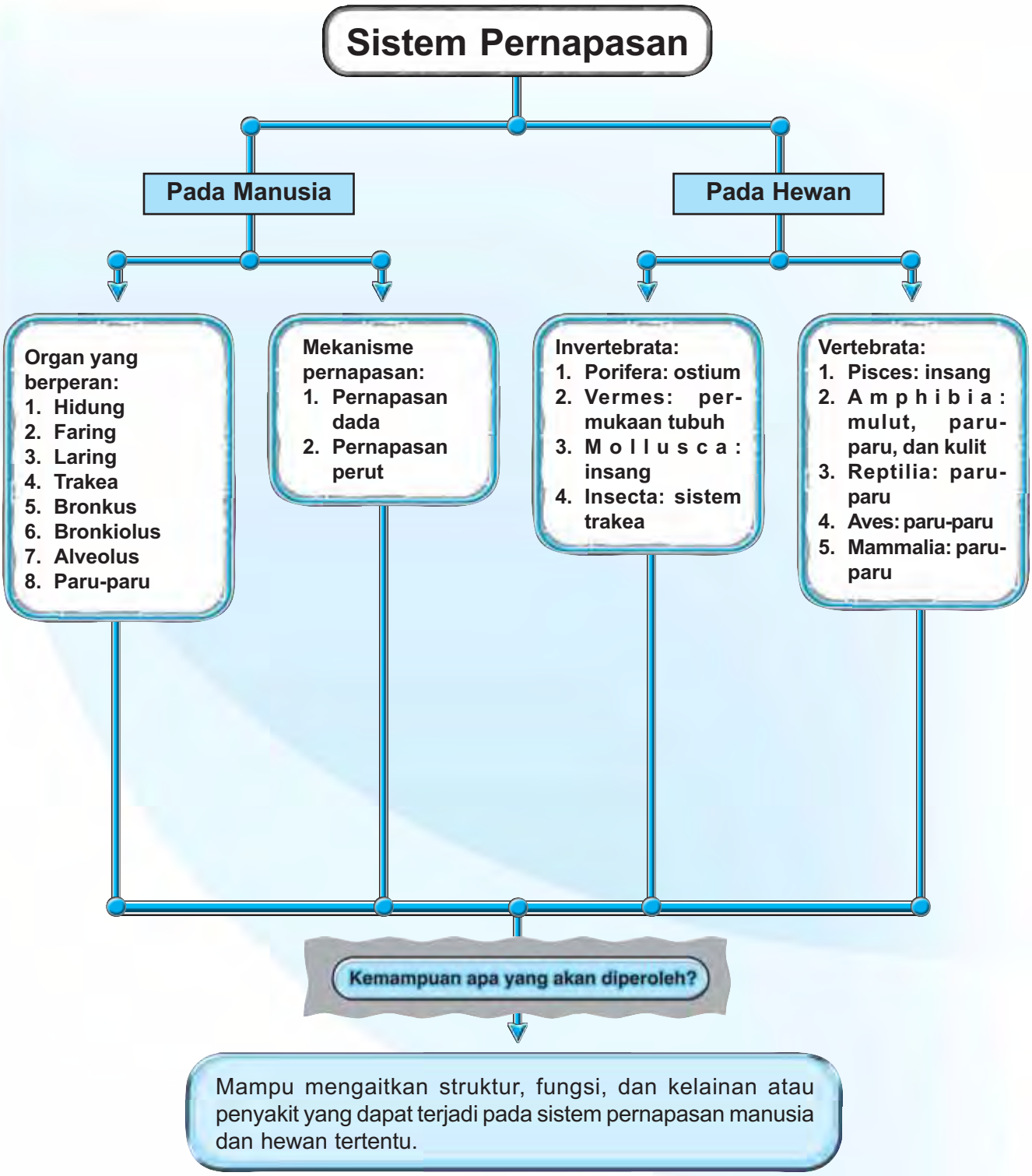
Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

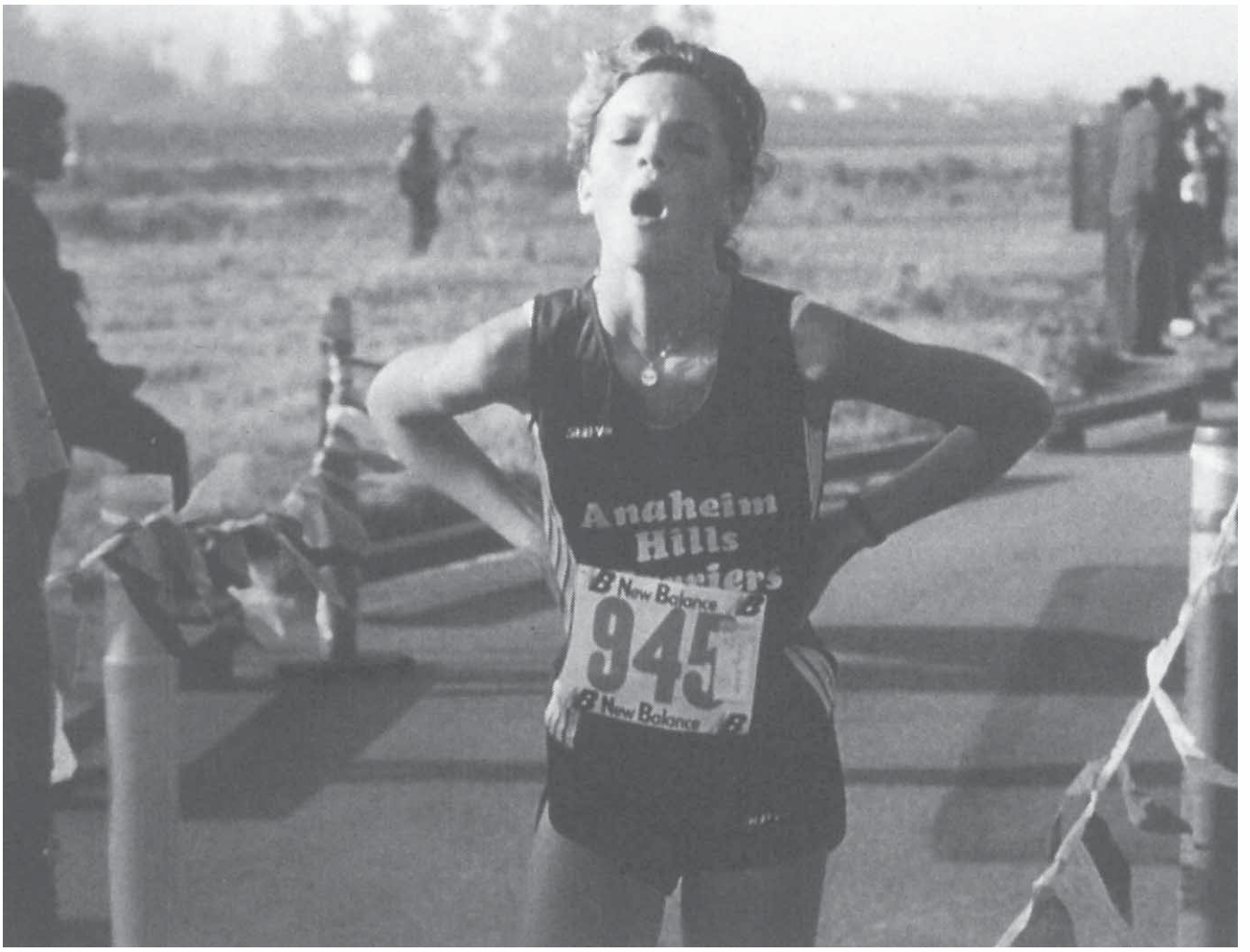
Jawaban betul ≥ 60%



# Bab VII Sistem Pernapasan pada Manusia dan Hewan



Selasar




Coba Anda perhatikan orang yang habis berolahraga seperti pada gambar di atas. Orang yang habis berolahraga akan tampak kelelahan dan frekuensi pernapasannya semakin cepat. Anda bisa mengamati pergerakan rongga dadanya yang mengembang dan mengempis secara teratur dan cepat. Sekarang, cobalah Anda menghirup dan mengembuskan napas secara perlahan. Apa yang Anda rasakan pada rongga dada saat menghirup dan mengembuskan napas?

Nah, melalui bab ini Anda akan belajar lebih banyak mengenai sistem pernapasan manusia, yang meliputi organ-organ pernapasan dan proses pernapasan. Setelah mempelajari bab ini diharapkan Anda dapat mengenal organ-organ yang berperan dalam pernapasan dan dapat menjaga kesehatan organ-organ pernapasan tersebut.

**Kata Kunci**

pernapasan
oksigen ($O_2$)
karbon dioksida ($CO_2$)
inspirasi
ekspirasi
asap rokok
insang
alveolus
trakea
kapasitas vital
paru-paru
diafragma

Bernapas merupakan salah satu ciri makhluk hidup. Semua makhluk hidup melakukan proses ini, demikian juga manusia. Ketika bernapas, kita menghirup oksigen ($O_2$) dan mengembuskan karbon dioksida ($CO_2$). Kita harus menghirup oksigen karena setiap sel penyusun tubuh membutuhkan oksigen. Tanpa oksigen, sel-sel penyusun tubuh manusia terutama sel-sel otak akan rusak hanya dalam beberapa menit.

Oksigen digunakan untuk pembakaran zat-zat makanan (protein, lemak, dan karbohidrat) dalam sel-sel tubuh. Pembakaran itu menghasilkan energi serta karbon dioksida. Energi inilah yang digunakan manusia untuk melakukan kegiatan sehari-hari. Pada bab ini, Anda akan mempelajari mengenai pernapasan atau proses pertukaran gas di dalam tubuh. Sementara itu, mengenai respirasi atau proses pembakaran zat dengan bantuan oksigen hingga menghasilkan energi akan Anda pelajari di SMA kelas XII pada bab Metabolisme Sel.

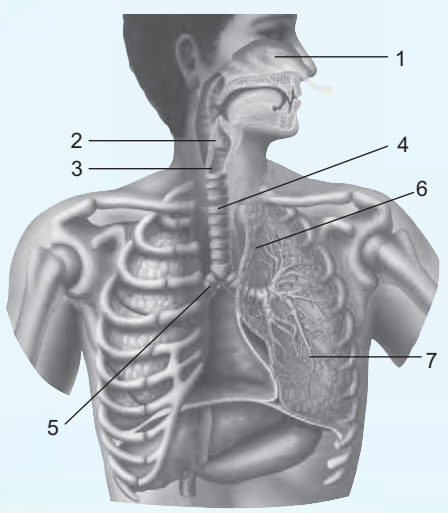
## A. Sistem Pernapasan pada Manusia

Di dalam tubuh manusia terdapat berbagai macam organ penyusun sistem pernapasan. Pada waktu SMP kelas VIII, Anda telah mempelajari tentang sistem pernapasan pada manusia, yang meliputi mekanisme secara sederhana dan organ-organ penyusun sistem pernapasan. Cobalah Anda lakukan kegiatan berikut ini untuk mengingat kembali organ-organ penyusun sistem pernapasan pada manusia.

### Eksperimen 1

**Mengamati Organ-Organ Penyusun Sistem Pernapasan Manusia**

Amati gambar di bawah ini dan sebutkan secara urut organ-organ penyusun sistem pernapasan pada manusia. Kemudian lengkapilah tabel di samping.




| No. | Nama Organ Pernapasan | Fungsinya |
|---|---|---|
| 1. | Rongga hidung | a. . . .<br>b. . . . |
| 2. | . . . | Persimpangan jalan napas dengan jalan makanan |
| 3. | . . . | . . . |
| 4. | . . . | . . . |
| 5. | . . . | . . . |
| 6. | . . . | . . . |
| 7. | . . . | . . . |

Dari kegiatan di depan, coba tulislah kesimpulan Anda mengenai organ-organ penyusun sistem pernapasan pada manusia. Sekarang, simaklah uraian materi di bawah ini untuk memperjelas pemahaman Anda mengenai organ-organ pernapasan manusia.

## 1. Organ-Organ pernapasan Manusia

Sistem pernapasan pada manusia meliputi semua struktur yang menghubungkan udara ke dan dari paru-paru. Organ pernapasan utama berupa paru-paru. Anda dapat memahami organ-organ pernapasan pada manusia dengan mempelajari materi berikut.

### a. Hidung

Hidung berfungsi sebagai alat pernapasan dan indra pembau. Hidung terdiri atas lubang hidung, rongga hidung, dan ujung rongga hidung. Rongga hidung memiliki rambut, banyak kapiler darah, dan selalu lembap dengan adanya lendir yang dihasilkan oleh selaput mukosa.

Di dalam rongga hidung, udara disaring oleh rambut-rambut kecil (*silia*) dan selaput lendir yang berguna untuk menyaring debu, melekatkan kotoran pada rambut hidung, mengatur suhu udara pernapasan, maupun menyelidiki adanya bau. Pada pangkal rongga mulut yang berhubungan dengan rongga hidung terdapat suatu katup yang disebut anak tekak. Saat menelan makanan anak tekak ini akan terangkat ke atas menutup rongga hidung sehingga makanan tidak dapat masuk ke dalam rongga hidung.

### b. Faring

Faring merupakan persimpangan jalan masuk udara dan makanan. Faring merupakan persimpangan antara rongga mulut ke kerongkongan dengan hidung ke tenggorokan.

### c. Laring

Laring disebut juga pangkal tenggorok atau kotak suara. Laring terdiri atas tulang rawan yang membentuk jakun. Jakun tersusun atas tulang lidah, katup tulang rawan, perisai tulang rawan, piala tulang rawan, dan gelang tulang rawan. Pangkal tenggorok dapat ditutup oleh katup pangkal tenggorokan (*epiglotis*). Pada waktu menelan makanan, epiglotis melipat ke bawah menutupi laring sehingga makanan tidak dapat masuk dalam laring. Sementara itu, ketika bernapas epiglotis akan membuka. Pada pangkal tenggorok terdapat selaput suara atau lebih dikenal dengan pita suara.

### d. Trakea

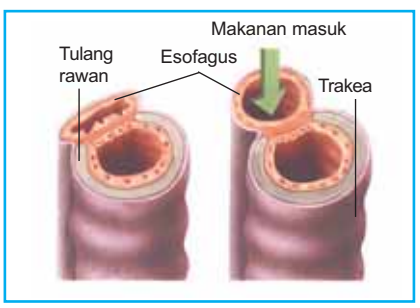
Perhatikan Gambar 7.1. Trakea (batang tenggorokan) merupakan pipa yang panjangnya kira-kira 9 cm. Trakea tersusun atas enam belas sampai dua puluh cincin-cincin tulang rawan yang berbentuk C. Cincin-cincin tulang rawan ini di bagian belakangnya tidak tersambung yaitu di tempat trakea menempel pada esofagus. Hal ini berguna untuk mempertahankan agar trakea tetap terbuka.

Cincin-cincin tulang rawan diikat bersama oleh jaringan fibrosa, selain itu juga terdapat beberapa jaringan otot.

**Tahukah Anda**

**Pertumbuhan Pita Suara**

Ketika seorang anak laki-laki mencapai akil balig, hormon testosteron memperbesar laring sehingga pita suaranya lebih panjang dan jakunnya lebih menonjol. Suaranya berubah dan nadanya menurun sekitar satu oktaf. Anak wanita mengalami hal serupa, tetapi pada masa akil baliq perubahannya lebih kecil. Nada suara bergantung pada ketegangan pita suara, panjang tali suara, dan ketebalannya.




**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time-Life (Tubuh Manusia), 1996*

**Gambar 7.1**
Struktur trakea manusia

Trakea dilapisi oleh selaput lendir yang dihasilkan oleh epitelium bersilia. Silia-silia ini bergerak ke atas ke arah laring sehingga dengan gerakan ini debu dan butir-butir halus lainnya yang ikut masuk saat menghirup napas dapat dikeluarkan. Di paru-paru trakea ini bercabang dua membentuk bronkus.

### e. Bronkus

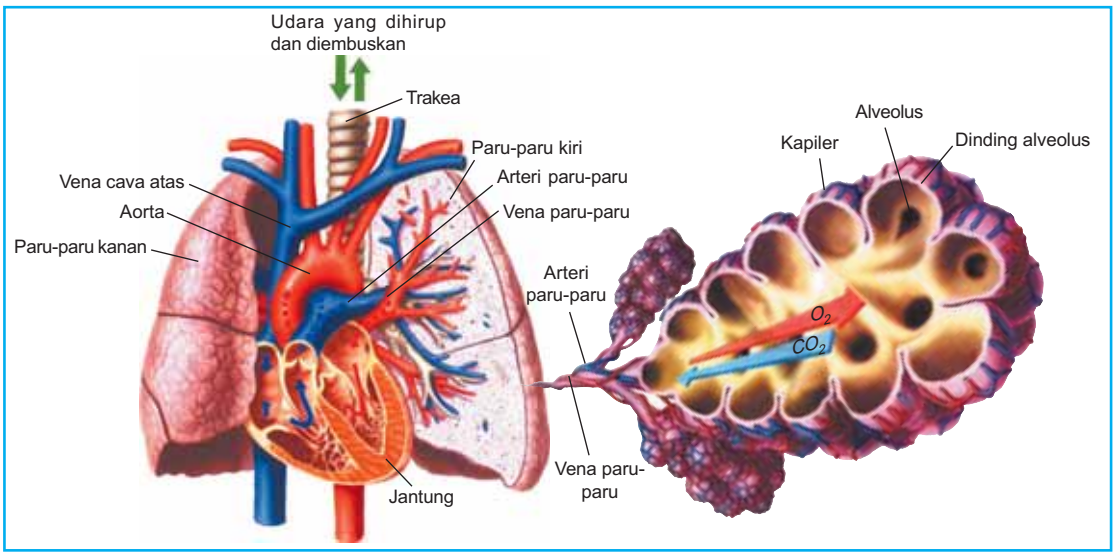
Bronkus merupakan cabang batang tenggorokan yang jumlahnya sepasang, yang satu menuju ke paru-paru kanan dan yang satu lagi menuju ke paru-paru kiri. Tempat percabangan ini disebut **bifurkase**. Bronkus mempunyai struktur serupa dengan trakea dan dilapisi oleh jenis sel yang sama. Bronkus yang ke kiri lebih panjang dan sempit serta kedudukannya lebih mendatar daripada yang ke kanan. Hal ini merupakan salah satu sebab mengapa paru-paru kanan lebih mudah terserang penyakit. Bronkus sebelah kanan bercabang menjadi tiga bronkiolus, sedangkan bronkus sebelah kiri bercabang menjadi dua bronkiolus.

### f. Bronkiolus

Bronkiolus merupakan cabang dari bronkus, dindingnya lebih tipis dan salurannya lebih kecil. Semakin kecil salurannya, semakin berkurang tulang rawannya dan akhirnya tinggal dinding fibrosa dengan lapisan silia. Setiap bronkiolus terminal (terakhir) bermuara ke dalam seberkas kantung-kantung kecil mirip anggur yang disebut **alveolus**.

### g. Alveolus

Alveolus merupakan saluran akhir dari alat pernapasan yang berupa gelembung-gelembung udara. Dindingnya tipis, lembap, dan berlekatan erat dengan kapiler-kapiler darah. Alveolus terdiri atas satu lapis sel epitelium pipih dan di sinilah darah hampir langsung bersentuhan dengan udara. Adanya alveolus memungkinkan terjadinya perluasan daerah permukaan yang berperan penting dalam pertukaran gas $O_2$ dari udara bebas ke sel-sel darah dan $CO_2$ dari sel-sel darah ke udara. Perhatikan Gambar 7.2 berikut.




**Sumber:** *Hamparan Dunia Ilmu Time-Life (Tubuh Manusia), 1996*

**Gambar 7.2**
Bagian-bagian paru-paru manusia

### h. Paru-Paru

Paru-paru ada dua dan merupakan alat pernapasan utama. Paru-paru terletak dalam rongga dada. Letaknya di sebelah kanan dan kiri serta di tengahnya dipisahkan oleh jantung. Jaringan paru-paru mempunyai sifat elastik, berpori, dan seperti spon. Apabila diletakkan di dalam air, paru-paru akan mengapung karena mengandung udara di dalamnya.

Paru-paru dibagi menjadi beberapa belahan atau lobus. Paru-paru kanan mempunyai tiga lobus dan paru-paru kiri dua lobus. Setiap lobus tersusun atas lobula. Paru-paru dilapisi oleh selaput atau membran serosa rangkap dua disebut **pleura**. Di antara kedua lapisan pleura itu terdapat eksudat untuk meminyaki permukaannya sehingga mencegah terjadinya gesekan antara paru-paru dan dinding dada yang bergerak saat bernapas. Dalam keadaan sehat kedua lapisan itu saling erat bersentuhan. Namun dalam keadaan tidak normal, udara atau cairan memisahkan kedua pleura itu dan ruang di antaranya menjadi jelas.

Tekanan pada rongga pleura atau intratoraks lebih kecil daripada tekanan udara luar (± 3–4 mmHg). Di bagian dalam paru-paru terdapat gelembung halus yang merupakan perluasan permukaan paru-paru yang disebut alveolus dan jumlahnya lebih kurang 300 juta buah. Dengan adanya alveolus, luas permukaan paru-paru diperkirakan mencapai 160 $m^2$ atau 100 kali lebih luas daripada luas permukaan tubuh.

**Tahukah Anda**

**Jalan Udara ke dalam Tubuh**

Setelah masuk melalui hidung atau mulut, udara melewati pipa angin atau trakea di bagian atas tenggorokan. Trakea menyalurkan udara ke paru-paru melalui trakea yang membentuk tabung bronkus. Tabung ini bercabang-cabang lagi hingga mencapai banyak kantung udara yang sangat kecil yang disebut alveolus.

**Forum Diskusi**

Trakea dan bronkus kita tersusun atas tulang rawan (kartilago). Menurut Anda, mengapa trakea dan bronkus kita tersusun atas tulang rawan? Apa keuntungannya? Diskusikanlah permasalahan tersebut bersama kelompok Anda. Tulis hasil diskusi Anda dan presentasikan di depan kelas.

Anda telah mengingat kembali berbagai macam organ-organ penyusun sistem pernapasan pada manusia. Pada manusia, organ pernapasan utamanya adalah paru-paru (*pulmo*) dan dibantu oleh alat-alat pernapasan lain. Jalur udara pernapasan untuk menuju sel-sel tubuh adalah:

rongga hidung → faring (rongga tekak) → laring → trakea (batang tenggorok) → bronkus → alveolus → sel-sel tubuh.

Namun, mekanisme pernapasan pada manusia tidaklah sesederhana itu. Dalam sistem pernapasan terjadi pertukaran gas $O_2$ dan $CO_2$. Bagaimana mekanisme pertukaran $O_2$ dan $CO_2$ di dalam tubuh kita? Untuk mengetahuinya simaklah uraian berikut ini.

## 2. Mekanisme Pertukaran Gas $O_2$ dan $CO_2$

Bernapas merupakan kegiatan mengambil dan mengeluarkan udara pernapasan melalui paru-paru. Arti yang lebih khusus yaitu *pertukaran gas* yang terjadi di dalam sel dengan "lingkungannya". Pada pernapasan langsung, pengambilan udara pernapasan dilakukan secara langsung oleh permukaan tubuh dan pada pernapasan tidak langsung melalui saluran pernapasan.

Manusia bernapas secara tidak langsung, artinya udara pernapasan tidak berdifusi langsung melalui seluruh permukaan kulit. Selaput tipis tempat berlangsungnya difusi gas tersebut terlindung di bagian dalam tubuh, berupa gelembung paru-paru (alveolus). Pernapasan atau pertukaran gas pada manusia berlangsung melalui dua tahap yaitu pernapasan luar (eksternal) dan pernapasan dalam (internal). Perhatikan Gambar 7.3.

### a. Pernapasan Luar (Eksternal)

Pernapasan luar merupakan pertukaran gas di dalam paru-paru. Oleh karena itu, berlangsung difusi gas dari luar masuk ke dalam aliran darah. Dengan kata lain, pernapasan luar merupakan pertukaran gas ($O_2$ dan $CO_2$) antara udara dan darah.

Pada pernapasan luar, darah akan masuk ke dalam kapiler paru-paru yang mengangkut sebagian besar karbon dioksida sebagai ion bikarbonat ($HCO_3^-$) dengan persamaan reaksi seperti berikut.

$$H^+ + HCO_3^- \longrightarrow H_2CO_3$$

Sisa karbon dioksida berdifusi keluar dari dalam darah dan melakukan reaksi sebagai berikut.

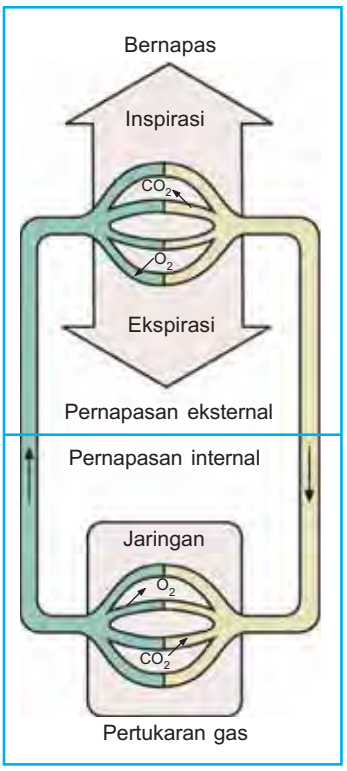
$$H_2CO_3 \longrightarrow H_2O + CO_2$$

Enzim *karbonat anhidrase* yang terdapat dalam sel-sel darah merah dapat mempercepat reaksi. Ketika reaksi berlangsung, hemoglobin melepaskan ion-ion hidrogen yang telah diangkut; HHb menjadi Hb. Hb merupakan singkatan dari haemoglobin, yaitu jenis protein dalam sel darah merah. Selanjutnya, hemoglobin mengikat oksigen dan menjadi *oksihemoglobin* ($HbO_2$).

$$Hb + O_2 \longrightarrow HbO_2$$

Selama pernapasan luar, di dalam paru-paru akan terjadi pertukaran gas yaitu $CO_2$ meninggalkan darah dan $O_2$ masuk ke dalam darah secara difusi. Terjadinya difusi $O_2$ dan $CO_2$ ini karena adanya perbedaan tekanan parsial. Tekanan udara luar sebesar 1 atm (760 mmHg), sedangkan tekanan parsial $O_2$ di paru-paru sebesar ± 160 mmHg. Tekanan parsial pada kapiler darah arteri ± 100 mmHg, dan di vena ± 40 mmHg. Hal ini menyebabkan $O_2$ dari udara berdifusi ke dalam darah.

Sementara itu, tekanan parsial $CO_2$ dalam vena ± 47 mmHg, tekanan parsial $CO_2$ dalam arteri ± 41 mmHg, dan tekanan parsial $CO_2$ dalam alveolus ± 40 mmHg. Adanya perbedaan tekanan parsial tersebut menyebabkan $CO_2$ dapat berdifusi dari darah ke alveolus.




**Sumber:** *Biology, Mader S.S.*

**Gambar 7.3**
Proses pernapasan internal dan eksternal pada manusia

## b. Pernapasan Dalam (Internal)

Pada pernapasan dalam (pertukaran gas di dalam jaringan tubuh) darah masuk ke dalam jaringan tubuh, oksigen meninggalkan hemoglobin dan berdifusi masuk ke dalam cairan jaringan tubuh. Reaksinya sebagai berikut.

$HbO_2 \longrightarrow Hb + O_2$

Difusi oksigen keluar dari darah dan masuk ke dalam cairan jaringan dapat terjadi, karena tekanan oksigen di dalam cairan jaringan lebih rendah dibandingkan di dalam darah. Hal ini disebabkan karena sel-sel secara terus-menerus menggunakan oksigen dalam *respirasi selular*.

Dari proses pernapasan yang terjadi di dalam jaringan menyebabkan terjadinya perbedaan komposisi udara yang masuk dan yang keluar paru-paru.

Perlu diketahui bahwa tekanan parsial $O_2$ pada kapiler darah nadi ± 100 mmHg dan tekanan parsial $O_2$ dalam jaringan tubuh kurang dari 40 mmHg. Sebaliknya tekanan karbon dioksida tinggi, karena karbon dioksida secara terus-menerus dihasilkan oleh sel-sel tubuh. Tekanan parsial $CO_2$ dalam jaringan ± 60 mmHg dan dalam kapiler darah ± 41 mmHg. Hal inilah yang menyebabkan $O_2$ dapat berdifusi ke dalam jaringan dan $CO_2$ berdifusi ke luar jaringan.

Dalam keadaan biasa, tubuh kita menghasilkan 200 ml karbon dioksida per hari. Pengangkutan $CO_2$ di dalam darah dapat dilakukan dengan tiga cara berikut.

1) Sekitar 60–70% $CO_2$ diangkut dalam bentuk ion bikarbonat ($HCO_3^-$) oleh plasma darah, setelah asam karbonat yang terbentuk dalam darah terurai menjadi ion hidrogen ($H^+$) dan ion bikarbonat ($HCO_3^-$).
   Ion $H^+$ bersifat racun, oleh sebab itu ion ini segera diikat Hb, sedangkan ion $HCO_3^-$ meninggalkan eritrosit masuk ke plasma darah. Kedudukan ion $HCO_3^-$ dalam eritrosit diganti oleh ion klorit.
   Persamaan reaksinya sebagai berikut.
   $H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$

2) Lebih kurang 25% $CO_2$ diikat oleh hemoglobin membentuk karboksihemoglobin. Secara sederhana, reaksi $CO_2$ dengan Hb ditulis sebagai berikut.
   $CO_2 + Hb \rightarrow HbCO_2$
   Karboksihemoglobin disebut juga karbominohemoglobin karena bagian dari hemoblogin yang mengikat $CO_2$ adalah gugus asam amino.
   Reaksinya sebagai berikut.
   $CO_2 + RNH_2 \rightarrow RNHCOOH$

3) Sekitar 6–10% $CO_2$ diangkut plasma darah dalam bentuk senyawa asam karbonat ($H_2CO_3$).

Anda dapat lebih mengetahui mengenai kandungan karbon dioksida di dalam pernapasan dengan melakukan kegiatan berikut.

**Tahukah Anda**

**Komposisi Udara Keluar Masuk Paru-Paru**

| | Udara yang diisap (mmHg) | Udara yang di-embuskan (mmHg) |
|---|---|---|
| Nitrogen ($N_2$) | 596,0 (78,4%) | 565,0 (74,34%) |
| Oksigen ($O_2$) | 158,0 (20,79%) | 116,0 (15,26%) |
| Karbon dioksida ($CO_2$) | 0,3 (0,04%) | 32,0 (4,22%) |
| Air ($H_2O$) | 5,7 (0,75%) | 47,0 (6,18%) |

## Eksperimen 2

### Mengidentifikasi Kandungan Karbon Dioksida dalam Napas yang Diembuskan

Sediakan 2 botol bekas soda yang terbuat dari kaca, air, spidol, kertas label, indikator brom timol biru (*brom thymol blue*), 2 buah sedotan, dan *stopwatch*. Sediakan pula bahan dan alat untuk membuat larutan brom timol biru yaitu stoples berkapasitas 1 liter, 1 liter air suling, 0,1 gram brom timol biru, dan amonia cair atau $NH_4OH$ (jika diperlukan). Cara membuat larutan brom timol biru sebagai berikut.

1. Isi stoples dengan air suling.
2. Tambahkan brom timol biru ke dalam stoples.
3. Tutup stoples dan kocoklah supaya tercampur.
4. Jika larutan yang dihasilkan berwarna hijau atau kuning tambahkanlah amonia cair setetes demi setetes sehingga larutan berwarna biru.

Setelah membuat larutan brom timol biru, lakukanlah kegiatan inti. Pertama-tama, isilah satu botol soda dengan air setengahnya, tempelkanlah kertas label pada sisi botol dan tulislah ”Kontrol”. Isilah botol soda yang kedua dengan indikator brom timbol biru, berilah label ”Brom Timol Biru”. Gunakan sedotan untuk mengembuskan napas ke dalam brom timol biru, berhati-hatilah jangan sampai menghirup larutannya. Hidupkanlah *stopwatch* ketika Anda mulai mengembuskan napas ke dalam brom timol biru. Matikanlah *stop-watch* ketika larutan berubah menjadi kuning. Catatlah total waktu ketika Anda mengembuskan napas. Setelah itu, gunakan sedotan yang kedua untuk mengembuskan napas ke dalam botol soda yang berisi air. Hidupkanlah *stop-watch* ketika Anda mulai mengembuskan napas ke dalam air. Lanjutkanlah untuk mengembuskan napas dengan total waktu yang sama dengan yang Anda butuhkan untuk mengembuskan napas ke dalam brom timol biru.

**Pertanyaan:**

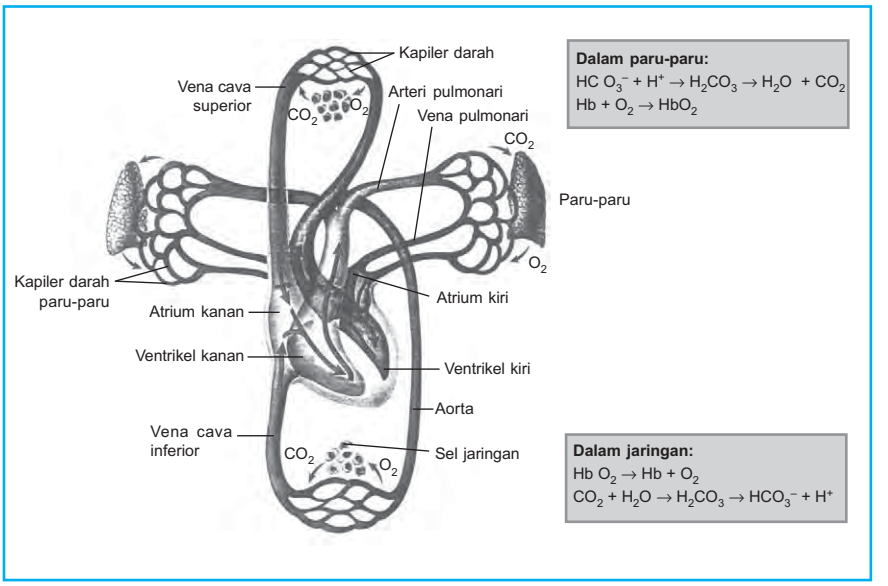
1. Apa yang akan terjadi pada larutan indikator yang berisi brom timol biru setelah Anda mengembuskan napas ke dalamnya? Mengapa?
2. Apa yang terjadi pada larutan kontrol yang berisi air setelah Anda mengembuskan napas ke dalamnya?
3. Berapa waktu yang diperlukan brom timol biru untuk berubah menjadi kuning? Bandingkan dengan kelompok lain.
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan di atas?

Tulislah hasil laporan Anda dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

Tidak semua $CO_2$ yang diangkut darah melalui paru-paru dibebaskan ke udara bebas. Darah yang melewati paru-paru hanya membebaskan 10% $CO_2$. Sisanya sebesar 90% tetap bertahan di dalam darah dalam bentuk ion-ion bikarbonat. Ion-ion bikarbonat dalam darah ini sebagai buffer atau penyangga karena mempunyai peran penting dalam menjaga stabilitas pH darah.

Apabila terjadi gangguan pengangkutan $CO_2$ dalam darah, kadar asam karbonat ($H_2CO_3$) akan meningkat sehingga akan menyebabkan turunnya kadar alkali darah yang berperan sebagai larutan buffer. Hal ini akan menyebabkan terjadinya gangguan fisiologis yang disebut **asidosis**.

Anda dapat lebih memahami proses berlangsungnya pernapasan luar dan pernapasan dalam pada manusia dengan mengamati Gambar 7.4 di bawah ini.




**Sumber:** *Biology, Mader S.S.*

**Gambar 7.4**
Skema pernapasan dalam dan pernapasan luar manusia

Setelah sampai dalam jaringan, gas $O_2$ dipergunakan untuk respirasi sel, yaitu untuk mengoksidasi zat makanan (glukosa) sehingga dapat dihasilkan energi, gas $CO_2$, dan uap air. Anda akan membahas lebih lanjut mengenai respirasi selular di kelas XII pada bab II tentang Metabolisme Sel.

Anda telah mempelajari proses pertukaran oksigen dan karbon dioksida saat pernapasan melalui difusi. Lakukanlah kegiatan diskusi berikut agar Anda lebih memahami proses terjadinya difusi.

## Forum Diskusi

Selama ini, mungkin kita sering mendengar atau bahkan melihat peristiwa orang tenggelam. Banyak sekali orang tenggelam yang meninggal dunia. Mengapa orang yang tenggelam dapat meninggal dunia dan apa kaitannya dengan difusi $O_2$ dan $CO_2$? Diskusikanlah jawabannya bersama teman-teman Anda dan bahaslah bersama bapak atau ibu guru Anda di kelas.

Dari uraian di atas, tentu Anda telah mengetahui proses pengangkutan $O_2$ dan $CO_2$ dalam tubuh kita yang lebih dikenal dengan sistem pernapasan. Mekanisme pernapasan dapat kita pelajari dalam uraian materi berikut.

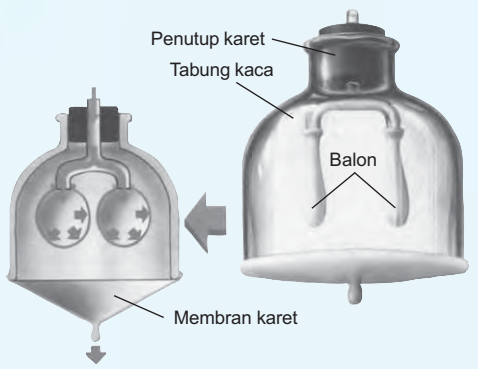
## 3. Mekanisme Pernapasan

Anda tentu bernapas setiap saat. Hal ini karena semua sel di dalam tubuh kita membutuhkan oksigen. Sel akan terhambat proses metabolismenya dan mati bila tidak mendapat oksigen, bahkan sel-sel otak akan rusak apabila tidak memperoleh oksigen tiga sampai empat menit saja. Lakukanlah kegiatan praktik berikut ini sebelum kita mempelajari mekanisme pernapasan pada manusia.

### Eksperimen 3

**Mengamati Mekanisme Pernapasan pada Manusia**

Sediakan botol plastik, balon, pipa kaca, penyumbat, dan lembaran karet. Kemudian buatlah model seperti gambar berikut.




Tarik membran karet ke bawah kemudian lepaskan lagi. Amati keadaan balon yang ada di dalam botol plastik.

Jika botol plastik diumpamakan sebagai rongga dada, balon sebagai paru-paru, dan membran karet sebagai diafragma, jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini.

**Pertanyaan:**

1. Apakah yang terjadi pada balon karet saat membran karet ditarik? Mengapa terjadi demikian?
2. Bagaimana pula keadaannya setelah membran karet dikembalikan pada kedudukan semula? Mengapa terjadi demikian?
3. Berdasarkan model yang telah didemonstrasikan, apakah yang menyebabkan rongga dada menjadi lebih besar?
4. Bagaimanakah terjadinya pemasukan dan pengeluaran udara ke paru-paru dan dari paru-paru?
5. Menurut Anda, bagaimanakah mekanisme inspirasi dan ekspirasi?

Tulislah kesimpulan Anda dari kegiatan di atas dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

Aliran udara dari udara bebas ke paru-paru dan sebaliknya, ditentukan oleh perubahan tekanan udara dalam rongga paru-paru, rongga dada, dan rongga perut. Perubahan tekanan disebabkan oleh terjadinya perubahan volume setiap ruangan. Perubahan volume setiap ruangan ini diatur oleh otot-otot pernapasan yaitu otot antartulang rusuk, otot diafragma, dan otot dinding perut.

Berdasarkan otot yang berperan aktif pada proses pernapasan, pernapasan pada manusia dapat dibedakan menjadi pernapasan dada dan pernapasan perut.

### a. Pernapasan dada

Otot yang berperan aktif dalam pernapasan dada adalah *otot antartulang rusuk* (*interkostal*). Otot ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu otot antartulang rusuk luar (*interkostal eksternal*) yang berperan mengangkat tulang-tulang rusuk, dan otot antartulang rusuk dalam (*interkostal internal*) yang berperan menurunkan tulang rusuk ke posisi semula.

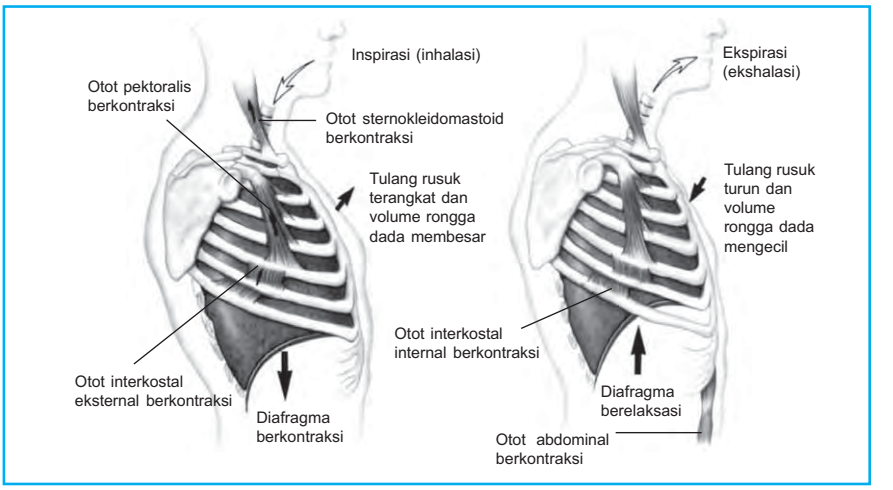
**Eksperimen Plus**

**Mekanisme Pernapasan Dada dan Pernapasan Perut**

Agar Anda lebih mengetahui mekanisme pernapasan, lakukan kegiatan berikut ini.

1. Letakkan tangan di dada dan tarik napas dengan menggembungkan dada lalu embuskan.
2. Ulangi sekali lagi dengan cara menggembungkan perut lalu embuskan.
3. Letakkan tangan kanan di dada dan tangan kiri di perut lalu bernapas secara normal.

Apa yang Anda rasakan dari kegiatan tersebut?




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 7.5**
Mekanisme pernapasan pada manusia

Perhatikan Gambar 7.5. Apabila otot antartulang rusuk luar *berkontraksi*, tulang rusuk terangkat hingga volume rongga dada bertambah besar. Hal ini menyebabkan tekanan udara rongga dada menjadi lebih kecil dari tekanan udara rongga paru-paru, sehingga mendorong paru-paru mengembang dan mengubah tekanannya menjadi lebih kecil daripada tekanan udara bebas. Selanjutnya akan terjadi aliran udara dari luar ke dalam rongga paru-paru melalui rongga hidung, batang tenggorokan, bronkus, dan alveolus. Proses ini disebut **inspirasi**.

Bila otot antartulang rusuk dalam berkontraksi, tulang rusuk akan tertarik ke posisi semula sehingga mendesak dinding paru-paru. Akibatnya, rongga paru-paru mengecil dan menyebabkan tekanan udara di dalamnya meningkat. Hal ini menyebabkan udara dalam rongga paru-paru terdorong ke luar. Proses ini disebut **ekspirasi**.

**Tahukah Anda**

**Apa Sebenarnya Tersedak dan Bersin Itu?**

Tersedak dan bersin merupakan ekspirasi mendadak oleh pengerutan secara tiba-tiba dari otot-otot perut, sehingga isi perut mendorong diafragma ke atas. Hal ini mengakibatkan ruang dada mengecil secara tiba-tiba, sehingga tekanan dalam paru-paru menjadi tinggi dan udara dikeluarkan dengan keras dari paru-paru. Maka tersedak dan bersin merupakan usaha tubuh untuk mengeluarkan benda asing dalam saluran udara pernapasan.

### b. Pernapasan Perut

Pada pernapasan perut, otot yang berperan aktif yaitu *otot diafragma* dan *otot dinding rongga perut*. Apabila otot diafragma berkontraksi, posisi diafragma akan mendatar. Hal ini menyebabkan volume rongga dada bertambah besar, sehingga tekanan udara di dalamnya mengecil. Penurunan tekanan udara akan diikuti mengembangnya paru-paru. Hal ini menyebabkan terjadinya aliran udara ke dalam paru-paru (*inspirasi*).

Apabila otot diafragma berelaksasi dan otot dinding perut berkontraksi, isi rongga perut akan terdesak ke arah diafragma, sehingga posisi diafragma akan cekung ke arah rongga dada. Hal ini menyebabkan volume rongga dada mengecil dan tekanannya meningkat, sehingga menyebabkan isi rongga paru-paru terdorong ke luar dan terjadilah *ekspirasi*.

Anda sudah mengenal bahwa mekanisme bernapas dibedakan antara pernapasan dada dan perut. Sekarang, cobalah Anda lakukan kegiatan diskusi di bawah ini.

**Forum Diskusi**

Coba diskusikan bersama teman-teman Anda mengenai permasalahan berikut ini. Mengapa saat perut kita terlalu kenyang maka kita menjadi sulit bernapas? Apa hubungannya dengan mekanisme pernapasan? Tulis hasilnya dan bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

## 4. Frekuensi Pernapasan

Gerakan pernapasan diatur oleh pusat pernapasan di otak, sedangkan aktivitas saraf pernapasan dirangsang oleh stimulus (rangsangan) dari karbon dioksida ($CO_2$). Pada umumnya, manusia mampu bernapas antara 15–18 kali setiap menitnya. Frekuensi pernapasan dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut.

### a. Umur

Bayi dan balita memiliki frekuensi bernapas lebih banyak dibanding orang dewasa. Hal itu disebabkan volume paru-paru yang relatif kecil dan sel-sel tubuh sedang berkembang sehingga membutuhkan banyak oksigen. Orang tua juga memiliki frekuensi napas lebih banyak karena kontraksi otot-otot dada dan diafragma tidak sebaik saat masih muda, sehingga udara pernapasan lebih sedikit.

### b. Jenis Kelamin

Frekuensi pernapasan wanita pada umumnya lebih banyak daripada laki-laki. Hal ini disebabkan wanita pada umumnya memiliki volume paru-paru lebih kecil dari laki-laki sehingga frekuensi bernapasnya lebih banyak.

### c. Suhu Tubuh

Semakin tinggi suhu tubuh, semakin cepat frekuensi pernapasannya. Hal ini berhubungan erat dengan peningkatan proses metabolisme tubuh.

### d. Posisi Tubuh

Posisi tubuh sangat berpengaruh terhadap frekuensi pernapasan. Pada tubuh yang berdiri, otot-otot kaki akan berkontraksi sehingga diperlukan tenaga untuk menjaga tubuh tetap tegak berdiri. Untuk itu diperlukan banyak $O_2$ dan diproduksi banyak $CO_2$. Pada posisi tubuh berdiri, frekuensi pernapasannya meningkat.

Pada posisi duduk atau tiduran, beban berat tubuh disangga oleh sebagian besar bagian tubuh sehingga terjadi penyebaran beban. Hal ini mengakibatkan jumlah energi yang diperlukan untuk menyangga tubuh tidak terlalu besar sehingga frekuensi pernapasannya juga rendah.

**Tahukah Anda**

**Pernapasan Perut Membuat Tubuh Rileks**

Ternyata bernapas selama kira-kira 10 menit dengan pernapasan perut setiap malam sebelum tidur atau pagi hari setelah bangun tidur, akan membuat tubuh rileks.

Berikut beberapa tips, agar Anda dapat melakukannya dengan baik.

1. Lakukan pernapasan secara pasti, pelan-pelan, dan sabar.
2. Biarkan diri Anda merasakan sensasi apa yang terjadi.
3. Jika belum berhasil maka konsentrasilah pada pernapasan berikutnya dan nyamankan dengan mengusap-usap perut menggunakan tangan yang hangat. Lakukan perlahan-lahan sesuai kebutuhan Anda untuk bisa bernapas dengan diafragma dan perut.

### e. Kegiatan Tubuh

Orang yang banyak melakukan kegiatan memerlukan lebih banyak energi dibandingkan dengan orang yang tidak melakukan kegiatan (santai/tidur). Oleh karena itu, tubuh memerlukan lebih banyak oksigen untuk oksidasi biologi dan lebih banyak memproduksi zat sisa. Tubuh perlu meningkatkan frekuensi pernapasan agar dapat menyediakan oksigen yang lebih banyak.

Frekuensi pernapasan setiap orang dapat berbeda-beda tergantung pada kondisinya. Untuk lebih jelasnya, lakukanlah kegiatan berikut ini.

## Eksperimen 4

**Mengatur Kecepatan Pernapasan**

Sediakanlah *stop-watch* dan alat tulis. Selanjutnya hitunglah frekuensi napas permenit atau jumlah berapa kali Anda menarik napas permenit dalam keadaan santai (istirahat) dan setelah berlari-lari kecil ± 5 menit. Mintalah bantuan teman Anda untuk menghitung frekuensi pernapasan Anda. Dalam waktu bersamaan mintalah teman Anda yang lain untuk menghitung frekuensi denyut nadi Anda. Ulangi perhitungan sebanyak dua kali atau lebih dan buatlah rata-ratanya. Isikan hasil kegiatan Anda dalam tabel pengamatan berikut ini.

| Kondisi Tubuh | Frekuensi Napas/Menit | Jumlah Denyut Nadi/Menit |
|---|---|---|
| 1. Santai | . . . | . . . |
| 2. Setelah lari-lari kecil | . . . | . . . |

**Pertanyaan:**

1. Adakah perbedaan frekuensi napas dan frekuensi denyut nadi pada berbagai kondisi tubuh? Apa kesimpulan Anda?
2. Bagaimana hubungan antara frekuensi napas dengan frekuensi denyut nadi?
3. Jika denyut nadi merupakan manifestasi kecepatan sistem transportasi (peredaran darah), tariklah kesimpulan tentang hubungan antara bernapas dengan peredaran darah.

Tulislah kesimpulan Anda mengenai kegiatan di atas dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

Gerakan pernapasan diatur oleh pusat pernapasan yang ada di otak dan disebut **medula oblongata**. Sebaliknya, saraf pernapasan ini juga dipacu oleh kadar karbon dioksida yang ada di dalam darah. Kita dapat menahan napas sementara waktu, tetapi bila kadar karbon dioksida dalam darah naik maka akan timbul rangsangan untuk segera menghirup udara pernapasan dalam-dalam. Ketika darah melalui alveolus, kandungan karbon dioksidanya sama dengan di alveolus. Darah kemudian mencapai medula oblongata yang mengandung sel-sel yang sangat peka terhadap konsentrasi karbon dioksida dalam darah. Jika kandungan karbon dioksida ini naik di atas normal, medula oblongata menanggapinya dengan meningkatkan banyaknya impuls saraf dan laju impuls saraf yang mengontrol aksi otot-otot pernapasan (otot diafragma dan otot interkosta). Akibatnya ialah peningkatan pertukaran udara dalam paru-paru yang mengembalikan konsentrasi karbon dioksida dalam alveolus dengan cepat dan kemudian mengembalikan konsentrasi karbon dioksida darah ke konsentrasi normal. Seberapa banyak jumlah udara yang dapat masuk ke dalam tubuh kita? Berikut ini akan dijelaskan mengenai volume udara pernapasan.

## 5. Volume Udara Pernapasan

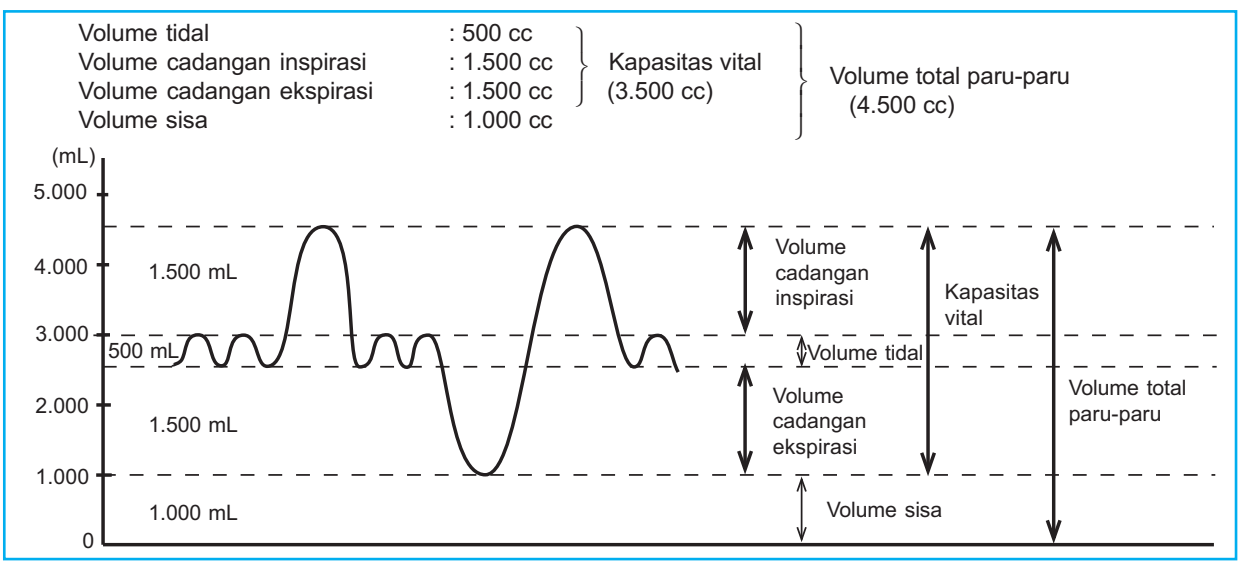
Volume udara pernapasan dapat diukur menggunakan respirometer. Perhatikan Gambar 7.6. Secara garis besar, volume udara pernapasan dapat dibedakan menjadi enam sebagai berikut.

a. Volume tidal (*tidal volume*), yaitu volume udara pernapasan (inspirasi) biasa, yang besarnya lebih kurang 500 cc ($cm^3$) atau 500 mL.
b. Volume cadangan inspirasi (*inspiratory reserve volume*) atau udara komplementer, yaitu volume udara yang masih dapat dimasukkan secara maksimal setelah bernapas (inspirasi) biasa, yang besarnya lebih kurang 1.500 cc ($cm^3$) atau 1.500 mL.
c. Volume cadangan ekspirasi (*expiratory reserve volume*) atau udara suplementer, yaitu volume udara yang masih dapat dikeluarkan secara maksimal setelah mengeluarkan napas (ekspirasi) biasa, yang besarnya lebih kurang 1.500 cc ($cm^3$) atau 1.500 mL.
d. Volume sisa/residu (*residual volume*), yaitu volume udara yang masih tersisa di dalam paru-paru setelah mengeluarkan napas (ekspirasi) maksimal, yang besarnya lebih kurang 1.000 cc ($cm^3$) atau 1.000 mL.
e. Kapasitas vital (*vital capacity*), yaitu volume udara yang dapat dikeluarkan semaksimal mungkin setelah melakukan inspirasi semaksimal mungkin juga, yang besarnya lebih kurang 3.500 cc ($cm^3$) atau 3.500 mL. Jadi, kapasitas vital adalah jumlah dari volume tidal + volume cadangan inspirasi + volume cadangan ekspirasi.
f. Volume total paru-paru (*total lung volume*), yaitu volume udara yang dapat ditampung paru-paru semaksimal mungkin, yang besarnya lebih kurang 4.500 cc ($cm^3$) atau 4.500 mL. Jadi, volume total paru-paru adalah jumlah dari volume sisa + kapasitas vital.

**Sumber:** *Biology For Advanced Level, Glenn dan Susan Toole*

**Gambar 7.6**
Respirometer sebagai alat pengukur volume udara pernapasan

Secara ringkas, volume udara pernapasan pada manusia dapat dijelaskan melalui grafik pada Gambar 7.7 di bawah ini.




**Sumber:** *Biology For Advanced Level, Glenn dan Susan Toole*

**Gambar 7.7**
Grafik volume udara pernapasan pada manusia

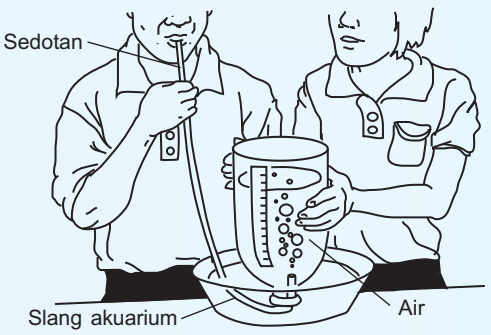
Anda telah mengetahui berbagai macam volume udara pernapasan. Kegiatan berikut ini dapat digunakan untuk menghitung volume udara pernapasan.

## Eksperimen 5

### Menghitung Kapasitas Udara dalam Paru-paru

Sediakan kertas label, botol kaca yang berkapasitas 4 liter dengan tutupnya, gelas ukur berukuran 250 mL, spidol, panci plastik besar, slang sepanjang 60 cm, dan sedotan. Tempelkan kertas label di sepanjang sisi botol kaca dengan arah ke bawah. Gunakan gelas ukur untuk menambahkan 4 liter air ke dalamnya. Gunakan spidol untuk memberi tanda pada kertas label setiap kali Anda menambahkan air untuk mengukur ketinggiannya. Setelah itu, tutuplah botol dengan penutupnya. Isilah panci plastik dengan air hingga setengahnya. Baliklah botol kaca di atas panci yang berisi air dan bukalah tutupnya. Mintalah teman Anda untuk memegang dan jangan biarkan gelembung-gelembung air memasuki botol. Masukkan ujung slang kira-kira 10 cm ke dalam mulut botol. Kemudian tariklah napas dengan normal dan keluarkan napas melalui ujung slang satunya. Gunakan skala pada botol untuk menentukan jumlah udara yang dikeluarkan dengan mengamati volume air yang turun. Catatlah pengukuran ini sebagai volume tidal.

Isi kembali botol dengan air sampai batas 4 liter. Tarik napas dengan normal dan keluarkan melalui sedotan. Berusahalah untuk mengeluarkan semua udara yang ada dalam paru-paru Anda. Catatlah pengukuran ini sebagai volume tidal + volume cadangan ekspirasi (suplementer). Isi kembali botol dengan air sampai batas 4 liter. Tariklah napas dalam-dalam dan keluarkan sebisa mungkin semua udara dari paru-paru Anda. Catatlah pengukuran ini sebagai kapasitas vital. Kapasitas vital adalah jumlah dari volume tidal + volume cadangan inspirasi + volume cadangan ekspirasi.




Ulangi lagi percobaan tersebut, tetapi dilakukan setelah Anda melakukan lari-lari kecil selama ± 5 menit. Lakukan pengukuran tersebut pada setiap anggota kelompok Anda.

Isilah hasil kegiatan Anda dalam tabel berikut ini.

| Percobaan | No. | Jenis Kelamin/Umur/ Tinggi/Berat Badan | Volume Tidal | Volume Cadangan Inspirasi | Volume Cadangan Ekspirasi | Kapasitas Vital |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Duduk dengan tenang | 1.<br>2.<br>3.<br>4.<br>dst. | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... |
| Setelah belari-lari kecil | 1.<br>2.<br>3.<br>4.<br>dst. | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... | ...<br>...<br>...<br>...<br>... |

**Pertanyaan:**

1. Samakah kapasitas vital paru-paru Anda sebelum dan sesudah berolahraga?
2. Samakah kapasitas vital paru-paru antara teman-teman Anda?
3. Faktor apa sajakah yang dapat mempengaruhi perbedaan kapasitas vital paru-paru?
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan dari kegiatan ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

Anda sudah dapat menghitung berbagai macam volume udara pernapasan. Dari eksperimen yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa volume udara pernapasan setiap orang berbeda-beda. Hal ini disebabkan karena setiap orang memiliki volume paru-paru yang berbeda-beda juga. Volume paru-paru selain dipengaruhi oleh faktor genetik, juga dipengaruhi oleh latihan. Para atlet, perenang, dan orang yang berlatih yoga memiliki volume paru-paru yang lebih besar. Demikian pula orang yang tinggal di dataran tinggi di mana kadar oksigennya rendah cenderung memiliki volume paru-paru yang lebih besar. Laki-laki pada umumnya memiliki volume paru-paru lebih besar dari wanita.

Dalam keadaan biasa, manusia mengisap dan mengeluarkan udara pernapasan kurang lebih 500 cc. Bila setengah liter ini telah diembuskan, maka dengan mengerutkan otot perut kuat-kuat, masih dapat mengembuskan satu setengah liter udara cadangan di dalam paru-paru.

Sebaliknya, sesudah menghirup udara setengah liter, kita masih dapat menghirup kuat-kuat satu setengah liter udara lagi. Jadi, jumlah udara yang terdapat dalam sistem pernapasan yaitu antara setengah dan tiga setengah liter. Jumlah udara pernapasan sekian itu dapat dimanfaatkan secara teratur oleh para olahragawan yang terlatih.

Meskipun ada 500 cc udara yang dapat kita hirup dalam keadaan biasa, tetapi hanya 350 cc yang dapat sampai di gelembung paru-paru, sedangkan yang 150 cc lainnya hanya sampai di saluran pernapasan saja.

Telah dibahas di depan bahwa berolahraga dapat mempengaruhi frekuensi pernapasan dan kapasitas udara dalam paru-paru. Agar Anda lebih memahaminya, lakukan tugas berikut ini.

### Tugas Mandiri

Carilah orang yang biasa berolahraga secara rutin dengan orang yang tidak pernah atau jarang sekali berolahraga. Kemudian lakukan kegiatan berikut ini.

1. Bandingkanlah kecepatan napas antara orang yang biasa berolahraga dengan orang yang tidak pernah berolahraga. Jika ada perbedaan, hal apakah yang melatarbelakangi perbedaan ini?
2. Lakukan pula seperti nomor 1, akan tetapi untuk kemampuan lama menahan napas. Jika ada perbedaan, hal apa pula yang melatarbelakangi? Adakah hal ini berkaitan dengan kapasitas paru-paru?

Buatlah laporan dari tugas tersebut dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.

### Tahukah Anda

**Apa Manfaat Berlatih Pernapasan?**

Berlatih pernapasan sangat menguntungkan tubuh kita. Melalui latihan pernapasan yang baik, volume paru-paru bertambah besar. Melalui latihan ini, semakin banyak oksigen yang dapat diserap tubuh dan karbon dioksida dapat dikeluarkan dengan baik dari tubuh. Berolahraga secara teratur misalnya renang dan yoga merupakan latihan pernapasan.

Anda telah mengenal berbagai macam alat pernapasan manusia dan mekanisme pernapasannya. Sistem pernapasan akan selalu bekerja selama kita masih hidup. Sistem pernapasan kita juga dapat mengalami berbagai macam gangguan sehingga fungsinya dapat terganggu.

## 6. Gangguan pada Sistem Pernapasan

Gangguan pada sistem pernapasan biasanya disebabkan oleh kelainan dan penyakit yang menyerang alat-alat pernapasan. Beberapa jenis kelainan dan penyakit pada sistem pernapasan sebagai berikut.

a. *Asfiksi*, yaitu kelainan atau gangguan dalam pengangkutan oksigen ke jaringan atau gangguan penggunaan oksigen oleh jaringan. Penyebabnya dapat terletak di paru-paru, di pembuluh darah, atau dalam jaringan tubuh. Misalnya: seseorang yang tenggelam, alveolusnya terisi air; orang yang menderita pneumonia, alveolusnya terisi cairan limfa; serta orang yang keracunan karbon monoksida dan asam sianida, Hb-nya tercemar oleh zat racun tersebut. Keracunan karbon monoksida dan asam sianida terjadi karena kedua zat ini memiliki afinitas terhadap hemoglobin lebih besar daripada oksigen.

b. *Penyempitan* atau *penyumbatan saluran napas*, dapat disebabkan oleh pembengkakan kelenjar limfa, misalnya polip (di hidung) dan amandel (di tekak), yang menyebabkan penyempitan saluran pernapasan sehingga menimbulkan kesan wajah bodoh dan sering disebut **wajah adenoid**. Penyempitan ini dapat pula terjadi karena saluran pernapasannya yang menyempit akibat alergi, misalnya pada asma bronkiale.

c. *Anthrakosis*, yaitu kelainan pada alat pernapasan yang disebabkan oleh masuknya debu tambang. Jika yang masuk debu silikat, disebut **silicosis**.

d. *Bronkitis*, terjadi karena peradangan bronkus.

e. *Pleuritis*, yaitu peradangan selaput (*pleura*) karena pleura mengalami penambahan cairan intrapleura, akibatnya timbul rasa nyeri saat bernapas.

f. *Tuberkulosis* (*TBC*), yaitu penyakit paru-paru karena *Mycobacterium tuberculosis*, tandanya terbentuk bintik-bintik kecil pada dinding alveolus.

g. *Pneumonia* atau *logensteking*, yaitu penyakit radang paru-paru yang disebabkan *Diplococcus pneumoniae*.

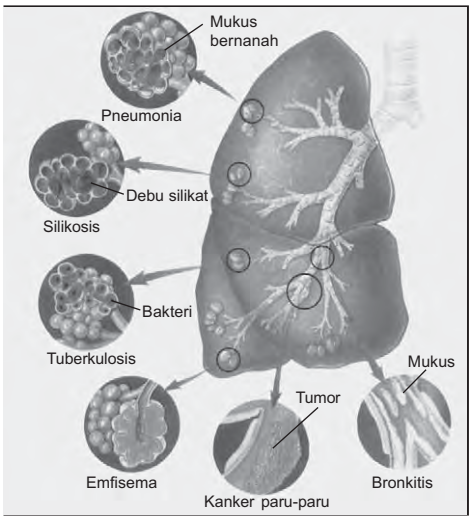
h. *Penyakit diphteri*, misalnya diphteri tekak, tenggorokan, dan diphteri hidung. Penyakit ini biasa menyerang saluran pernapasan anak bagian atas. Kuman penyebabnya *Corynebacterium diphteriae*. Kuman diphteri tersebut mengeluarkan racun dan bila racun ini beredar bersama darah, akan merusak selaput jantung.

i. *Faringitis*, yaitu infeksi pada faring oleh bakteri dan virus. Gejalanya adalah kerongkongan terasa nyeri saat menelan.

j. *Tonsilitis*, yaitu radang karena infeksi oleh bakteri tertentu pada *tonsil*. Gejalanya yaitu tenggorokan sakit, sulit menelan, suhu tubuh naik, demam, dan otot-otot terasa sakit.

k. *Kanker paru-paru*, biasa diderita oleh perokok. Kanker ini disebabkan oleh adanya tumor ganas yang terbentuk di dalam epitel bronkiolus.

l. *Asma*, yaitu gangguan pada rongga saluran pernapasan yang diakibatkan oleh berkontraksinya otot polos pada trakea. Hal ini akan mengakibatkan penderita sukar bernapas.




**Sumber:** *Inquiry Live, Mader, S.S.*

**Gambar 7.8**
Berbagai macam penyakit pada paru-paru

**Tahukah Anda**

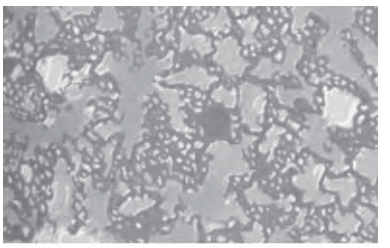
**Sekilas tentang Penyakit Asma**

Asma merupakan penyakit yang menyerang akibat tubuh rentan terhadap sesuatu zat tertentu, serbuk, bulu binatang, uap, bau, makanan, obat, atau kuman-kuman dalam hidung dan tenggorokan. Serangan penyakit ini lebih sering terjadi pada penderita yang atau sedang mengalami tekanan emosi hebat, serta pada saat pergantian musim.

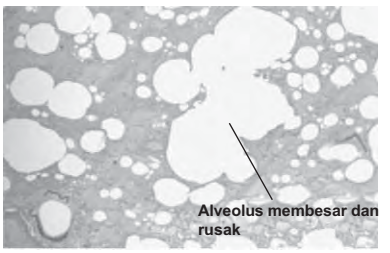
Jika terjadi serangan asma, pengobatan dapat dilakukan dengan menggunakan obat farmasi seperti adrenalin, aminofilin, efedrina, dan obat antihistamin, atau juga obat tradisional dengan memanfaatkan tumbuhan, seperti kecubung (*Datura metel* L.), teh (*Camelia sinensis*), putri malu (*Mimosa pudica* L.), dan patikan kebo (*Euphorbia pillulifera* L.).

m. *Influenza*, disebabkan oleh virus yang menimbulkan radang pada selaput mukosa di saluran pernapasan.
n. *Emfisema*, yaitu suatu penyakit yang terjadi karena ketidaknormalan (abnormalitas) susunan dan fungsi alveolus. Akibatnya, terjadi inefisiensi pengikatan $O_2$ sehingga pernapasan menjadi sulit. Lihat Gambar 7.9.

Anda telah mengenal berbagai macam penyakit yang menyerang saluran pernapasan. Tahukah Anda bahwa polusi udara juga dapat menyebabkan gangguan pernapasan? Cobalah Anda simak artikel di bawah ini.



Paru-paru normal




Paru-paru rusak

**Sumber:** *Biology for Advanced, Glenn dan Susan Toole*

**Gambar 7.9**
Alveolus paru-paru yang rusak disebabkan emfisema

### Ketika Udara Jakarta Tidak Lagi Aman Dihirup

Kajian oleh Pusat Penelitian Kesehatan Universitas Indonesia (PPK UI) menyebutkan, bensin tanpa timbal bisa menyebabkan kanker darah (leukimia) karena penggunaannya tidak diikuti *catalitic converter* pada knalpot yang berfungsi menyaring zat-zat beracun hasil pembakaran senyawa aromatik. Menurut peneliti dari PPK UI, Budi Haryanto SKM MSPH MsC, ada empat senyawa yang digunakan untuk menggantikan timbal, yaitu senyawa aromatik, senyawa oksigenat, senyawa olevin, dan senyawa isomerat.

Menurut penelitian yang dilakukan di negara-negara Eropa, kebocoran sebesar 12 persen dalam penggunaan bensin bertimbal saja sudah bisa menimbulkan risiko kanker. "Apalagi kita yang setiap hari menghirup udara beracun yang terpapar senyawa aromatik tanpa disaring lebih dahulu, " kata Budi. Kalau penelitan itu benar, berarti warga Jakarta sudah mengisap senyawa aromatik selama 13 tahun, yaitu sejak diluncurkannya bensin premix (premium mix) ke pasaran pada tahun 1991.

Selain ada senyawa baru yang meracuni udara Jakarta, saat ini Jakarta juga belum 100 persen bebas timbal dan sulfur. Sulfur merupakan bahan yang terdapat dalam solar. Padahal, pada kadar yang tinggi sulfur dapat menyebabkan bronkitis, radang paru, koma, dan kelumpuhan pusat pernapasan.

**Sumber:** *Kompas*, 20 Juli 2004

### Tugas Kelompok

Dari artikel tersebut dapat diketahui bahwa polusi udara juga dapat menyebabkan gangguan pada sistem pernapasan. Sekarang, carilah informasi dari dokter atau dinas kesehatan di sekitar rumah Anda mengenai berbagai macam gangguan atau penyakit pernapasan yang disebabkan karena adanya polusi udara. Tanyakan pula bagaimana cara pencegahan dan pengobatannya. Tulislah hasil laporan Anda dan bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

Bila terjadi gangguan pada saluran pernapasan, perlu diberikan pertolongan segera. Pertolongan tersebut harus disesuaikan dengan jenis penyebabnya seperti uraian berikut.

a. Pada penderita pernapasan yang disebabkan infeksi, perlu diberikan *antibiotika*. Tujuannya adalah mematikan kuman penyebab infeksi.
b. Bila bagian paru-paru ada yang terluka, maka paru-paru tersebut harus diistirahatkan dengan cara mengisi udara *steril* pada celah antarpleura.

c. Pada penderita gangguan pernapasan akibat tenggelam atau *shock* karena sengatan arus listrik, pusat pernapasannya sering terhenti sementara sehingga gerakan bernapas juga sering terhenti untuk sementara waktu. Untuk mengatasinya, perlu diberikan pernapasan buatan. Dalam keadaan darurat, pernapasan buatan sering diberikan dengan bantuan mulut. Cara seperti ini disebut cara *sylvester*.

Anda telah mengetahui bahwa polusi udara dapat mengganggu sistem pernapasan kita. Asap rokok juga merupakan salah satu penyebab terjadinya polusi udara yang dapat mengganggu sistem pernapasan? Untuk lebih jelasnya, lakukanlah tugas berikut ini.

### Tugas Kelompok

*"Merokok Berbahaya Bagi Kesehatan"*. Tentu slogan ini sudah tidak asing lagi. Pemerintah pun sudah menganjurkan untuk mengurangi merokok, mengingat bahaya yang dapat ditimbulkan. Tapi sampai sekarang, masih banyak orang tua, anak muda, bahkan anak kecil yang tidak bisa menghilangkan aktivitas tersebut. Buatlah suatu tulisan dengan kelompok Anda, tentang alasan orang-orang tersebut merokok, berapa batang sehari, akibat yang ditimbulkan, dan cara pencegahannya. Cari data dengan menginterview beberapa orang (baik orang awam maupun para ahli), data dari internet, koran, majalah, atau yang lainnya. Setelah selesai, buat laporan tertulisnya, presentasikan, dan kumpulkan kepada guru Anda.

### Tahukah Anda

**Bagaimana Cara Melakukan Pernapasan Buatan?**

Berikut ini merupakan langkah-langkah praktis melakukan pernapasan buatan.

1. Letakkan pasien terlentang di tempat datar. Jika pasien habis tenggelam, tekan dadanya dengan dua tangan Anda agar air di dalam dada keluar.
2. Setelah air keluar, laku-kan pernapasan buatan. Letakkan salah satu tangan Anda di bawah leher pasien dan angkat sedikit agar saluran pernapas-annya terbuka.
3. Ambil napas dalam-dalam dan segera tiupkan ke mulut pasien sambil tutup hidung pasien dengan tangan Anda yang lain.
4. Lepaskan tiupan Anda dan biarkan udara keluar kembali dari pasien. Dengarkan jika ada desah napas yang menandakan kesadaran.
5. Jika belum ada perubahan ulangi langkah 2–4 sampai pasien sadar atau mintalah pertolongan dokter jika tidak segera sadar.

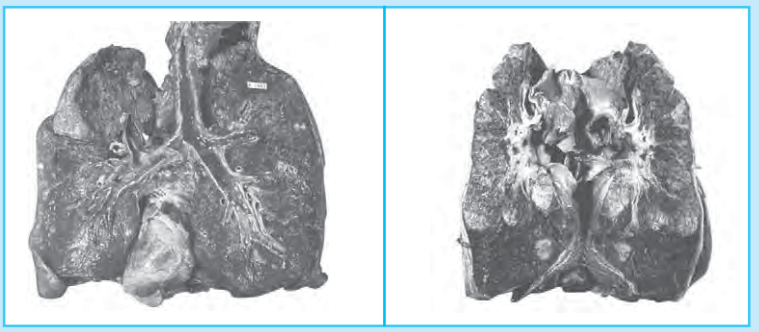
Asap rokok ternyata dapat mengakibatkan gangguan pada saluran pernapasan. Hal ini disebabkan karena asap rokok yang dihirup seorang perokok mengandung komponen gas dan partikel-partikel yang dibebaskan selama merokok sebanyak $5 \times 10^9$ ppm. Komponen gas terdiri dari karbon monoksida, karbon dioksida, hidrogen sianida, amonia, oksida dari nitrogen, dan senyawa hidrokarbon. Adapun komponen partikel terdiri dari tar, nikotin, benzopiren, fenol, dan kadmium.

Asap yang diembuskan para perokok dapat dibagi atas asap utama dan asap samping. Asap utama merupakan asap tembakau yang dihirup langsung oleh perokok, sedangkan asap samping merupakan asap tembakau yang disebarkan ke udara bebas yang akan dihirup oleh orang lain. Telah ditemukan 4.000 jenis bahan kimia dalam rokok dengan 40 jenis di antaranya bersifat karsinogenik (dapat menyebabkan kanker). Bahan racun ini lebih banyak ditemukan pada asap samping daripada asap utama.

Merokok dapat menyebabkan perubahan struktur fungsi saluran napas dan jaringan paru-paru. Misalnya pada saluran napas besar, sel mukosa membesar, dan kelenjar mukus bertambah banyak. Pada saluran napas kecil, terjadi radang ringan dan penyempitan akibat penumpukan lendir. Akibat perubahan anatomi saluran napas, pada perokok akan timbul perubahan fungsi paru-paru dengan gejala klinisnya. Misalnya, timbulnya **Penyakit Obstruksi Paru Menahun** (POPM) yaitu emfisema, bronkitis kronis, dan asma. Selain itu, juga dapat menimbulkan kanker paru-paru. Bagaimana kondisi paru-paru antara orang perokok dan bukan perokok?

## Forum Diskusi

Amatilah gambar paru-paru orang sehat dengan paru-paru orang perokok yang telah terserang kanker.



**Paru-paru sehat** **Paru-paru sakit**

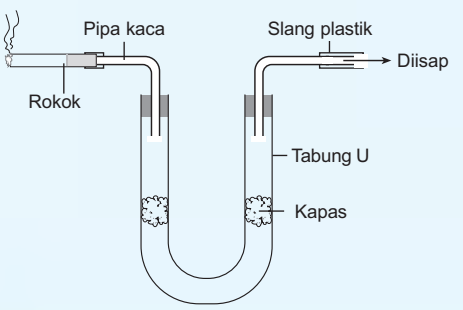
Setelah Anda mengamati gambar di atas, coba Anda deskripsikan bersama teman-teman Anda mengenai perbedaan kedua gambar di atas. Diskusikan bersama teman-teman Anda mengenai keadaan paru-paru orang bukan perokok dan paru-paru orang perokok serta sebutkan perbedaannya. Bahaslah hasil diskusi bersama teman-teman Anda di kelas.

Telah disebutkan di depan bahwa merokok dapat menyebabkan berbagai macam penyakit termasuk kanker paru-paru. Jadi, merokok dapat menimbulkan berbagai macam dampak negatif. Untuk lebih jelasnya, lakukanlah kegiatan berikut ini.

## Eksperimen 6

### Mengamati Kemungkinan Dampak Asap Rokok terhadap Paru-Paru

Sediakan tabung U, pipa kaca, slang plastik, kapas, korek api, dan sebatang rokok kretek. Kemudian susunlah alat-alat tersebut seperti pada gambar berikut.




Setelah itu nyalakan rokok yang ada pada salah satu ujung slang dengan korek api. Kemudian isaplah ujung slang yang satunya dengan mulut beberapa kali sehingga asap rokok mengalir masuk memenuhi tabung. Lakukanlah berulang kali sampai timbul bercak cokelat kekuningan yang menempel pada kapas dalam tabung.

**Pertanyaan:**

1. Bayangkan jika tabung dan kapas diibaratkan ruang paru-paru dan alveolus, apa yang menempel di dalamnya jika asap rokok masuk?
2. Bayangkan pula jika kejadian itu berlangsung terus-menerus dalam waktu yang lama, apa yang akan terjadi dalam paru-paru?
3. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan tersebut?

Buatlah laporan dari kegiatan ini dan kumpulkan kepada guru Anda.

Di depan telah dibahas berbagai macam cara mengatasi gangguan-gangguan saluran pernapasan. Sekarang sudah banyak ditemukan berbagai macam teknologi untuk mengatasi gangguan saluran pernapasan. Misalnya, pada penderita tetanus atau diphteri akut saluran pernapasannya mengalami penyumbatan. Oleh karena itu, pada penderita dibuatkan lubang pernapasan bantuan pada trakea yang disebut **trakeotomi**.

Selain itu, orang-orang yang mengalami kecelakaan misalnya tenggelam, sengatan arus listrik, atau serangan jantung, memerlukan oksigen agar bertahan hidup. Oleh karena pernapasan normal tidak cukup menyediakan oksigen, maka digunakan alat bantu pernapasan. Alat bantu pernapasan ini berupa tangki berisi oksigen yang dimampatkan yang akan mendorong oksigen memasuki paru-paru korban. Selain itu juga dapat menggunakan alat yang disebut **pulmotor**. Pulmotor merupakan alat yang digunakan untuk memberikan pernapasan buatan.

Masih banyak teknologi yang telah ditemukan untuk mengatasi kelainan-kelainan yang terjadi pada sistem pernapasan. Bagi penderita asma biasanya diperlukan gas *spray* untuk mengatasi serangan asma. Apa sebenarnya gas *spray* itu? Coba Anda lakukan kegiatan berikut ini untuk mengetahuinya.

### Tugas Kelompok

Carilah informasi dari dokter atau dinas kesehatan di sekitar rumah Anda mengenai penyakit asma. Lakukan juga observasi pada penderita asma. Kemudian kumpulkan informasi mengenai manfaat gas *spray* bagi penderita asma, pengaruhnya terhadap jalannya pernapasan, dan zat apa saja yang terkandung di dalamnya. Tulislah semua informasi yang Anda peroleh kemudian bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.

### Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Dalam mekanisme pernapasan kita, terjadi pertukaran $CO_2$ dan $O_2$ secara difusi. Apa sebenarnya yang dimaksud difusi itu? Bisakah Anda memberi contoh peristiwa difusi lainnya?
2. Apa yang akan terjadi jika tubuh kita kekurangan oksigen?
3. Apakah menurut Anda ada hubungan antara volume paru-paru dengan frekuensi pernapasan? Bagaimana hubungannya? Jelaskan.
4. Apa yang Anda perbuat jika tiba-tiba teman Anda pingsan dan napasnya terhenti?
5. Bayangkan jika Anda melakukan 3 kegiatan secara bergantian yaitu tidur, membaca, dan naik turun tangga. Kira-kira kegiatan mana yang menyebabkan frekuensi pernapasannya paling banyak? Jelaskan jawaban Anda.

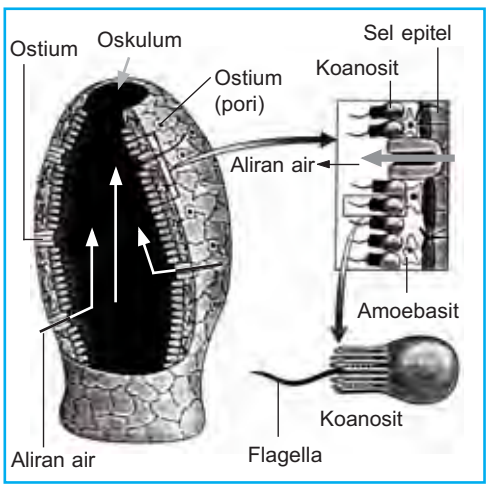
Pada subbab di depan, Anda telah mempelajari sistem pernapasan manusia meliputi organ-organ penyusun sistem pernapasan, mekanisme pernapasan, frekuensi pernapasan, volume udara pernapasan, gangguan atau penyakit pada saluran pernapasan, dan teknologi yang digunakan untuk mengatasi gangguan atau penyakit pada saluran pernapasan tersebut. Selain manusia, makhluk hidup lain juga mempunyai sistem pernapasan. Pada subbab berikut ini Anda akan mempelajari sistem pernapasan pada beberapa hewan.

## B. Sistem Pernapasan pada Hewan

Kebanyakan hewan memiliki tempat penyimpanan untuk makanan yang mereka makan, tetapi tidak mempunyai tempat penyimpanan gas. Di dalam lingkungan secara terus-menerus terjadi pertukaran $O_2$ dan $CO_2$. Dalam subbab ini, kita akan membahas sistem pernapasan pada hewan Invertebrata dan Vertebrata.

### 1. Pernapasan pada Hewan Invertebrata

Hewan-hewan Invertebrata ada yang belum memiliki sistem pernapasan khusus, seperti Porifera dan sebagian cacing (Vermes). Umumnya hewan-hewan tersebut melakukan pernapasan langsung, yaitu secara difusi melalui permukaan tubuhnya. Namun, pada hewan-hewan yang lebih tinggi, seperti Mollusca dan Arthropoda sudah memiliki sistem pernapasan khusus, walaupun masih sederhana. Misalnya Insecta dan Myriapoda beranapas menggunakan trakea, hewan-hewan Arachnida, misalnya laba-laba bernapas menggunakan paru-paru buku. Hewan-hewan yang hidup di air misalnya Crustacea (golongan udang-udangan) dan Mollusca (siput dan kerang) bernapas menggunakan insang.




**Sumber:** *Biology, Mader S.S.*

**Gambar 7.10**
Irisan melintang dinding tubuh Porifera

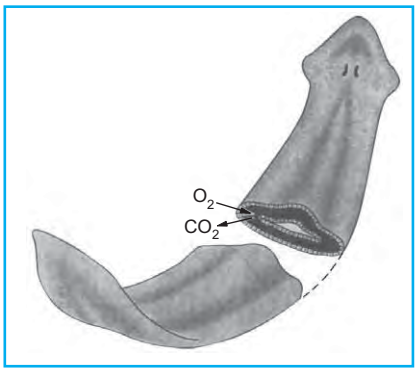
#### a. Porifera

Porifera bernapas dengan cara memasukkan air melalui pori-pori (*ostium*) yang terdapat pada seluruh permukaan tubuhnya, masuk ke dalam rongga spongocoel. Proses pernapasan selanjutnya dilakukan oleh sel leher (*koanosit*), yaitu sel yang berbatasan langsung dengan rongga spongocoel. Perhatikan Gambar 7.10.

Aliran air yang masuk melalui ostium menuju rongga spongocoel membawa oksigen sekaligus zat-zat makanan. Pengikatan $O_2$ dan pelepasan $CO_2$ dilakukan oleh sel leher (*koanosit*). Selain melakukan fungsi pernapasan, sel leher sekaligus melakukan proses pencernaan dan *sirkulasi* zat makanan. Selanjutnya, air keluar melalui *oskulum*.

#### b. Vermes (Cacing)

Sebagian besar Vermes bernapas menggunakan permukaan tubuhnya, misalnya anggota filum Platyhelminthes yaitu Planaria dan anggota filum Annelida yaitu cacing tanah (*Pheretima* sp.). Namun, pada beberapa Annelida bernapas dengan insang, misalnya Annelida yang hidup di air yaitu Polychaeta (golongan cacing berambut banyak) ini bernapas menggunakan sepasang porapodia yang berubah menjadi insang.




**Sumber:** *Inquiry Live, Mader, S.S.*

**Gambar 7.11**
Pertukaran gas pada *Planaria*

Pada *Planaria*, $O_2$ yang terlarut di dalam air berdifusi melalui permukaan tubuhnya. Demikian juga dengan pengeluaran $CO_2$. Pada cacing tanah, $O_2$ berdifusi melalui permukaan tubuhnya yang basah, tipis, dan memiliki pembuluh-pembuluh darah. Selanjutnya, $O_2$ diedarkan ke seluruh tubuh oleh sistem peredaran darah. $CO_2$ sebagai sisa pernapasan dikeluarkan dari jaringan oleh pembuluh darah, kemudian keluar melalui permukaan tubuh secara difusi. Perhatikan Gambar 7.11.

Permukaan tubuh cacing tanah selalu basah. Hal ini berfungsi untuk mempermudah proses difusi $O_2$ melalui permukaan tubuhnya. Coba Anda lakukan kegiatan berikut untuk membuktikannya.

## Eksperimen 6

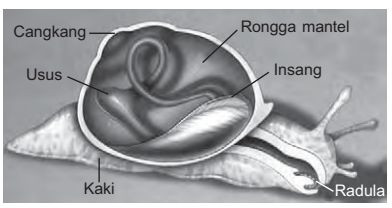
### Mengamati Pernapasan Cacing tanah

Sediakanlah 2 cacing tanah, lup, kaca, dan kertas isap (tisu). Letakkan satu cacing tanah di atas kaca dan satunya lagi pada kertas isap. Amati kedua cacing tersebut meliputi keadaan tubuhnya dan gerakannya selama ±15 menit. Gunakanlah lup agar Anda dapat mengamati secara jelas.

**Pertanyaan:**

1. Mengapa permukaan tubuh cacing dijaga agar selalu basah?
2. Bagaimana gerakan kedua cacing tanah tersebut?
3. Mengapa cacing tanah yang diletakkan pada kertas isap selalu/cepat berhenti? Jelaskan.
4. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah laporan kegiatan ini dan bahaslah bersama teman-teman Anda di kelas.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 7.12**
Alat pernapasan siput

### c. Mollusca

Hewan bertubuh lunak (Mollusca) yang hidup di air, seperti siput, cumi-cumi, dan kerang (*Bivalvia*) bernapas menggunakan insang. Perhatikan Gambar 7.12. Aliran air masuk ke dalam insang dan terjadi pertukaran udara dalam lamela insang. Mollusca yang hidup di darat, seperti siput darat (bekicot) bernapas menggunakan paru-paru.

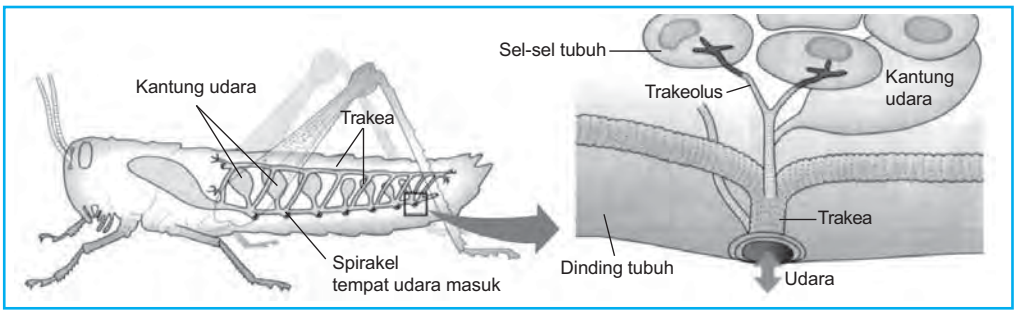
### d. Arthropoda

#### 1) *Insecta*

Insecta bernapas menggunakan *sistem trakea*. Sistem trakea pada serangga, misalnya belalang terdiri atas *spirakel*, *saluran* (*pembuluh trakea*), dan *trakeolus*. *Spirakel* atau *stigma* merupakan jalan keluar masuknya udara dari dan ke dalam sistem trakea, terdapat di kerangka luar (eksoskeleton), berbentuk pembuluh silindris yang berlapis *zat kitin*, terletak berpasangan pada setiap *segmen* tubuh, dan merupakan tempat bermuaranya pembuluh trakea.

Pada umumnya spirakel terbuka selama serangga terbang, dan tertutup saat serangga beristirahat.

Udara masuk melalui empat pasang spirakel depan dan keluar melalui enam pasang spirakel belakang. Oksigen dari luar masuk lewat spirakel, kemudian menuju pembuluh-pembuluh trakea, selanjutnya pembuluh trakea bercabang lagi menjadi cabang halus yang disebut **trakeolus**. Dengan demikian, oksigen dapat mencapai seluruh jaringan dan alat tubuh bagian dalam. *Trakeolus* merupakan cabang-cabang terkecil berukuran ± 0,1 mμ dari saluran pembuluh trakea yang berhubungan langsung dengan jaringan tubuh dan tidak berlapis zat kitin. Trakeolus ini merupakan tempat terjadinya pertukaran udara pernapasan. Trakeolus mempunyai fungsi sama dengan kapiler pada sistem pengangkutan (transportasi) pada Vertebrata. Perhatikan Gambar 7.13.




**Sumber:** *Biology, Campbel*

**Gambar 7.13**
Sistem trakea pada belalang

Mekanisme pernapasan pada belalang diatur oleh otot perut (*abdomen*). Ketika otot perut (*abdomen*) berelaksasi, volume trakea normal sehingga udara masuk. Sebaliknya, ketika otot abdomen berkontraksi, volume trakea mengecil sehingga udara keluar. Jalur yang dilalui udara pernapasan, yaitu udara luar → stigma/spirakel → saluran/pembuluh trakea → trakeolus → jaringan tubuh. Jadi, sistem trakea berfungsi mengangkut $O_2$ dan mengedarkannya ke seluruh tubuh, serta sebaliknya mengangkut $CO_2$ hasil pernapasan untuk dikeluarkan dari tubuh. Dengan demikian, darah pada serangga hanya berfungsi mengangkut sari makanan dan bukan untuk mengangkut udara pernapasan.

Pada serangga air, seperti jentik nyamuk, udara diperoleh dengan menjulurkan tabung pernapasan ke permukaan air untuk mengambil udara. Serangga air tertentu mempunyai gelembung udara, sehingga dapat menyelam di dalam air dalam waktu lama. Misalnya, kepik *Notonecta* sp. mempunyai gelembung udara di organ yang menyerupai rambut pada permukaan ventral. Selama menyelam, $O_2$ dalam gelembung udara dipindahkan melalui sistem trakea ke sel-sel pernapasan.

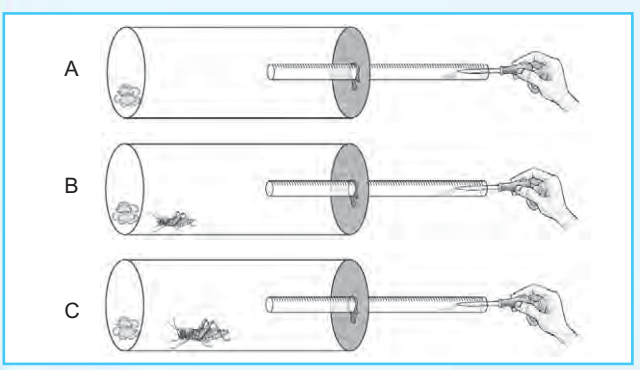
Adapula serangga yang mempunyai insang trakea yang berfungsi menyerap udara dari air, atau pengambilan udara melalui cabang-cabang halus serupa insang. Selanjutnya $O_2$ diedarkan melalui pembuluh trakea.

Lakukan kegiatan berikut agar Anda lebih memahami proses pernapasan dan banyaknya oksigen yang diambil serangga waktu bernapas.

## Eksperimen 7

### Mengamati Pernapasan pada Serangga

Sediakan respirometer sederhana 3 buah, pipet tetes, pinset, lup, 2 ekor belalang yang berbeda ukuran tubuhnya, kapas, plastisin/vaselin, NaOH/KOH kristal, dan eosin (cairan berwarna). Masukkan kristal NaOH/KOH ke dalam tabung respirometer A, B, dan C. Tutuplah kristal tersebut dengan selapis kapas. Masukkan seekor belalang ke dalam tabung respirometer B dan C. Pasanglah tutup tabung respirometer yang mempunyai pipa kapiler berskala. Lapisilah sambungan antara tutup dan tabung respirometer dengan plastisin/vaselin agar tidak bocor. Setelah itu, masukkan setetes eosin (cairan berwarna) pada ujung pipa kapiler. Lakukan hal yang sama pada tabung respirometer lain secara bersamaan. Amati perubahan letak eosin pada kedua pipa kapiler berskala setiap 5 menit. Catatlah hasil pengamatan Anda dalam tabel.



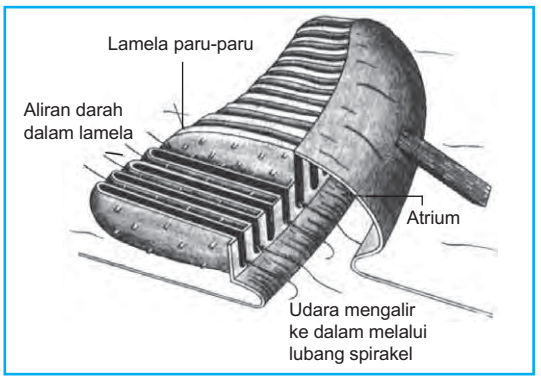

Isilah hasil pengamatan Anda dalam tabel di bawah ini.

| Respiro-meter | Kedudukan Eosin | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| | 5 menit | 10 menit | 15 menit | |
| A<br>B<br>C | | | | |

**Pertanyaan:**

1. Mengapa dalam kegiatan ini menggunakan NaOH atau KOH?
2. Bandingkan letak eosin pada ketiga respirometer. Jelaskan mengapa demikian.
3. Bagaimana Anda mengetahui bahwa serangga bernapas mengambil oksigen?
4. Hitunglah rata-rata kebutuhan oksigen yang digunakan oleh belalang setiap menit.
5. Amati bagian abdomen hewan percobaan ketika berada dalam tabung respirometer. Jika tidak jelas, gunakan lup. Bagaimana gerakan perutnya?
6. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

Tulislah hasil laporan Anda dari kegiatan ini dan kumpulkan kepada bapak atau ibu guru Anda.




**Sumber:** *Zoologi Umum, Villee, Walker, dan Barnes*

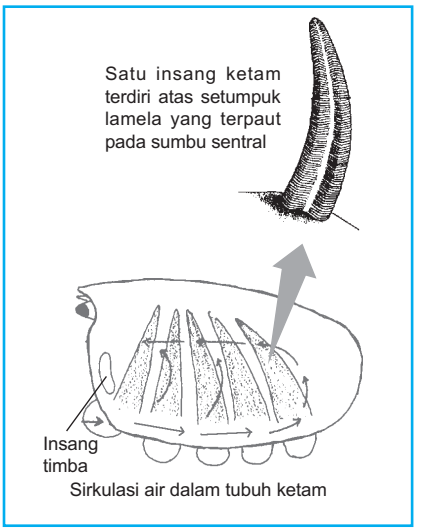
**Gambar 7.14**
Sayatan melalui paru-paru buku pada laba-laba

### 2) *Arthropoda Lain*

Laba-laba (Arachnida) dan kalajengking (Scorpionida) bernapas dengan paru-paru buku. Paru-paru buku ini merupakan invaginasi (pelekukan ke dalam) abdomen. Paru-paru buku memiliki banyak lamela seperti halaman buku yang dipisahkan oleh batang-batang sehingga udara dapat bergerak bebas (lihat Gambar 7.14). Udara dari luar, masuk melalui spirakel secara difusi. Selanjutnya, udara masuk di antara sel-sel *lamela* dan berdifusi dengan pembuluh darah di sekitar lamela.

Arthropoda yang hidup di air, misalnya dari golongan Crustacea (udang-udangan), seperti udang dan ketam, bernapas dengan insang buku. Perhatikan Gambar 7.15. Insang buku ini tumbuh dari dasar anggota tubuh dan dinding tubuh yang berdekatan, dan menjulur ke atas ke dalam ruang brankial. Tiap insang terdiri atas sumbu sentral tempat pertautan lamela atau filamen. Aliran air dihasilkan oleh gerakan mendayung dari *insang timba*, yaitu suatu penjuluran berbentuk bulan sabit dari salah satu penjuluran mulut (maksila kedua). Pada udang, air masuk ke dalam ruang brankial di belakang karapaks dan di antara kaki. Selanjutnya, saluran di dalam sumbu insang membawa darah ke dan dari ruang di dalam lamela, pertukaran udara pernapasan berlangsung melalui dinding tipis lamela. Keluar masuknya udara disebabkan oleh gerakan otot yang terjadi secara teratur.

Baik paru-paru buku maupun insang buku, keduanya mempunyai fungsi yang sama seperti fungsi paru-paru pada Vertebrata.




**Sumber:** *Zoologi Umum, Villee, Walker, dan Barnes*

**Gambar 7.15**
Insang pada Crustacea

## 2. Pernapasan pada Hewan Vertebrata

Hewan Vertebrata telah memiliki sistem sirkulasi yang fungsinya antara lain untuk mengangkut gas pernapasan ($O_2$) dari tempat penangkapan gas menuju sel-sel jaringan. Begitu pula sebaliknya, untuk mengangkut gas buangan ($CO_2$) dari sel-sel jaringan ke tempat pengeluarannya. Mekanisme pernapasan pada hewan Vertebrata beragam. Simaklah uraian di bawah ini agar Anda lebih memahami mekanisme pernapasan pada hewan Vertebrata.

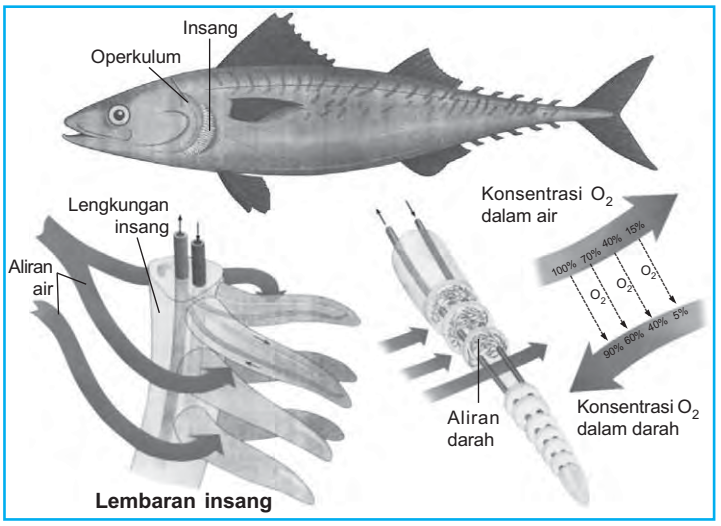
### a. Pisces

Ikan bernapas menggunakan insang. Insang berbentuk lembaran-lembaran tipis berwarna merah muda dan selalu lembap. Bagian terluar dari insang berhubungan dengan air, sedang bagian dalam berhubungan erat dengan kapiler-kapiler darah. Tiap lembaran insang terdiri dari sepasang *filamen* dan tiap filamen mengandung banyak lapisan tipis (*lamela*). Pada filamen terdapat pembuluh darah yang memiliki banyak kapiler, sehingga memungkinkan $O_2$ berdifusi masuk dan $CO_2$ berdifusi keluar.

Pada ikan bertulang sejati (Osteichthyes) insangnya dilengkapi dengan tutup insang (*operkulum*), sedangkan pada ikan bertulang rawan (Chondrichthyes) insangnya tidak mempunyai tutup insang. Selain bernapas dengan insang, ada pula kelompok ikan yang bernapas dengan gelembung udara (*pulmosis*), yaitu ikan paru-paru (*Dipnoi*). Insang tidak hanya berfungsi sebagai alat pernapasan, tetapi juga berfungsi sebagai alat ekskresi garam-garam, penyaring makanan, alat pertukaran ion, dan osmoregulator.

## 1) *Pernapasan pada ikan bertulang sejati*

Salah satu contoh ikan bertulang sejati yaitu ikan mas. Insang ikan mas tersimpan dalam rongga insang yang terlindung oleh tutup insang (*operkulum*). Perhatikan Gambar 7.16. Insang ikan mas terdiri dari lengkung insang yang tersusun atas tulang rawan berwarna putih, rigi-rigi insang yang berfungsi untuk menyaring air pernapasan yang melalui insang, dan filamen atau lembaran insang. Filamen insang tersusun atas jaringan lunak, berbentuk sisir dan berwarna merah muda karena mempunyai banyak pembuluh kapiler darah dan merupakan cabang dari arteri insang. Di tempat inilah pertukaran gas $CO_2$ dan $O_2$ berlangsung.




**Sumber:** *Biology, Mader, S.S.*

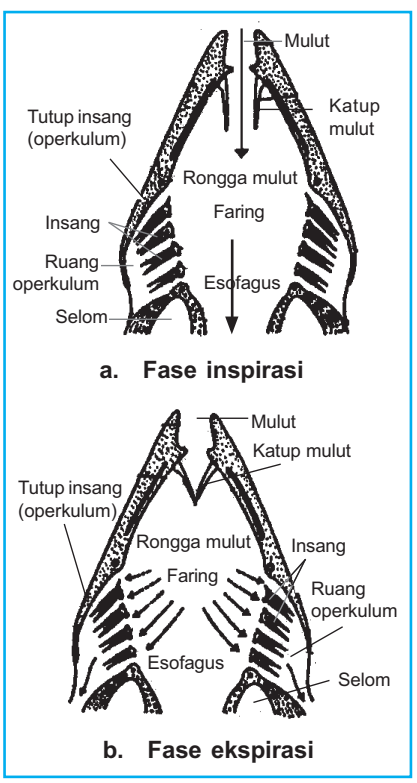
**Gambar 7.16**
Struktur insang ikan

Gas $O_2$ diambil dari gas $O_2$ yang larut dalam air melalui insang secara difusi. Dari insang, $O_2$ diangkut darah melalui pembuluh darah ke seluruh jaringan tubuh. Dari jaringan tubuh, gas $CO_2$ diangkut darah menuju jantung. Dari jantung menuju insang untuk melakukan pertukaran gas. Proses ini terjadi secara terus-menerus dan berulang-ulang.

Mekanisme pernapasan ikan bertulang sejati dilakukan melalui mekanisme inspirasi dan ekspirasi. Perhatikan Gambar 7.17.

### a) *Fase inspirasi*

Gerakan tutup insang ke samping dan selaput tutup insang tetap menempel pada tubuh mengakibatkan rongga mulut bertambah besar, sebaliknya celah belakang insang tertutup. Akibatnya, tekanan udara dalam rongga mulut lebih kecil daripada tekanan udara luar. Celah mulut membuka sehingga terjadi aliran air ke dalam rongga mulut. Perhatikan gambar di samping.




**Sumber:** *Zoologi Umum, Villee, Walker, dan Barnes*

**Gambar 7.17**
Mekanisme pernapasan pada ikan bertulang sejati

b) *Fase ekspirasi*

Setelah air masuk ke dalam rongga mulut, celah mulut menutup. Insang kembali ke kedudukan semula diikuti membukanya celah insang. Air dalam mulut mengalir melalui celah-celah insang dan menyentuh lembaran-lembaran insang. Pada tempat ini terjadi pertukaran udara pernapasan. Darah melepaskan $CO_2$ ke dalam air dan mengikat $O_2$ dari air.

Pada fase inspirasi, $O_2$ dan air masuk ke dalam insang, kemudian $O_2$ diikat oleh kapiler darah untuk dibawa ke jaringan-jaringan yang membutuhkan. Sebaliknya pada fase ekspirasi, $CO_2$ yang dibawa oleh darah dari jaringan akan bermuara ke insang, dan dari insang diekskresikan keluar tubuh.

### 2) *Pernapasan pada ikan bertulang rawan*

Insang ikan bertulang rawan tidak mempunyai tutup insang (*operkulum*) misalnya pada ikan hiu. Masuk dan keluarnya udara dari rongga mulut, disebabkan oleh perubahan tekanan pada rongga mulut yang ditimbulkan oleh perubahan volume rongga mulut akibat gerakan naik turun rongga mulut. Bila dasar mulut bergerak ke bawah, volume rongga mulut bertambah, sehingga tekanannya lebih kecil dari tekanan air di sekitarnya. Akibatnya, air mengalir ke rongga mulut melalui celah mulut yang pada akhirnya terjadilah proses inspirasi. Bila dasar mulut bergerak ke atas, volume rongga mulut mengecil, tekanannya naik, celah mulut tertutup, sehingga air mengalir ke luar melalui celah insang dan terjadilah proses ekspirasi $CO_2$. Pada saat inilah terjadi pertukaran gas $O_2$ dan $CO_2$.

### 3) *Pernapasan pada ikan paru-paru (Dipnoi)*

Pernapasan ikan paru-paru menyerupai pernapasan pada Amphibia. Selain mempunyai insang, ikan paru-paru mempunyai satu atau sepasang gelembung udara seperti paru-paru yang dapat digunakan untuk membantu pernapasan, yaitu **pulmosis**. Pulmosis banyak dikelilingi pembuluh darah dan dihubungkan dengan kerongkongan oleh *duktus pneumatikus*. Saluran ini merupakan jalan masuk dan keluarnya udara dari mulut ke gelembung dan sebaliknya, sekaligus memungkinkan terjadinya difusi udara ke kapiler darah.

Ikan paru-paru hidup di rawa-rawa dan di sungai. Ikan ini mampu bertahan hidup walaupun airnya kering dan insangnya tidak berfungsi, karena ia bernapas menggunakan gelembung udara. Ada tiga jenis ikan paru-paru di dunia, yaitu ikan paru-paru afrika, ikan paru-paru amerika selatan, dan ikan paru-paru queensland (Australia).

**Tahukah Anda**

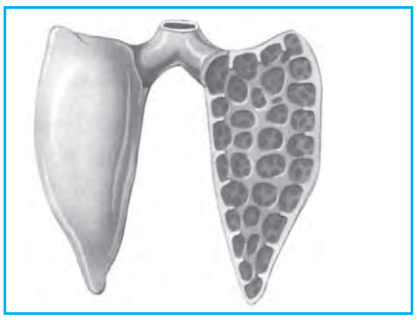
**Labirin**

Ikan lele, ikan gabus, dan ikan betok mampu hidup di perairan dengan kadar oksigen rendah. Hal ini dikarenakan ikan tersebut memiliki alat bantu pernapasan berupa labirin. Adanya labirin akan memperluas permukaan insang sehingga meningkatkan efisiensi pengikatan oksigen.

Pada beberapa jenis ikan, seperti ikan lele, gabus, gurami, dan betok memiliki alat bantu pernapasan yang disebut **labirin**. Labirin merupakan perluasan ke atas dalam rongga insang, dan membentuk lipatan-lipatan sehingga merupakan rongga-rongga tidak teratur. Rongga labirin berfungsi menyimpan udara ($O_2$), sehingga ikan-ikan tersebut dapat bertahan hidup pada perairan yang kandungan oksigennya rendah. Selain dengan labirin, udara ($O_2$) juga disimpan di gelembung renang yang terletak di dekat punggung.

### b. Amphibia

Katak muda (berudu) menggunakan insang untuk mengambil $O_2$ yang terlarut dalam air. Setelah berumur lebih kurang 12 hari, insang luar diganti dengan insang dalam. Setelah dewasa, katak bernapas menggunakan selaput rongga mulut, paru-paru, dan kulit.



**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 7.18**
Bentuk paru-paru pada Amphibia

Selaput rongga mulut dapat berfungsi sebagai alat pernapasan karena tipis dan banyak terdapat kapiler yang bermuara di tempat itu. Pada saat terjadi gerakan rongga mulut dan faring, lubang hidung terbuka dan glotis tertutup, sehingga udara berada di rongga mulut dan berdifusi masuk melalui selaput rongga mulut yang tipis.

Pernapasan dengan kulit dilakukan secara difusi. Hal ini karena kulit katak tipis, selalu lembap, dan mengandung banyak kapiler darah. Pernapasan dengan kulit berlangsung secara efektif baik di air maupun di darat. Oksigen ($O_2$) yang masuk lewat kulit akan diangkut melalui vena kulit paru-paru (*vena pulmo kutanea*) menuju ke jantung untuk diedarkan ke seluruh tubuh. Sebaliknya karbon dioksida ($CO_2$) dari jaringan akan dibawa ke jantung, dari jantung dipompa ke kulit dan paru-paru melalui arteri kulit paru-paru (*arteri pulmo kutanea*). Dengan demikian, pertukaran oksigen dan karbon dioksida terjadi di kulit.

Katak juga bernapas dengan paru-paru, tetapi belum sebaik paru-paru Mammalia. Perhatikan Gambar 7.18. Paru-paru katak berupa sepasang kantung tipis yang *elastis* sehingga udara pernapasan dapat berdifusi, dan dindingnya banyak dikelilingi kapiler darah sehingga paru-paru katak berwarna kemerahan. Paru-paru dengan rongga mulut dihubungkan oleh bronkus yang pendek. Seperti pada ikan, pernapasan pada katak meliputi proses inspirasi dan ekspirasi yang berlangsung pada saat mulut dalam keadaan tertutup. Mekanisme pernapasan ini diatur oleh otot-otot pernapasan, yaitu: otot rahang bawah (*submandibularis*), *sternohioideus*, *geniohioideus*, dan otot perut. Perhatikan Gambar 7.19.

Mekanisme inspirasi dan ekspirasi dijelaskan seperti berikut.

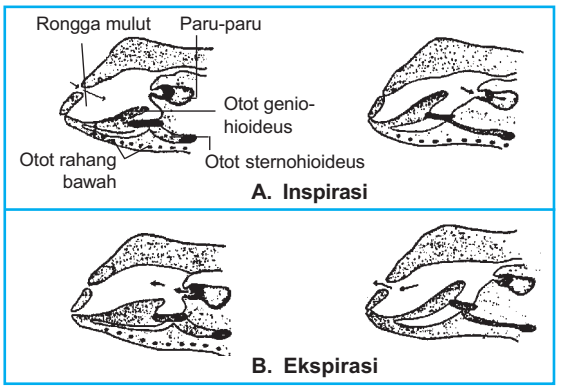
#### 1) *Fase inspirasi*

Fase inspirasi terjadi bila otot sternohioideus berkontraksi sehingga rongga mulut membesar, akibatnya oksigen masuk melalui *koane* (celah hidung).

Setelah itu, koane menutup, otot submandibularis dan otot geniohioideus berkontraksi, sehingga rongga mulut mengecil. Mengecilnya rongga mulut mendorong oksigen masuk ke paru-paru lewat celah-celah. Dalam paru-paru terjadi pertukaran gas, oksigen diikat oleh darah yang berada dalam kapiler dinding paru-paru, dan sebaliknya karbon dioksida dilepaskan ke lingkungan.

**2) *Fase ekspirasi***

Mekanisme ekspirasi terjadi setelah pertukaran gas di dalam paru-paru, otot rahang bawah mengendur atau berelaksasi, sementara otot perut dan sternohioideus berkontraksi. Hal ini mengakibatkan paru-paru mengecil, sehingga udara tertekan keluar dan masuk ke dalam rongga mulut. Selanjutnya koane membuka, sedangkan celah tekak menutup, sehingga terjadi kontraksi otot rahang bawah yang diikuti berkontraksinya otot geniohioideus. Akibatnya, rongga mulut mengecil dan udara yang kaya karbon dioksida terdorong keluar melalui koane.

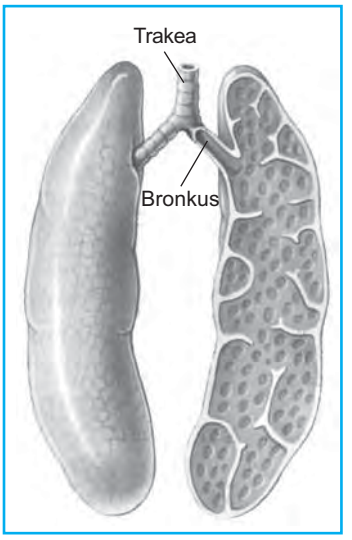



**Gambar 7.19**
Skema mekanisme pernapasan pada katak

## c. Reptilia

Paru-paru Reptilia berada dalam rongga dada dan dilindungi oleh tulang rusuk. Perhatikan Gambar 7.20. Paru-paru Reptilia hanya terdiri dari beberapa lipatan dinding yang berfungsi memperbesar permukaan pertukaran gas. Paru-paru kadal, kura-kura, dan buaya lebih kompleks, dengan beberapa belahan-belahan yang membuat paru-parunya bertekstur seperti spon. Paru-paru pada beberapa jenis kadal, misalnya bunglon Afrika, mempunyai pundi-pundi hawa atau kantung udara cadangan sehingga memungkinkan hewan tersebut melayang di udara.

Reptilia bernapas menggunakan paru-paru. Gas $O_2$ dalam udara masuk melalui lubang hidung → rongga mulut → anak tekak → trakea yang panjang → bronkiolus dalam paru-paru. Dari paru-paru, $O_2$ diangkut darah menuju seluruh jaringan tubuh. Dari jaringan tubuh, gas $CO_2$ diangkut darah menuju jantung untuk dikeluarkan melalui paru-paru → bronkiolus → trakea yang panjang → anak tekak → rongga mulut → lubang hidung. Pada Reptilia yang hidup di air, lubang hidung dapat ditutup ketika menyelam.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 7.20**
Bentuk paru-paru pada Reptilia

## d. Aves

Pada burung, tempat berdifusinya udara pernapasan terjadi di paru-paru. Paru-paru burung berjumlah sepasang dan terletak dalam rongga dada yang dilindungi oleh tulang rusuk.

Jalur pernapasan (masuknya udara ke dalam tubuh) pada burung berturut-turut sebagai berikut.

1) Dua pasang lubang hidung yang terdapat pada pangkal paruh sebelah atas dan pada langit-langit rongga mulut.
2) Celah tekak yang terdapat pada dasar hulu kerongkongan atau faring yang menghubungkan rongga mulut dengan trakea.

3) Trakea atau batang tenggorok yang panjang, berbentuk pipa, dan disokong oleh cincin tulang rawan.
4) Sepasang paru-paru berwarna merah muda yang terdapat dalam rongga dada. Bagian ini meliputi *bronkus kanan* dan *bronkus kiri* yang merupakan cabang bagian akhir dari trakea. Dalam bronkus pada pangkal trakea, terdapat *sirink* (siring), yang pada bagian dalamnya terdapat lipatan-lipatan berupa selaput yang dapat bergetar dan dapat menimbulkan suara. Bronkus bercabang lagi menjadi *mesobronkus*, yang merupakan bronkus sekunder, dan dapat dibedakan menjadi *ventrobronkus* (bagian ventral) dan *dorsobronkus* (bagian dorsal). Ventrobronkus dihubungkan dengan dorsobronkus oleh banyak *parabronkus* (100 atau lebih). Parabronkus berupa tabung kecil. Di parabronkus bermuara banyak kapiler, sehingga memungkinkan udara berdifusi.

Selain paru-paru, burung biasanya memiliki 4 pasang perluasan paru-paru yang disebut **pundi-pundi hawa atau kantung udara** (*saccus pneumaticus*) yang menyebar sampai ke perut, leher, dan sayap. Kantung-kantung udara ini terdapat pada pangkal leher (*saccus cervicalis*), rongga dada (*saccus thoracalis anterior* dan *posterior*), antara tulang selangka atau korakoid (*saccus interclavicularis*), ketiak (*saccus axillaris*), dan di antara lipatan usus atau rongga perut (*saccus abdominalis*). Kantung udara berhubungan dengan paru-paru, berselaput tipis, tetapi tidak terjadi difusi udara pernapasan. Adanya kantung udara mengakibatkan, pernapasan pada burung menjadi efisien.

Kantung udara memiliki beberapa fungsi berikut.
1) Membantu pernapasan, terutama pada waktu terbang, karena menyimpan oksigen cadangan.
2) Membantu mempertahankan suhu badan dengan mencegah hilangnya panas badan secara berlebihan.
3) Membantu memperkeras suara dengan memperbesar ruang siring.
4) Mengatur berat jenis (meringankan) tubuh pada saat burung terbang.

Mekanisme pernapasan pada burung dibedakan menjadi dua, yaitu pernapasan waktu istirahat dan pernapasan waktu terbang.

Pada waktu istirahat, tulang rusuk bergerak ke depan, rongga dada membesar, paru-paru mengembang sehingga udara masuk dan mengalir lewat bronkus ke kantung udara bagian belakang, bersamaan dengan itu udara yang sudah ada di kantung udara belakang mengalir ke paru-paru dan menuju kantung udara depan. Pada saat tulang rusuk kembali ke posisi semula, rongga dada mengecil sehingga udara dari kantung udara masuk ke paru-paru. Selanjutnya, saat di alveolus, $O_2$ diikat oleh darah kapiler alveolus. Jadi, pengikatan $O_2$ berlangsung pada saat inspirasi maupun ekspirasi.

**Tahukah Anda**

**Burung Mampu Terbang Jauh**

Burung dapat terbang karena memiliki sayap. Adanya kantung udara memungkinkan burung dapat terbang dalam waktu yang lama. Burung layang-layang dapat terbang sejauh sekitar 500.000 km dan menghabiskan waktu hidupnya di udara. Hal ini dapat terjadi dengan adanya sistem pernapasan yang baik dan penggunaan oksigen secara efisien.

Pada waktu terbang, inspirasi dan ekspirasi dilakukan oleh kantung-kantung udara. Waktu sayap diangkat ke atas, kantung udara di ketiak mengembang, sedang kantung udara di tulang korakoid terjepit, sehingga terjadi inspirasi ($O_2$ pada tempat itu masuk ke paru-paru). Bila sayap diturunkan, kantung udara di ketiak terjepit, sedang kantung udara di tulang korakoid mengembang, sehingga terjadi ekspirasi ($O_2$ pada tempat itu keluar). Makin tinggi burung terbang, makin cepat burung mengepakkan sayapnya untuk mendapatkan oksigen yang cukup banyak.

Udara luar yang masuk, sebagian kecil tetap berada di paru-paru, dan sebagian besar akan diteruskan ke kantung udara sebagai udara cadangan. Udara pada kantung udara dimanfaatkan hanya pada saat udara ($O_2$) di paru-paru berkurang, yakni saat burung sedang mengepakkan sayapnya.

**Tahukah Anda**

**Gerakan Sayap untuk Keseimbangan**

Selain sebagai alat untuk bergerak terbang, sayap juga digerakkan untuk menjaga keseimbangan tubuh. Burung kolibri mampu melayang tanpa melaju di udara dengan mengepakkan sayapnya sebanyak 50 kali atau lebih per detik.

**Sumber:** *100 Pengetahuan tentang Burung, Pakar Raya*

**Forum Diskusi**

Tentu Anda pernah mendengar kicauan burung. Coba bawalah dua ekor burung pipit ke kelas untuk setiap kelompok. Perhatikan dan amati saat burung bernapas dan berkicau (bersuara). Diskusikan bersama kelompok Anda tentang proses terjadinya pernapasan dan bagaimana suara pada burung timbul. Buat laporan kelompok, presentasikan, dan kumpulkan kepada guru.

### e. Mammalia

Mammalia bernapas menggunakan paru-paru. Gas $O_2$ masuk ke dalam tubuh melalui lubang hidung → faring → laring → trakea → bronkus → paru-paru. Kemudian gas $O_2$ dari paru-paru diangkut darah ke jantung. Dari jantung, gas $O_2$ diedarkan ke seluruh jaringan tubuh oleh darah. Dari jaringan tubuh, gas $CO_2$ diangkut menuju jantung → paru-paru, dan keluar melalui organ-organ yang sama pula.

**Uji Kompetensi B**

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa saja fungsi sel leher (koanosit) pada Porifera?
2. Apa perbedaan alat pernapasan pada ikan bertulang sejati, ikan bertulang rawan, dan ikan paru-paru?
3. Berudu mempunyai sistem pernapasan yang berbeda dengan katak dewasa. Bagaimana perkembangan alat pernapasannya?
4. Burung biasanya mempunyai 4 pasang perluasan paru-paru yaitu pundi-pundi hawa atau kantung udara. Menurut Anda, apa yang akan terjadi jika burung tidak mempunyai pundi-pundi hawa?
5. Mengapa cacing mempunyai permukaan kulit yang selalu basah?

## Tugas Proyek

### Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Bernapas Ikan

Ikan bernapas dengan insang. Insang ikan menghirup oksigen dari air seperti paru-paru manusia yang menghirup oksigen dari udara. Kandungan oksigen di udara sekitar 20 kali lebih banyak daripada kandungan oksigen di dalam air. Oleh karena itu, untuk bernapas, organisme air seperti ikan menghabiskan energi sekitar 20 kali lebih banyak daripada hewan-hewan yang menghirup oksigen langsung dari udara. Anda akan menentukan kecepatan bernapas ikan yang dipengaruhi oleh ukuran tubuh, perubahan suhu, dan kegiatan fisik lingkungan sekitar.

**A. Tujuan**

Mengamati pembukaan mulut ikan dan operkulum (tutup insang) untuk menentukan kecepatan pernapasan ikan yang dipengaruhi oleh ukuran tubuh, perubahan suhu, dan kegiatan fisik.

**B. Alat dan Bahan**

1. stoples berukuran 1 liter bermulut lebar (3 buah)
2. air
3. jaring ikan
4. beberapa ikan mas yang masih kecil
5. *stop-watch*

**C. Cara kerja**

Kegiatan dalam proyek ini dibagi menjadi tiga percobaan yang berbeda yaitu untuk mengetahui pengaruh ukuran tubuh ikan, suhu, dan kegiatan fisik lingkungan sekitarnya terhadap kecepatan bernapas ikan.

1. Pengaruh ukuran tubuh ikan terhadap kecepatan bernapas ikan.
   a. Isilah stoples dengan air hingga separuh penuh.
   b. Gunakan jaring ikan untuk memindahkan ikan yang paling kecil dengan hati-hati dari akuarium ke stoples penguji. Amati anatomi luar ikan dan catat kenampakannya.
   c. Tunggu selama 5 menit untuk membiarkan ikan menjadi tenang setelah pemindahan. Jangan berisik dan jangan bergerak selama Anda melakukan percobaan.
   d. Cari mulut ikan dan penutup insangnya.
   e. Hitung berapa kali ikan membuka mulut dan menutup mulut serta tutup insangnya selama 2 menit menggunakan *stop-watch*. Ulangi proses penghitungan sebanyak tiga kali.
   f. Buatlah rata-rata ketiga pengamatan dan kemudian bagilah dengan dua untuk menentukan rata-rata kecepatan bernapas (jumlah pembukaan mulut/operkulum) selama satu menit. Waktu pengamatan selama dua menit digunakan untuk menghindari besarnya perbedaan perhitungan bila mengukur dalam waktu yang singkat.
   g. Peliharalah ikan tersebut selama 1 bulan. Agar ikan dapat hidup dengan baik, peliharalah ikan tersebut dengan benar menurut petunjuk dari seorang profesional atau dari buku memelihara ikan. Memberi makan ikan harus menjadi salah satu bagian dari pemeliharaan ikan dan bukan sebagai salah satu percobaan.
   h. Selanjutnya, ukurlah pertambahan panjang dan berat tubuh ikan setiap minggunya. Hitung juga berapa kali ikan membuka dan menutup mulut serta tutup insangnya seperti langkah nomor 5 dan 6. Bandingkan kecepatan bernapas ikan pada setiap minggunya.
2. Pengaruh suhu terhadap kecepatan bernapas pada ikan.
   a. Gunakan jaring ikan untuk memindahkan seekor ikan ke dalam stoples uji secara hati-hati.
   b. Letakkan termometer ke dalam stoples dan masukkan stoples ke dalam mangkuk yang diisi air hingga separuh penuh.
   c. Turunkan suhu di dalam stoples 2–3°C dengan cara menambahkan potongan es batu ke dalam air di dalam mangkuk.

d. Aduk air di dalam stoples pelan-pelan setiap kali menambahkan es batu untuk menyamakan suhu dan catat suhunya. Pada setiap selang suhu, tunggulah selama lima menit agar ikan menyesuaikan dengan suhu yang baru. Lakukan secara hati-hati karena perubahan suhu yang terlalu tiba-tiba dapat melukai ikan.

e. Selanjutnya, hitung berapa kali ikan membuka dan menutup mulutnya selama dua menit dan bagi dengan 2 untuk menghitung kecepatan bernapas selama satu menit.

f. Teruskan menurunkan suhu sampai mencapai 5°C. Buatlah grafik yang menunjukkan rata-rata kecepatan bernapas ikan pada setiap tingkatan suhu.

3. Pengaruh kegiatan fisik lingkungan sekitarnya terhadap kecepatan bernapas pada ikan.

a. Gunakan jaring ikan untuk memindahkan seekor ikan ke dalam stoples uji secara hati-hati dan jagalah suhu air agar tidak berubah.

b. Tutuplah stoples dengan kain hitam dan jangan ganggu ikannya dengan suara atau gerakan selama lima menit.

c. Sementara itu, tempatkan diri Anda agar Anda dapat segera mulai menghitung gerakan mulut saat Anda membuka kainnya dengan cepat.

d. Selanjutnya, tentukan kecepatan bernapas ikan yang terkejut dengan menghitung berapa kali ikan membuka dan menutup mulutnya selama dua menit.

**D. Pembahasan dan Kesimpulan**

1. Apakah kecepatan bernapas ikan dipengaruhi oleh ukuran tubuhnya? Jelaskan jawaban Anda.
2. Apakah kecepatan bernapas ikan dipengaruhi oleh suhu? Jelaskan jawaban Anda.
3. Apakah kegiatan fisik mempengaruhi kecepatan bernapas pada ikan? Jelaskan.
4. Bagaimana kecepatan bernapas ikan bila dibandingkan dengan makhluk hidup yang menghirup oksigen langsung dari udara seperti manusia?
5. Apa kesimpulan Anda dari kegiatan ini?

**E. Laporan**

Buatlah laporan kegiatan sesuai dengan struktur penulisan ilmiah.

## Rangkuman

1. Alat-alat pernapasan manusia terdiri dari hidung → faring → laring → trakea → bronkus → bronkiolus → alveolus → paru-paru.
2. Mekanisme pertukaran $O_2$ dan $CO_2$ terjadi di dalam paru-paru dan jaringan tubuh.
3. Mekanisme pernapasan manusia ada pernapasan dada dan pernapasan perut.
4. Frekuensi pernapasan dipengaruhi umur, jenis kelamin, suhu tubuh, posisi tubuh, dan kegiatan tubuh.
5. Volume udara pernapasan dibedakan menjadi lima jenis yaitu volume tidal, volume cadangan inspirasi, volume cadangan ekspirasi, volume total paru-paru, dan volume sisa.
6. Asap rokok dapat mengakibatkan gangguan pada saluran pernapasan karena mengandung bahan kimia berbahaya.
7. Teknologi yang berhubungan dengan kelainan pada sistem pernapasan
   a. Trakeotomi yaitu pembuatan lubang pernapasan bantuan pada trakea bagi penderita tetanus atau diphteri akut.
   b. Pulmonator yaitu alat bantu pernapasan berupa tangki berisi oksigen yang berfungsi untuk napas buatan.
8. Sistem pernapasan pada hewan Invertebrata.
   a. Alat pernapasan pada Porifera terdiri dari pori-pori (ostium), sel leher (koanosit), dan oskulum.

b. Alat pernapasan pada Vermes ada 2 macam yaitu permukaan tubuh dan insang.
c. Alat pernapasan pada Mollusca ada 2 macam yaitu insang dan paru-paru.
d. Alat pernapasan pada Arthropoda ada bermacam-macam.
   - Insecta bernapas menggunakan sistem trakea.
   - Arachnida dan Scorpionida bernapas menggunakan paru-paru buku.
   - Crustacea bernapas menggunakan insang buku.

9. Sistem pernapasan pada hewan Vertebrata sebagai berikut.
   a. Alat pernapasan pada Pisces yaitu insang.
   b. Alat pernapasan pada Amphibia berudu yaitu insang.
      Alat pernapasan pada Amphibia dewasa yaitu paru-paru.
   c. Alat pernapasan pada Reptilia yaitu selaput rongga mulut dan permukaan kulit.
   d. Alat pernapasan pada Aves yaitu paru-paru.
   e. Alat pernapasan pada Mammalia yaitu paru-paru.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Urutan alat pernapasan manusia yang benar yaitu . . . .
   1) laring
   2) bronkus
   3) trakea
   4) faring
   5) alveolus
   6) bronkiolus
   a. 1) – 4) – 2) – 6) – 3) – 5)
   b. 3) – 4) – 1) – 5) – 2) – 6)
   c. 4) – 1) – 3) – 2) – 6) – 5)
   d. 4) – 3) – 1) – 2) – 6) – 5)
   e. 3) – 4) – 1) – 2) – 6) – 5)

2. Jalur yang tepat untuk menunjukkan keluarnya karbon dioksida dari tubuh yaitu . . . .
   a. alveolus → bronkiolus → bronkus → laring → trakea
   b. alveolus → bronkiolus → bronkus → trakea → laring
   c. alveolus → bronkus → bronkiolus → trakea → laring
   d. laring → trakea → bronkus → bronkiolus → alveolus
   e. trakea → laring → bronkus → bronkiolus → alveolus

3. Seorang atlet renang dapat bertahan cukup lama menyelam di dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa atlet tersebut memiliki . . . .
   a. volume tidal yang sangat besar
   b. kapasitas paru-paru besar
   c. udara residu paru-paru yang sangat besar
   d. kapasitas inspirasi besar
   e. udara cadangan paru-paru besar

4. Aliran udara ke paru-paru dapat berlangsung normal karena . . . .
   a. mengecilnya volume rongga dada
   b. diafragma berkontraksi
   c. meningkatnya tekanan dalam rongga dada
   d. gerakan ke dalam tulang rusuk
   e. relaksasi otot antartulang rusuk

5. Bagian sistem pernapasan yang rusak pada penderita emfisema yaitu . . . .
   a. alveolus
   b. bronkiolus
   c. laring
   d. membran pleura
   e. trakea

6. Fungsi silia pada trakea yaitu . . . .
   a. membuat lendir mengalir ke faring
   b. memperkuat dinding trakea
   c. membuat dan mengeluarkan lendir
   d. menghangatkan udara pernapasan yang masuk
   e. menangkap kuman yang masuk bersama udara pernapasan

7. Ciri pernapasan dada pada waktu inspirasi yaitu . . . .
   a. otot antartulang rusuk luar berkontraksi dan rongga dada membesar
   b. otot antartulang rusuk luar berkontraksi dan rongga dada mengecil
   c. otot antartulang rusuk berkontraksi dan rongga perut membesar
   d. rongga dada membesar dan otot antartulang rusuk luar relaksasi
   e. rongga dada membesar dan rongga perut mengecil

8. Aliran udara dari udara bebas ke paru-paru dan sebaliknya ditentukan oleh perubahan tekanan udara pada . . . .
   a. otot antartulang rusuk, otot diafragma, dan otot dinding perut
   b. otot tulang rusuk, rongga dada, dan rongga perut
   c. otot tulang rusuk, rongga paru-paru, dan rongga dada
   d. rongga paru-paru, rongga perut, dan rongga dada
   e. rongga perut, rongga paru-paru, dan otot antartulang rusuk

9. Aku merupakan pipa yang tersusun atas otot polos dan tulang rawan yang berbentuk huruf C. Dindingku tersusun atas 3 lapisan. Lapisan terdalamku menghasilkan banyak lendir yang berguna untuk menangkap dan mengembalikan benda-benda asing ke saluran pernapasan sebelum masuk ke paru-paru bersama udara pernapasan. Aku disebut . . . .
   a. bronkus
   b. faring
   c. laring
   d. trakea
   e. bronkiolus

10. Pada pertukaran gas di paru-paru, udara yang masuk untuk menyegarkan udara alveolus sebanyak . . . mL.
   a. 500
   b. 350
   c. 250
   d. 1.500
   e. 2.500

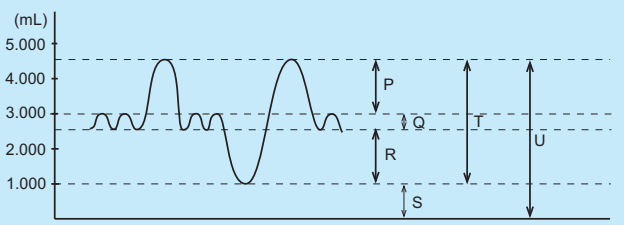
11. Penyakit yang terjadi karena abnormalitas susunan dan fungsi alveolus sering disebut . . . .
   a. pertusis
   b. pleuritis
   c. bronkitis
   d. emfisema
   e. asfiksi

12. Pernyataan yang menunjukkan mekanisme pernapasan dada dan fasenya yaitu . . . .
   a. otot antartulang rusuk luar berkontraksi → ekspirasi
   b. otot sekat rongga dada berontraksi → ekspirasi
   c. otot antartulang rusuk dalam berkontraksi → ekspirasi
   d. otot dinding perut berkontraksi → inspirasi
   e. otot antartulang rusuk dalam berkontraksi → inspirasi

13. Pernyataan mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi frekuensi pernapasan yang tidak sesuai yaitu . . .
   a. Semakin bertambah umur seseorang, semakin rendah frekuensi pernapasannya.
   b. Volume paru-paru laki-laki lebih besar sehingga frekuensi pernapasannya lebih rendah dibandingkan dengan wanita.
   c. Semakin tinggi suhu tubuh, semakin cepat frekuensi pernapasannya.
   d. Pada posisi duduk, beban berat tubuh disangga oleh sebagian besar bagian tubuh sehingga frekuensi pernapasannya juga lebih tinggi dibandingkan saat tidur.
   e. Orang yang banyak melakukan kegiatan, frekuensi pernapasannya lebih tinggi dibandingkan dengan orang yang tidak melakukan kegiatan (santai/tidur).

14. Setelah melakukan ekspirasi normal di dalam paru-paru masih tertinggal udara . . . .
   a. vital
   b. residu
   c. suplementer
   d. tidal
   e. komplementer

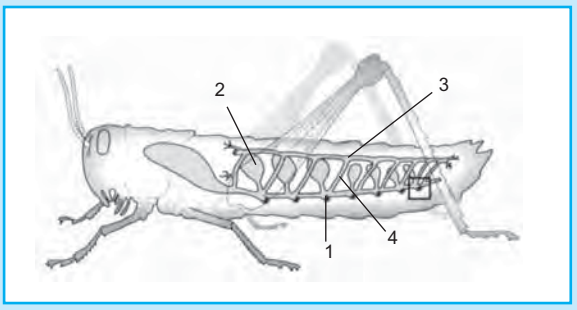
Grafik berikut berhubungan dengan soal nomor 15 dan 16.




15. Bagian yang ditunjuk U merupakan volume udara yang dapat ditampung paru-paru sebesar . . . .
   a. volume tidal + kapasitas vital
   b. volume sisa + volume cadangan ekspirasi
   c. volume cadangan inspirasi + volume cadangan ekspirasi
   d. kapasitas vital + volume sisa
   e. volume tidal + volume sisa

16. Berdasarkan grafik, yang disebut sebagai udara suplementer dan udara komplementer berturut-turut . . . .
   a. T dan P
   b. P dan T
   c. R dan P
   d. P dan R
   e. Q dan S

17. Karbon monoksida dan asam sianida dapat mengganggu sistem pernapasan karena . . . .
    a. menyebabkan pembengkakan kelenjar limfa
    b. menurunkan afinitas Hb
    c. menyebabkan penambahan cairan intrapleura
    d. afinitas zat tersebut besar terhadap oksigen
    e. menyebabkan terbentuknya bintik-bintik kecil pada dinding alveolus

18. 


    Dari gambar di atas yang merupakan tempat keluar masuknya udara adalah nomor . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 1 dan 2

19. Pernapasan pada laba-laba dan kalajengking menggunakan . . . .
    a. stigma
    b. trakea
    c. paru-paru
    d. insang
    e. paru-paru buku

20. Pernapasan pada katak dapat menggunakan kulit karena . . . .
    a. hewan amfibi
    b. kulitnya berlubang-lubang
    c. kulitnya tipis, lembap, dan mengandung banyak pembuluh darah
    d. kulitnya tebal dan kering
    e. kulitnya memiliki insang

21. Paru-paru burung mengalami perluasan yang disebut . . . .
    a. paru-paru tambahan
    b. parabronki
    c. kantung udara
    d. trakeolus
    e. spirakel

22. Pernyataan yang tepat mengenai pernapasan terdapat pada . . .
    a. Pernapasan merupakan proses pertukaran $CO_2$ dari udara bebas dengan $O_2$ hasil metabolisme.
    b. Pernapasan eksternal terjadi di luar tubuh organisme.
    c. Pernapasan internal terjadi di dalam sel yaitu di ribosom dan mitokondria.
    d. Coelenterata dan Arthropoda sudah memiliki sistem pernapasan khusus, walaupun masih sederhana.
    e. Hewan-hewan Invertebrata umumnya melakukan pernapasan secara difusi.

23. Perhatikan beberapa organisme berikut.
    1) Insecta
    2) Arachnida
    3) Crustacea
    4) Myriapoda
    5) Annelida

    Organisme yang bernapas dengan trakea yaitu nomor . . . .
    a. 1) dan 3)
    b. 1) dan 4)
    c. 2) dan 4)
    d. 2) dan 5)
    e. 3) dan 5)

24. Selain berfungsi sebagai alat pernapasan, sel leher pada Porifera juga berperan dalam . . . .
    a. proses pencernaan dan sirkulasi zat makanan
    b. proses pergerakan dan difusi makanan
    c. proses pemecahan senyawa dan pencernaan
    d. proses difusi makanan dan pemecahan senyawa
    e. proses sirkulasi makanan dan difusi makanan

25. Berikut merupakan fungsi insang ikan, yaitu . . . .
    1) Alat pernapasan
    2) Alat pertukaran sel kelamin
    3) Alat penyaringan makanan
    4) Alat ekskresi ion
    5) Osmoregulator

    a. 1) dan 3)
    b. 1) dan 4)
    c. 1) dan 5)
    d. 2) dan 4)
    e. 3) dan 4)

26. Pada katak dewasa peredaran $O_2$ ke seluruh tubuh dilakukan oleh . . . .
    a. arteri pulmo kutanea
    b. vena pulmo kutanea
    c. arteri kutanea
    d. vena kutanea
    e. vena pulmonalis

27. Pertukaran $O_2$ dan $CO_2$ pada katak dewasa terjadi di . . . .
    a. insang
    b. mulut
    c. kulit
    d. trakea
    e. paru-paru

28. Susunan yang benar dari proses ekspirasi Reptilia yaitu $CO_2$ dari jaringan tubuh diangkut darah menuju . . . .
    1) bronkiolus
    2) trakea
    3) anak tekak
    4) lubang hidung
    5) jantung
    6) paru-paru
    7) rongga mulut

    a. 6) – 5) – 1) – 3) – 2) – 4) – 7)
    b. 6) – 1) – 5) – 3) – 2) – 7) – 4)
    c. 5) – 6) – 1) – 2) – 3) – 4) – 7)
    d. 5) – 6) – 1) – 2) – 3) – 7) – 4)
    e. 6) – 5) – 1) – 2) – 3) – 4) – 7)

29. Fungsi kantung udara pada burung waktu terbang yaitu . . . .
    a. memperkecil rongga dada
    b. memperbesar rongga dada
    c. membantu pernapasan
    d. memperkeras suara
    e. melindungi alat-alat dalam

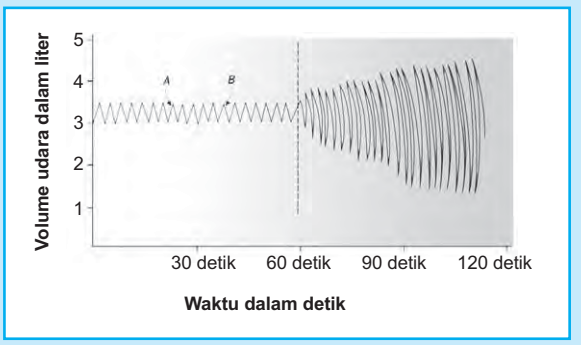
30. Sistem yang berkaitan langsung dengan pernapasan adalah sistem . . . .
    a. otot
    b. ekskresi
    c. pencernaan
    d. sirkulasi
    e. regulasi

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa yang dimaksud dengan pernapasan?
2. Jelaskan perbedaan dan persamaan antara pernapasan eksternal dan pernapasan internal.
3. Mengapa makhluk hidup perlu melakukan proses pernapasan?
4. Jelaskan mekanisme pernapasan dada dan pernapasan perut pada manusia.
5. Ketika udara memasuki rongga hidung, udara akan mengalami beberapa proses sebelum memasuki faring. Coba Jelaskan proses yang dialami udara tersebut.
6. Apa yang anda ketahui tentang:
    a. asma,
    b. tuberkulosis,
    c. pleuritis,
    d. faringitis.
7. Bagaimana mekanisme pernapasan pada hewan-hewan Invertebrata yang belum memiliki sistem pernapasan khusus?
8. Jelaskan mekanisme pernapasan pada Insecta.
9. Jelaskan mekanisme inspirasi dan ekspirasi pada ikan bertulang sejati.
10. Jelaskan fungsi dari kantung udara pada burung pada saat burung terbang.

C. *Berpikir kritis.*

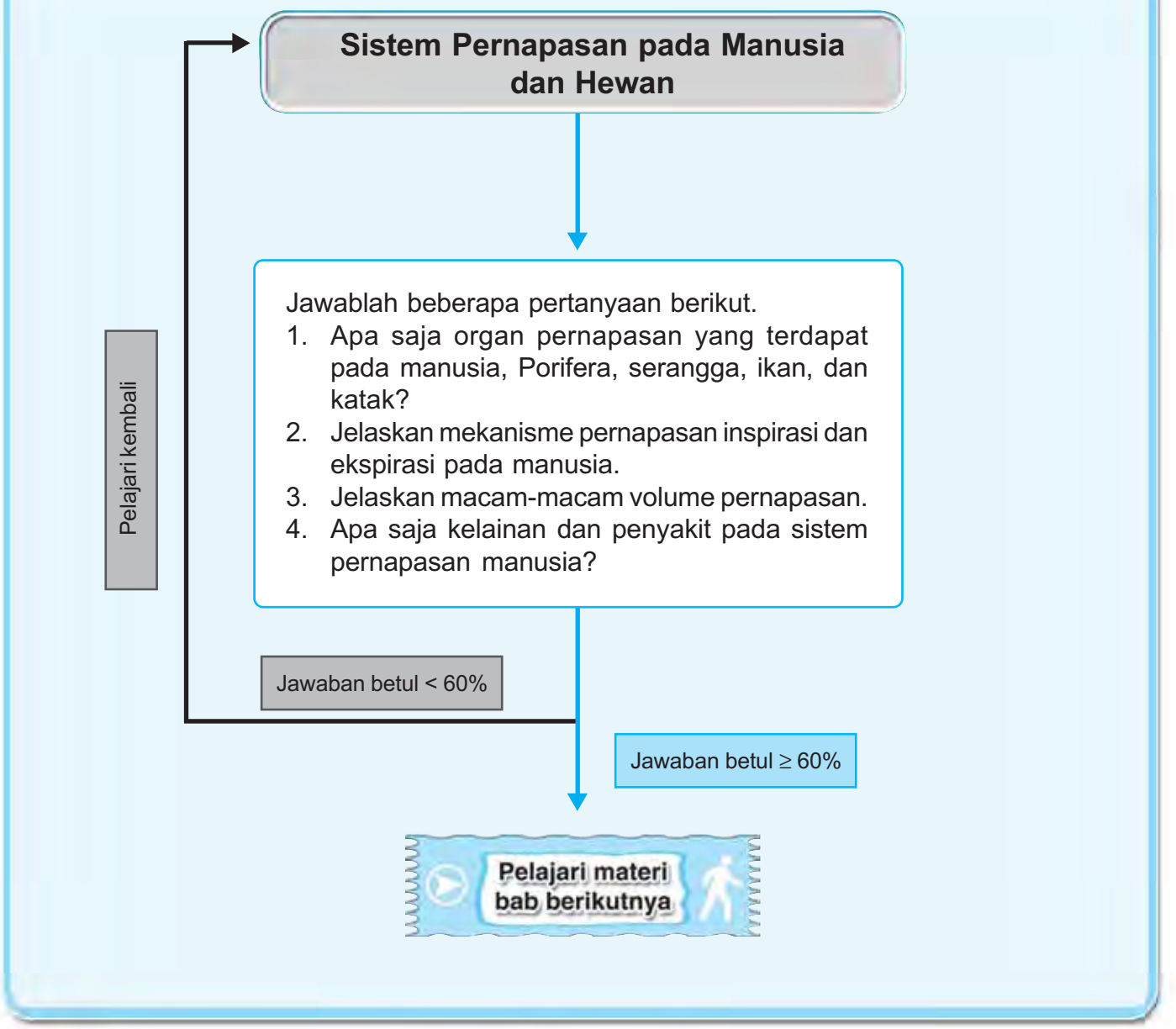
Spirometer adalah alat untuk mengukur volume udara pernapasan. Dalam sebuah eksperimen, seseorang istirahat selama 1 menit, kemudian melakukan kegiatan selama 1 menit berikutnya. Kecepatan pernapasan orang tersebut direkam dalam diagram seperti di bawah ini.




Pertanyaan:

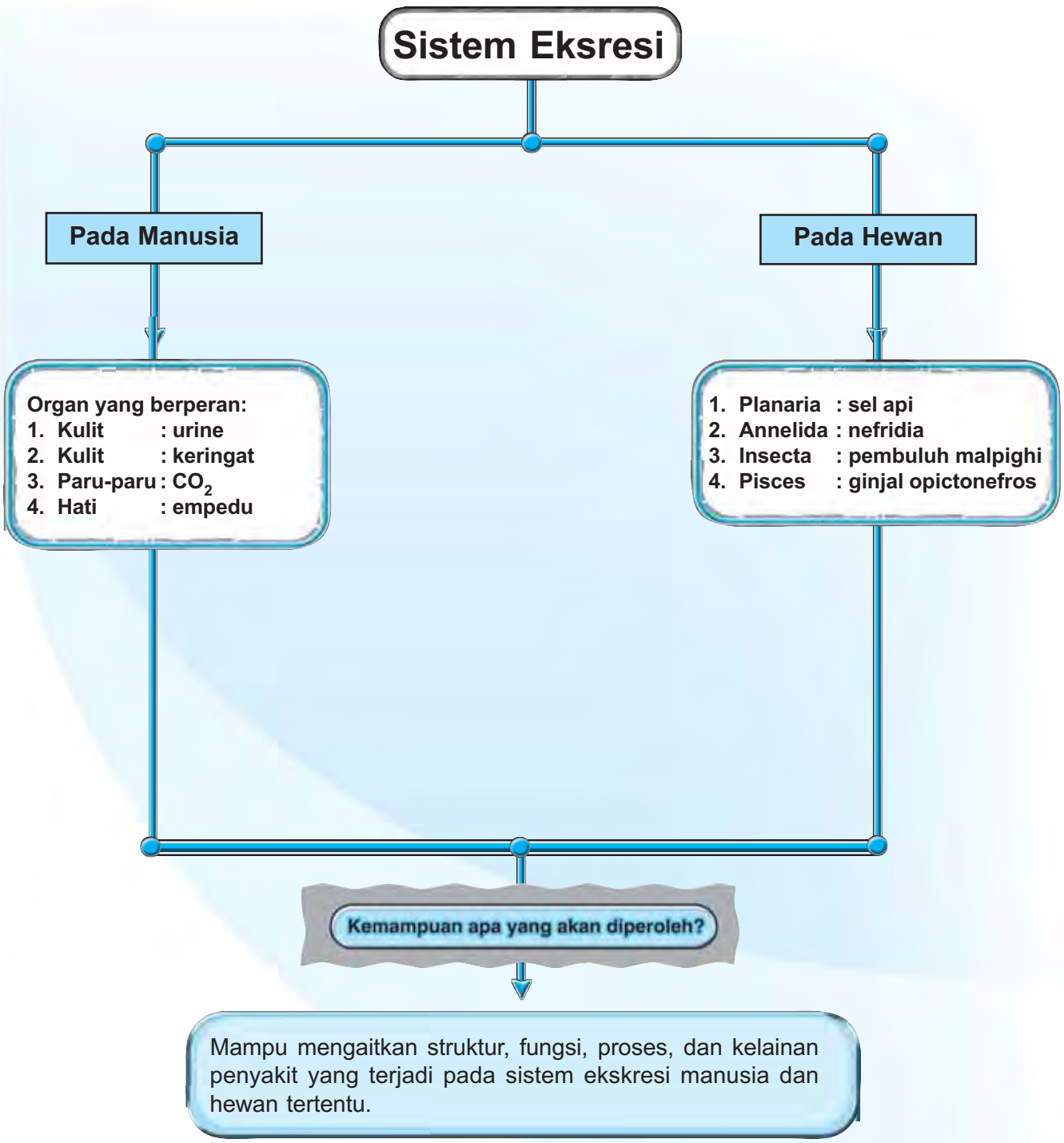
1. Saat istirahat, berapa pernapasan orang tersebut selama 1 menit?
2. Berapa volume udara yang diisap dalam sekali pernapasan pada waktu istirahat dan disebut volume udara apa?
3. Mana yang menunjukkan terjadinya ekspirasi, A atau B?

## Refleksi


Sistem Pernapasan pada Manusia dan Hewan
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.
1. Apa saja organ pernapasan yang terdapat pada manusia, Porifera, serangga, ikan, dan katak?
2. Jelaskan mekanisme pernapasan inspirasi dan ekspirasi pada manusia.
3. Jelaskan macam-macam volume pernapasan.
4. Apa saja kelainan dan penyakit pada sistem pernapasan manusia?
Pelajari kembali
Jawaban betul < 60%
Jawaban betul ≥ 60%
Pelajari materi bab berikutnya

# Bab VIII

# Sistem Ekskresi pada Manusia dan Hewan



**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Manusia menganggap buang air seni merupakan hal yang biasa. Namun, menurut ahli kesehatan, buang air seni merupakan suatu kebutuhan bagi manusia. Manusia dianggap sehat apabila tubuh mengeluarkan air seni sekitar 1 liter setiap harinya.

Pada bab ini akan dipelajari tentang alat-alat tubuh yang berperan dalam sistem ekskresi. Dengan demikian, Anda dapat mengetahui fungsi dari masing-masing alat ekskresi. Setelah mempelajari bab ini Anda akan mampu mengenali alat dan fungsinya pada sistem ekskresi manusia dan hewan. Selanjutnya, Anda juga mampu menyebutkan macam-macam gangguan pada alat-alat ekskresi.

**Kata Kunci**

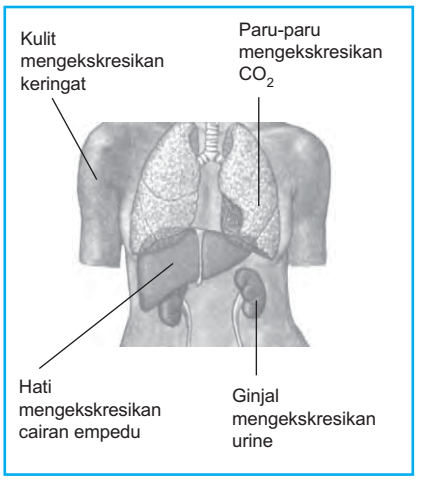
ekskresi
urine
ginjal
sel api
reabsorpsi
nefridia
pembuluh Malphigi
hati
kulit
paru
kelenjar keringat
empedu
glomerulus

Buang air seni merupakan salah satu cara bagi tubuh untuk mengeluarkan zat-zat sisa hasil metabolisme. Zat-zat sisa ini harus dikeluarkan agar tidak meracuni tubuh. Proses pengeluaran zat-zat sisa hasil metabolisme ini dinamakan **ekskresi**. Memang sungguh besar kekuasaan Tuhan yang mengatur dan menyeimbangkan mekanisme kerja tubuh manusia sehingga tubuh dengan sendirinya bekerja mengeluarkan zat-zat yang tidak berguna tanpa diatur dan dirancang oleh manusia.

## A. Sistem Ekskresi pada Manusia

Mengeluarkan air seni, berkeringat, dan mengembuskan napas merupakan cara-cara tubuh untuk melakukan ekskresi. Zat-zat sisa hasil metabolisme ini dikeluarkan dalam bentuk urine, keringat, dan karbon dioksida. Zat-zat sisa ini diekskresikan di antaranya melalui organ ginjal, kulit, dan paru-paru. Perhatikan Gambar 8.1. Anda tentu pernah mengenal alat-alat ekskresi tersebut. Tugas kelompok berikut ini akan mengingatkan Anda tentang organ-organ ekskresi pada tubuh manusia.

Buatlah carta alat-alat ekskresi secara berkelompok. Satu kelompok membuat 1 carta. Hasil carta masing-masing kelompok dapat dipasang di kelas atau di laboratorium. Carta ini dapat digunakan untuk mempermudah Anda dalam mempelajari alat-alat ekskresi.




**Sumber:** *Inquiry into Life, S. S. Mader*

**Gambar 8.1**
Alat-alat ekskresi pada manusia

Berikut ini adalah beberapa alat ekskresi yang terdapat pada manusia.

### 1. Ginjal

Dalam tubuh terdapat sepasang ginjal terletak di sebelah kanan dan kiri yang berdekatan dengan tulang-tulang pinggang. Bentuk ginjal seperti kacang ercis dengan panjang lebih kurang 10 cm.

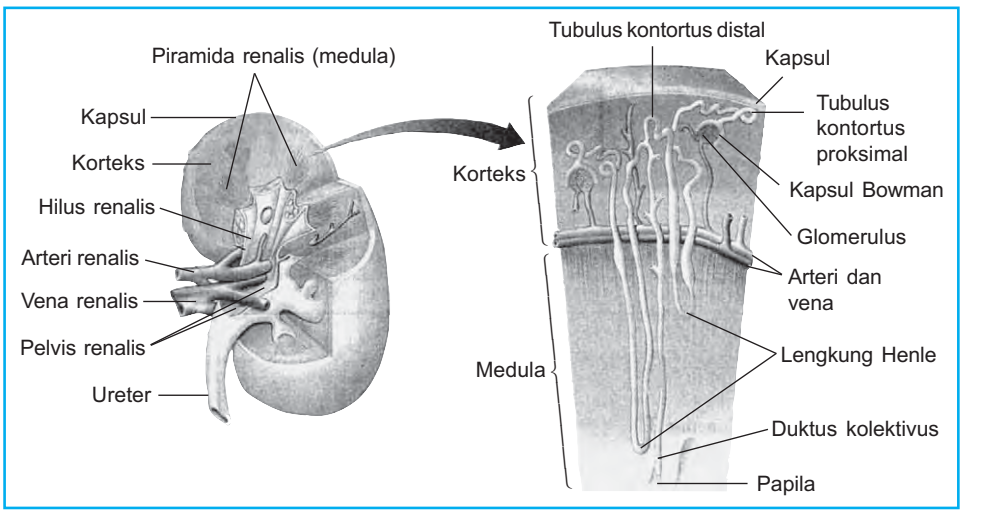
#### a. Struktur Ginjal

Ginjal terdiri dari dua lapisan, yaitu lapisan luar yang disebut **korteks** dan lapisan dalam disebut **medula**. Korteks mengandung jutaan alat penyaring yang disebut **nefron**. Tiap nefron terdapat **badan Malpighi** (badan renalis). Badan Malpighi tersusun dari **kapsul Bowman** dan **glomerulus**. Medula terdapat tubulus kontorti (tubulus renalis) yang bermuara pada tonjolan di pelvis renalis (ruang ginjal). Tubulus renalis ada tiga macam yaitu *tubulus kontortus*

*proksimal* yang menyalurkan filtrat dari kapsul Bowman, lengkung *Henle* yang berupa saluran panjang menghujam ke bawah kemudian berbelok naik ke atas, dan *tubulus kontortus distal* yang menyalurkan filtrat ke duktus kolektivus. Jadi, perjalanan filtrat secara singkat dapat dituliskan dengan alur seperti berikut.

Kapsul Bowman → tubulus kontortus distal → lengkung Henle → tubulus kontortus proksimal → duktus kolektivus

Nefron pada ginjal manusia terdapat 2 tipe yaitu **nefron cortikal** dan **nefron duxtamedular**. Nefron cortikal terdiri dari glomerulus dengan ukuran relatif kecil dan letaknya selalu di dalam korteks atau di luar medula. Sementara itu, nefron duxtamedular memiliki glomerulus yang berukuran besar dan memiliki lengkung Henle yang memanjang masuk ke medula. Lengkung Henle terdiri atas lengkung Henle descending yang mengangkut filtrat dari tubulus kontortus proksimal dan lengkung Henle ascending mengangkut filtrat menuju tubulus kontortus distal. Nefron duxtamedular ini berperan mengatur konsentrasi urine agar urine yang akan diekskresikan bersifat hipertonis dibandingkan cairan tubuh. Perhatikan Gambar 8.2 untuk mengetahui lebih jelas mengenai struktur ginjal.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.2**
Struktur ginjal

Sebagai langkah untuk mengenal struktur ginjal secara langsung, lakukan eksperimen berikut.

## Eksperimen 1

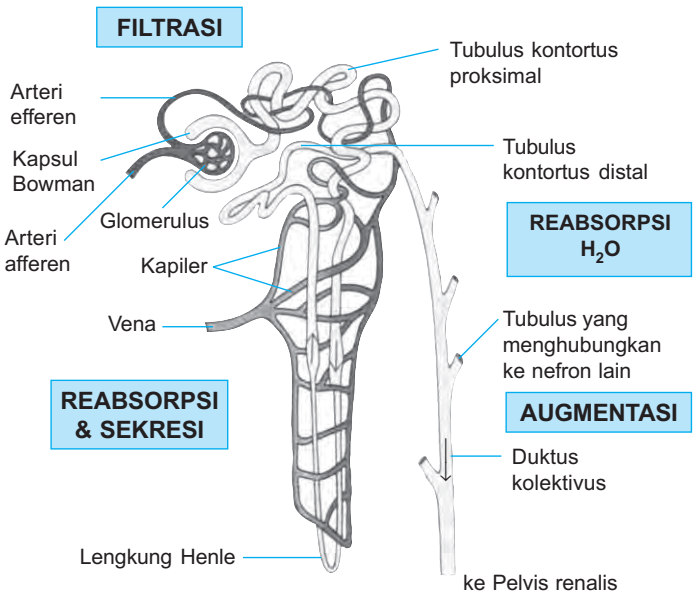
### Mengenal Struktur Ginjal

Sediakan satu buah ginjal kambing atau sapi dan pisau daging. Belahlah ginjal tersebut secara membujur. Amati ginjal hasil potongan Anda.

**Pertanyaan:**

1. Gambarlah penampang bujur ginjal tersebut dan berilah keterangan bagian-bagiannya.
2. Warnai gambar bagian-bagian ginjal sesuai warna aslinya.

Di dalam ginjal terjadi proses pembentukan urine. Urine terbentuk melalui serangkaian proses **filtrasi** (penyaringan) zat-zat sisa yang beracun, **reabsorpsi** dan **sekresi**, serta **augmentasi** (pengumpulan) zat-zat sisa yang tidak diperlukan lagi. Perhatikan Gambar 8.3




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.3**
Tempat berlangsungnya pembentukan urine

## b. Proses Pembentukan Urine

Mula-mula darah yang mengandung air, garam, glukosa, urea, asam amino, dan amonia mengalir ke dalam glomerulus untuk menjalani proses filtrasi. Proses ini terjadi karena adanya tekanan darah akibat pengaruh dari mengembang dan mengerutnya arteri yang memanjang menuju dan meninggalkan glomerulus. Akhir filtrasi dari glomerulus ditampung oleh kapsul Bowman dan menghasilkan **filtrat glomerulus** atau **urine primer**. Secara normal, setiap hari kapsul Bowman dapat menghasilkan 180 L filtrat glomerulus.

Filtrat glomerulus atau urine primer masih banyak mengandung zat yang diperlukan tubuh antara lain glukosa, garam-garam, dan asam amino. Perhatikan Tabel 8.1. Filtrat glomerulus ini kemudian diangkut oleh tubulus kontortus proksimal. Di tubulus kontortus proksimal zat-zat yang masih berguna direabsorpsi. Seperti asam amino, vitamin, dan beberapa ion yaitu $Na^+$, $Cl^-$, $HCO_3^-$, dan $K^+$. Sebagian ion-ion ini diabsorpsi kembali secara transpor aktif dan sebagian yang lain secara difusi.

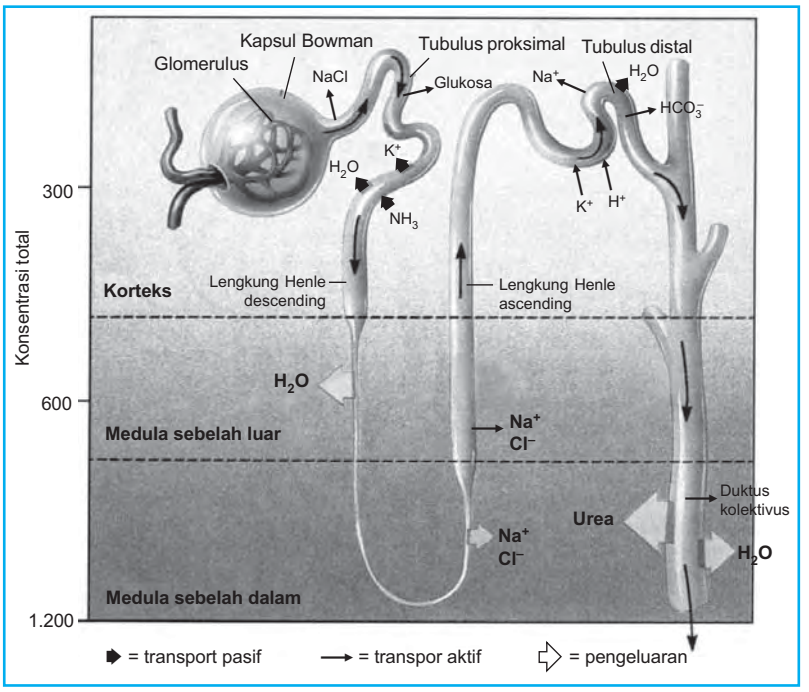
Proses reabsorpsi masih tetap berlanjut seiring dengan mengalirnya filtrat menuju lengkung Henle dan tubulus kontortus distal. Pada umumnya, reabsorpsi zat-zat yang masih berguna bagi tubuh seperti glukosa dan asam amino berlangsung di tubulus renalis. Akan tetapi, apabila konsentrasi zat tersebut dalam darah sudah tinggi, tubulus tidak mampu lagi mengabsorpsi zat-zat tersebut. Apabila hal ini terjadi, maka zat-zat tersebut akan diekskresikan bersama urine. Perhatikan Gambar 8.4 untuk lebih memahami mengenai proses reabsorpsi.

Selain reabsorpsi, di dalam tubulus juga berlangsung sekresi. Seperti $K^+$, $H^+$, $NH_4^+$ disekresi dari darah menuju filtrat. Selain itu, obat-obatan seperti penisilin juga disekresi dari darah. Sekresi ion hidrogen ($H^+$) berfungsi untuk mengatur pH dalam darah. Misalnya dalam darah terlalu asam maka ion hidrogen disekresikan ke dalam urine.

Sekresi $K^+$ juga berfungsi untuk menjaga mekanisme homeostasis. Apabila konsentrasi $K^+$ dalam darah tinggi, dapat menghambat rangsang impuls serta menyebabkan kontraksi otot dan jantung menjadi menurun dan melemah. Oleh karena itu, $K^+$ kemudian disekresikan dari darah menuju tubulus renalis dan dieksresikan bersama urine.

**Tabel 8.1** Komposisi Utama Urine Primer

| Molekul | Kadar per Gram |
|---|---|
| Air | 900 |
| Protein | 0 |
| Glukosa | 1 |
| Asam amino | 0,5 |
| Urea | 0,3 |
| Ion anorganik | 7,2 |




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 8.4**
Diagram proses reabsorpsi

Pada saat terjadi proses reabsorpsi dan sekresi di sepanjang tubulus renalis secara otomatis juga berlangsung pengaturan konsentrasi pada urine. Sebagai contoh, konsentrasi garam diseimbangkan melalui proses reabsorpsi garam. Di bagian lengkung Henle terdapat NaCl dalam konsentrasi tinggi. Keberadaan NaCl ini berfungsi agar cairan di lengkung Henle senantiasa dalam keadaan hipertonik. Dinding lengkung Henle descending bersifat permeabel untuk air, akan tetapi impermeabel untuk Na dan urea. Konsentrasi Na yang tinggi ini menyebabkan filtrat terdorong ke lengkung Henle bagian bawah dan air bergerak keluar secara osmosis.

Di lengkung Henle bagian bawah, permeabilitas dindingnya berubah. Dinding lengkung Henle bagian bawah menjadi permeabel terhadap garam dan impermeabel terhadap air. Keadaan ini mendorong filtrat untuk bergerak ke lengkung Henle ascending.

Air yang bergerak keluar dari lengkung Henle descending dan air yang bergerak masuk saat di lengkung Henle ascending membuat konsentrasi filtrat menjadi isotonik. Setelah itu, filtrat terdorong dari tubulus renalis menuju duktus kolektivus. Duktus kolektivus bersifat permeabel terhadap urea. Di sini urea keluar dari filtrat secara difusi. Demikian juga dengan air yang bergerak keluar dari filtrat secara osmosis. Keluarnya air ini menyebabkan konsentrasi urine menjadi tinggi.

Dari duktus kolektivus, urine dibawa ke pelvis renalis. Dari pelvis renalis, urine mengalir melalui ureter menuju vesika urinaria (kantong kemih) yang merupakan tempat penyimpanan sementara bagi urine.

**Tahukah Anda**

**Tubulus Terpanjang**

Kapsul Bowman sampai tubula merupakan satu saluran. Pada orang dewasa panjang seluruh tubula diperkirakan 7.500.000 sampai 15.000.000 cm atau kurang lebih 7,5 sampai 15 km.

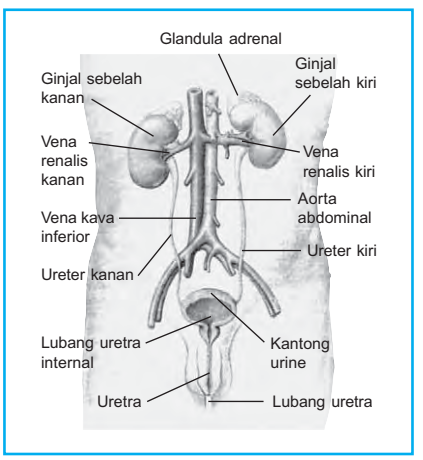
Simaklah Tabel 8.2 berikut ini agar lebih mudah memahami proses pembentukan urine.

**Tabel 8.2** Langkah-Langkah Pembentukan Urine

| Nama | Proses yang Terjadi | Contoh Molekul yang Diproses |
|---|---|---|
| Filtrasi di glomerulus | Darah mengalir masuk ke glomerulus. Darah mengalami proses filtrasi. | Air, glukosa, asam amino, garam, urea, dan amonia |
| Reabsorpsi di tubulus | Terjadi difusi dan transpor aktif molekul-molekul dari tubulus kontortus proksimal ke darah. | Air, glukosa, asam amino, dan garam |
| Sekresi di tubulus | Terjadi transpor aktif molekul-molekul dari darah ke tubulus kontortus distal. | Amonia, ion hidrogen, penisilin, dan asam urat |
| Reabsorpsi air | Terjadi reabsorpsi air di sepanjang tubulus terutama di duktus kolektivus. | Garam dan air |
| Ekskresi | Terbentuk urine yang sesungguhnya. | Air, garam, urea, amonium, dan asam urat |

Urine ditampung di dalam kantong kemih (*vesica urinaria*) hingga mencapai kurang lebih 300 cc. Kemudian melalui uretra, urine dikeluarkan dari tubuh. Pengeluaran urine ini diatur oleh **otot sfinkter**. Perhatikan Gambar 8.5 mengenai sistem urinaria pada manusia.

Pembentukan urine dari plasma darah menyebabkan terjadinya banyak perubahan kandungan zat, seperti yang terlihat pada Tabel 8.3.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.5**
Sistem urinaria pada manusia

**Tabel 8.3** Kandungan Zat di Dalam Plasma Darah dan Urine

| Komponen | Plasma | Filtrat Nefron | Urine | Konsentrasi | Substrat yang Tersaring |
|---|---|---|---|---|---|
| Urea | 0,03 | 0,03 | 1,8 | 60x | 50% |
| Asam urat | 0,004 | 0,004 | 0,05 | 12x | 91% |
| Glukosa | 0,10 | 0,10 | Tidak ada | – | 100% |
| Asam amino | 0,05 | 0,05 | Tidak ada | – | 100% |
| Jumlah garam anorganik | 0,9 | 0,9 | < 0,9 – 3,6 | < 1 – 4x | 99,3% |
| Protein dan koloid lain | 8,0 | Tidak ada | Tidak ada | – | – |

## Forum Diskusi

Berdasarkan Tabel 8.3, coba Anda diskusikan mengenai tanda-tanda urine seseorang dapat dikatakan normal. Menurut Anda, kira-kira organ apa yang mengalami kerusakan apabila urine mengandung asam amino atau glukosa?

Di dalam urine tidak lagi terdapat protein dan glukosa. Apabila di dalam urine terdapat senyawa-senyawa tersebut, ini menunjukkan adanya gangguan pada ginjal.

### c. Hal-Hal yang Mempengaruhi Produksi Urine

Ahli kesehatan mengatakan bahwa dengan banyak mengeluarkan urine maka tubuh menjadi sehat. Dikatakan sehat apabila dalam sehari mengeluarkan urine sekitar lebih kurang 1 liter. Banyak sedikitnya urine yang dikeluarkan setiap harinya di antaranya dipengaruhi oleh zat-zat diuretika, suhu, konsentrasi darah, dan emosi.

Zat-zat diuretika mampu menghambat reabsorpsi ion $Na^+$. Akibatnya konsentrasi Anti Diuretik Hormon (ADH) berkurang sehingga reabsorpsi air menjadi terhambat dan volume urine meningkat.

Peningkatan suhu merangsang pengerutan abdominal sehingga aliran darah di glomerulus dan filtrasi turun. Selain itu, peningkatan suhu juga meningkatkan kecepatan respirasi. Hal ini menyebabkan volume urine menjadi turun.

Apabila kita tidak minum air seharian, maka konsentrasi (kadar) air dalam darah menjadi rendah. Hal ini akan merangsang hipofisis mengeluarkan ADH. Hormon ini akan meningkatkan reabsorpsi air di ginjal sehingga volume urine menurun. Demikian juga pada saat tegang atau marah dapat merangsang terjadinya perubahan volume urine.

### d. Gangguan dan Kelainan pada Ginjal

Fungsi ginjal sebagai alat ekskresi dapat terganggu oleh berbagai sebab yang dapat menimbulkan penyakit dan kelainan-kelainan pada tubuh. Macam-macam penyakit dan kelainan tersebut sebagai berikut.

**Nefritis** yaitu rusaknya ginjal pada glomerulus akibat infeksi bakteri *Streptococcus*. Infeksi ini dapat menyebabkan urea dan asam urat masuk kembali ke dalam darah serta terganggunya reabsorpsi air. Jika urea dan asam urat masuk ke dalam darah menyebabkan **uremia**, dan apabila reabsorpsi air terganggu akan mengakibatkan **edema** atau pembengkakan kaki akibat terjadinya penimbunan air. Apabila nefritis ini tidak segera terobati dapat mengakibatkan "**gagal ginjal**", yaitu tidak bekerjanya fungsi ginjal sebagai organ ekskresi. Gagal ginjal ini dapat ditolong dengan melakukan **cuci darah**.

Apabila fungsi ginjal terganggu, maka nefron tidak lagi mampu menyerap secara efektif beberapa substrat yang seharusnya diserap, contohnya: albumin, protein, dan glukosa. Apabila dalam urine seseorang terdapat albumin maka diduga menderita **albuminuria**. Namun, apabila di dalam urine ditemukan adanya glukosa maka diduga menderita **glukosuria**. Adanya glukosa dalam urine dapat disebabkan oleh tingginya glukosa dalam darah, sehingga nefron tidak mampu menyerap kelebihan glukosa tersebut. Tingginya kadar glukosa dalam aliran darah dapat dipicu oleh kurangnya hormon insulin dalam tubuh.

Gangguan pada ginjal dapat disebabkan oleh pola makan yang tidak sehat. Misalnya terlalu banyak mengonsumsi garam mineral dan sedikit mengonsumsi air.

**Tahukah Anda**

**Mengapa Sakit Ginjal dapat Memicu Munculnya Penyakit Lain?**

Organ ginjal walaupun berukuran kecil, tetapi mempunyai fungsi sangat vital. Di antaranya sebagai tempat membersihkan darah dari berbagai zat sisa hasil metabolisme serta racun-racun tubuh. Zat sisa dan racun tubuh tersebut kemudian dibuang menjadi air seni (urine). Selain itu, ginjal juga berfungsi menjaga keseimbangan, mengatur konsentrasi dan komposisi cairan tubuh, mempertahankan volume dan tekanan darah, mengatur produksi sel darah merah, dan menghasilkan hormon seperti erithropoetin (EPO), renin, dan vitamin D. Nah, karena banyaknya fungsi ginjal ini maka apabila ada suatu kelainan pada ginjal maka dapat menimbulkan penyakit lain.

Hal ini dapat memicu terbentuknya batu ginjal di dalam rongga ginjal, saluran ginjal, atau kandung kemih. Apabila batu ginjal terdapat di saluran ginjal, maka saluran urine akan tersumbat. Keadaan ini menyebabkan membesarnya salah satu ginjal (*hidronefrosis*) karena urine tidak dapat dialirkan keluar.

Gesekan akibat batu ginjal menyebabkan peradangan pada organ urinaria sehingga memungkinkan eritrosit terangkut dalam urine. Apabila ini terjadi maka orang tersebut menderita **hematuria**.

Ujilah urine Anda melalui eksperimen berikut untuk mengetahui apakah urine Anda sehat atau tidak.

## Eksperimen 2

### Menguji Kandungan Urine

Sediakan urine, asam asetat 6% (asam cuka), reagen Benedict, tabung reaksi, penjepit, pipet tetes, lampu bunsen, dan korek api.

Lakukan uji seperti berikut.

**a. Uji protein dalam urine**

Masukkan 5 mL urine ke dalam tabung reaksi, tambahkan beberapa tetes asam asetat 6%. Panaskan urine tersebut di atas api dengan 1/3 bagian dari urine dalam kedudukan miring. Panaskan selama 1–2 menit.

**Pertanyaan:**

1. Apakah urine menjadi keruh?
2. Apa yang terjadi jika ditambahkan beberapa asam asetat lagi dan dipanaskan kembali?
3. Apa kesimpulan Anda dari eksperimen ini?

**b. Uji gula dalam urine**

Masukkan urine ke dalam tabung reaksi, tambahkan 3 tetes reagen Benedict. Panaskan urine di atas lampu bunsen hingga mendidih.

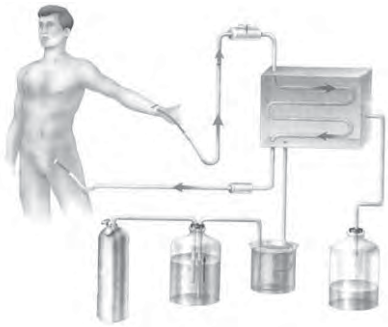
**Pertanyaan:**

1. Apakah urine berubah warna? Jelaskan.
2. Apa diagnosa Anda jika urine berubah warna menjadi merah bata?
3. Apa kesimpulan Anda dari eksperimen ini?

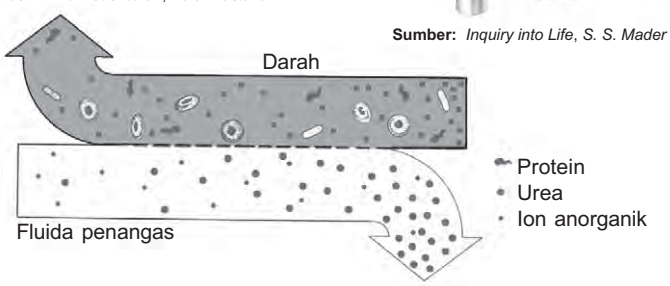
### e. Terapi Penyakit Ginjal

Peranan ginjal sangat penting, maka gangguan pada fungsi ginjal dapat berakibat fatal. Gangguan ini dapat terjadi akibat adanya kelainan pada ginjal (penyakit ginjal primer) atau komplikasi penyakit sistemik (penyakit ginjal sekunder), seperti diabetes. Kelainan ringan pada ginjal dapat sembuh sempurna apabila penyebabnya dapat diatasi. Terkadang cukup dengan pengobatan dan pengaturan diet. Sebaliknya, apabila memburuk kelainan ini bisa menjadi gagal ginjal akut. Salah satu alternatif untuk mengganti fungsi ginjal adalah dengan melakukan **ginjal buatan** dengan **metode dialisis**. Metode pengobatan seperti ini lebih dikenal dengan nama *hemodialisis* (cuci darah). Metode hemodialisis dilakukan melalui proses penyaringan atau pemisahan sisa-sisa metabolisme melalui selaput semipermeabel dalam mesin dialisis. Darah yang sudah bersih dipompa kembali ke dalam tubuh. Cuci darah bisa dilakukan di rumah sakit atau klinik yang memiliki unit hemodialisis. Perhatikan Gambar 8.6.

**Sumber:** *Ilmu Kedokteran, Balai Pustaka*



**Sumber:** *Inquiry into Life, S. S. Mader*




Molekul kecil, seperti urea dan garam, bebas berdifusi di antara darah dan fluida penangas. Sementara itu, molekul-molekul besar dan sel-sel tetap berada dalam darah. Fluida penangas harus ditambah garam-garam untuk mencegah hilangnya garam-garam dari darah. Dalam darah perlu ditambahkan zat antigumpal agar darah tidak menggumpal saat berada di mesin dialisis.

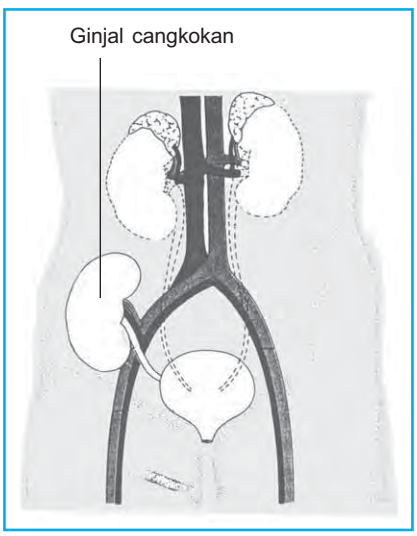
**Gambar 8.6**
Mekanisme dialisis pada ginjal buatan

Selain hemodialisis, ada pula metode **dialisis peritoneal**. Dialisis ini dilakukan pada selaput rongga perut. Proses ini dibantu oleh cairan dialisis yang dimasukkan ke rongga perut melalui pipa karet yang dipasang dengan cara operasi kecil. Selaput peritoneal berfungsi menyaring dan mengeluarkan sisa metabolisme, sehingga pembuluh darah pada selaput peritoneal berfungsi sebagai saringan ginjal.

Sistem dialisis ini ternyata amat efektif untuk menolong korban yang ginjalnya tidak berfungsi dengan baik. Cara ini juga memungkinkan penderita dalam kondisi kronik dapat bertahan hidup, walaupun memerlukan banyak waktu, uang, dan kesehatan psikologis.

Alternatif lain yang dapat dilakukan oleh penderita kerusakan ginjal kronik yaitu dengan **pencangkokan ginjal** baru. Perhatikan Gambar 8.7. Operasi cangkok ginjal secara teknis sangat sederhana. Operasi ini diawali dengan menempatkan ginjal donor di dalam rongga perut bagian bawah, sedang arteri dan vena disambung pada arteri dan vena usus masing-masing. Setelah itu, ureter dihubungkan dengan kantong kemih.

Masalah utama pada pencangkokan ginjal adalah terjadinya penolakan imun. Sistem imun resipien akan mengenali ginjal cangkokan sebagai zat asing dan akan merusaknya. Akan tetapi, kini ada berbagai obat yang efektif untuk menekan mekanisme imun tubuh. Apabila penderita mempunyai kembar identik sebagai donor, maka penderita tidak memerlukan obat-obat imunosupresif. Ginjal cangkok hasil donor kembar identik dapat bertahan hidup lama (25 tahun merupakan rekor sampai tahun 1988).




**Sumber:** *Biology, Kimball*

**Gambar 8.7**
Sistem cangkok ginjal
Ginjal sakit yang dimiliki resipien biasanya diangkat. Arteri renal dan uratnya diikat.

Lakukan tugas mandiri berikut ini untuk mengetahui perkembangan teknologi kesehatan ginjal di Indonesia.

**Tugas Mandiri**

Carilah informasi mengenai berbagai gangguan dan kelainan pada ginjal beserta teknologi penyembuhannya melalui surat kabar atau internet. Buatlah laporan tertulis dari hasil eksplorasi Anda.

### f. Menjaga dan Memelihara Kesehatan Ginjal

Setelah memahami pentingnya peranan ginjal bagi tubuh, kita sadar untuk senantiasa menjaga dan memelihara kesehatan ginjal agar dapat berfungsi dengan baik. Apabila fungsi ginjal terganggu dapat memicu berbagai penyakit berat yang akan menyerang tubuh kita. Dengan demikian, ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam upaya menjaga dan memelihara kesehatan ginjal.

#### 1) *Minum Air Secukupnya*

Minum air dalam jumlah cukup (8 liter/hari) merupakan salah satu cara agar ginjal tetap sehat. Minum air menjadikan seseorang sering ingin buang air seni. Hal ini mengakibatkan kotoran dan racun dalam tubuh dapat dibuang oleh ginjal melalui urine. Akan tetapi, terlalu banyak minum (melebihi 8 liter/hari) akan membahayakan ginjal. Hal ini karena jumlah penyerapan air oleh tubuh dan yang dikeluarkan dalam bentuk urine tidak seimbang.

#### 2) *Tidak Sembarangan Mengonsumsi Obat atau Menggunakan Bahan Kimia*

Hasil proses berbagai macam obat akan dialirkan ke ginjal untuk difiltrasi. Beberapa antibiotik dan antinyeri jika dikonsumsi tanpa anjuran dan dosis dari dokter dapat merusak ginjal. Oleh karena itu, sebaiknya penggunaan obat harus dikonsultasikan kepada dokter terlebih dahulu.

Beberapa bahan kimia seperti alkohol atau cairan pembersih dapat merusak ginjal baik secara sengaja atau tidak, baik termakan atau tersedak. Kita harus berhati-hati dalam pemakaian bahan kimia dan harus melihat petunjuk atau cara pemakaiannya.

## 2. Kulit

Kulit merupakan bagian terluar tubuh. Jadi, kulit berfungsi untuk melindungi tubuh dari kerusakan fisik seperti gesekan, panas, atau zat kimia. Kulit juga menjaga tubuh agar tidak banyak kehilangan air, yaitu dengan mengatur suhu tubuh. Selain itu, kulit juga selalu menerima rangsangan mekanis dari luar tubuh. Hal ini yang menyebabkan kulit selalu memperbarui sel-selnya karena setiap hari jutaan sel-sel kulit rusak. Selain hal-hal di atas, kulit mempunyai peranan penting dalam mengekskresikan zat-zat dalam bentuk keringat.

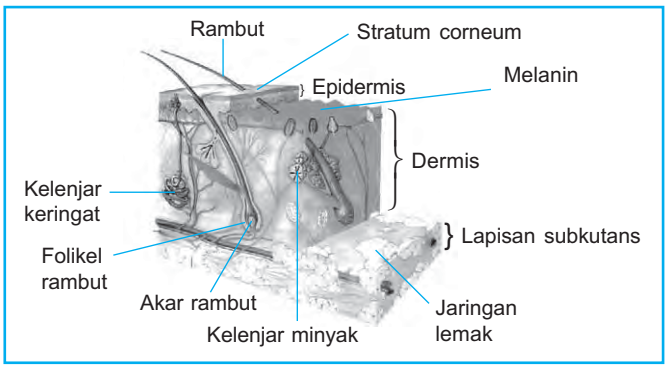
**Tahukah Anda**

**Perbaruan Kulit**

Sel-sel kulit memperbarui diri dalam waktu yang sangat singkat. Perbaruan kulit ini terjadi pada tengah malam saat metabolisme tubuh menurun namun energi masih cukup tersedia.

Anda harus mengenal terlebih dahulu bagian-bagian jaringan kulit untuk dapat memahami fungsi kulit.

## a. Struktur Kulit Beserta Fungsinya




**Sumber:** *Inquiry into Life, S. S. Mader*

**Gambar 8.8**
Struktur kulit

Kulit terdiri dari dua lapisan yaitu **epidermis** dan **dermis**. Epidermis tersusun dari *stratum germinativum*, *stratum granulosum*, dan *stratum corneum*. Perhatikan Gambar 8.8.

*Stratum germinativum* merupakan lapisan basal yang sel-selnya aktif membelah untuk membentuk sel-sel kulit baru ke arah luar. Lapisan ini memproduksi pigmen melanin. Pigmen inilah yang menentukan warna kulit seseorang. Melanin mampu melindungi jaringan kulit agar terhindar dari bahaya sinar ultraviolet.

*Stratum granulosum* berasal dari desakan sel-sel yang terbentuk di lapisan Malpighi. Pada lapisan ini terjadi akumulasi keratin. Keratin menyebabkan sel-sel pada lapisan ini kehilangan nukleus dan akhirnya mati.

*Stratum corneum* merupakan lapisan yang terdapat di permukaan kulit. Lapisan ini dikenal sebagai lapisan tanduk yang tersusun dari sel-sel mati yang siap mengelupas. Sel-sel ini bersifat keras dan tahan terhadap air. Di tempat tertentu lapisan ini mengalami penebalan seperti penebalan di telapak tangan dan tapak kaki.

Jaringan dermis lebih tebal daripada epidermis. Dermis tersusun oleh jaringan ikat dan kolagen. Di dalam lapisan ini terdapat bagian-bagian seperti pembuluh darah, folikel rambut, kelenjar minyak, kelenjar keringat, serabut saraf, dan lapisan lemak subkutans.

Pembuluh darah berfungsi menyuplai oksigen dan nutrisi ke jaringan epidermis dan dermis. Selain itu, pembuluh darah juga berperan penting dalam mengatur suhu tubuh.

Folikel rambut merupakan kantong yang mengelilingi akar rambut. Dari folikel ini akan tumbuh rambut yang berwarna hitam. Warna hitam pada rambut disebabkan oleh adanya melanin.

Kelenjar minyak berfungsi menghasilkan minyak untuk mencegah kekeringan kulit dan rambut, selain itu juga melindungi kulit dari bakteri. Kulit yang mempunyai jaringan lemak (jaringan adipose), dapat berfungsi sebagai tempat penyimpanan makanan cadangan.

**Eksperimen Plus**

**Rangsangan pada Kulit**

Sediakan lampu yang cukup memberikan panas. Letakkan kaki Anda di dekat lampu untuk beberapa saat, apa yang terjadi? Kemudian letakkan kaki Anda dalam air yang dingin. Apa yang Anda rasakan? Kesimpulan apa yang dapat Anda ambil dari percobaan ini? Buatlah laporan tertulis dan kumpulkan kepada guru Anda.

Kelenjar keringat pada kulit berbentuk seperti pembuluh yang bergelung, tersusun dari sel-sel yang berfungsi menyerap cairan di sekitar kapiler dan menyimpannya di dalam pembuluh. Kelenjar ini mengalami desakan ke permukaan kulit dan jika ada rangsangan dari luar atau dari dalam tubuh akan menghasilkan keringat.

Kelenjar keringat terdapat di seluruh permukaan tubuh dan jumlahnya lebih kurang 2,5 juta. Permukaan tubuh yang paling sedikit mengandung kelenjar keringat adalah telapak tangan, ujung jari, dan kulit wajah. Aktivitas kelenjar keringat berada di bawah pengaruh pusat pengatur suhu di hipotalamus dengan enzim brandikinin. Dalam keadaan normal, tubuh kita mengeluarkan keringat sebanyak 50 cc per jam.

Keringat merupakan air yang di dalamnya mengandung garam-garam dan urea. Keluarnya keringat dari permukaan kulit membantu menurunkan suhu tubuh.

Lakukan Eksperimen berikut untuk dapat memperkirakan kandungan keringat.

**Tahukah Anda**

**Alat Tubuh Terluas dan Terberat**

Kulit merupakan pembungkus elastis yang melindungi tubuh dari pengaruh lingkungan. Kulit juga merupakan alat tubuh terberat dan terluas, yakni 15% dari berat tubuh dengan luas 1,5 – 1,75 $m^2$. Tebal rata-rata 1 – 2 mm. Lapisan kulit paling tebal 6 mm terdapat di telapak kaki dan tangan. Sementara itu, yang paling tipis 0,5 mm terdapat di penis.

**Eksperimen 3**

**Uji Keringat**

Sediakan kertas kobalt klorida kering dan kertas HVS masing-masing berukuran 5 × 3 cm. Lakukan aktivitas seperti berlari-lari hingga tubuh Anda mengeluarkan keringat. Tempelkan kedua kertas tersebut pada bagian tubuh Anda yang sedang berkeringat. Amati perubahan warna pada kedua jenis kertas ini. Buatlah kesimpulan mengenai perkiraan kandungan keringat dari eksperimen tersebut.

Tabel hasil pengamatan.

| | Warna | Bau | Rasa | Dipanaskan di Bawah Sinar |
|---|---|---|---|---|
| Kertas kobalt klorida ditempelkan pada tubuh yang berkeringat | | | | |
| Kertas HVS ditempelkan pada tubuh yang berkeringat | | | | |

## b. Gangguan dan Kelainan pada Kulit

Seperti halnya ginjal, kulit sebagai alat ekskresi juga dapat mengalami gangguan dan kelainan, di antaranya sebagai berikut. *Jerawat*, merupakan gangguan pada kulit yang disebabkan oleh aktivitas kelenjar lemak yang berlebihan, adanya gangguan pada proses pengelupasan kulit, serta adanya bakteri di permukaan kulit. *Eksim* atau *dermatitis*, merupakan gangguan pada kulit yang disebabkan oleh alergi, stres bawaan, ataupun kontak dengan penyebab iritasi. Panu dan kurap, merupakan gangguan pada kulit yang disebabkan oleh jamur. Jamur ini biasanya tumbuh di daerah lipatan-lipatan kulit yang dipicu oleh kelembapan. Gejala yang tampak pada gangguan kulit ini antara lain gatal-gatal bersisik, berwarna putih (panu) dan kemerahan (kurap). Kusta, merupakan kelainan pada kulit yang disebabkan oleh *Micobacterium leprae*. Gejalanya terdapat benjol-benjol kecil berwarna merah muda atau ungu pada kulit. Benjolan ini dapat menyebar secara berkelompok hingga sampai ke mata dan hidung serta menyebabkan pendarahan.

**Tahukah Anda**

**Mandi Sebagai Penangkal Pertama Penyakit Kulit**

Mandi secara teratur menggunakan sabun dapat menghilangkan lemak dan kotoran dari permukaan kulit. Tetapi apabila menggunakan sabun secara berlebih dapat membuang minyak kulit alami. Hal ini terjadi karena sabun dapat mengurangi pH atau keasaman alami yang membantu melindungi kulit dari bakteri.

**Forum Diskusi**

Saat ini banyak beredar produk-produk kosmetik di masyarakat. Hampir semua kosmetik menawarkan produk pemutih wajah. Menurut Anda, apakah kulit sehat identik dengan kulit putih? Apakah semua bahan pemutih wajah aman bagi kulit? Coba Anda survei bahan-bahan pemutih wajah yang biasa digunakan pada produk kosmetik. Anda pun dapat mencari informasi tentang produk pemutih wajah di surat kabar atau internet.

### c. Cara Perawatan dan Penjagaan Kesehatan Kulit

Keadaan cuaca yang berubah-ubah mempengaruhi kesehatan kulit. Agar kulit tetap bersih, segar, dan sehat diperlukan perawatan seperti berikut.

1) ***Menjaga Kesegaran Kulit dengan Air***

Air sebagai medium pengangkut dan pembuang zat-zat sisa. Selain diminum secara teratur, air dapat diperoleh dari sumber makanan yang mengandung air, seperti sayuran dan buah-buahan segar.

2) ***Diet Seimbang***

Semua zat gizi diperlukan tubuh. Akan tetapi, zat gizi yang sangat diperlukan oleh kulit yaitu vitamin A, vitamin B kompleks, vitamin C, dan mineral.

3) ***Olahraga yang Cukup***

Berolahraga secara teratur sesuai dengan kapasitas dapat merangsang sirkulasi, membantu menghilangkan stres, serta membuat tubuh sehat.

4) ***Melindungi Kulit dari Sengatan Sinar Matahari***

Sinar matahari, khususnya pada siang hari akan merusak serat elastin yang memberi kelenturan kulit. Juga dapat merusak kolagen yang membentuk dan menunjang jaringan kulit. Pancaran sinar matahari secara langsung pada siang hari dapat menyebabkan kulit lelah dan mengalami dehidrasi.

5) ***Menghindari Rokok***

Kegiatan merokok dapat membuat kulit cepat tua. Hal ini karena sebatang rokok mengandung zat *benzopyrene*. Zat ini dapat menghabiskan vitamin C dalam tubuh. Habisnya vitamin C ini dapat menyebabkan kerutan pada kulit terutama pada wajah. Nah, coba Anda bayangkan apa yang terjadi pada orang yang kekurangan vitamin C tetapi dia perokok.

6) ***Menghindari Alkohol***

Mengonsumsi alkohol dapat menghabiskan simpanan vitamin B dalam tubuh dan mengurangi cadangan vitamin C, sehingga alkohol ini dapat berakibat buruk bagi kulit.

7) ***Menghindari Stres***

Stres dapat memicu gangguan tubuh, di antaranya kulit. Eksim merupakan satu contoh penyakit akibat stres kulit. Dengan meminimalkan stres, berarti telah mencegah bintik dan bercak pada kulit.

## 3. Paru-Paru

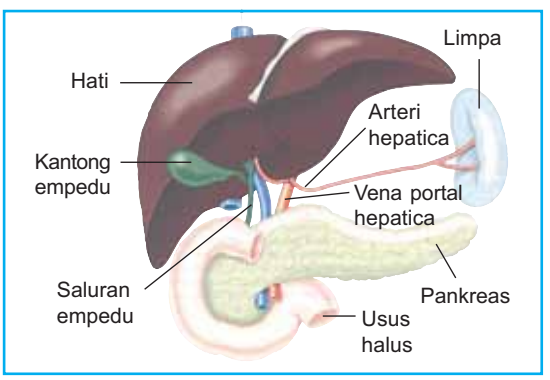
Paru-paru selain berperan sebagai organ pernapasan juga berperan sebagai organ ekskresi (Gambar 8.9). Hal ini karena gas $CO_2$ dan uap air ($H_2O$) hasil proses metabolisme diangkut darah dari jaringan tubuh menuju paru-paru dan selanjutnya dikeluarkan dari tubuh pada waktu ekspirasi. $CO_2$ sekitar 75% dari jaringan tubuh diangkut plasma darah dalam bentuk ion $HCO_3^-$ (asam bikarbonat) dan sisanya sekitar 25% diikat oleh hemoglobin (Hb) membentuk senyawa $HbCO_2$ (karboksi-hemoglobin). Coba Anda ingat kembali materi paru-paru pada bab Sistem Pernapasan pada Manusia dan Hewan.

**Sumber:** *Inquiry into Life, S.S. Mader*

**Gambar 8.9**
Paru-paru sebagai organ ekskresi

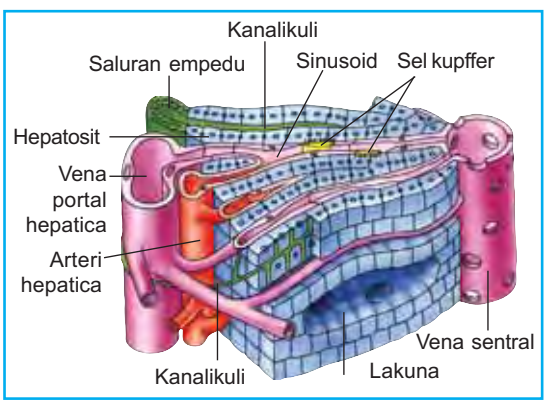
## 4. Hati

Hati merupakan kelenjar terbesar dalam tubuh, beratnya sekitar 1,5 kg atau sekitar 3–5% dari berat badan. Hati memperoleh darah dari ***arteri hepatica*** dan ***vena portal hepatica***. Darah yang diangkut oleh arteri hepatica sebesar 30% dari jumlah darah total di hati. Darah ini berasal dari percabangan aorta sehingga kaya oksigen. Sementara itu, darah yang diangkut vena portal hepatica sebesar 70% dari jumlah darah total di hati. Darah ini banyak mengangkut zat-zat sari makanan dari usus halus. Pada organ ini hanya terdapat satu macam pembuluh yang mengangkut darah keluar dari hati, yaitu **vena hepatica**. Perhatikan Gambar 8.10.




**Sumber:** *Biology, Glenn and Susan Toole*

**Gambar 8.10**
Organ hati sebagai alat ekskresi




**Sumber:** *New Understanding Biology, Glenn and Susan Toole*

**Gambar 8.11**
Struktur hati

Selain pembuluh darah, hati juga dilengkapi dengan saluran empedu yang mengangkut hasil produksi empedu dari hati menuju duodenum.

### a. Struktur dan Fungsi Hati

Hati pada bagian luar dilengkapi oleh selaput tipis yang disebut **selaput hati** (**kapsula hepatica**). Dalam jaringan hati terdapat beberapa pembuluh darah. Pembuluh arteri hepatikus dan vena portal hepatikus mengalami percabangan yang disebut **sinusoid**. Sinusoid pada vena portal hepatikus akan membentuk vena. Jaringan hati ini tersusun oleh sel-sel hati yang disebut **hepatosit**. Antarlapisan hepatosit dipisahkan oleh lakuna, sedang antara hepatosit satu dengan yang lain dipisahkan oleh **kanalikuli** yang merupakan tempat dihasilkannya empedu. Kanalikuli-kanalikuli ini kemudian bergabung membentuk

**Tahukah Anda**

**Mengapa Feses dan Urine Berwarna Kuning?**

Di dalam hati, sel-sel eritrosit dirombak, hemoglobin dalam eritrosit dipecah menjadi zat besi, globin, dan heme. Zat besi disimpan di hati, kemudian dikembalikan ke sumsum tulang. Globin dipakai lagi dalam metabolisme protein. Heme diubah menjadi bilirubin dan biliverdin yang berwarna hijau biru dan disimpan dalam kantong empedu. Dari kantong empedu, zat ini dikeluarkan ke usus. Bilirubin yang berwarna kuning kecokelatan. Zat warna inilah yang memberikan warna pada feses dan urine.

pembuluh empedu yang berfungsi mengangkut cairan empedu menuju kantong empedu. Kantong empedu sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum empedu dialirkan ke duodenum. Perhatikan Gambar 8.11.

Pada sinusoid terjadi spesialisasi sel yang membentuk **sel kupffer**. Sel kupffer ini mempunyai sifat fagositosis. Apabila dalam proses pencernaan di usus halus terdapat organisme asing atau zat-zat berbahaya maka sel-sel ini akan menghancurkan organisme asing atau zat berbahaya tersebut dengan cara fagositosis. Dari proses penghancuran ini akan menghasilkan pigmen bilirubin. Bilirubin kemudian dialirkan ke kanalikuli dan diekskresikan sebagai empedu.

Hal inilah yang membuat hati berfungsi sebagai alat ekskresi. Empedu berupa cairan berwarna kehijauan dan berasa pahit. Empedu mempunyai pH sekitar 7–7,6 dan mengandung kolesterol, garam mineral, garam empedu, serta pigmen bilirubin dan biliverdin.

Apabila saluran empedu tersumbat, empedu masuk ke peredaran darah sehingga kulit penderita menjadi kekuningan. Oleh karena itu, orang yang mengalaminya diindikasikan menderita penyakit kuning.

## b. Gangguan dan Kelainan pada Hati

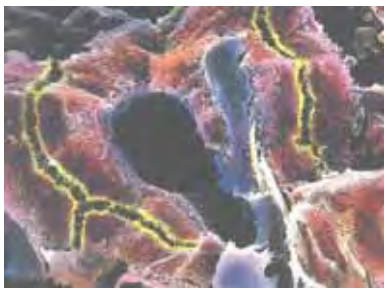
Hati (*liver*) merupakan organ terbesar dalam tubuh manusia. Di dalam hati terjadi proses-proses penting bagi kehidupan kita, yaitu proses penyimpanan energi, pembentukan protein dan asam empedu, pengaturan metabolisme kolesterol, dan penetralan racun atau obat yang masuk dalam tubuh kita. Apabila fungsi hati terganggu maka akan terjadi dampak yang kompleks pada kesehatan tubuh.

Berikut akan dipaparkan beberapa gangguan dan kelainan pada hati.

***Hepatitis***, merupakan peradangan pada sel-sel hati. Peradangan ini disebabkan oleh virus, terutama virus hepatitis A, B, C, D, dan E. Pada umumnya penderita hepatitis A dan E dapat disembuhkan, sebaliknya hepatitis B dan C dapat menjadi kronis. Sementara itu hepatitis D hanya dapat menyerang penderita yang telah terinfeksi virus hepatitis B sehingga kondisi ini dapat memperparah keadaan penderita.

***Sirosis hati***, merupakan gangguan hati yang disebabkan oleh banyaknya jaringan ikat pada hati. Sirosis hati ini dapat terjadi karena virus hepatitis B dan C yang berkelanjutan. Berkembangnya virus ini dapat dipicu oleh konsumsi alkohol yang berlebihan, salah gizi, atau penyakit lain yang disebabkan oleh tersumbatnya saluran empedu. Penyakit ini belum dapat disembuhkan. Sementara itu pengobatan yang dilakukan hanya berguna mengobati komplikasi yang terjadi seperti berak darah, perut membesar, mata kuning, serta koma hepatikum. Perhatikan Gambar 8.12 untuk mengetahui perbedaan hati yang sehat dan terkena sirosis.

***Kanker hati***, merupakan kelainan hati yang disebabkan oleh berkembangnya sel-sel kanker pada jaringan hati. Kanker ini sebagai komplikasi akhir dari hepatitis kronis karena virus hepatitis B, C, dan hemokromatis.



Hati yang sehat

Hati yang terkena sirosis

**Sumber:** *Biology for Advanced Level, Glenn and Susan Toole*

**Gambar 8.12**
Perbedaan hati yang sehat dan hati yang terkena sirosis

***Perlemakan hati***, merupakan kelainan hati akibat adanya penimbunan lemak yang melebihi 5% dari berat hati, sehingga lemak ini membebani lebih dari separuh jaringan hati. Perlemakan hati sering berpotensi menjadi penyebab sirosis hati. Kelainan ini dapat dipicu oleh konsumsi alkohol yang berlebih.

***Kolestasis*** dan ***Jaundice***, merupakan keadaan akibat terjadinya kegagalan hati dalam memproduksi dan atau pengeluaran empedu. Kolestasis dapat menyebabkan gagalnya penyerapan lemak dan vitamin A, D, E, dan K oleh usus, juga dapat menyebabkan terjadinya penumpukan asam empedu, bilirubin dan kolesterol di hati.

***Hemokromatosis***, merupakan kelainan metabolisme yang ditandai dengan adanya pengendapan besi secara berlebihan dalam jaringan. Penyakit ini bersifat genetik atau keturunan.

**Tahukah Anda**

**Tips bagi Penderita Penyakit Hati**

1. Diet seimbang. Jumlah kalori yang dibutuhkan disesuaikan dengan tinggi badan, berat badan, dan aktivitas. Pada keadaan tertentu diperlukan diet rendah protein.
2. Banyak makan sayur dan buah serta melakukan aktivitas sesuai kemampuan untuk mencegah sembelit.
3. Menjalankan pola hidup yang teratur.
4. Konsultasi secara teratur dengan dokter Anda.

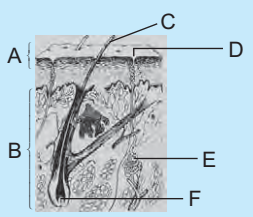
## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. a. Sebutkan fungsi ginjal pada manusia.
   b. Sebutkan pembuluh darah yang mengangkut darah dari aorta ke ginjal.
2. Pada tabel di bawah ini terdapat 3 macam cara manusia mengeluarkan air dari tubuhnya. Coba Anda lengkapi.

| No. | Cara Pengeluaran Air dari Dalam Tubuh | Tujuan |
|---|---|---|
| 1. | ... | ... |
| 2. | ... | ... |
| 3. | ... | ... |

3. Urine terbentuk melalui proses filtrasi, reabsorpsi, sekresi, dan augmentasi. Coba Anda tentukan tempat berlangsungnya proses tersebut.
4. Pada saat filtrasi senyawa apa saja yang akan tersaring? Perkirakan organ apa yang rusak apabila senyawa tersebut tetap terangkut dalam urine primer?
5. a. Substansi apa saja yang diharapkan ada dalam urine?
   b. Substansi apa saja yang diharapkan tidak ada dalam urine?
6. Mengapa urine primer masih perlu direabsorpsi? Jelaskan.
7. Mengapa seseorang setelah minum kopi atau teh selalu merasa ingin buang air seni?
8. Sebutkan 3 komponen urine yang diekskresikan. Mengapa komponen-komponen tersebut diekskresikan.
9. Apakah yang sebenarnya terjadi apabila di dalam urine ditemukan adanya glukosa?
10. Mengapa bila kita buang air seni, urine tampak berwarna kuning?
11. Apa yang menyebabkan perbedaan warna kulit pada manusia?
12. Amati gambar berikut.



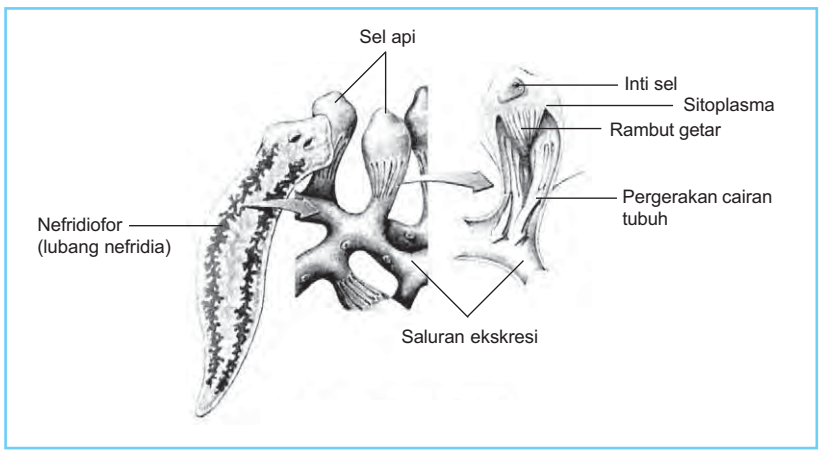

   a. Namai bagian-bagian dari A sampai F.
   b. Sebutkan bagian kulit yang mengatur temperatur tubuh.
   c. Apa yang terjadi pada bagian tubuh tersebut apabila seseorang berada di tempat dingin?
13. Mengapa keringat kita terasa asin?
14. Mengapa paru-paru dan hati juga termasuk organ ekskresi?
15. Sebenarnya zat apa saja yang diekskresikan oleh organ hati?

## B. Sistem Ekskresi pada Hewan

Sebagai makhluk hidup, hewan juga mempunyai sistem ekskresi. Sistem ekskresi pada hewan bermacam-macam. Berikut akan dibahas sistem ekskresi hewan satu per satu.

### 1. Platyhelminthes

Alat ekskresi Platyhelminthes seperti pada *Planaria* berupa sel-sel berambut getar. Karena rambut getar ini tampak seperti nyala api , maka sel-sel ini dinamakan *flame cell* (sel api). Cairan tubuh disaring di dalam *flame cell* dan zat-zat sisa diserap kemudian dikeluarkan dari tubuh melalui lubang-lubang yang terdapat pada permukaan tubuh.

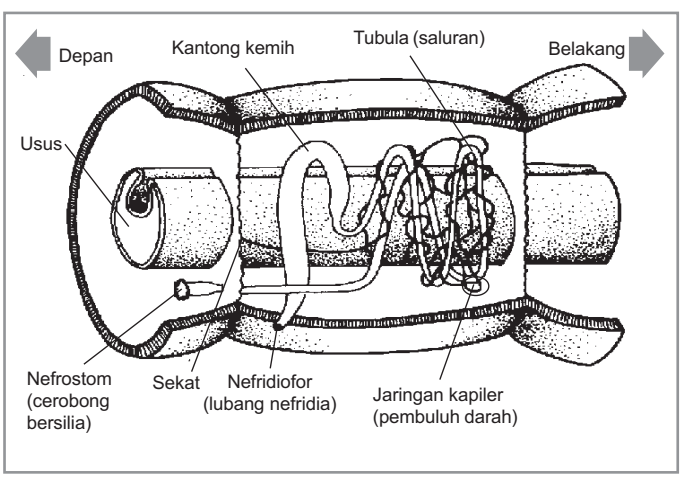



**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.13**
Alat ekskresi pada *Planaria*

### 2. Annelida

Annelida sudah mempunyai alat ekskresi khusus, yaitu berupa nefridia yang terdapat pada setiap segmen tubuh. Pada setiap segmen terdapat sepasang nefridia. Nefridia ini dilengkapi dengan corong terbuka dan bersilia yang disebut **nefrostom** yang terdapat pada setiap sekat pemisah segmen.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.14**
Struktur nefridia pada cacing tanah

**Eksperimen Plus**

**Perbandingan Berat Tubuh dan Urine yang Dikeluarkan pada Cacing**

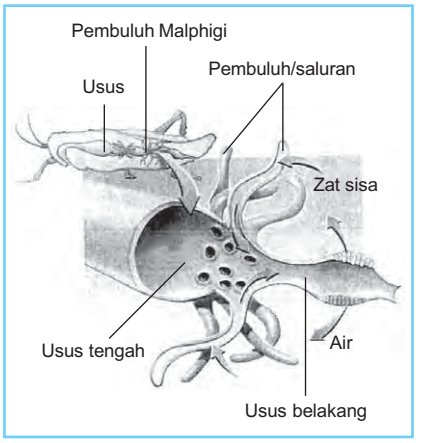
Ambillah cacing tanah, kemudian timbang berat tubuhnya. Perkirakan berapa banyak cacing tanah tersebut mengeluarkan urine.

Nefrostom berfungsi menarik dan mengambil cairan tubuh. Pada saat cairan melalui nefridia, zat-zat yang berguna diserap darah dan zat sisa, seperti air, senyawa nitrogen, dan garam-garam yang tidak diperlukan oleh tubuh ditampung dalam kantong kemih. Zat sisa tersebut kemudian dikeluarkan melalui nefridiofor (lubang nefridium). Contoh Annelida yang mudah kita temui yaitu cacing tanah. Cacing tanah mengeluarkan urine per hari sebesar 60% dari berat tubuh.

## 3. Insecta

Pada Insecta seperti kecoak dan belalang, alat ekskresinya berupa buluh halus berwarna kekuningan yang disebut **pembuluh Malpighi**. Pembuluh Malpighi berfungsi membuang urea, asam urat, dan garam-garam dari darah ke usus. Jumlah pembuluh Malpighi bervariasi. Pembuluh ini berhubungan dengan saluran usus pada perbatasan usus tengah dengan usus belakang.

Zat-zat sisa metabolisme diserap dari cairan jaringan oleh pembuluh Malpighi dan membentuk kristal asam urat. Asam urat ini masuk ke usus belakang yang akhirnya keluar bersama feses. Sebagian zat sisa yang mengandung nitrogen digunakan untuk membentuk kitin pada eksoskeleton dan dapat diekskresikan pada waktu pengelupasan kulit (**molting**).




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.15**
Diagram yang menunjukkan letak pembuluh Malpighi pada belalang

## 4. Pisces

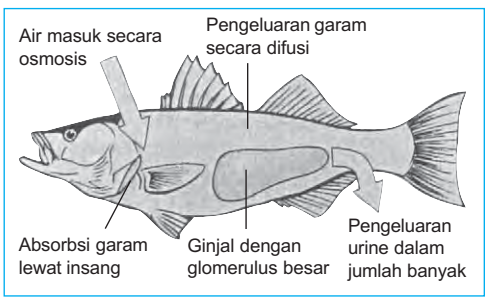
Alat-alat pengeluaran ikan berupa sepasang ginjal opistonefros yang merupakan tipe ginjal paling primitif. Pada ginjal opistonefros, tubulus bagian anterior telah lenyap, beberapa tubulus bagian tengah berhubungan dengan testis, serta terdapat konsentrasi dan pelipatgandaan tubulus di bagian posterior.

Mekanisme ekskresi ikan yang hidup di air tawar berbeda dengan ikan yang hidup di air laut. Ikan yang hidup di air tawar, mengekskresi amonia dan aktif menyerap ion anorganik melalui insang serta mengeluarkan urine dalam jumlah besar. Sebaliknya, pada ikan yang hidup di laut mengekskresikan sampah nitrogen berupa trimetilamin oksida (TMO) yang memberi bau khas ikan laut, menghasilkan ion-ion lewat insang, serta mengeluarkan urine sedikit. Ginjal ikan air laut tidak memiliki glomerulus. Akibatnya, tidak terjadi ultrafiltrasi di ginjal dan pembentukan urine sepenuhnya oleh sekresi garam-garam dan TMO yang berkaitan dengan osmosis air. Perhatikan Gambar 8.16 dan Gambar 8.17 untuk mengetahui perbedaan mekanisme ekskresi ikan air tawar dan ikan air laut.

**Tahukah Anda**

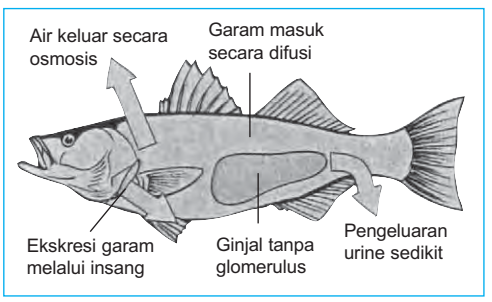
**Bebas Polusi dengan Urine**

Meski awalnya sempat menjadi bahan tertawaan, kenyataannya urine domba dapat mengurangi polusi udara akibat asap kendaraan bermotor. Formula baru yang memanfaatkan limbah berbau ini telah diuji coba pada sebuah operator bus di Inggris. Semprotan urine ke saluran knalpot terbukti dapat mengurangi emisi nitrogen oksida yang dikenal beracun. Caranya sederhana, tangki yang berisi urine domba dipasang di knalpot bus. Limbah itu dikumpulkan dari peternakan dan dimurnikan menjadi urea. Amonia dalam urea akan bereaksi dengan nitrogen oksida di saluran pembuangan dan menguraikannya menjadi hidrogen dan uap air.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.16**
Mekanisme ekskresi ikan air tawar




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 8.16**
Mekanisme ekskresi ikan air tawar

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bagaimana mekanisme pengeluaran zat sisa pada *Planaria*?
2. Mengapa alat ekskresi *Planaria* dikenal dengan nama *flame cell*?
3. Apakah cairan tubuh yang diserap nefrostom pada Annelida semuanya akan dikeluarkan sebagai zat sisa?
4. Mengapa sisa nitrogen pada Insecta tidak dikeluarkan semua dari tubuh?
5. Bagaimana jika cacing pipih kelebihan zat sisa yang berbentuk cair?

## Rangkuman

1. Alat ekskresi manusia
   a. ginjal → menghasilkan urine
   b. kulit → menghasilkan keringat
   c. paru-paru → menghasilkan gas karbon dioksida
   d. hati → menghasilkan cairan empedu.
2. Proses yang terjadi di dalam ginjal:
   a. filtrasi di dalam glomerulus menghasilkan urine primer
   b. reabsorpsi dan sekresi dari tubulus kontortus proksimasl, lengkung Henle, dan tubulus kontortus distal
   c. augmentasi: pengumpulan zat-zat sisa.
3. Gangguan pada alat ekskresi:
   a. pada ginjal: nefritis, uremia, edema, albuminuria, hidronefrosis, dan hematuria
   b. pada kulit: eksim, panu, kusta
   c. pada paru-paru: emfisema
   d. pada hati: hepatitis, sirosis hati, kolestasis.
4. Alat ekskresi pada hewan ada beberapa macam, di antaranya yaitu:
   a. sel-sel rambut getar atau sel api pada *Planaria*
   b. nefridia pada cacing tanah
   c. pembuluh Malphigi pada belalang (Insecta)
   d. sepasang ginjal opistonefros pada ikan
5. Di dalam sistem ekskresi hewan, zat-zat yang masih bermanfaat bagi tubuh tetap diserap kembali (reabsorpsi) seperti pada sistem ekskresi manusia.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Amati tabel berikut.

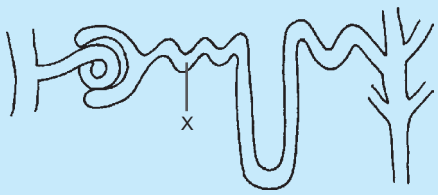
| | Konsentrasi dalam Cairan | | |
|---|---|---|---|
| | R | S | T |
| Glukosa | 0,1 | 0,1 | 0 |
| Protein | 8,0 | 0 | 0 |
| Urea | 0,03 | 0,03 | 2,0 |
| Garam | 0,7 | 0,7 | 1,5 |

Label R, S, dan T yaitu . . . .

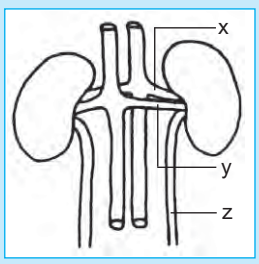
a. darah yang mengandung $O_2$, filtrat, dan urine
b. darah yang mengandung $O_2$, urine, dan urine
c. darah yang mengandung $CO_2$, filtrat, dan filtrat
d. darah yang mengandung $CO_2$, filtrat, dan urine
e. darah yang mengandung $O_2$, urine, dan filtrat

2. Satuan struktural dan fungsional terkecil ginjal dikenal dengan . . . .
   a. neuron
   b. nefron
   c. neurit
   d. papula
   e. medula

3. Organ berikut yang tidak melakukan aktivitas ekskresi yaitu . . . .
   a. kulit
   b. ginjal
   c. paru-paru
   d. pankreas
   e. hepar

4. 

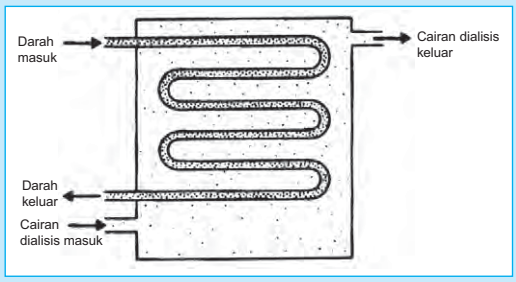

   Perhatikan gambar nefron di atas.
   Bagian yang berlabel X yaitu . . . .
   a. tubulus kolektivus, berisi urine sebenarnya
   b. tubulus kontortus distal, berisi urine sekunder
   c. lengkung Henle, berisi urine primer
   d. tubulus kontortus proksimal, berisi urine primer
   e. kapsul Bowman, terjadi proses filtrasi

5. 


   Amati diagram di atas. Label x, y, dan z yaitu . . . .
   a. arteri, vena, ureter
   b. arteri, vena, dan uretra
   c. arteri, ureter, dan uretra
   d. vena, arteri, dan ureter
   e. vena, ureter, dan uretra

6. Tempat penampungan urine sebelum di-eksresikan yaitu . . . .
   a. ginjal
   b. kantong urinaria
   c. kantong empedu
   d. kelenjar keringat
   e. kapsul Bowman

7. Amati diagram dialisis berikut.




   Substansi dalam cairan dialisis yang mempunyai konsentrasi rendah dibanding darah yaitu . . . .
   a. asam amino dan glukosa
   b. asam amino dan garam
   c. glukosa dan garam
   d. glukosa dan urea
   e. garam dan urea

8. Proses berikut yang termasuk ekskresi yaitu . . . .
   a. pembentukan glikogen dalam hati
   b. pelepasan insulin dari pankreas
   c. pelepasan saliva dari glandula salivales
   d. keluarnya karbon dioksida dari paru-paru
   e. keluarnya feses dari anus

9. Pada lapisan epidermis kulit terdapat stratum corneum yang berfungsi . . . .
   a. sebagai tempat sintesis vitamin D
   b. mengatur keseimbangan temperatur
   c. mengontrol evaporasi
   d. penerima rangsang panas, nyeri, dan tekanan
   e. mengatur produksi keringat

10. Perhatikan gambar penampang kulit di samping. Bagian yang berfungsi menghasilkan zat sisa berupa keringat yaitu . . . .

   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

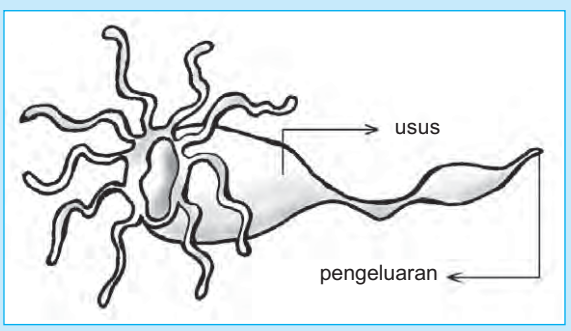
11. Zat sisa yang dikeluarkan saat melakukan pernapasan yaitu . . . .
   a. urea dan panas
   b. uap air dan urea
   c. uap air dan karbon dioksida
   d. karbon dioksida dan urea
   e. uap air dan panas

12. Kelebihan protein di dalam tubuh tidak akan disimpan melainkan dikeluarkan melalui . . . .
    a. kulit
    b. anus
    c. paru-paru
    d. ginjal
    e. hati

13. Penyakit yang menyebabkan urine banyak mengandung glukosa dikenal dengan . . . .
    a. edema
    b. albuminuria
    c. nefritis
    d. diabetes mellitus
    e. diabetes insipidus

14. Zat sisa metabolisme yang dikeluarkan serangga bersama-sama feses berupa . . . .
    a. asam urat
    b. amonia
    c. air dan garam
    d. urea
    e. asimetilamin oksida

15. Hewan yang mempunyai alat ekskresi berupa nefridia di setiap ruas tubuhnya yaitu . . . .
    a. *Planaria*
    b. cacing tanah
    c. serangga
    d. udang
    e. belalang

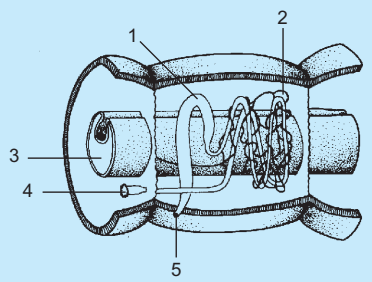
16. 


    Perhatikan gambar alat ekskresi sejenis hewan Invertebrata. Alat ekskresi tersebut dimiliki oleh . . . .
    a. serangga
    b. cacing pita
    c. bekicot
    d. lintah
    e. udang

17. Alat ekskresi pada Insecta disebut . . . dan zat sisa yang dikeluarkan berupa . . . .
    a. opistonefros, asam urat
    b. pronefros, amonia
    c. buluh Malpighi, asam urat
    d. nefridium, asam urat
    e. sel api, amonia

18. Alat ekskresi pada kecoak berupa . . . .
    a. papula
    b. vakuola kontraktil
    c. ginjal
    d. buluh Malpighi
    e. *flame cell*

19. Perhatikan sistem ekskresi Annelida berikut.




    Zat-zat sisa diekskresikan keluar tubuh melalui organ yang berlabel nomor . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

20. Zat sisa nitrogen pada belalang dapat diekskresikan pada saat . . . .
    a. mengeluarkan feses
    b. mengeluarkan urine
    c. membuang garam-garam
    d. pengelupasan kulit
    e. pembentukan kitin

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Ginjal sapi atau kambing mempunyai struktur yang hampir sama dengan ginjal manusia. Coba Anda gambarkan struktur ginjal tersebut apabila ginjal dibelah secara membujur.

2. Walaupun ginjal hanya sebesar biji ercis, namun di dalamnya mengandung berjuta-juta nefron. Coba Anda gambarkan bagian-bagian nefron serta tunjukkan bagian yang berfungsi sebagai filtrasi.
3. Urine dan keringat merupakan sisa-sisa metabolisme. Tetapi, urine dan keringat berbeda. Coba Anda sebutkan perbedaan urine dan keringat dalam hal substrat yang dikandungnya.
4. Jelaskan lapisan-lapisan dari kulit beserta fungsinya.
5. Amati sistem ekskresi pada tubuh *Planaria* di samping. Menurut Anda apakah zat-zat sisa pada *Planaria* ini dikeluarkan melalui satu lubang saja?

C. *Berpikir kritis.*

Setelah mempelajari dan memahami proses terbentuknya urine, menurut Anda apakah urine ini dapat membahayakan tubuh apabila tidak dikeluarkan? Jelaskan. Bagaimana pendapat Anda dengan metode pengobatan alternatif dengan meminum urine atau mengoleskan urine di tempat yang terasa sakit? Jelaskan.

## Refleksi

### Sistem Ekskresi pada Manusia dan Hewan

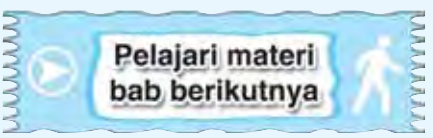
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Apa saja organ ekskresi yang terdapat dalam tubuh manusia?
2. Bagaimana cara untuk menjaga agar ginjal tetap sehat?
3. Jelaskan proses pembuatan urine di dalam ginjal.
4. Apa nama organ ekskresi pada *Planaria*, cacing tanah, dan serangga?
5. Apa hubungan antara penyakit sirosis hati dan kebiasaan mengonsumsi alkohol?

Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%

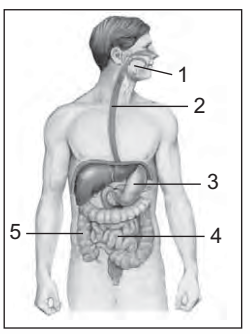


# Latihan Ulangan Blok 3

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

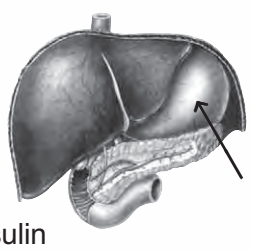
1. Urutan yang benar mengenai proses pencernaan makanan yaitu . . . .
   a. ingesti, digesti, mastikasi, absorpsi, deglutisi, defekasi
   b. ingesti, deglutisi, mastikasi, digesti, defekasi, absorpsi
   c. ingesti, mastikasi, digesti, deglutisi, defekasi, absorpsi
   d. ingesti, mastikasi, deglutisi, digesti, absorpsi, defekasi
   e. ingesti, mastikasi, digesti, deglutisi, absorpsi, defekasi

2. Pada gambar di samping, pencernaan secara mekanik terjadi pada nomor . . . .
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5



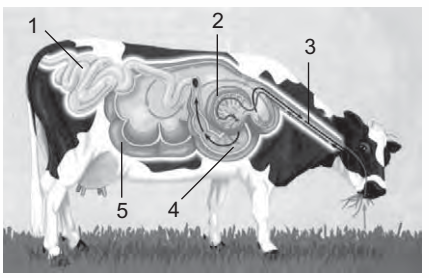

3. Organ penghasil getah empedu yaitu . . . .
   a. limfa
   b. pankreas
   c. hati
   d. lambung
   e. ginjal

4. Fungsi dari organ yang ditunjuk yaitu . . . .
   a. tempat penimbunan zat-zat makanan
   b. penghasil getah empedu
   c. penghasil hormon insulin
   d. menetralkan asam klorida dalam kimus
   e. merangsang gerak peristaltik usus



5. Zat makanan yang pertama kali diserap oleh tubuh yaitu . . . .
   a. karbohidrat
   b. protein
   c. lemak
   d. mineral
   e. vitamin

6. Jika terlambat makan, lambung akan terasa perih. Hal ini disebabkan karena . . . .
   a. sekresi asam lambung meningkat
   b. banyak kuman penyakit di dalam lambung
   c. produksi enzim-enzim pencernaan meningkat
   d. berkurangnya asam lambung
   e. enzim-enzim pencernaan menjadi tidak aktif

7. 


   Pada gambar di atas, pencernaan makanan dengan enzim dan asam klorida terjadi pada nomor . . . .
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

8. Pada gambar nomor 12, proses yang terjadi pada bagian nomor 3 yaitu . . . .
   a. pembentukan bolus yang kasar
   b. pencernaan makanan dengan bantuan asam klorida
   c. pembentukan bolus yang lebih halus
   d. penguraian makanan oleh enzim-enzim pencernaan
   e. penghubung antara mulut dengan lambung

9. Pada hewan memamah biak, jenis gigi yang tidak berkembang yaitu . . . .
   a. insisivus
   b. caninus
   c. premolare
   d. molare
   e. insisivus dan caninus

10. Pernyataan yang tidak tepat mengenai sistem pencernaan hewan memamah biak yaitu . . . .
    a. sapi mengalami pencernaan selulosa hanya pada rumen
    b. kuda mengalami pencernaan selulosa hanya pada sekum
    c. feses yang dikeluarkan sapi lebih halus daripada feses kuda
    d. usus hewan herbivora lebih panjang daripada karnivora
    e. sekum hewan karnivora lebih kecil daripada herbivora

11. Organ yang tersusun atas cincin-cincin tulang rawan yang berbentuk C yaitu . . . .
    a. faring
    b. laring
    c. bronkus
    d. trakea
    e. bronkiolus

12. Jalur udara pernapasan yang meninggalkan sel-sel tubuh yaitu . . . .
    a. rongga hidung - laring - faring - trakea - alveolus - bronkus
    b. rongga hidung - faring - laring - alveolus - trakea - bronkus
    c. alveolus - bronkus - faring - laring - trakea - rongga hidung
    d. alveolus - bronkus - trakea - laring - faring - rongga hidung
    e. bronkus - alveolus - trakea - faring - laring - alveolus - rongga hidung

13. Pengangkutan $CO_2$ di dalam darah dapat dilakukan dengan cara . . . .
    a. diangkut dalam bentuk ion klorit oleh plasma darah
    b. diikat oleh hemoglobin membentuk oksihemoglobin
    c. diangkut dalam bentuk asam karbonat oleh plasma darah
    d. diangkut oleh plasma darah dalam bentuk karboksihemoglobin
    e. diangkut oleh hemoglobin dalam bentuk ion bikarbonat

14. Pada waktu bernapas, berlangsung kegiatan inspirasi yaitu . . . .
    a. proses pemasukan gas $O_2$ dari udara atmosfer ke paru-paru
    b. proses pemasukan gas $CO_2$ dari udara atmosfer ke paru-paru
    c. proses pengeluaran gas $O_2$ dari paru-paru ke luar tubuh
    d. proses pengeluaran gas $CO_2$ dari paru-paru ke luar tubuh
    e. proses pemasukan gas $H_2O$ dari udara atmosfer ke paru-paru

15. Pada pernapasan dada, otot yang berperan aktif yaitu . . . .
    a. otot diafragma dan otot rongga perut
    b. otot rongga perut dan otot antartulang rusuk
    c. otot antartulang rusuk
    d. otot rongga perut
    e. otot diafragma

16. Volume udara yang dapat dikeluarkan semaksimal mungkin setelah melakukan inspirasi semaksimal mungkin disebut dengan . . . .
    a. volume total paru-paru
    b. voulme tidal
    c. kapasitas vital
    d. volume cadangan respirasi
    e. volume residu

17. Suatu penyakit yang terjadi karena ketidak-normalan susunan dan fungsi alveolus disebut . . . .
    a. bronkitis
    b. pleuritis
    c. pneumonia
    d. asma
    e. emfisema

18. Pada Insecta jalan keluar masuknya udara dari dan ke dalam sistem trakea yaitu . . . .
    a. trakeolus
    b. pembuluh trakea
    c. parapodia
    d. kantung udara
    e. spirakel

19. Arthropoda yang hidup di air seperti udang dan ketam bernapas dengan . . . .
    a. insang
    b. paru-paru
    c. insang buku
    d. trakea
    e. pulmatis

20. Plumoris merupakan alat bantu pernapasan pada . . . .
    a. ikan paru-paru
    b. ikan bertulang belakang
    c. Amphibia
    d. ikan bertulang sejati
    e. Reptilia

21. Mekanisme pernapasan pada Amphibia diatur oleh otot-otot pernapasan berikut ini, *kecuali* . . . .
    a. submandibularis
    b. sternohioideus
    c. otot perut
    d. geniohioideus
    e. otot dada

22. Reptilia bernapas menggunakan paru-paru. Berikut ini yang merupakan urutan masuknya gas $O_2$ ke dalam paru-paru yaitu . . . .
    a. lubang hidung → rongga mulut → anak tekak → trakea yang panjang → bronkiolus
    b. lubang hidung → anak tekak → rongga mulut → trakea yang panjang → bronkiolus

c. rongga mulut → lubang hidung → anak tekak → trakea yang panjang → bronkiolus
d. rongga mulut → lubang hidung → trakea yang panjang → anak tekak → bronkiolus
e. lubang hidung → rongga mulut → anak tekak → bronkiolus → trakea yang panjang

23. Percabangan bronkus disebut dengan . . . .
a. ventrobronkus
b. dorsobronkus
c. parabronkus
d. mesobronkus
e. bronkiolus

24. Selain paru-paru, burung biasanya memiliki 4 pasang perluasan paru-paru yang disebut kantung udara. Kantung udara yang terdapat di antara tulang selangka disebut . . . .
a. saccus cervicalis
b. saccus thoracalis
c. saccus interclavicularis
d. saccus axillaris
e. saccus abdominalis

25. Pada Mammalia gas $O_2$ diedarkan ke seluruh jaringan tubuh oleh . . . .
a. paru-paru
b. jantung
c. darah
d. bronkus
e. laring

26. 1) kapsul Bowman
2) lengkung Henle
3) duktus kolektivus
4) tubulus kontortus distal
5) tubulus kontortus proksimal
Perjalanan filtrat secara singkat dapat ditulis . . . .
a. 3 – 4 – 2 – 5 – 1
b. 1 – 2 – 3 – 4 – 5
c. 1 – 4 – 2 – 5 – 3
d. 3 – 4 – 2 – 5 – 3
e. 1 – 5 – 2 – 4 – 3

27. Bagian dari ginjal yang berperan dalam mengatur konsentrasi urine agar urine yang diekskresikan bersifat hipertonis dibandingkan cairan tubuh yaitu . . . .
a. nefron cortikal
b. nefron duxtamedular
c. glomerulus
d. lengkung Henle ascending
e. lengkung Henle descending

28. Langkah-langkah pembentukan urine yang benar yaitu . . . .
a. filtrasi - reabsorpsi $H_2O$ - sekresi - reabsorpsi di tubulus - ekskresi
b. filtrasi - reabsorpsi $H_2O$ - ekskresi - reabsorpsi $H_2O$ - ekskresi
c. filtrasi - reabsorpsi di tubulus - sekresi - reabsorpsi $H_2O$ - ekskresi
d. filtrasi - reabsorpsi di tubulus - ekskresi - reabsorpsi $H_2O$ - sekresi
e. sekresi - reabsorpsi di tubulus - filtrasi - reabsorpsi $H_2O$ - ekskresi

29. Berikut ini adalah beberapa macam penyakit dan kelainan ginjal, *kecuali* . . . .
a. uremia
b. asfiksi
c. edema
d. albuminuria
e. hidronefrosis

30. Warna kulit seseorang ditentukan oleh pigmen melanin. Pigmen ini di dalam kulit terdapat pada lapisan . . . .
a. stratum corneum
b. jaringan dermis
c. stratum granulosum
d. jaringan epidermis
e. stratum germinativum

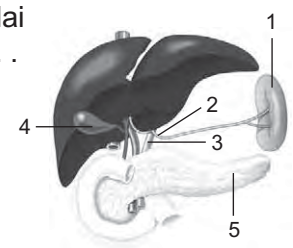
31. Zat-zat yang diekskresikan paru-paru yaitu . . . .
a. $CO_2$ dan $H_2O$
b. $CO_2$ dan $O_2$
c. $H_2O$ dan $O_2$
d. CO dan $H_2O$
e. CO dan $O_2$

32. Pembuluh yang mengangkut darah keluar dari hati yaitu . . . .
a. arteri hepatica
b. vena hepatica
c. vena portal hepatica
d. capsul hepatica
e. sinusoid

33. Pembuluh empedu dibentuk oleh gabungan dari . . . .
a. sinusoid
b. hepatosit
c. kanalikuli
d. sel Kupffer
e. lakuna

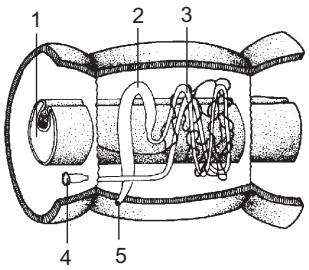
34. Gangguan pada hati yang disebabkan oleh banyaknya jaringan ikatan pada hati yaitu . . . .
a. hepatitis
b. sirosis hati
c. kanker hati
d. kolestasis
e. hemokromatosis

35. Bagian yang menyuplai darah ke hati yaitu . . . .
a. 1 dan 2
b. 1 dan 3
c. 2 dan 3
d. 2 dan 4
e. 2 dan 5



36. Zat warna yang memberikan warna pada feses dan urine yaitu . . . .
    a. globin
    b. heme
    c. biliverdin
    d. bilirubin
    e. zat besi

37. *Flame cell* merupakan alat ekskresi pada . . . .
    a. cacing tanah
    b. Porifera
    c. *Planaria*
    d. belalang
    e. Mollusca

38. 


    Bagian yang berfungsi menarik dan mengambil cairan tubuh adalah nomor . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5

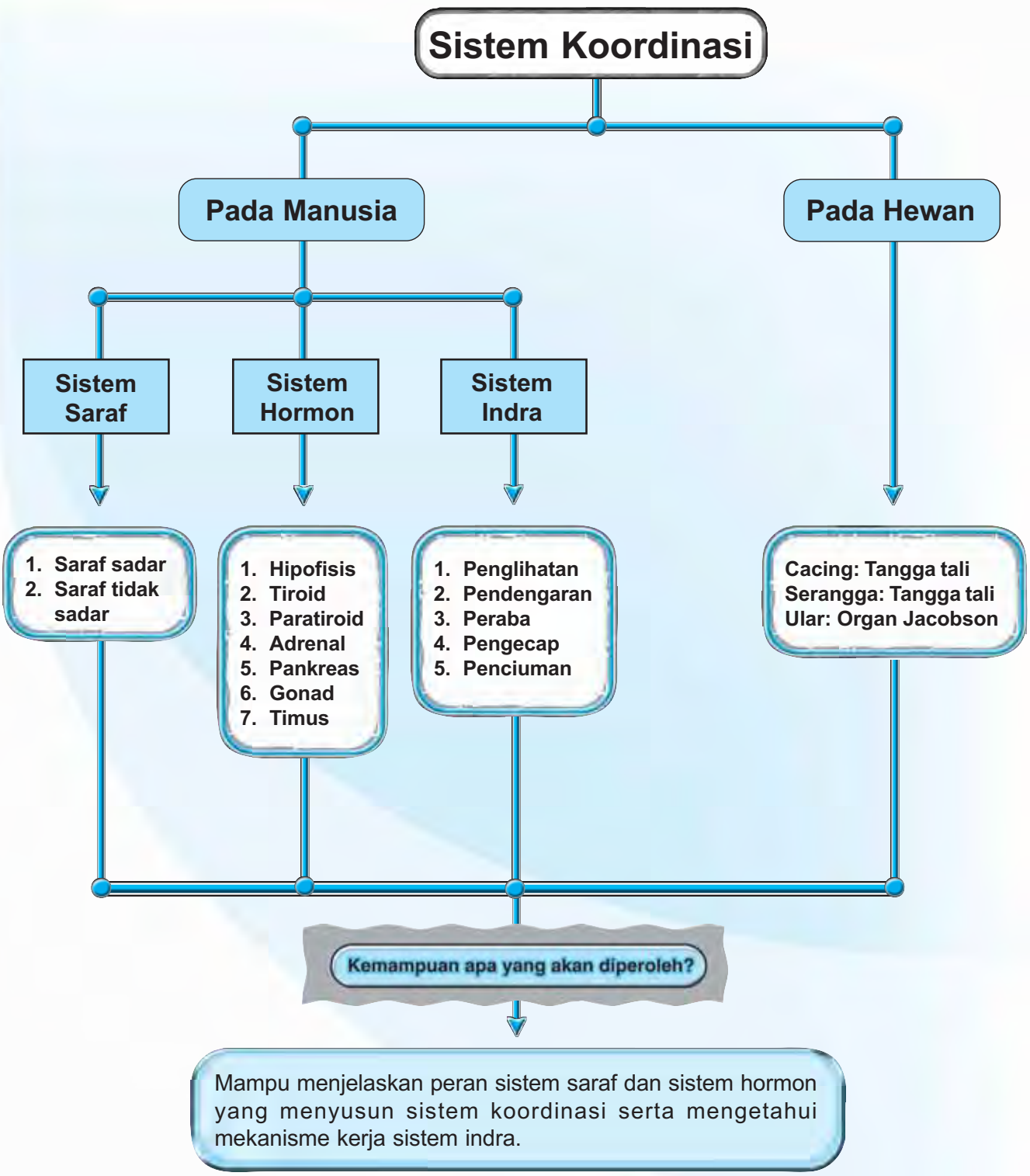
39. Pembuluh Malphigi merupakan alat ekskresi pada . . . .
    a. belalang
    b. cacing tanah
    c. *Planaria*
    d. Mollusca
    e. Porifera

40. Zat sisa yang berupa asam urat akan diekskresikan pada saat . . . .
    a. mengeluarkan urine
    b. mengeluarkan feses
    c. membuang garam-garam
    d. pembentukan kitin
    e. pengelupasan kulit

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan mekanisme gerak peristaltik pada kerongkongan.
2. Sebutkan enzim-enzim yang terdapat di lambung.
3. Apa akibatnya apabila tubuh kekurangan protein?
4. Sebutkan manfaat air bagi tubuh.
5. Jelaskan mekanisme pencernaan makanan dalam lambung hewan memamah biak.
6. Jelaskan organ-organ pernapasan pada manusia.
7. Jelaskan perbedaan antara pernapasan dada dengan pernapasan perut.
8. Jelaskan sistem pernapasan pada hewan Invertebrata.
9. Jelaskan mekanisme inspirasi dan ekspirasi pada Amphibia.
10. Jelaskan perbedaan antara pernapasan pada burung yang sedang terbang dengan burung yang sedang istirahat.
11. Jelaskan proses pembentukan urine.
12. Jelaskan bagaimana suhu dapat mempengaruhi produksi urine.
13. Epidermis kulit tersusun dari 3 lapisan. Jelaskan ciri-ciri spesifik dari ketiga lapisan tersebut.
14. Jelaskan mengapa feses dan urine berwarna kuning.
15. Jelaskan proses pengeluaran zat sisa pada cacing tanah.

# Bab IX Sistem Koordinasi pada Manusia dan Hewan



**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Anda pasti tertawa saat membaca SMS lucu yang dikirim oleh teman Anda. Namun, terkadang Anda juga akan sedih saat membaca SMS yang berisi berita menyedihkan. Mengapa ekspresi seperti itu bisa terjadi? Hal ini terjadi karena ada sistem koordinasi dalam diri Anda yang melibatkan sistem saraf, endokrin, dan indra.

Pada bab ini akan dipelajari lebih lanjut tentang sistem saraf yang bekerja pada tubuh manusia dan hewan. Setelah mempelajari bab ini Anda akan dapat menjelaskan cara tubuh kita merespon terhadap sebuah rangsang.

**Kata Kunci**

sistem saraf
otak
impuls
hormon
lensa mata
indra
reseptor
sinopsis
gerak reflek
neurotransmiter
kelenjar
korpora alata
daya akomodasi

Saat Anda melihat kilat, ada dua macam gerakan yang terjadi yaitu gerak refleks dan gerak sadar. Gerak refleks terjadi saat mata segera terpejam dan mulut berteriak, sedangkan gerakan sadarnya berupa gerakan menutup telinga.

Berbeda dengan gerak refleks, gerak sadar terjadi karena otak berpikir dengan cepat bahwa kilat biasanya diikuti oleh suara petir yang menggelegar. Keadaan tersebut membuat otak memerintahkan tangan untuk menutup telinga agar dapat meredam suara tersebut.

Reaksi terkejut pada saat Anda melihat kilat akan berpengaruh pada reaksi hormonal. Saat terkejut, tubuh akan mengeluarkan **adrenalin** cukup banyak. Adrenalin yang banyak tersekresi akan meningkatkan detak jantung. Detak jantung yang cepat juga mungkin terjadi akibat hipotalamus mengaktifkan sistem saraf simpatik.

Dari uraian singkat di atas, diketahui bahwa di dalam tubuh terdapat suatu sistem koordinasi yaitu sistem hormon dan sistem saraf. Interaksi keduanya melibatkan sistem indra di dalam tubuh. Tersusun atas apa sajakah sistem hormon dan sistem saraf? Apa peran dari masing-masing penyusun kedua sistem itu? Hal tersebut akan Anda pelajari dalam subbab berikut.

**Tahukah Anda**

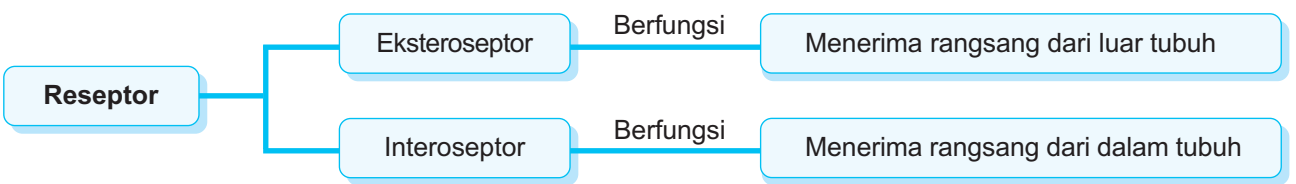
**Sikap Saat Mendengar Gemuruh Petir**

Saat kita melihat kilat dan mendengar gemuruh petir yang dahsyat, sebaiknya mulut terbuka (menganga). Hal tersebut untuk mengurangi tekanan pada telinga, sehingga tidak terjadi kerusakan pada gendang telinga.

**Sumber:** *Intisari*

## A. Sistem Saraf

Sistem saraf mempunyai dua fungsi yaitu sebagai penerima dan penghantar rangsang ke seluruh bagian tubuh, serta memberikan tanggapan terhadap rangsang tersebut. Sel saraf yang menerima rangsang disebut **reseptor**. Reseptor dapat dibedakan menjadi eksteroseptor dan interoseptor. Perbedaan kedua reseptor tersebut dapat dilihat pada skema berikut.




Rangsang yang berasal dari luar tubuh dapat berupa bau, rasa (pahit, manis), sentuhan, cahaya, suhu, tekanan atau gaya berat. Rangsang dari dalam tubuh berupa rasa lapar, kenyang, sakit, dan lelah. Sel saraf yang mengirimkan tanggapan rangsang disebut **efektor**. Sebelum membahas lebih lanjut tentang sistem saraf, akan kita bahas terlebih dahulu penyusun sistem saraf, yaitu **sel saraf** (**neuron**).

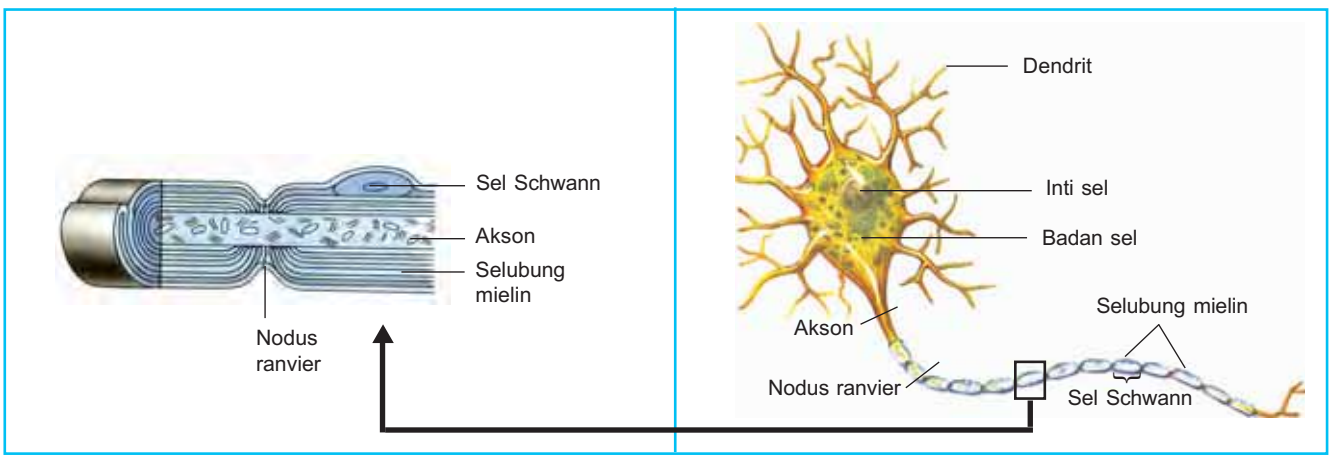
### 1. Bagian-Bagian Sel Neuron (Sel Saraf)

Sistem saraf tersusun atas sel-sel saraf yang disebut **neuron**. Sel-sel neuron terbagi atas beberapa bagian yaitu badan sel, dendrit, dan neurit (akson).

a. **Badan sel**, berwarna kelabu, terdiri atas membran sel, sitoplasma (neuroplasma), nukleus, nukleolus, dan retikulum endoplasma. Retikulum endoplasma yang mengelompok pada sel saraf disebut **badan nissl**.

b. **Dendrit**, merupakan lanjutan atau percabangan badan sel saraf. Dendrit berfungsi menerima **impuls** yang datang dari ujung akson lain, selanjutnya membawa impuls tersebut ke dalam badan sel saraf. Dendrit disebut juga **serabut pendek neuron**.

c. **Neurit** (**akson**) disebut juga **serabut panjang neuron**. Neurit berfungsi meneruskan impuls yang berasal dari badan sel saraf ke sel-sel saraf yang lain. Bagian badan sel saraf yang berhubungan dengan akson berbentuk segitiga dinamakan **akson hillcok**. Neurit terbungkus oleh **selubung mielin**. Selubung ini tersusun oleh sel-sel Schwann. Mielin berfungsi sebagai isolator.




**Sumber:** *Biology for Advanced Level, Glenn dan Susan Toole* **Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.1**
Struktur neuron

Bagian neurit yang tidak berselubung mielin disebut **nodus ranvier**. Nodus ranvier berfungsi mempercepat jalannya impuls. Ujung neurit disebut **terminal percabangan** yang akan bertemu dengan ujung dendrit sel neuron yang lain. Pertemuan kedua ujung sel neuron yang berbeda disebut **sinapsis**. Perhatikan Gambar 9.1.

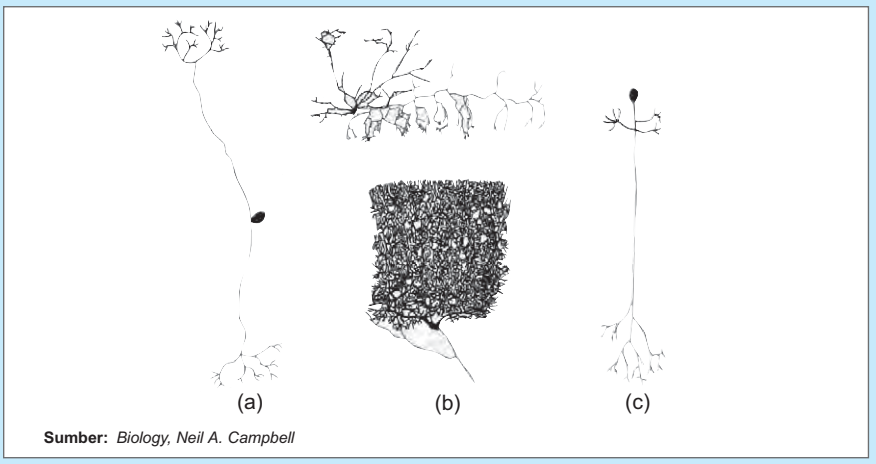
Neuron terbagi menjadi 3 macam berdasarkan fungsi, tempat impuls disalurkan, dan strukturnya. Perbedaan neuron dapat dilihat dalam Tabel 9.1 berikut.

**Tabel 9.1** Perbedaan Antara Neuron Sensorik, Neuron Motorik, dan Neuron Konektor

| Ciri-Ciri | Neuron Sensorik | Neuron Motorik | Neuron Konektor |
|---|---|---|---|
| Arah impuls | Dari reseptor ke sistem saraf pusat | Dari sistem saraf pusat ke efektor | Dari neuron sensorik ke neuron motorik |
| Daerah yang berhubungan dengan dendrit | Reseptor | Neurit neuron yang lain | Neuron sensorik |
| Daerah yang berhubungan dengan neurit | Dendrit neuron lain | Efektor | Neuron motorik |
| Struktur dendrit | Panjang | Pendek | Pendek |
| Struktur neurit | Pendek | Panjang | Panjang |

## Forum Diskusi

Coba Anda perhatikan gambar ketiga neuron berikut ini.




**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

Berdasarkan ciri-ciri yang telah diuraikan pada Tabel 9.1, gambar manakah yang menunjukkan neuron sensorik, neuron motorik, dan neuron konektor? Diskusikan dengan teman Anda dan buatlah kesimpulannya.

## 2. Susunan Sistem Saraf

Secara garis besar susunan sistem saraf manusia dijelaskan pada diagram berikut.

- Sistem saraf
  - Sistem saraf sadar
    - Sistem saraf pusat
      - Otak
        - Otak besar
        - Otak tengah
        - Otak depan
        - Jembatan Varol
        - Otak kecil
      - Sumsum
        - Sumsum lanjutan
        - Sumsum tulang belakang
    - Sistem saraf tepi (kraniospinal)
      - 31 pasang saraf sumsum tulang belakang (saraf spinal)
      - 12 pasang saraf otak (saraf kranial)
  - Sistem saraf tidak sadar (otonom)
    - Sistem saraf simpatetik
    - Sistem saraf parasimpatetik

### a. Sistem Saraf Sadar

Sistem saraf pada manusia dibedakan menjadi dua macam, yaitu sistem saraf sadar dan sistem saraf tidak sadar. Sistem saraf sadar dibedakan lagi menjadi sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat berfungsi mengatur dan mengendalikan sistem koordinasi. Pada bagian ini Anda akan mempelajari fungsi dan penyusun sistem saraf pusat.

### 1) *Sistem Saraf Pusat*

Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum. Bagian luar otak dan sumsum diselubungi oleh **selaput meninges**.

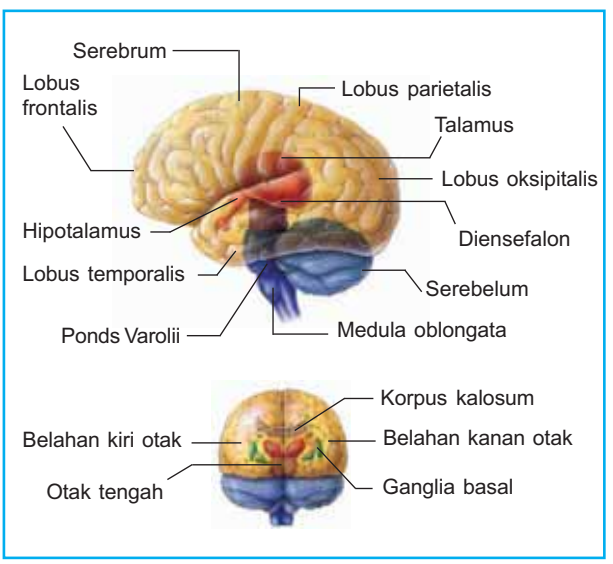
Selaput meninges, tersusun sebagai berikut.

a) **Duramater**, yaitu selaput terluar yang kuat dan melekat pada tulang tengkorak dalam.
b) **Arakhnoid**, lapisan ini menyerupai sarang laba-laba.
c) **Piamater**, merupakan lapisan paling tipis dan paling dalam dari selaput meninges. Selaput ini mengandung banyak sel darah.
d) **Ruang subarakhnoid**, yaitu ruang yang berisi cairan pelindung yang disebut **serebrospinal**.

Di dalam otak terdapat cairan serebrospinal. Cairan ini berfungsi untuk melindungi dan menghantar zat makanan ke jaringan sistem saraf pusat, menahan goncangan, dan menjaga agar bagian otak mempunyai tekanan yang sama.

#### a) *Otak*

Otak terdiri atas 5 bagian, yaitu otak besar (*serebrum*), otak tengah (*mesensefalon*), otak depan (*diensefalon*), otak kecil (*serebelum*), dan jembatan Varol (*ponds Varolii*). Perhatikan Gambar 9.2.




**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.2**
Bagian-bagian otak manusia

#### (1) Otak Besar (Serebrum)

Pernahkah Anda mengamati bentuk otak sapi? Otak sapi memiliki permukaan berlipat-lipat, begitu pula dengan otak manusia. Namun, lipatan-lipatan pada manusia jumlahnya lebih banyak. Semakin besar volume otak dan semakin tinggi tingkat perkembangannya, orang akan semakin cerdas. Akan tetapi, volume otak tidak dipengaruhi oleh besarnya ukuran kepala. Bagian otak yang menentukan dasar-dasar kecerdasan seseorang adalah otak besar (serebrum).

Serebrum berwarna abu-abu pada bagian luar (korteks) karena mengandung banyak badan sel saraf yang disebut **substansi grissea**. Bagian dalam (medula) serebrum berwarna putih karena mengandung banyak dendrit dan akson, disebut **substansi alba**. Serebrum terdiri atas beberapa lobus. Lakukanlah eksperimen berikut agar lebih jelas.

## Eksperimen 1

### Membedakan Lobus pada Serebrum

Ambillah model otak yang telah tersedia. Perhatikan dan gambarlah bagian-bagian yang menyusun otak besar. Berapa lobuskah yang dimiliki oleh otak besar (*serebrum*)? Dengan membaca literatur mengenai otak, sebutkan fungsi tiap-tiap lobus tersebut.

| Jenis Lobus | Fungsi/Peran |
|---|---|
| 1) Lobus frontalis | Mengendalikan gerak otot lurik |
| 2) . . . | . . . |
| 3) . . . | . . . |
| 4) . . . | . . . |

Kumpulkan laporan Anda pada bapak atau ibu guru.

Celah di antara bagian dahi dengan bagian ubun-ubun pada serebrum disebut **fisura rolando**. Lobus dahi dan lobus pelipis dipisahkan oleh **celah** atau **fisura silvius**.

### (2) Otak Tengah (Mesensefalon)

Otak tengah terletak di depan otak kecil (serebelum) dan jembatan Varol. Otak tengah berperan dalam refleks mata dan kontraksi otot yang terus menerus.

### (3) Otak Depan (Diensefalon)

Otak depan terdiri atas dua lobus berikut.

(a) **Thalamus**, berfungsi menerima semua rangsang yang berasal dari reseptor (kecuali bau) ke area sensorik serebrum, serta melakukan persepsi rasa sakit dan rasa menyenangkan.

(b) **Hipothalamus**, merupakan pusat koordinasi sistem saraf tepi (otonom). Hipotalamus berfungsi mengatur suhu tubuh pada organisme **homoiotermal**. Akibatnya, suhu tubuh relatif tetap, tidak terpengaruh oleh suhu lingkungan. Hipothalamus berfungsi mengatur rasa lapar sehingga manusia melakukan kegiatan makan. Hipothalamus mengatur emosi, kadar air dalam tubuh, kegiatan produksi, tekanan darah, dan kadar gula dalam darah.

### (4) Otak Kecil (Serebelum)

Otak kecil terletak di bagian belakang di bawah otak besar. Otak kecil berfungsi mengkoordinasikan kerja otot, tonus otot, keseimbangan, dan posisi tubuh. Otak kecil merupakan pusat keseimbangan. Apabila terjadi gangguan (kerusakan) pada otak kecil maka semua gerakan otot tidak dapat dikoordinasikan. Keadaan seperti ini disebut **ataxi**.

### (5) Jembatan Varol (Ponds Varolii)

Jembatan Varol merupakan serabut saraf yang menghubungkan otak kecil bagian kiri dan kanan, serta menghubungkan otak besar dengan sumsum tulang belakang. Jembatan Varol berfungsi menghantarkan rangsang dari kedua bagian serebelum.

## b) *Sumsum*

Pada sistem koordinasi, sumsum terbagi menjadi 2 bagian yaitu **sumsum lanjutan** (*medula oblongata*) dan **sumsum tulang belakang** (*medula spinalis*).

**Tahukah Anda**

**Otak Tidak Pernah Tidur**

Gelombang EEG menunjukkan bahwa otak hampir sama sibuknya pada malam hari ketika tidur maupun ketika kita bangun. Otak masih mengontrol denyut jantung, pernapasan, dan pencernaan. Otak juga menyaring kejadian-kejadian sehari-hari dan menyimpannya dalam memori.

**Sumber:** *100 Pengetahuan tentang Tubuh Manusia*

**Tahukah Anda**

**Struktur Otak**

Otak mempunyai ukuran 2 kepalan tangan yang letaknya berdampingan. Otak kelihatan seperti gumpalan jeli yang berkerut-kerut berwarna abu-abu merah muda. Berat rata-rata otak ± 1,4 kg. Otak tidak bergerak, tetapi aktivitasnya yang menakjubkan menghabiskan seperlima dari semua energi yang dibutuhkan tubuh.

### (1) Sumsum Lanjutan (Medula Oblongata)

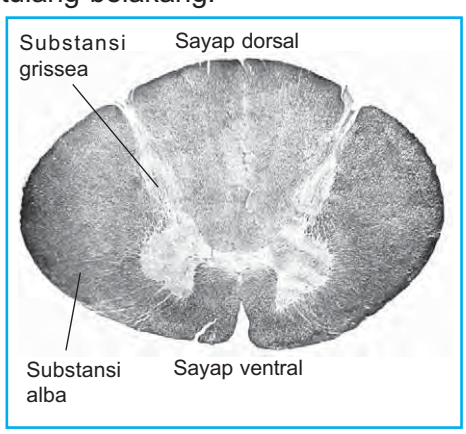
Sumsum lanjutan merupakan bagian paling belakang dari otak. Sumsum lanjutan paling atas disebut **jembatan Varol**. Sumsum lanjutan berfungsi mengatur denyut jantung, menyempitkan pembuluh darah, melakukan gerakan menelan, batuk, bersin, bersendawa, muntah, serta membantu pernapasan.

### (2) Sumsum Tulang Belakang (Medula Spinalis)

Sumsum tulang belakang merupakan lanjutan dari medula oblongata. Bagian ini terus berlanjut ke bawah sampai ke tulang belakang (*vertebrae lumbalis*) kedua. Seperti pada otak, bagian tengah berkas sarafnya mengandung cairan serebrospinal. Saluran cairan ini disebut **kanal sentral**.

Sumsum tulang belakang berfungsi menghubungkan rangsang dari dan menuju otak. Selain itu sumsum ini juga memberi kemungkinan jalan terpendek pada gerak refleks.

Penampang melintang sumsum tulang belakang berbentuk kupu-kupu. Perhatikan Gambar 9.3. Bagian luar (korteks) sumsum tulang belakang berwarna putih disebut **substansi alba**. Bagian dalam (medula) berwarna abu-abu disebut **substansi grissea**. (Bila Anda ingat kembali tentang struktur otak, maka struktur warna korteks medula pada sumsum tulang belakang berkebalikan dengan otak). Perhatikan gambar di samping untuk lebih jelas melihat penampang melintang sumsum tulang belakang.




**Sumber:** *Ilustrated World of Science encyclopedia 2, Creative World Publication, inc*

**Gambar 9.3**
Penampang melintang sumsum tulang belakang

Pada gambar di atas, sumsum tulang belakang dibedakan menjadi sayap ventral dan sayap dorsal. **Sayap ventral** yaitu bagian yang mengarah ke perut. Bagian ini mengandung badan neuron motorik.

**Sayap dorsal** yaitu bagian yang mengarah ke punggung. Bagian sayap dorsal mengandung badan neuron sensorik. Impuls akan masuk melalui sayap dorsal dan keluar melalui sayap ventral. Mengenai jalannya impuls pada sistem saraf tersebut akan dibahas pada bagian selanjutnya. Namun, sebelumnya kita akan mempelajari terlebih dahulu fungsi dan penyusun sistem saraf tepi.

### 2) *Sistem Saraf Tepi (Sistem Saraf Perifer)*

Sistem saraf tepi berfungsi menyampaikan informasi ke dan dari pusat pengatur. Sistem saraf tepi pada dasarnya terdiri dari lanjutan sel saraf. Sel-sel saraf ini berfungsi membawa impuls saraf atau rangsang saraf menuju dan dari sistem saraf pusat.

Berdasarkan impuls saraf yang dibawa, sistem saraf tepi dibedakan menjadi:

a) **Sistem saraf aferen**, membawa impuls saraf dari reseptor ke susunan saraf pusat.
b) **Sistem saraf eferen**, membawa impuls saraf pusat ke efektor.

Susunan saraf tepi berdasarkan asalnya dibedakan menjadi saraf sumsum tulang belakang (*spinal*) dan saraf otak (*kranial*).

a) **Saraf sumsum tulang belakang** (*spinalis*), yaitu saraf yang berjumlah 31 pasang saraf, memiliki ciri-ciri sebagai berikut.
   (1) Merupakan gabungan antara saraf sensorik yang masuk ke akar dorsal dan saraf motorik yang keluar dari akar ventral.
   (2) Merupakan lanjutan dari sumsum lanjutan (*medula oblongata*) hingga *vertebrae lumbalis* kedua. Saraf ini (*nervi spinalis*) berasal dari sumsum tulang belakang yang berwarna kelabu yaitu *substansi grissea*.
b) **Saraf otak** (*kranial*), yaitu saraf yang berjumlah 12 pasang dan meliputi beberapa saraf yang terlihat dalam Tabel 9.2.

**Tabel 9.2** Jenis Saraf yang Terdapat pada Saraf Otak (*Kranial*)

| No. | Nama Saraf | Asal Impuls | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 1. | Olfaktori | Epitel olfaktori (selaput lendir hidung) | Pembau |
| 2. | Optik | Retina mata | Penglihat |
| 3. | Okulomotor | Proprioseptor otot bola mata | Gerakan bola mata |
| 4. | Troklear | Proprioseptor otot bola mata (obliq superior) | Gerakan bola mata |
| 5. | Trigeminal | Otot kepala, wajah, rahang bawah, otot rahang | Gerakan otot mata yang menyebabkan ekspresi sensasi pada gigi dan bagian kulit rahang serta gerakan rahang |
| 6. | Abdusen | Proprioseptor otot bola mata rektus eksternal | Gerakan bola mata |

| No. | Nama Saraf | Asal Impuls | Fungsi |
|---|---|---|---|
| 7. | Fasial | Ujung pengecap di ujung lidah, wajah, bibir, dan kelopak mata | Otot wajah dan kelenjar ludah |
| 8. | Auditori | Telinga dalam (koklea) | Pendengaran |
| 9. | Glosofaring | Ujung pengecap lidah belakang dan faring | Sensasi, gerakan lidah dan faring |
| 10. | Vagus | Alat-alat dalam (jantung, paru-paru, lambung) | Sensasi, gerakan pada jantung dan organ lain |
| 11. | Asesorispinal | Alat-alat dalam (jantung, paru-paru, lambung) | Sensasi, gerakan pada jantung dan organ lain |
| 12. | Hipoglosal | Otot lidah | Gerakan lidah |

Tiga dari kedua belas pasang saraf di atas, yaitu nomor 1, 2, dan 8 terdiri atas neuron-neuron sensorik. Saraf nomor 3, 4, 6, 11, dan 12 terdiri atas neuron-neuron motorik. Saraf-saraf nomor 5, 7, 9, dan 10 terdiri dari neuron-neuron sensorik dan motorik.

Saraf nomor 1 dan 2 keluar dari otak besar, sedangkan saraf nomor 10, 11, dan 12 keluar dari medula oblongata. Saraf nomor 10 bersifat parasimpatik disebut **nervus vagus**. Urat saraf ini mempunyai daerah pengaruh yang amat luas sehingga sering disebut **saraf pengembara**.

Selain tersusun oleh sistem saraf sadar, sistem koordinasi juga tersusun oleh sistem saraf tak sadar yang disebut **sistem saraf otonom**. Tersusun dari apakah sistem saraf otonom? Apa fungsi dari masing-masing bagian penyusun saraf tersebut? Berikut adalah penjelasan mengenai sistem saraf tak sadar otonom.

### b. Sistem Saraf Tidak Sadar (Otonom)

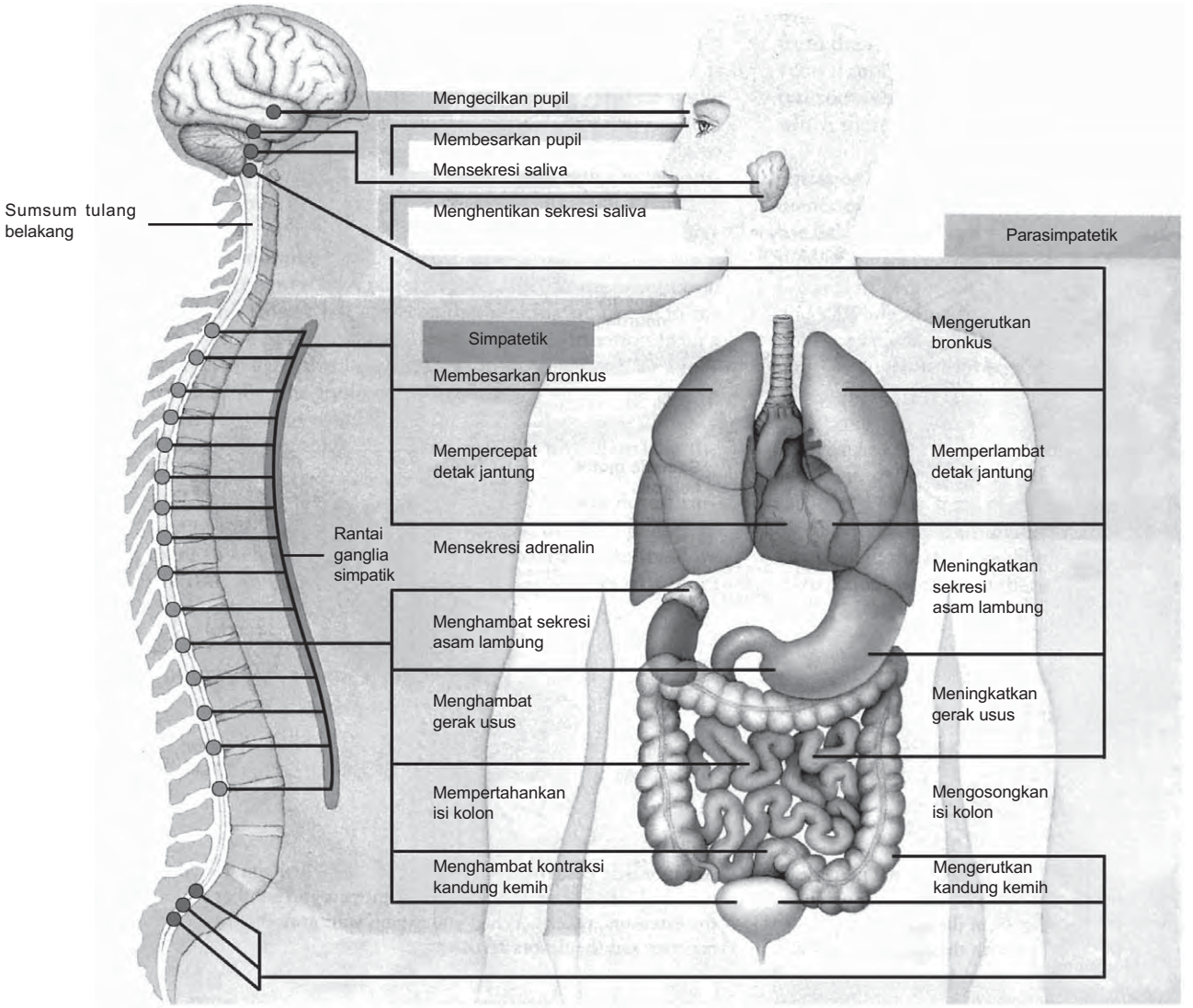
Dapatkah Anda menghentikan detak jantung Anda untuk beberapa saat? Atau, dapatkah Anda memaksa kulit agar berkeringat pada saat hawa dingin, tanpa melakukan kegiatan yang menguras tenaga? Beberapa hal tersebut adalah salah satu contoh kerja pada saraf otonom.

Saraf yang mengendalikan gerak organ-organ dalam (**visceral**) secara otomatis disebut **saraf otonom**. Gerak organ dalam meliputi gerak organ jantung, otot polos, pupil, mengembang dan mengerutnya pembuluh darah, serta sekresi enzim dan keringat.

Terdapat dua macam saraf otonom yaitu:

1) **Saraf simpatetik** adalah saraf yang berpangkal pada sumsum tulang belakang (*medula spinalis*) di daerah dada dan pinggang. Saraf simpatik umumnya berfungsi memacu atau mempercepat kerja organ-organ tubuh.
2) **Saraf parasimpatetik** adalah saraf yang berpangkal pada sumsum lanjutan (*medula oblongata*) dan dari sakrum yang merupakan saraf **pre-ganglion** dan **post-ganglion**. Fungsi saraf parasimpatik umumnya memperlambat kerja organ-organ tubuh.

Sistem saraf simpatetik dan parasimpatetik dapat Anda amati pada Gambar 9.4.



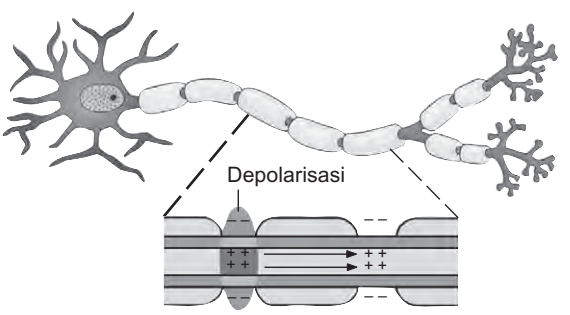

**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.4**
Letak dan fungsi saraf simpatetik dan saraf parasimpatetik

Anda telah mengetahui macam-macam neuron dan struktur sistem saraf. Berikut ini akan Anda pelajari prinsip penghantaran impuls sistem saraf yang terjadi dalam tubuh.

## 3. Prinsip Penghantaran Impuls

Anda telah mengetahui bahwa rangsang yang diterima sel saraf dapat berasal dari dalam tubuh maupun luar tubuh. Rangsang yang merambat disebut **impuls**. Perhatikan Gambar 9.5. Impuls diterima oleh reseptor kemudian akan dihantarkan oleh dendrit menuju badan sel saraf. Saat impuls sampai pada akson, impuls akan diteruskan ke dendrit neuron lain. Jadi, ada berapa macamkah penghantaran impuls?




**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.5**
Penghantaran impuls dalam sel saraf

**Tahukah Anda**

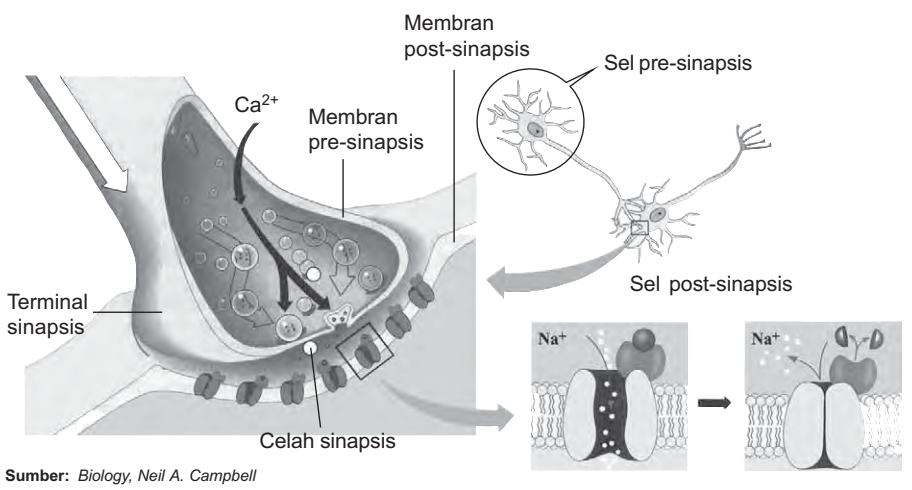
**Apakah Sinyal Saraf Itu?**

Saraf membawa denyut elektris kecil yang dikenal sebagai sinyal-sinyal saraf. Sebuah sinyal saraf umumnya berkekuatan 0,1 volt. Sinyal saraf yang paling lambat berjalan kira-kira setengah meter per detik, sedangkan yang paling cepat berjalan di atas 100 meter per detik.

Dalam sel saraf terjadi proses penghantaran impuls secara **konduksi**. Apabila tidak ada rangsang maka sel saraf disebut **dalam keadaan istirahat**. Dalam keadaan ini saraf tidak menghantarkan impuls. Membran luar sel saraf bermuatan positif karena kelebihan kation atom $Na^+$. Membran dalam sel saraf bermuatan negatif karena banyak ion $K^+$ yang keluar akson. Keadaan seperti ini disebut **polarisasi**. Terjadinya kondisi demikian karena peran pompa Na – K dan sifat membran akson yang lebih permeabel terhadap $K^+$ dan kurang permeabel terhadap $Na^+$. $Na^+$ dipompa ke luar. $K^+$ dipompa ke dalam karena sifat membran akson yang permeabel terhadap K, maka $K^+$ dapat keluar lagi.

Jika terjadi rangsang kuat, permeabilitas membran akan berubah. Akibatnya polarisasi membran juga berubah. Polarisasi mengalami pembalikan pada lokasi tertentu yang disebut **depolarisasi**. Selanjutnya proses pembalikan polarisasi diulang hingga menyebabkan rantai reaksi. Dengan demikian, impuls berjalan sepanjang akson. Setelah impuls berlalu, membran neuron memulihkan keadaannya seperti semula. Selama masa pemulihan ini, impuls tidak bisa melewati neuron tersebut. Waktu ini disebut **waktu refraktori**.

Proses penghantaran impuls yang kedua adalah penghantaran impuls antarsel saraf.
Perhatikan gambar berikut.




**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.6**
Penghantaran impuls antarsel saraf

Titik-titik (celah) pertemuan antara neuron satu dengan neuron lain disebut **sinapsis**. Akson pada setiap neuron berakhir membentuk tonjolan kecil yang disebut **tombol sinapsis**. Permukaan tombol sinapsis disebut **membran pre-sinapsis**. Membran pre-sinapsis berfungsi meneruskan rangsang.

Membran pre-sinapsis akson neuron satu akan bertemu dengan dendrit neuron yang lain. Permukaan dendrit neuron itu disebut **membran post-sinapsis**. Fungsi membran post-sinapsis sebagai penerima rangsang. Di antara kedua membran tersebut terdapat suatu celah yang disebut **celah sinapsis**.

Bila impuls telah berada di ujung akson, ujung akson akan mengeluarkan neuro hormon yang disebut juga **neuro-transmiter**. Zat ini bersifat memacu dan menghantarkan impuls ke ujung dendrit neuron yang lain. Ada beberapa neurotransmiter yang dikenal yaitu **asetilkolin**, **serotonin**, dan **dopamin**. Keduanya merupakan neurotransmiter yang terdapat di seluruh sistem saraf.

Jika impuls tiba di tombol membran pre-sinapsis, akan terjadi peningkatan permeabilitas membran pre-sinapsis terhadap ion $Ca^{2+}$. Akibatnya ion $Ca^{2+}$ masuk dan gelembung sinapsis melebur dengan membran pre-sinapsis sambil melepaskan neurotransmiternya ke celah sinapsis. Neurotransmiter ini membawa impuls ke membran post-sinapsis. Setelah menyampaikan impuls, selanjutnya neurotransmiter dihidrolisis oleh enzim yang dikeluarkan oleh membran post-sinapsis, misalnya *asetilkolinesteras*e. Jika neurotransmiternya dihidrolisis menjadi kolin dan asam etanoat, kedua senyawa hasil hidrolisis ini akan disimpan di gelembung sinapsis untuk dipergunakan lagi. Simaklah penghantaran impuls antarsel saraf pada Perhatikan Gambar 9.6 pada halaman sebelumnya.

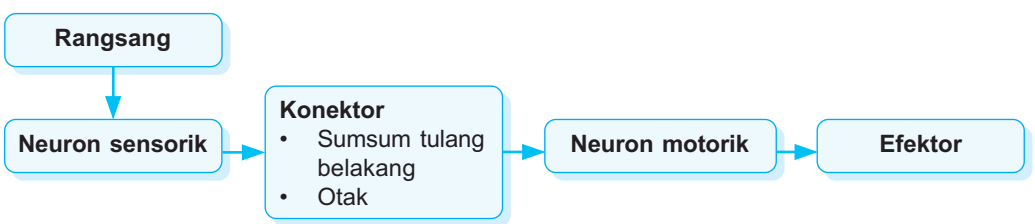
Apabila tubuh Anda mendapatkan rangsang dari luar, dengan melakukan 2 macam proses penghantaran tersebut, impuls akan melalui jalur perjalanan sebagai berikut untuk menanggapinya.

Selain gerakan melalui jalur itu, ada juga gerakan yang melalui jalur perjalanan berbeda yang disebut gerak refleks. Berikut adalah penjelasan mengenai gerak refleks.

### Gerak Refleks

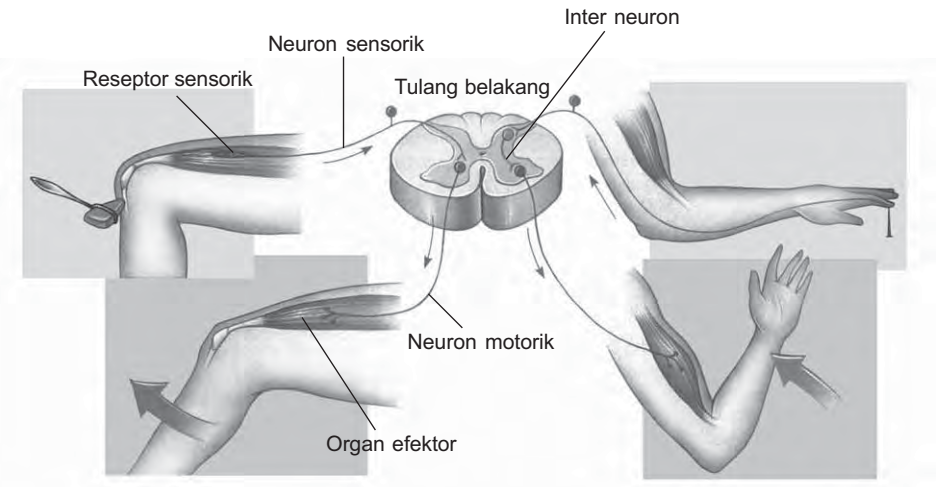
Mungkin Anda pernah memeriksakan kesehatan Anda di rumah sakit. Salah satu hal yang dilakukan dokter adalah menyuruh duduk dengan posisi kaki dapat bergerak bebas di atas tanah, dokter juga menyuruh menutup mata. Tiba-tiba tanpa sepengetahuan Anda, dokter memukul lutut Anda menggunakan martil. Apa yang terjadi? Ya, tungkai kaki bawah Anda bergerak ke depan. Itu adalah salah satu contoh gerakan refleks.

**Gerak refleks** adalah gerakan spontan yang tidak melibatkan kerja otak. Gerak ini dilakukan tanpa kesadaran. Gerak ini berguna untuk mengatasi kejadian tiba-tiba misalnya menarik kaki dengan segera setelah menginjak puntung rokok yang masih menyala. Jalur perjalanan gerak refleks sebagai berikut.



Berdasarkan tempat konektornya, refleks dibedakan menjadi dua yaitu refleks spinalis dan refleks kranialis.

a. Refleks tulang belakang (*refleks spinalis*) yaitu jika konektor terdapat di sumsum tulang belakang. Contoh: gerakan menarik tangan saat menyentuh benda panas atau kaki terkena duri. Perhatikan Gambar 9.7.
b. Refleks otak (*refleks kranialis*) yaitu jika konektornya terdapat di otak. Contoh: gerakan mata terpejam karena kilat.




**Sumber:** *Biology, Neil A. Campbell*

**Gambar 9.7**
Jalur perjalanan gerak refleks pada kaki dan tangan manusia

## 4. Gangguan dan Kelainan pada Sistem Saraf Manusia

Seperti halnya sistem tubuh yang lain, sistem saraf juga dapat mengalami kelainan atau kerusakan sel sehingga tidak dapat menjalankan fungsinya dengan baik. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, misalnya kecelakaan, makanan atau minuman seperti alkohol, virus, dan lain-lain. Beberapa gangguan pada susunan saraf antara lain sebagai berikut.

a. **Meningitis**, yaitu peradangan di bagian selaput otak (*meninges*), yang disebabkan oleh bakteri atau virus.
b. **Neuritis**, yaitu gangguan pada saraf tepi (perifer) yang disebabkan adanya peradangan, keracunan, ataupun tekanan.
c. **Penyakit parkinson**, merupakan penyakit kemunduran otak akibat kerusakan bagian otak yang mengendalikan gerakan otot. Ciri-ciri penderita penyakit ini adalah tubuh yang selalu gemetar, mengalami kesakitan dalam berjalan, bergerak, dan berkoordinasi.
d. **Gegar otak**, yaitu gangguan pada otak akibat benturan pada kepala.

Biasanya dokter akan memberikan suatu obat agar saraf dapat mengembalikan fungsi kerjanya dengan baik. Pada bagian berikutnya akan dipelajari pengaruh obat-obatan terhadap sistem saraf.

## 5. Pengaruh Obat-obatan terhadap Sistem Saraf

Obat diberikan oleh dokter kepada pasien dengan tujuan mengobati penyakit. Namun, obat justru sering disalahgunakan oleh orang-orang yang tidak sakit.

Tahukah Anda bahwa mengonsumsi obat-obatan psikotropika (narkoba) bisa berakibat fatal? Misalnya pemakaian heroin, obat ini berfungsi untuk mengurangi rasa sakit. Dokter menggunakan heroin untuk membius pasien sehingga proses anestesi berjalan lancar tanpa rasa sakit pasien. Penyalah gunaan pemakaian heroin justru dapat merusak kegiatan fisiologis dan psikologis. Selain itu pemakai heroin akan mengalami kecanduan (*adiksi*), sehingga tidak mau menghentikan pemakaian heroin tersebut. Bila dihentikan secara tiba-tiba, jaringan saraf tubuh akan mengalami perubahan atau reaksi fisik yang bisa berakibat fatal.

Oleh karena itu, seorang pecandu yang ingin berhenti kecanduan harus ditangani oleh dokter ahli agar kerusakan yang terjadi pada jaringan dapat berkurang secara tepat.

Berikut beberapa contoh jenis obat yang dapat mempengaruhi sistem kerja saraf.

a. *Desinfektans*, merupakan obat luar pembunuh kuman, misalnya alkohol, iodium, dan pengompres luka.
b. *Depresan*, merupakan obat penghambat fungsi neuron dalam sistem saraf pusat. Yang termasuk obat ini yaitu:
   1) etil alkohol dalam minuman keras;
   2) obat tidur dan penenang (*hipnotika* dan *sedativa*), misalnya barbiturat (*seconal*, *nembutal*, *luminal*, dan *amytol*), nonbarbiturat (*doriden, placidyl, noludar,* dan *methaqualone*), serta turunan diazepam/valium (*nitrazepam* dan *flunitrazepam*);
   3) minortranqualizers.
c. *Stimulan*, termasuk jenis obat yang dapat menstimulasi sistem saraf simpatetik, misalnya *metamfetamin*, *amfetamin*, *kafein*, *deksedrin*, *ritaline*, *metil fenidate*, dan *phenmetracine*.
d. *Halusinogen*, termasuk jenis obat untuk menambah keyakinan diri yang bersifat sementara, contohnya *lysergic acid diethylamide* (LSD), *atropin*, *scopelamin*, *tetrahidrokanabinol*, dan *fensiklidin*.
e. *Narkotika*, termasuk jenis obat yang dapat menurunkan transmisi saraf pada lintasan sensorik dari sumsum tulang belakang dan otak yang memberi isyarat rasa nyeri dan menghambat neuron dalam sumsum lanjutan (*medula oblongata*) contohnya *morphin*, *codeine*, *heroin*, *metadon*, dan *nalline*.

**Tugas Mandiri**

Lakukanlah observasi ke rumah sakit, dan tanyakan kepada dokter ahli anestesi mengenai penggunaan obat bius di bidang medis (operasi lokal).

**Tahukah Anda**

**Nikotin Merupakan Zat Adiktif**

Nikotin yang biasa kita kenal merupakan zat yang terkandung dalam rokok. Penghisap rokok sulit melepaskan diri dari kebiasaan tersebut meskipun sudah mengetahui efek buruk yang ditimbulkannya. Ini terjadi karena nikotin memberikan efek penenang pada sistem saraf pusat. Orang yang berhenti merokok akan merasa gugup, mengantuk, cemas, pusing, sakit kepala, letih, ketidakaturan gerakan lambung, berkeringat, dan kejang-kejang. Hal tersebut juga biasa terjadi pada orang yang sedang menghentikan kecanduannya terhadap narkoba.

**Pertanyaan:**

1. Apa pengaruh obat bius terhadap fungsi kerja sistem koordinasi?
2. Bagaimana cara obat bius bekerja mempengaruhi fungsi kerja sistem saraf?
3. Mengapa obat bius digolongkan ke dalam kelompok daftar G?
4. Zat apa yang terkandung dalam obat bius?

Buatlah laporannya dan kumpulkan kepada guru Anda.

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bagaimana mekanisme penghantaran impuls secara konduksi?
2. Jelaskan pembagian tugas antara sistem saraf pusat dengan sistem saraf perifer.
3. Mengapa permukaan otak berlipat-lipat?
4. Mengapa korteks otak berwarna abu-abu dan medulanya berwarna putih, sedangkan sumsum tulang belakang berwarna kebalikannya?
5. Coba sebutkan macam-macam efek stimulasi sistem saraf simpatetik maupun parasimpatetik ke jaringan atau organ.

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 9.8**
Rasa haus merupakan proses hormonal

## B. Sistem Endokrin

Saat tubuh Anda kekurangan air (dehidrasi), tubuh akan mengirimkan impuls ke otak dan Anda akan merasakan bahwa Anda haus. Selanjutnya, saraf akan aktif berperan mempengaruhi kelenjar hipotalamus. Hal ini menunjukkan bahwa di dalam tubuh telah terjadi proses hormonal. Keadaan ini akan membuat kelenjar hipofisis menghasilkan hormon antidiuretik (hormon *vasopresin*). Hormon ini berfungsi menghambat atau menghentikan pembuangan cairan tubuh berupa urine. Apabila Anda segera minum saat kehausan, impuls rasa haus menjadi berkurang, dan hormon antidiuretik tidak dikeluarkan lagi. Perhatikan Gambar 9.8.

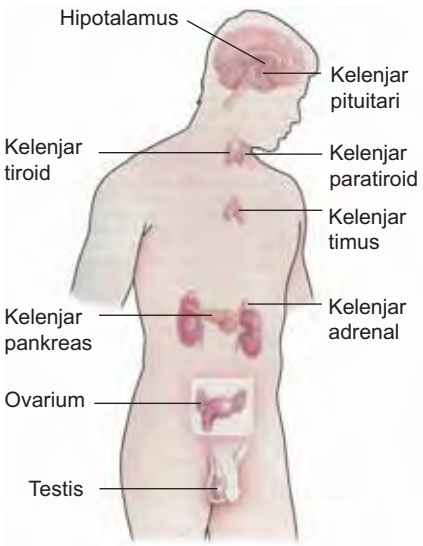
Sistem koordinasi yang terjadi seperti di atas disebut **sistem hormon**. Sistem koordinasi selain meliputi sistem saraf juga meliputi sistem hormon yang disekresi oleh kelenjar endokrin. Oleh karenanya, sistem koordinasi ini disebut juga **neuroendokrin**.

Senyawa protein atau senyawa steroid berupa getah yang disekresikan oleh kelenjar endokrin disebut **hormon**. Hormon bekerja sama dengan sistem saraf berfungsi mengatur pertumbuhan, keseimbangan internal reproduksi, dan tingkah laku. Kelenjar endokrin disebut juga **kelenjar buntu** karena bermuara langsung ke dalam pembuluh darah.

Berdasarkan aktivitasnya, kelenjar endokrin dibedakan sebagai berikut.

1. Kelenjar yang bekerja sepanjang hayat. Contoh: kelenjar yang digunakan dalam metabolisme tubuh.
2. Kelenjar yang dimulai pada mulai masa tertentu. Contoh: kelenjar kelamin.
3. Kelenjar yang bekerjanya sampai masa tertentu. Contoh: *corpus luteum* untuk membentuk hormon progesteron.

Kelenjar endokrin terbagi menjadi beberapa bagian berdasarkan letaknya. Untuk mengetahui perbedaan dan letak kelenjar tersebut, lihatlah Gambar 9.9 dan Tabel 9.3.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 9.9**
Letak kelenjar endokrin

**Tabel 9.3** Macam-Macam Kelenjar Endokrin dan Letaknya di Dalam Tubuh Manusia

| Kelenjar | Nama Lain | Letak |
|---|---|---|
| 1. Hipofisis | Pituitari | Dasar otak besar (di dalam lekukan tulang sela tursika bagian tulang baji) |
| 2. Tiroid | Kelenjar gondok | Daerah leher, dekat jakun |
| 3. Paratiroid | Kelenjar anak gondok | Daerah (dorsal) kelenjar gondok |
| 4. Adrenalin | Suprarenalis | Di atas ginjal |
| 5. Pankreas | Pulau-pulau Langerhans | Dekat ventrikulus atau lambung |
| 6. Gonad | Kelamin | Wanita : daerah perut (abdomen )<br>Pria : buah zakar dalam skrotum |
| 7. Timus | Kacangan | Daerah dada |

## 1. Kelenjar Hipofisis (Kelenjar Pituitari)

Kelenjar hipofisis merupakan kelenjar endokrin yang terbesar. Kelenjar ini disebut *master of gland* karena mempengaruhi aktivitas kelenjar yang lain.

Kelainan hormon ini ada 2 macam yaitu **hipersekresi** misalnya gigantisme dan **hiposekresi** misalnya kekerdilan (*kretinisme*). Hipersekresi pada orang dewasa menyebabkan terjadinya **akromegali** yaitu tulang bengkak ke samping.

Hipofisis terbagi menjadi tiga lobus, masing-masing lobus mengeluarkan beberapa hormon yang berlainan. Untuk lebih jelasnya, pelajarilah Tabel 9.4 berikut.

**Tabel 9.4** Jenis-Jenis Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Hipofisis

| Lobus Kelenjar Hipofisis | Hormon | Fungsi |
|---|---|---|
| a. Lobus anterior | • Tiroksin (TSH) | • Merangsang kelenjar tiroid untuk memproduksi tiroksin |
| | • Adenokortikotropin (ACTH) | • Merangsang korteks adrenal untuk memproduksi kortikosteroid |
| | • Follicle Stimulating Hormone (FSH) | • Memacu perkembangan tubulus seminiferus dan spermatogenesis |
| | • Luteinizing Hormone (LH) | • Menstimulasi estrogen |
| | • Interstitial Cell Stimulating Hormone (ICSH) | • Menstimulasi testis untuk berkembang dan menghasilkan testosteron |
| | • Prolaktin (TH)/Laktogen | • Menstimulasi sekresi air susu oleh kelenjar susu |
| b. Intermedia | • Somatotrof (STH) | • Merangsang pertumbuhan tulang |
| | • Melanosit stimulating hormone (MSH) | • Mengatur penyuburan pigmen pada sel-sel melanofor kulit sehingga mempengaruhi perubahan warna kulit |
| c. Posterior | • Oksitosin | • Membantu merangsang kontraksi otot pada uterus |
| | • Vasopresin/antidiuretik hormone (ADH) | • Mencegah kadar air dalam tubuh sehingga mencegah pembentukan urine dalam jumlah banyak |

## 2. Kelenjar Tiroid (Kelenjar Gondok)

Keistimewaan kelenjar tiroid dibanding kelenjar endokrin yang lain yaitu kaya pembuluh darah. Kelenjar ini menghasilkan hormon tiroksin, triidotironin, dan kalsitonin. Untuk mengetahui peran ketiga hormon tersebut, perhatikan Tabel 9.5 berikut ini.

**Tabel 9.5** Jenis-Jenis Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Tiroid

| Kelenjar | Hormon | Berperan dalam |
|---|---|---|
| Tiroid | • Tiroksin | • Proses metabolisme<br>• Pertumbuhan fisik<br>• Perkembangan mental<br>• Kematangan seks<br>• Mengubah glikogen menjadi gula dalam hati |
| | • Triidotironin | • Distribusi air dan garam dalam tubuh (sama dengan peran hormon tiroksin) |
| | • Kalsitonin | • Menjaga keseimbangan kalsium dalam darah |

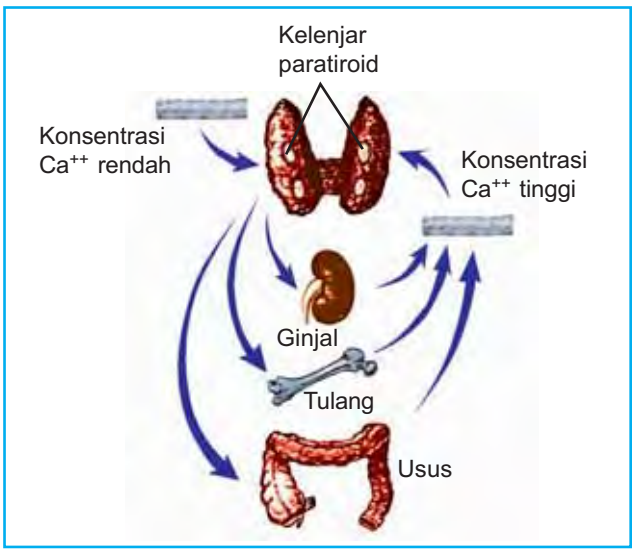
Hiposekresi kelenjar tiroid mengakibatkan gejala kemunduran pada fisik (*kretinisme*) dan mental terutama pada masa anak-anak. Hiposekresi kelenjar tiroid pada orang dewasa mengakibatkan **miksodema** dengan ciri-ciri kegemukan (*obesitas*) dan kecerdasan menurun. Sebaliknya, jika terjadi hipersekresi kelenjar ini dapat mengakibatkan hiperaktif, tetapi badan kurus (**morbus basedowi**) dengan tanda-tanda gugup, nadi dan napas cepat serta tidak teratur, mulut ternganga, mata lebar (*eksoftalmus*), meningkatnya metabolisme dan emosional.

Tubuh wanita dan pria mempunyai banyak kelenjar penghasil hormon yang sama, kecuali untuk bagian reproduksi, ovari di tubuh wanita dan testis di tubuh pria.

## 3. Kelenjar Paratiroid (Kelenjar Anak Gondok)

Kelenjar ini berperan dalam mengendalikan kadar kalsium dalam darah. Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar ini adalah parathormon yang berfungsi mengendalikan kadar kalsium dalam darah.

Pelajari dengan saksama Gambar 9.10 di bawah untuk mengetahui dengan jelas peranan kelenjar paratiroid dalam mengendalikan kadar kalsium dalam darah. Coba diskusikan dengan teman sebangku Anda.




**Sumber:** *Biology, S.S. Mader*

**Gambar 9.10**
Mekanisme pengendalian kadar kalsium darah oleh parathormon

Hiposekresi kelenjar ini mengakibatkan kadar kalsium dalam darah menurun dan mengakibatkan kejang-kejang otot (tetani). Sebaliknya, hipersekresi kelenjar ini mengakibatkan kadar kalsium dalam darah meningkat sehingga menyebabkan kelainan pada tulang seperti rapuh, abnormal, dan mudah patah. Kelebihan kalsium darah mengakibatkan terjadi endapan dalam ginjal atau menderita batu ginjal.

## 4. Kelenjar Adrenal (Kelenjar Anak Ginjal)

Kelenjar ini terdiri atas dua bagian, yaitu bagian kulit (korteks) dan bagian dalam (medula). Hormon yang dihasilkan oleh kelenjar ini beserta fungsinya dapat dilihat dalam Tabel 9.6 berikut.

**Tabel 9.6** Jenis Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Adrenal

| Bagian Kelenjar Adrenal | Hormon | Fungsi |
|---|---|---|
| • Korteks | • Korteks mineral | • Menyerap natrium darah<br>• Mengatur reabsorpsi air pada ginjal |
| | • Glukokortikoid | • Menaikkan kadar glukosa darah<br>• Pengubahan protein menjadi glikogen di hati<br>• Mengubah glikogen menjadi glukosa |
| | • Androgen | • Membentuk sifat kelamin sekunder pria |
| • Medula | • Adrenalin/epineprin | • Mengubah glikogen dalam otot menjadi glukosa (dalam darah) |

Kelainan hipersekresi kelenjar adrenal pada wanita mengakibatkan **virilisme**, yaitu timbulnya ciri-ciri kelamin sekunder pada pria dan wanita. Sebaliknya, sekresi yang rendah atau hipofungsi kelenjar adrenal menimbulkan penyakit **addison**. Penyakit ini ditandai dengan kulit menjadi merah dan selalu mengakibatkan kematian.

## 5. Kelenjar Pankreas (Kelenjar Langerhans)

Pada pankreas tersebar kelompok kecil sel-sel yang kaya pembuluh darah, disebut **pulau Langerhans**. Hormon yang dihasilkan pankreas beserta fungsinya dijelaskan dalam Tabel 9.7 berikut.

**Tabel 9.7** Jenis-Jenis Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Pankreas

| Kelenjar | Hormon | Fungsi | Efek |
|---|---|---|---|
| Pankreas | • Insulin | • Mengubah gula darah (glukosa) menjadi gula otot (glikogen) di hati | • Menurunkan kadar gula darah |
| | • Glukogen | • Mengubah glikogen menjadi glukosa | • Meningkatkan kadar gula darah |

Hiposekresi hormon insulin mengakibatkan sakit kencing manis (*diabetes mellitus*), yaitu meningkatnya kadar gula darah.

### Tugas Mandiri

Carilah informasi dengan bertanya kepada dokter mengenai penyakit diabetes mellitus. Apakah penyakit itu dapat disembuhkan? Apakah penyakit tersebut bersifat menurun? Buatlah laporan mengenai hal di atas dan kumpulkan kepada guru Anda.

## 6. Kelenjar Gonad

Kelenjar ini dibedakan menjadi kelenjar gonad pada wanita dan kelenjar gonad pada pria. Hormon yang dihasilkan kelenjar ini dapat dilihat dalam Tabel 9.8 berikut.

**Tabel 9.8** Jenis Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Gonad pada Wanita dan Pria

| Kelenjar | Hormon | Berperan Dalam |
|---|---|---|
| Gonad 1) Ovarium pada wanita | • Estrogen | • Menentukan ciri pertumbuhan kelamin sekunder |
| | • Progesteron | • Penebalan dan perbaikan dinding uterus |
| 2) Testis pada pria | • Testosteron | • Menentukan ciri pertumbuhan kelamin sekunder |

Hiposekresi kelenjar gonad pada wanita mengakibatkan gangguan pada menstruasi dan timbulnya tumor.

## 7. Kelenjar Timus

Kelenjar timus berfungsi untuk membentuk hormon thymosin yang berperan dalam sistem imun (kekebalan).

Anda telah mempelajari sistem hormon yang disekresi oleh kelenjar endokrin. Sistem hormon akan bekerja sama dengan sistem saraf membentuk sistem koordinasi. Lalu, bagaimana hubungan antara sistem saraf dan hormon?

Apabila Anda sedang menyeberang jalan dan tiba-tiba ada sebuah mobil yang menuju ke arah Anda, apa yang Anda lakukan? Mungkin Anda berlari secepatnya untuk menghindar. Bahkan mungkin Anda dapat melompati selokan yang lebar itu. Perhatikan Gambar 9.11.

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 9.11**
Refleks lari menghindari bahaya

Padahal dalam keadaan normal, Anda tidak mungkin dapat berlari sekencang saat Anda menghindar dari kecelakaan tersebut, apalagi untuk melompati selokan. Mengapa hal itu dapat terjadi?

Kemampuan yang muncul secara spontan dan menghasilkan energi yang luar biasa pada seseorang dapat disebabkan oleh rasa takut terhadap sesuatu. Rasa takut dapat meningkatkan pengeluaran hormon adrenalin, sehingga akan dihasilkan energi yang besar. Namun, hormon ini dapat bekerja setelah ada **stimulus** dari saraf. Keputusan untuk lari dipengaruhi oleh pertimbangan secara sadar (saraf sadar) bahwa keadaan sedang berbahaya.

Sistem saraf dan sistem endokrin merupakan dua bagian yang tidak terpisahkan. Bukan saja karena sistem endokrin ada di bawah pengaruh sistem saraf, tetapi juga banyak sel saraf yang mengkhususkan diri dalam sekresi atau menyimpan neurohormon yang berperan mengaktifkan beberapa sel efektor.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Mengapa kelenjar endokrin disebut juga kelenjar buntu?
2. Ada berapa macam kelenjar endokrin bila dibedakan berdasarkan aktivitasnya? Sebutkan.
3. Apa perbedaan hormon insulin dengan hormon adrenalin?
4. Bagaimana estrogen dapat mempengaruhi siklus menstruasi?
5. Jelaskan perbedaan sistem pengaturan yang dilakukan sistem hormon dengan sistem saraf.

## C. Sistem Indra

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 9.12**
Udara dingin di pegunungan dapat merangsang kepekaan indra

Apa yang Anda lihat, dengar, dan rasakan saat Anda bersama keluarga ke daerah pegunungan? Kita dapat melihat hijaunya pohon dan bunga yang beraneka ragam. Suara kicau burung, gemercik air sungai, bahkan desiran angin pun kadang ikut terdengar. Dinginnya udara membuat rambut di kulit berdiri, sehingga memaksa Anda untuk menghangatkan tubuh dengan mengenakan jaket. Perhatikan Gambar 9.12.

Di daerah pegunungan tersebut, Anda tidak hanya dapat menikmati keindahan alam ciptaan-Nya. Namun, Anda juga dapat menikmati hidangan yang banyak ditawarkan oleh penduduk setempat, misalnya jagung bakar. Bau jagung bakar kadang membuat Anda tidak kuasa menahan air liur dan berhasrat untuk segera memakannya.

Hal ini karena Anda memiliki indra yang sempurna. Tidak semua manusia dapat merasakan hal yang sama, mungkin karena terjadi kerusakan atau kelainan pada alat indranya.

Pada subbab A dan subbab B Anda sudah mengetahui bagaimana cara tubuh menerima dan menanggapi rangsang melalui sistem koordinasi sudah Anda pelajari pada subbab A dan subbab B. Pada subbab ini akan Anda ketahui lebih jauh tentang indra.

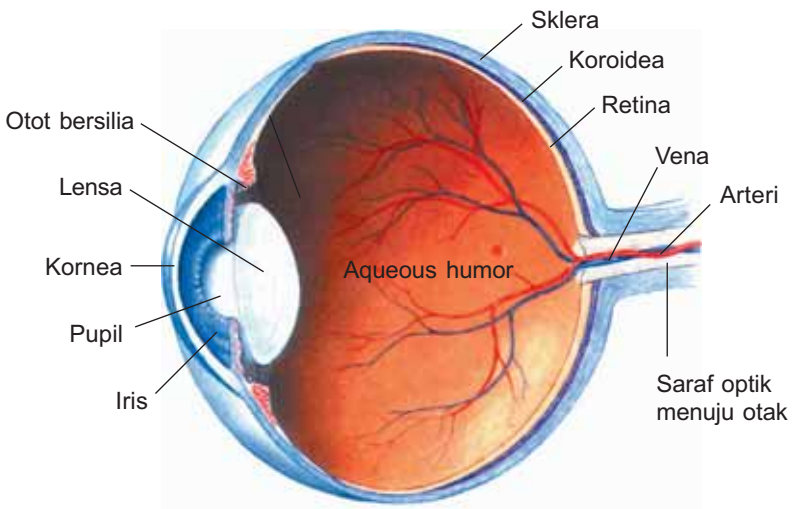
Alat tubuh dapat menangkap rangsang karena memiliki ujung saraf sensorik tertentu disebut **indra**. Penerima rangsang pada indra sangat spesifik terhadap macamnya rangsang. Penerima rangsang tersebut antara lain:

1. eksteroseptor : penerima rangsang dari luar,
2. interoseptor : penerima rangsang dari dalam tubuh,
3. proprioseptor : penerima rangsang yang berada dalam otot.

Ada 5 macam alat indra pada tubuh manusia, yaitu indra penglihat, indra pendengar, indra peraba dan perasa, indra pencium, dan indra pengecap. Berikut ini akan dibahas secara rinci alat indra tersebut satu persatu.

## 1. Indra Penglihat (Mata)

Mata mempunyai reseptor untuk menangkap rangsang cahaya yang disebut **fotoreseptor**. Oleh karena itu, pada siang hari pantulan sinar matahari oleh benda-benda di sekeliling kita dapat kita tangkap dengan jelas. Sebaliknya pada malam hari, benda-benda di sekitar kita tidak memantulkan cahaya matahari seperti waktu siang hari. Akibatnya, kita hanya mampu melihat benda-benda itu bila mereka memantulkan cahaya dari sumber cahaya lain, misalnya lampu. Perhatikan Gambar 9.13 untuk mengetahui bagian-bagian bola mata.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 9.13**
Bagian-bagian bola mata

Mata terdiri atas beberapa bagian. Bagian-bagian mata dan fungsinya dijelaskan dalam Tabel 9.9 berikut.

**Tabel 9.9** Bagian-Bagian Mata dan Fungsinya

| Bagian Mata | | Fungsi |
|---|---|---|
| a. Sklera | : pembungkus lapisan luar | • Melindungi bola mata dari kerusakan mekanis dan memungkinkan melototnya otot mata |
| b. Kornea | : selaput bening tembus pandang pada bagian depan sklera | • Penerima rangsang cahaya<br>• Mereaksikan cahaya |
| c. Koroidea | : lapisan tengah di antara sklera dan retina berupa selaput darah (kecuali di bagian depan) | • Penyedia makan bagi bagian mata yang lain |

| Bagian Mata | | | Fungsi |
|---|---|---|---|
| d. | Iris (selaput pelangi) | : selaput berwarna (mengandung pigmen melanin) merupakan bagian depan koroidea | • Melindungi refleksi cahaya dalam mata<br>• Mengendalikan kerja pupil |
| e. | Pupil | : berupa lubang yang dibatasi oleh iris | • Mengatur banyak sedikit cahaya yang diperlukan mata |
| f. | Lensa | : berupa lensa bikonveks | • Membiaskan dan memfokuskan cahaya agar bayangan benda tepat jatuh pada retina mata |
| g. | Aqueous humor | : berupa cairan encer | • Menjaga bentuk kantong depan bola mata |
| h. | Vitreous humor | : berupa cairan bening dan kental | • Meneruskan rangsang ke bagian mata memperkukuh bola mata |
| i. | Retina | : selaput jala | • Menerima bayangan dan untuk melihat benda |
| j. | Fovea (bintik kuning) | : berupa bagian yang mengandung sel-sel kerucut | • Sebagai tempat bayangan jatuh pada daerah retina |
| k. | Badan silia | : berupa otot melingkar dan otot radial yang terdekat pada ujung depan lapisan koroid yang membentuk penebalan | • Menyokong lensa dan mensekresikan aqueous humor |
| l. | Bintik buta | : tempat saraf optik meninggalkan bagian dalam bola mata | • Tidak peka terhadap cahaya karena tidak mengandung sel konus dan sedikit sel batang |
| m. | Saraf mata | : berupa serabut saraf | • Meneruskan rangsang cahaya ke saraf kranial (saraf optik) |

**Sumber:** *Biology, Mader S.S*

Rangsang yang diterima indra penglihat (mata) berupa **cahaya**. Cahaya yang masuk melalui kornea akan diteruskan seperti berikut.

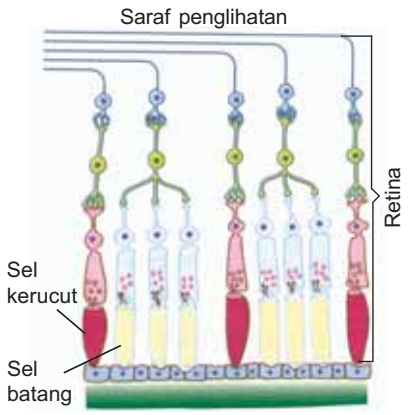
**Cahaya** → **Aqueous humor** → **Pupil** → **Lensa** → **Vitreous humor** → **Retina**

Apabila cahaya yang masuk terlalu terang, pupil akan menyempit atau mengalami *konstriksi*. Bila cahaya redup, pupil akan melebar atau mengalami *dilatasi*. Cahaya yang dipantulkan ke mata masuk ke dalam retina khususnya pada fovea (bintik kuning). Cahaya ini dapat terfokus ke dalam fovea karena diatur oleh lensa.

Lensa mata mempunyai kemampuan untuk memipih dan mencembung. Kemampuan ini disebut **daya akomodasi**. Coba Anda rasakan gerakan otot mata Anda saat membaca buku ini. Pada jarak seperti ini berarti jarak benda dekat. Apakah Anda merasakan adanya perubahan pada otot mata Anda bila dibandingkan dengan otot mata yang digunakan saat melihat benda yang jauh?

Otot yang terikat pada lensa dan dinding koroidea ini disebut **otot siliaris**. Otot ini berfungsi mengubah bentuk lensa. Apabila lensa digunakan untuk melihat benda jarak dekat maka lensa mata akan mencembung, bentuk lensa akan memipih bila digunakan untuk melihat benda jarak jauh.

Pada retina terkandung 2 macam sel yaitu **sel batang** dan **sel kerucut**. Sel batang mengandung **pigmen rhodopsin**, yaitu suatu bentuk senyawa vitamin A dengan protein tertentu. Sel-sel ini paling banyak terletak di fovea dan berfungsi untuk menerima bayangan dengan cahaya lemah, dan bayangan yang terbentuk atau terpersepsi hitam putih. Perhatikan Gambar 9.14.




**Sumber:** *New Understanding Biology For Advanced Level, Glenn dan Susan Toole*

**Gambar 9.14**
Sel kerucut dan sel batang pada mata

Apakah Anda pernah mengalami pandangan menjadi gelap saat masuk ruangan (dari luar ruangan yang terang benderang)? Bagaimana hal tersebut dapat terjadi? Saat Anda berada di luar ruangan (terdapat cahaya matahari) sel kerucut melakukan tugasnya menyampaikan bayangan ke otak. Sementara itu, pigmen-pigmen rhodopsin dalam sel batang akan terurai sehingga sel batang tidak dapat bekerja dengan baik. Jika tiba-tiba Anda masuk ke ruangan gelap, pigmen-pigmen rhodopsin yang terurai dalam sel batang akan terbentuk kembali, dan sel batang akan mengambil alih tugas sel kerucut dalam menyampaikan bayangan ke otak. Terbentuknya pigmen-pigmen rhodopsin itu berlangsung secara bertahap. Hal ini menyebabkan seseorang tidak dapat segera melihat dengan jelas saat memasuki ruang gelap. Lama waktu yang diperlukan untuk proses pembentukan rhodopsin disebut **waktu adaptasi rhodopsin**.

Selain mengandung sel batang, retina juga mengandung sel kerucut atau sel konus. Sel ini mengandung **iodopsin**. Fungsi sel konus untuk menerima rangsang warna merah, biru, dan hijau. Setiap satu sel kerucut mengandung satu di antara ketiga pigmen. Apabila retina mata hanya memiliki satu pigmen atau sel kerucut satu maka akan mengalami buta warna. Orang yang hanya memiliki dua macam sel kerucut disebut **dikromat**. Sementara itu, orang yang hanya memiliki satu macam sel kerucut disebut **monokromat**. Pada monokromat, warna yang terlihat oleh mata hanya hitam dan putih serta bayangan kelabu.

Seluruh bagian retina terdapat sel-sel batang maupun sel kerucut, kecuali tempat saraf mata berada. Daerah tempat saraf mata ini sangat kecil hingga menyerupai sebuah titik saja. Titik kecil ini disebut **bintik buta**.

Lakukanlah eksperimen berikut untuk mengetahui jarak bintik buta terhadap benda yang kita lihat.

### Tahukah Anda

**Lensa Kamera = Lensa Mata**

Bagian-bagian, fungsi, dan proses yang terdapat pada kamera dibuat seperti mata manusia. Akan tetapi, kemampuan mata dalam mencembung dan memipihkan lensa tidak dapat ditiru oleh kamera. Kamera hanya dapat menyesuaikan jarak lensa agar maju dan mundur seperti sistem mata pada ikan dan hewan lain.

**Sumber:** *Biologi, Kimball*

### Eksperimen 2

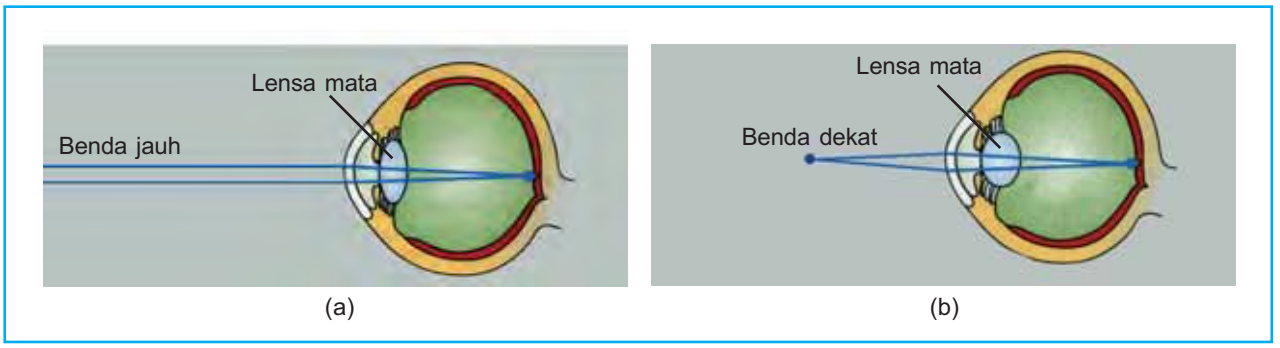
**Menentukan Jarak Bintik Buta Indra Penglihat**

Ambillah kertas berwarna merah, lubangi dengan perforator. Letakkan lingkaran kecil berwarna merah tersebut di ujung kertas berwarna putih. Ambil sebuah kertas putih lain dan berilah tanda silang di bagian tengahnya. Letakkan kertas-kertas tersebut di atas meja. Bekerja sama dengan teman Anda, suruhlah teman Anda menutup sebelah mata, mata yang terbuka terpusat pada tanda silang. Gerakkan tanda lingkaran sehingga teman Anda tidak dapat melihatnya. Lintasan gerakan berada dalam bidang penglihatan maupun di luarnya. Berilah tanda di atas kertas tersebut setiap kali teman Anda tidak dapat melihat lingkaran berwarna merah tadi. Berapa luas daerah yang diberi tanda tersebut?

**Pertanyaan:**

1. Adakah hubungan antara luas daerah tersebut dengan ukuran titik buta?
2. Buatlah laporan dan kumpulkan kepada guru Anda.

Kemampuan lensa memfokuskan bayangan pada retina berbeda-beda. Berikut ini adalah gambar lensa saat memfokuskan bayangan tersebut.

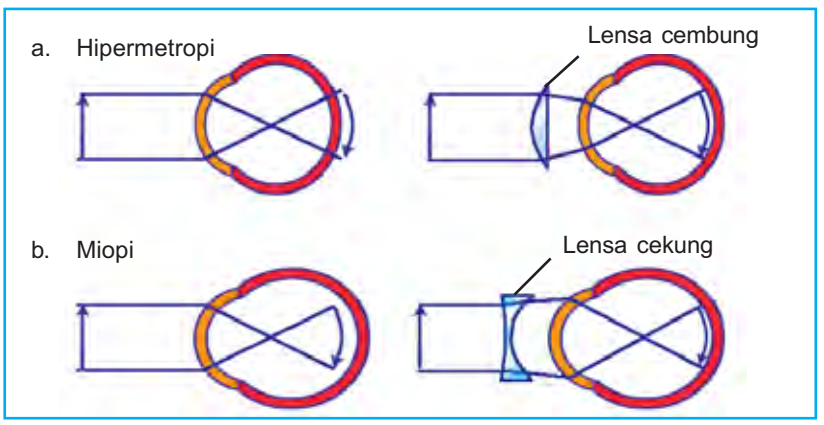



**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 9.15**
Lensa mata mampu memipih (a) dan mencembung (b)

Selain harus ada cahaya, syarat agar mata dapat melihat dengan baik yaitu mata harus dalam keadaan normal. Mata normal (*emetropi*) yaitu mata yang dapat berakomodasi dengan baik.Titik terjauh (*punctum remotum*) berada pada jarak sejauh-jauhnya. Titik terdekat (*punctum proximum*) berada pada jarak baca ideal (25 cm) di depan mata. Perhatikan Gambar 9.15.

Oleh karena sesuatu hal, mata dapat mengalami cacat mata. Perhatikan Gambar 9.16 untuk mengetahui macam-macam cacat mata.




**Sumber:** *Zoologi Umum, Villee, Walker dan Barner*

**Gambar 9.16**
Cacat mata pada manusia hipermetropi (a) dan miopi (b)

a. **Rabun dekat** (*hipermetropi*), yaitu cacat mata yang mengakibatkan pandangan mata kabur jika melihat benda yang dekat dengan mata. Hal ini karena lensa mata tidak dapat mencembung dengan sempurna. Rabun dekat dapat dibantu dengan kacamata berlensa *positif* atau cembung.
b. **Rabun jauh** (*miopi*), yaitu cacat mata yang mengakibatkan pandangan mata kabur jika melihat benda yang jauh dari mata. Hal ini karena lensa mata tidak dapat memipih dengan sempurna. Rabun jauh dapat dibantu dengan kacamata berlensa *negatif* atau cekung.
c. **Mata tua** (*presbiopi*), yaitu cacat mata yang mengakibatkan pandangan mata kabur jika melihat benda yang dekat maupun benda yang jauh. Cacat mata ini karena lensa mata tidak dapat berakomodasi dengan baik. Mata tua dapat dibantu dengan kacamata berlensa *ganda*.

**Tahukah Anda**

**Mengatasi Mata Minus Secara Alami**

Ada cara alami untuk mencegah, mengatasi, atau setidaknya untuk membuat *miopi* tidak semakin parah. *Pertama*, kurangi membaca di dalam mobil atau bus yang sedang berjalan. *Kedua,* lakukan latihan dengan memutar mata satu lingkaran penuh dari arah kiri ke kanan lalu dibalik dari arah kanan ke kiri. Lakukan latihan ini perlahan-lahan, jangan terlalu keras agar retina tidak tertekan. Lakukan latihan tersebut berulang-ulang, jika kepala pusing, berhentilah sebentar kemudian dilanjutkan lagi. Latihan ini dapat dilakukan setiap hari selama 10 menit. Cobalah!

d. **Buta warna**, yaitu cacat mata karena kerusakan sel konus, sehingga penderita tidak dapat membedakan warna. Biasanya merupakan cacat keturunan.
e. **Astigmatisme**, yaitu kecembungan kornea tidak merata sehingga bayangan menjadi tidak terfokus (kabur). Cacat mata ini dapat dibantu dengan lensa silinder (silindris).

## 2. Indra pendengar (Telinga)

Apakah Anda menyukai dan memperhatikan jenis lagu yang diciptakan oleh Mozart? Pada musik tersebut, Mozart menciptakan musik klasik yang mampu memperdengarkan musik dari nada paling rendah sampai nada paling tinggi dengan indah. Mengapa kita dapat mendengar bunyi-bunyi tersebut dan bagaimana mekanismenya?

Getaran bunyi yang dihasilkan oleh sumber bunyi, misalnya alat-alat musik akan ditangkap oleh reseptor telinga yang disebut **fonoreseptor**. Telinga terbagi menjadi 3 bagian yaitu telinga luar, telinga tengah, dan telinga dalam. Bagian-bagian telinga luar dan fungsinya dijelaskan dalam Tabel 9.10 berikut.

**Tabel 9.10** Bagian dari Organ Telinga Luar dan Fungsinya

| Organ Telinga Luar | Fungsi |
|---|---|
| a. Daun telinga<br>Bagian telinga luar berupa gelambir<br>b. Liang telinga<br>Saluran menuju membran timpani<br>c. Rambut<br>Berupa bulu-bulu halus<br>d. Kelenjar minyak<br>Bagian yang menghasilkan minyak<br>e. Membran timpani<br>Berupa selaput tipis (selaput gendang) yang kuat | • Mengumpulkan dan menyalurkan gelombang bunyi ke dalam telinga<br>• Membantu mengkonsentrasikan gelombang suara<br>• Menahan dan menjerat kotoran yang melewati lubang telinga<br>• Meminyaki dan menahan kotoran yang melewati lubang telinga<br>• Menangkap getaran bunyi dan menyalurkan ke tulang-tulang pendengar |

Telinga tengah merupakan bagian yang menghubungkan telinga luar dengan telinga dalam. Telinga ini terdiri atas tulang-tulang pendengar (*osikula*), yaitu tulang martil (*maleus*), tulang landasan (*inkus*), dan tulang sanggurdi (*stapes*). Selain terdiri atas osikula, telinga tengah juga meliputi tingkap oval, yaitu membran pembatas antara telinga tengah dan telinga dalam.

### Tahukah Anda

**Ketulian**

Ada banyak penyebab terjadinya masalah pendengaran. Beberapa di antaranya mengakibatkan ketulian ringan dan sebagian lain mengakibatkan ketulian total. Kadangkala penyakit seperti meningitis bisa mengakibatkan ketulian. Ketika seseorang beranjak tua, pendengaran juga akan berkurang. Suara yang keras juga bisa merusakkan telinga dan mengakibatkan tuli.

**Sumber:** *Mempelajari Indra*

### Forum Diskusi

Saat Anda bepergian ke dataran tinggi dari dataran rendah, telinga menjadi berdengung atau kita merasa telinga kita tidak dapat mendengar dengan jelas. Mengapa hal itu dapat terjadi? Bagaimana caranya agar telinga kita pulih kembali? Diskusikan dengan teman-teman Anda, buatlah penjelasannya dalam bentuk laporan.

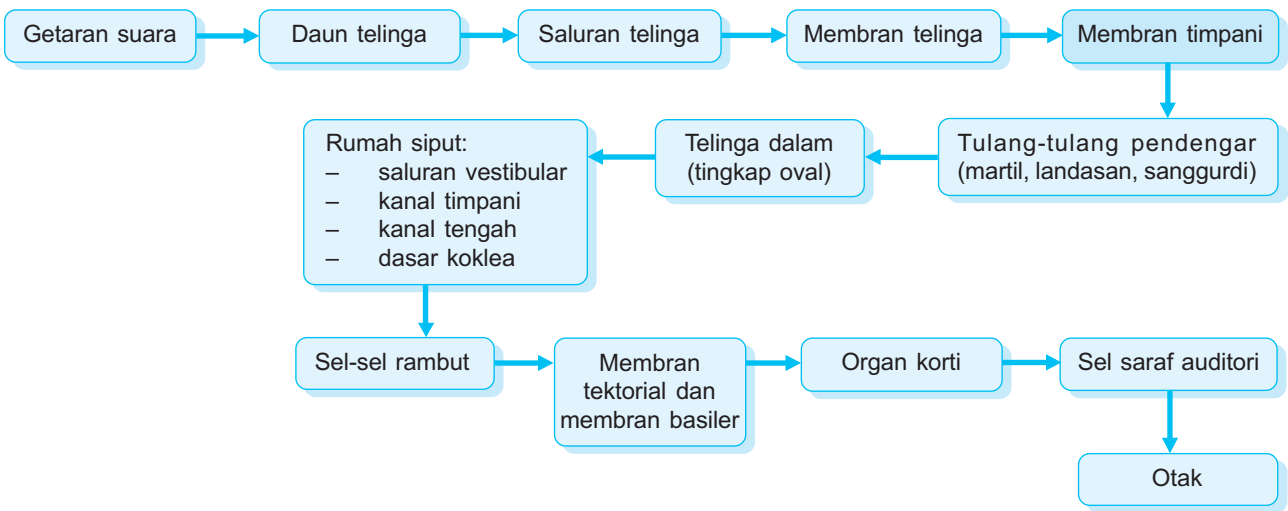
Telinga dalam terdiri atas rumah siput, organ korti, kanalis semisirkularis, serta sakulus dan utrikulus. Penjelasan tiap-tiap bagian ini dapata dilihat dalam Tabel 9.11 berikut.

**Tabel 9.11** Bagian-Bagian dari Organ Telinga Dalam dan Fungsinya

| Organ Telinga Dalam | Fungsi |
|---|---|
| a. Rumah siput (koklea)<br>Saluran seperti spiral (berisi cairan endolimfe)<br>b. Organ korti<br>Bagian koklea yang peka terhadap rangsang bunyi<br>c. Kanalis semisirkularis (3 saluran setengah lingkaran)<br>Berupa 3 saluran berlengkung-lengkung<br>d. Sakulus dan utrikulus<br>Pangkal kanalis semisirkularis (berisi cairan endolimfe dan butiran kalsium) | • Meneruskan rangsang getaran bunyi<br>• Meneruskan getaran bunyi ke saraf auditori<br>• Alat keseimbangan tubuh<br>• Menjaga keseimbangan tubuh |

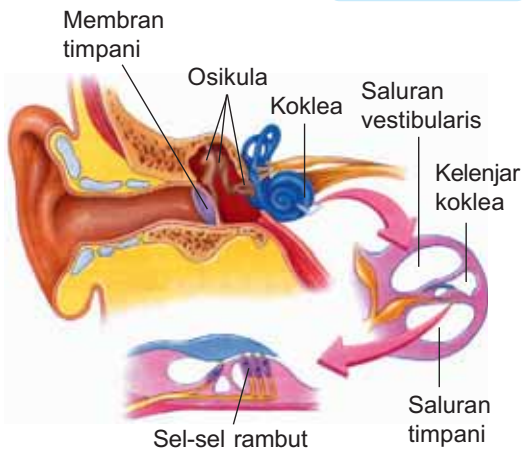
Seperti telah Anda ketahui sebelumnya, kita dapat mendengar bunyi dari frekuensi rendah sampai frekuensi tinggi. Namun, ternyata indra pendengar manusia hanya dapat mendengar bunyi dengan kisaran frekuensi terendah 20 Hz dan tertinggi 20.000 Hz.

Mekanisme kerja indra pendengar sebagai berikut.




Fungsi telinga selain sebagai indra pendengaran juga berfungsi sebagai **alat keseimbangan**. (Lihat kembali gambar bagian-bagian telinga dalam).

Perhatikan Gambar 9.17 di samping. Di atas koklea terdapat dua kantung berisi limfe yang sambung-menyambung. Kantung ini dilapisi sel-sel rambut dan di-sambungkan pada neuron sensorik. Pada sel-sel rambut tersebut terdapat **bola-bola kalsium karbonat** yang berukuran sangat kecil. Bola-bola ini dipengaruhi gravitasi. Pada saat kepala berubah posisi, "batu-batu telinga" menggeser posisinya. Impuls saraf yang diawali oleh sel-sel rambut dikirim kembali ke otak memberi tahu adanya perubahan.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 9.17**
Bagian-bagian telinga

Beberapa gangguan pada telinga sebagai fungsi pendengaran sebagai berikut.

1) *Tuli konduksi*, telinga tidak dapat mendengar karena gangguan pada penghantaran getaran suara. Sebab-sebab gangguan ini antara lain:
   a) penyumbatan saluran telinga oleh minyak serumen,
   b) penebalan atau pecahnya membran timpani,
   c) pengapuran pada tulang pendengaran,
   d) kekakuan hubungan stapes pada tingkap oval.
2) *Tuli saraf* yaitu tuli yang disebabkan adanya kerusakan saraf auditori (saraf pendengaran).

## 3. Indra Perasa dan Peraba

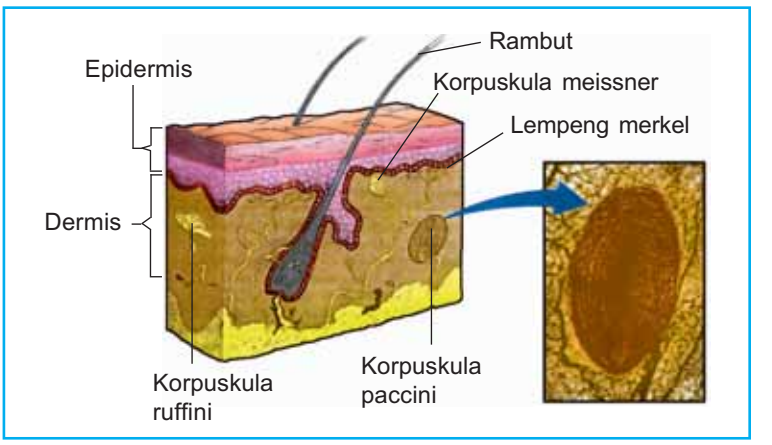
Anda dapat merasakan dingin saat musim penghujan dan merasa panas saat musim kemarau. Anda juga merasa sakit saat dicubit oleh teman Anda. Mengapa?

Anda dapat merasakan hal tersebut karena Anda memiliki suatu indra perasa yang terdapat pada **kulit** atau sering disebut indra perasa. Indra perasa menanggapi rangsang berupa panas, dingin, tekanan, sentuhan, dan rasa nyeri. Reseptor di kulit yang menerima kelima rangsang tersebut disebut **turgo reseptor**. Anda telah mengetahui contoh dari rasa dingin, panas, dan nyeri. Coba sebutkan contoh apa yang dapat membedakan sentuhan dan tekanan.

Turgo reseptor dalam kulit ada bermacam-macam, yaitu sebagai berikut.

a. *Korpuskula paccini*, merupakan saraf perasa tekanan kuat.
b. *Ujung saraf sekeliling rambut*, merupakan saraf peraba.
c. *Korpuskula ruffini*, merupakan saraf perasa panas.
d. *Ujung saraf crausse*, merupakan saraf perasa dingin.
e. *Korpuskula meissner*, merupakan saraf perasa nyeri.
f. *Ujung saraf tanpa selaput*, merupakan saraf perasa nyeri.
g. *Lempeng merkel*, merupakan saraf perasa sentuhan dan tekanan ringan.

Reseptor-reseptor ini terdapat di dermis kulit. Perhatikan Gambar 9.18 untuk mengetahui letak dermis kulit. Lapisan kulit terdiri atas epidermis dan dermis.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 9.18**
Reseptor pada indra peraba

**Tahukah Anda**

**Kulit Membantu Menjaga Suhu Tubuh Agar Tetap Sama**

Jika Anda kepanasan, keringat keluar dari kulit Anda dan ketika kering, keringat itu menarik panas dari tubuh. Demikian juga pembuluh darah di lapisan bawah kulit melebar, untuk melepaskan lebih banyak panas melalui kulit. Itulah mengapa orang yang kepanasan kelihatan berkeringat dan wajahnya memerah.

a. **Epidermis**, terdiri atas bagian-bagian berikut.
   1) *Lapisan kulit ari*, merupakan lapisan yang selalu mengelupas dan berganti dengan sel yang baru.
   2) *Lapisan Malpighi*, merupakan lapisan kulit yang tersusun atas sel-sel yang disebut *melanoblas*. Melanoblas mengandung zat warna atau pigmen yang disebut *melanin*. Melanin menjadikan kulit mempunyai warna. Selain itu, melanin juga berfungsi melindungi kulit dari sinar matahari yang dapat merusak lapisan kulit.

   Pada epidermis terdapat reseptor untuk rasa sakit dan tekanan lemah. Reseptor untuk tekanan disebut **mekanoreseptor**.

b. **Dermis**, terdiri atas bagian-bagian berikut.
   1) *Ujung-ujung saraf peraba*
   2) *Pembuluh darah*
   3) *Otot penegak bulu/rambut*
   4) *Folikel rambut*
   5) *Papila*
   6) *Kelenjar lemak*
   7) *Kelenjar keringat*
   8) *Kelenjar minyak*

**Eksperimen Plus**

**Membuat Pemetaan Rasa pada Daerah Lidah**

Siapkan larutan gula, larutan garam dapur, cairan jeruk nipis yang masih muda, dan air perasan daun pepaya.

Celupkan *cotton-bud* pada bahan yang sudah disediakan secara terpisah. Kemudian oleskan *cotton-bud* pada permukaan lidah. Tentukan daerah lidah yang paling peka terhadap rasa manis, asin, asam, dan pahit.

## 4. Indra Pengecap

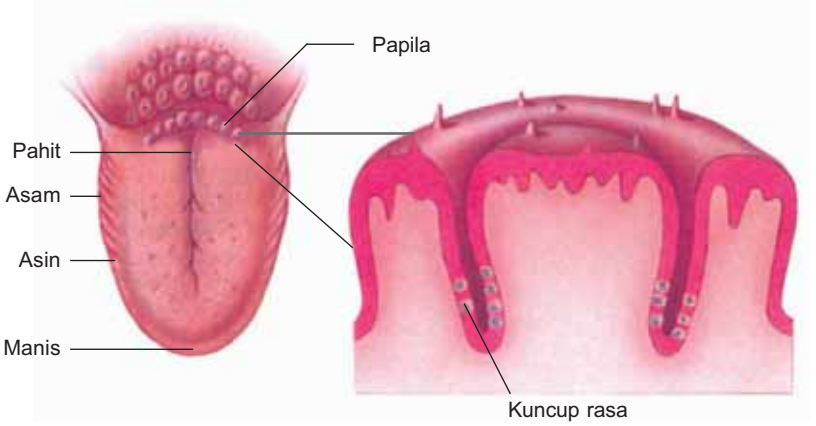
Dalam keadaan sehat Anda dapat membedakan rasa gula yang manis, rasa garam yang asin, rasa obat yang pahit, dan rasa asam. Akan tetapi, dalam keadaan sakit dapatkah Anda menikmati makanan yang Anda makan?

Peran indra pengecap tidak dapat begitu saja dilepaskan dengan peran indra penciuman. Bagaimana hubungan indra penciuman dengan indra pengecap? Pada bagian ini, Anda akan mempelajari lebih lanjut mengenai indra pengecap.

Rangsang yang diterima indra pengecap berupa larutan zat berasa. Larutan ini akan diterima oleh reseptor pengecap (papila) yang terdapat di lidah. Dalam papila terdapat bulu-bulu saraf (*gustatory hair*) yang berfungsi menghantarkan impuls ke otak. Perhatikan Gambar 9.19 untuk mengetahui letak papila di lidah dan bagian-bagian lidah yang mampu merasakan rasa pahit, asam, asin, dan manis.

Lidah mempunyai tiga macam papila, sebagai berikut.

a. Papila berbentuk benang (**papila filiformis**) merupakan papila peraba. Papila ini menyebar di seluruh permukaan lidah.
b. Papila yang dilingkari saluran (**papila sirkum valata**). Papila ini tersusun dalam lengkungan yang berbentuk huruf V. Terdapat 7 – 9 buah yang terletak dekat pangkal lidah dan merupakan papila pengecap.
c. Papila bentuk martil, merupakan papila pengecap yang terdapat di tepi lidah.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 9.19**
Letak papila di lidah dan bagian-bagian lidah yang mampu merasakan rasa pahit, asam, asin, dan manis

**Tahukah Anda**

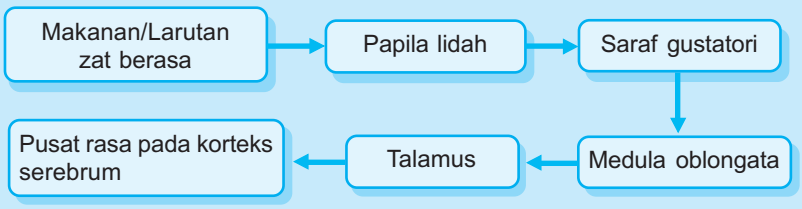
**Bagaimana Citra Rasa Cabai?**

Rasa pedas lada dan cabai tidak mempunyai cita rasa yang jelas. Makanan tersebut dapat dikecap karena mengiritasi permukaan lidah, sehingga ada sensasi seperti terbakar.

**Sumber:** *Biologi, Kimball*

**Forum Diskusi**

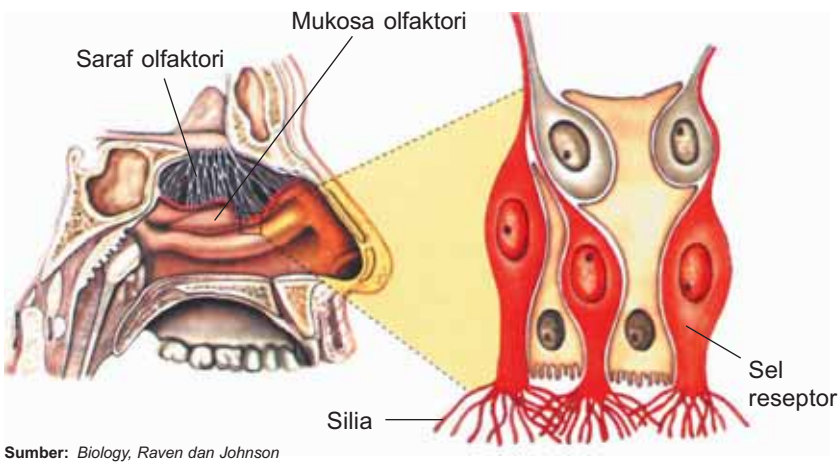
Bagaimana mekanisme kerja indra pengecap? Pelajari skema berikut dan diskusikan dengan teman sebangku Anda.




## 5. Indra Penciuman

Kita dapat merasakan makanan dengan mengecap menggunakan lidah. Namun, organ penciuman berupa **hidung** berperan sangat dominan dalam menentukan selera makan kita. Apabila Anda sakit pilek atau demam, Anda tidak dapat mencium aroma lezat masakan. Keadaan ini menyebabkan Anda makan tanpa selera.

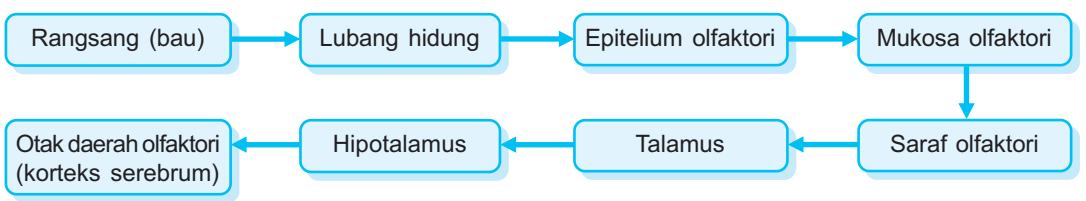
Selain aroma makanan, hidung juga dapat mencium bau wangi dan bau tak sedap seperti sampah. Hidung juga mampu mencium bau yang berasal dari alam misalnya bau tanah yang terkena air hujan, bau rumput yang dipotong, dan sebagainya. Perhatikan Gambar 9.20 untuk mengatahui bagian-bagian indra penciuman.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 9.20**
Reseptor pada indra penciuman

Rangsang yang diterima indra penciuman tersebut berupa **bau**. Bau merupakan molekul bahan kimia yang menguap dan melayang di udara. Mekanisme kerja indra penciuman sebagai berikut.



## Eksperimen 3

**Menguji Kepekaan Indra Penciuman**

Sediakanlah air putih dan rebusan air cengkeh masing-masing satu gelas. Mintalah 2 temanmu menutup hidung dengan rapat. Suruhlah mereka menutup mata agar tidak mengetahui gelas mana yang akan Anda berikan kepada mereka saat minum. Sesaat setelah minum, tanyakanlah mereka apa rasa air yang saat mereka minum mereka tidak membuka hidungnya.

**Pertanyaan:**

1. Apakah mereka merasakan air yang sama?
2. Bagaimana reaksinya setelah mereka membuka hidung masing-masing? (Ulangilah pada beberapa teman Anda).

Buatlah laporannya dan kumpulkan kepada guru Anda.

## Uji Kompetensi C

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan mekanisme kerja indra penglihat dalam melihat benda.
2. Mengapa telinga kita berdengung saat bepergian dari dataran tinggi ke dataran rendah?
3. Gambarkan macam-macam turgo reseptor dalam kulit.
4. Mengapa kita dapat merasakan lezatnya makanan?
5. Bagaimana mekanisme kerja indra penciuman? Jelaskan dengan skema.

# D. Sistem Koordinasi pada Hewan

Pada prinsipnya sistem koordinasi hewan sama dengan sistem koordinasi manusia yaitu melibatkan hal-hal berikut.

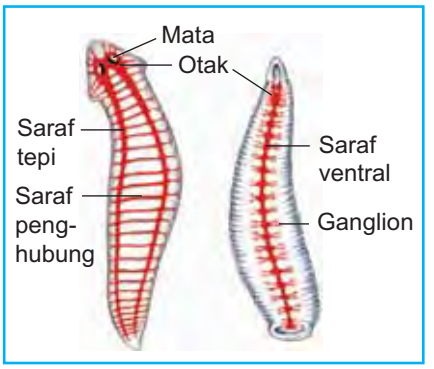
1. Pelepasan zat kimia dari sel-sel ke dalam cairan ekstra sel.
2. Mentranspor zat dari bagian satu ke bagian yang lain.
3. Pengaktifan atau penonaktifan sel-sel yang dipengaruhi oleh zat.

Pada subbab ini akan dibahas beberapa sistem koordinasi hewan yang memiliki sifat khusus. Hewan-hewan yang dimaksud di antaranya cacing, serangga, ular, dan katak.

## 1. Cacing

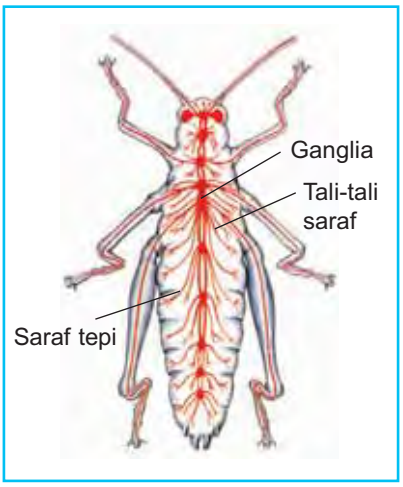
Susunan sistem saraf pada cacing berupa **sistem tangga tali**. *Planaria*, yang termasuk golongan cacing pipih memiliki sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat *Planaria* terdapat pada otak disebut juga **ganglion anterior**. Otak ini berukuran kecil. Sistem saraf tepi cacing berupa dua saluran yang menuju ke arah posterior, masing-masing saraf tersebut berada di daerah lateral tubuh cacing, keduanya dihubungkan oleh saraf penghubung. Saraf yang juga tersusun simetri bilateral ini digunakan untuk merespon cahaya. Apabila cacing pipih terkena sinar, otak akan memerintahkan cacing bergerak ke tempat gelap, misalnya di bagian bawah batu. Perhatikan Gambar 9.21.

Berbeda dengan *Planaria*, Annelida (misalnya lintah) mempunyai jumlah neuron yang lebih banyak di bagian otak. Saraf yang terdapat di sepanjang tubuhnya merupakan saraf ventral yang tersusun atas




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 9.21**
Sistem saraf Planaria (a) dan lintah (b)




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 9.22**
Sistem saraf serangga

beberapa ganglion. Di dalam ganglion terdapat interneuron yang mengoordinasi berbagai aksi pada setiap segmen.

## 2. Serangga

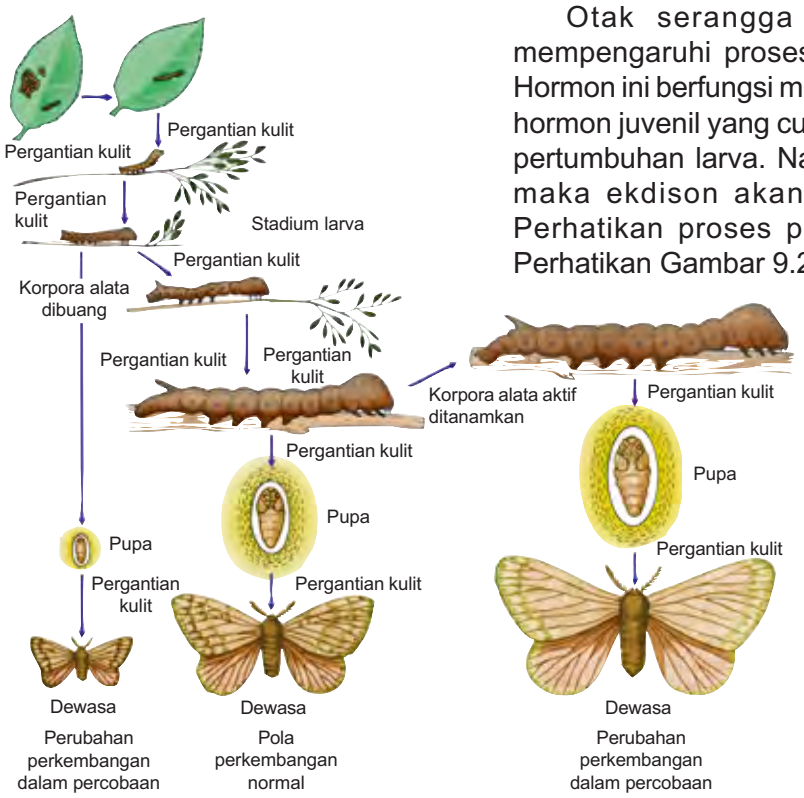
Sistem saraf serangga juga terdiri dari sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi, berupa **sistem saraf tangga tali**. Pada belalang sistem saraf pusat tersusun atas kelompok-kelompok badan sel saraf yang disebut **ganglia**. Tiap-tiap ganglia dihubungkan oleh satu atau lebih tali-tali saraf. Sementara itu, saraf tepi belalang tersusun oleh akson sensorik dan akson motorik ke dan dari ganglia. Perhatikan Gambar 9.22.

### Forum Diskusi

Sistem saraf cacing tanah, *Planaria*, dan belalang berupa sistem saraf tangga tali. Apakah sistem saraf tersebut sama dengan sistem saraf manusia? Coba terangkan mekanisme sistem saraf cacing tanah melakukan fungsinya. Diskusikanlah hal ini dengan teman Anda.

Pada serangga kelenjar endokrin lebih banyak digunakan untuk proses pertumbuhan dan metamorfosis. Selama masa pertumbuhan, serangga akan menanggalkan eksoskeletonnya secara berkala. Proses pergantian kulit ini disebut **molting**. Molting terjadi sampai stadium dewasa. Hormon yang menyebabkan terjadinya molting adalah **hormon ekdison**. Hormon ini dihasilkan dari kerja sama kelenjar protorasik yang terletak di dalam dada dan hormon yang dihasilkan oleh otak.

Otak serangga juga menghasilkan hormon yang mempengaruhi proses metamorfosis, yaitu **hormon juvenil**. Hormon ini berfungsi menghambat proses metamorfosis. Sekresi hormon juvenil yang cukup akan membuat ekdison merangsang pertumbuhan larva. Namun, jika sekresi hormon ini berkurang maka ekdison akan merangsang perkembangan pupa. Perhatikan proses pergantian kulit pada gambar berikut. Perhatikan Gambar 9.23.




**Sumber:** *Biology, John W. Kimball*

**Gambar 9.23**
Pengaruh hormon terhadap metamorfosis kupu-kupu

Apabila hormon ini dihilangkan dengan cara mengambil *kelenjar korpora alata* maka segera terjadi proses metamorfosis dan menyebabkan perkembangan hewan dewasa.

Serangga juga menghasilkan **feromon**, misalnya semut-semut mensekresikannya dari kelenjar di dalam kepalanya. Hormon ini cepat berdifusi ke segala arah. Feromon dapat tercium oleh semut-semut lain yang berada beberapa sentimeter dari sumbernya, misalnya pada jejak semut pekerja yang sedang kembali ke sarang dengan membawa makanan. Jejak ini menarik dan menuntun semut lain ke sumber makanan. Feromon diperbarui secara

terus-menerus sepanjang makanan tersebut masih ada. Akan tetapi, bila persediaan mulai menyusut maka semua pembuatan jejak berhenti. Jejak feromon semut menguap dengan cepat sehingga semut lain tidak dapat mencapai tempat itu.

Sistem indra penglihatan pada serangga berbeda dengan Molusca dan Vertebrata. Mata pada serangga disebut **mata majemuk** atau **mata faset** karena terdiri dari saluran berulang yaitu **omatidia**. Setiap saluran berfungsi sebagai reseptor penglihatan yang terpisah. Setiap omatidium menyumbangkan informasi yang hanya menamai satu daerah objek. Omatidium yang lain memberi informasi tentang daerah lainnya. Gabungan seluruh respon dari semua omatidia merupakan bayangan menarik, sehingga akan membentuk suatu pola cahaya dan bintik gelap yang menyusun seluruh pandangan.

**Tahukah Anda**

**Keistimewaan Lebah Madu**

Lebah madu mempunyai otak yang sangat kecil yang beratnya 0,01 g, tetapi mampu menguasai informasi yang kompleks. Lebah madu dapat mengetahui bunga mana yang memberikan serbuk sari terbaik dan kapan bisa mendapatkannya dengan mengenali seluruh tanda-tanda dari jarak 1 km dari sarangnya.

**Sumber:** *Mempelajari Otak*

## 3. Ular dan Katak

Kedua hewan ini mempunyai organ respon reseptor bau (atau rasa) yang sangat baik, yaitu **organ Jacobson**. Organ ini terletak di langit-langit mulut. Secara bergantian mereka mengeluarkan lidahnya ke udara dan kemudian ke dalam organ Jacobson. Tingkah laku seperti itu membuat mereka dapat merasakan udara dan mendeteksi adanya bau.

## Uji Kompetensi D

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Sebutkan tiga prinsip proses koordinasi pada manusia atau hewan.
2. Apa yang disebut dengan molting? Pada fase apa saja terjadinya molting pada kupu-kupu?
3. Apa yang akan terjadi apabila kelenjar korpora dibuang?
4. Bagaimana cara semut menemukan makanan?
5. Bagaimana cara ular dan katak mendeteksi bau?

## Tugas Proyek

**Mendata Jenis-Jenis Obat Suplemen**

Di pasaran banyak sekali beredar suplemen baik dalam bentuk pil, susu ataupun minuman. Di antara suplemen tersebut ada yang menjanjikan mampu meningkatkan kecerdasan otak, daya ingat, ataupun pertumbuhan dan perkembangan otak anak.

**A. Tujuan**

Mengemukakan pendapat tentang manfaat dan efek samping suplemen makanan yang menjanjikan dapat meningkatkan kecerdasan otak anak.

**B. Alat dan Bahan**

1. artikel-artikel dari berbagai media massa
2. buku-buku sebagai referensi
3. suplemen yang terdapat di pasaran

**C. Cara Kerja**

1. Datalah berbagai macam suplemen baik dalam bentuk pil, susu ataupun minuman yang menjanjikan mampu meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan otak.

| No. | Nama Suplemen | Kandungan | Kegunaan |
|---|---|---|---|
| | | | |

2. Carilah artikel-artikel yang membahas mengenai kegunaan zat-zat yang dikandung oleh suplemen-suplemen tersebut terhadap kecerdasan otak, daya ingat, dan pertumbuhan/perkembangan otak.

3. Diskusikan bersama teman-teman kalian mengenai efek samping dan manfaat suplemen tersebut.

**D. Pertanyaan**

1. Sebutkan zat-zat yang terkandung dalam tiap-tiap suplemen. Apakah zaat-zat itu termasuk vitamin, mineral, atau zat makanan apakah zat-zat itu?
2. Bagaimanakah reaksi suplemen tersebut dalam tubuh sehingga dikatakan dapat meningkatkan daya ingat, pertumbuhan dan perkembangan otak?
3. Apakah suplemen-suplemen semacam itu memang diperlukan untuk perkembangan otak?
4. Kesimpulan apa yang dapat diambil dari kegiatan tersebut?

**E. Laporan**

Buatlah laporan atau karya tulis berdasarkan diskusi dan kegiatan-kegiatan di atas dan sertakan kliping tentang suplemen-suplemen tersebut.

## Rangkuman

1. Sistem koordinasi terbagi dua yaitu sistem saraf sistem hormon, dan sistem indra.
2. Neuron dibedakan menjadi neuron sensorik, neuron motorik, dan neuron konektor.
3. Sistem saraf terbagi menjadi dua yaitu sistem saraf sadar dan sistem saraf tidak sadar. Sistem saraf sadar terdiri dari sistem saraf pusat (otak) dan sistem saraf tepi (kraniospinal). Sistem saraf tidak sadar (otonom) terdiri dari sistem saraf simpatetik dan sistem saraf parasimpatetik.
4. Berdasar impuls saraf, sistem saraf tepi dibedakan menjadi sistem saraf aferen dan sistem saraf eferen.
5. Jalur perjalanan impuls sebagai berikut. Reseptor → neuron sensorik → sistem saraf pusat → neuron motorik → efektor.
6. Selain sistem saraf, sistem koordinasi juga terbentuk dengan adanya sistem endokrin.
7. Kelenjar hipofisis merupakan kelenjar endokrin terbesar. Hipofisis menjadi tiga lobus yaitu lobus anterior, intermedia, dan posterior.
8. Kelenjar tiroid menghasilkan hormon tiroksin, tridotironin, dan kalsitonin.
9. Kelenjar paratiroid menghasilkan hormon parathormon, berfungsi mengendalikan kadar kalsium dalam darah.
10. Kelenjar adrenal terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian kulit (korteks) dan bagian dalam (medula).
11. Kelenjar pankreas menghasilkan hormon insulin dan glikogen.
12. Kelenjar gonad pada wanita menghasilkan hormon estrogen dan progesteron, sedangkan pada pria menghasilkan hormon testosteron.
13. Manusia mempunyai 5 macam indra penglihat, pendengar, perasa, peraba, pengecap, serta penciuman.
14. Mekanisme pada indra penglihat yaitu cahaya yang masuk mata melewati aqueus humor diatur intensitasnya oleh pupil, kemudian melewati lensa dan bayangan benda akan diterima oleh retina.
15. Tulang-tulang pendengar pada telinga tengah meliputi:
    a. tulang martil (maleus)
    b. tulang landasan (inkus)
    c. tulang sanggurdi (stapes)
16. Telinga mempunyai dua fungsi yaitu sebagai indra pendengar dan alat keseimbangan.
17. Saraf yang bekerja pada indra pembau adalah saraf olfaktori.
18. Sistem koordinasi pada manusia dan hewan dapat terjadi dengan adanya sel yang melepaskan zat kimia ke cairan ekstra sel kemudian ditransport menuju sel yang dipengaruhi oleh zat. Susunan sistem saraf pada cacing pipih dan serangga sama yaitu sistem saraf tangga tali yang terbagi menjadi sistem saraf pusat dan tepi. Metamorfosis serangga mulai dari telur hingga serangga dewasa dipengaruhi oleh hormon juvenil dan hormon ekdison.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Busur refleks yang menghasilkan gerakan mempunyai jalur . . . .
   a. lutut – saraf motorik – sumsum belakang – saraf sensorik
   b. lutut – saraf sensorik – sumsum belakang – saraf motorik – kaki
   c. lutut – saraf sensorik – otak – saraf motorik – kaki
   d. lutut – saraf motorik – otak – saraf sensorik – kaki
   e. lutut – saraf sensorik – saraf konektor menyilang – saraf motorik – kaki

2. Pada waktu ada halilintar kita dianjurkan membuka mulut. Anjuran ini bertujuan . . . .
   a. mengurangi getaran bunyi yang diterima selaput pendengaran
   b. tekanan yang ditumbuhkan oleh getaran bunyi pada dua sisi selaput pelangi seimbang
   c. kepekaan indra pendengar pada alat korti menurun
   d. indra keseimbangan tidak ikut terangsang
   e. tidak timbul gema

3. Ciri-ciri neuron motorik di antaranya . . . .
   a. struktur dendrit pendek
   b. struktur neurit pendek
   c. neurit berhubungan dengan dendrit neuron lain
   d. dendrit berhubungan dengan reseptor
   e. impuls berasal dari reseptor ke sistem saraf pusat

4. Efek kerja saraf simpatetik dan parasimpatetik terhadap alat pencernaan yang benar yaitu . . . .

| | Simpatetik | Parasimpatetik |
|---|---|---|
| a. | memacu | memperlambat |
| b. | mempercepat | memperlambat |
| c. | memperlambat | memperlambat |
| d. | memacu | menggiatkan |
| e. | memperlambat | mempercepat |

5. Peradangan pada selaput otak dikenal juga dengan istilah . . . .
   a. pleuritis
   b. meningitis
   c. serebralis
   d. spinalis
   e. kinestesis

6. Pada waktu tidur, denyut jantung dan pernapasan menjadi lambat karena dipengaruhi oleh . . . .
   a. saraf sadar
   b. saraf simpatetik
   c. saraf parasimpatetik
   d. saraf tepi
   e. saraf tak sadar

7. Amfetamin digunakan sebagai . . . .
   a. pencegah rasa sakit
   b. sedativa
   c. obat penenang
   d. stimulan
   e. zat aditif

8. Apabila seseorang yang terkena kecelakaan lalu lintas mendapat kerusakan otak hingga lumpuh dan tidak sadar tetapi masih bernapas, berarti bagian otak yang tidak rusak terdapat pada . . . .
   a. serebelum
   b. daerah motorik
   c. serebrum
   d. medula oblongata
   e. daerah sensorik

9. Titik pertemuan antara neuron satu dengan neuron lain disebut . . . .
   a. sinapsis
   b. membran
   c. neurotransmiter
   d. neurohormon
   e. akson

10. Lapisan yang menyerupai sarang laba-laba pada selaput meningis yaitu . . . .
    a. durameter
    b. arakhnoid
    c. piameter
    d. subaraktiroid
    e. subpiameter

11. Lobus temporalis serebrum berperan dalam . . . .
    a. pengendalian gerak otot motorik
    b. pengendalian gerak otot sensorik
    c. sistem penglihatan
    d. sistem pendengaran
    e. perubahan tekanan dan suhu

12. Hormon yang dikeluarkan oleh kelenjar paratiroid yaitu . . . .
    a. estrogen
    b. progesteron
    c. androgen
    d. testosteron
    e. parathormon

13. Rasa lapar disebabkan oleh . . . .
    a. tidak adanya makanan di dalam lambung
    b. berkurangnya zat makanan dalam tubuh
    c. menurunnya kadar gula darah
    d. menurunnya persediaan energi dalam tubuh
    e. lambatnya gerak peristaltik usus

14. Hormon yang bekerja antagonis dengan hormon insulin adalah hormon . . . .
    a. adrenalin
    b. kalsium
    c. tiroksin
    d. parathormon
    e. progresteron

15. Kelompok hormon yang disekresi oleh lobus anterior kelenjar hipofisis yaitu . . . .
    a. tiroksin (TSH), luteinizing hormon (LH), dan vasopresin (ADH)
    b. prolaktin (TH), somatotrof (STH), dan melanosit stimulating hormon (MSH)
    c. vasopresin (ADH), oksitosin, dan melanosit stimulating hormon (MSH)
    d. tiroksin (TSH), prolaktin (TH), dan somatotrof (STH)
    e. prolaktin (TH), adenokortikotropin (ACTH), dan oksitosin

16. Kelenjar adrenal disebut juga suprarenalis karena terletak di . . . .
    a. dorsal ventrikulus
    b. atas ginjal
    c. skrotum
    d. lekukan tulang sela tursika
    e. daerah leher

17. Hormon yang berperan dalam mengendalikan pertukaran kalsium dan fosfor dalam darah dihasilkan oleh kelenjar . . . .
    a. tiroid
    b. paratiroid
    c. hipofisis
    d. adrenal
    e. pankreas

18. Seorang pelari cepat 200 meter dalam usahanya mencapai finis secepat mungkin membutuhkan hormon . . . .
    a. insulin
    b. adrenalin
    c. tiroksin
    d. progesteron
    e. relaksin

19. Kondisi hormonal wanita pada kehamilan tua yaitu . . . .
    a. estrogen dan progesteron meningkat
    b. estrogen dan progesteron menurun
    c. estrogen meningkat dan progesteron menurun
    d. estrogen menurun dan progesteron meningkat
    e. hormon luteinizing (LH) meningkat dan gonadotropin meningkat

20. Hormon paratiroid menyebabkan peningkatan . . . .
    a. kadar glukosa dalam darah
    b. permeabilitas tubulus ginjal terhadap air
    c. absorpsi asam amino
    d. suplai darah ke usus halus
    e. kadar kalsium dalam darah

21. Jika kelenjar tiroid kurang aktif, kemungkinan yang akan terjadi yaitu . . . .
    a. penurunan kecepatan metabolisme
    b. penurunan kadar glukosa dalam darah
    c. peningkatan tekanan darah
    d. peningkatan glukosa dalam urine
    e. terjadi penurunan kecepatan pernapasan

22. Bagian mata yang terdapat sel-sel fotoreseptor yaitu . . . .
    a. lensa
    b. retina
    c. bintik buta
    d. korpus luteum
    e. korpus siliaris

23. Pupil berfungsi . . . .
    a. menerima bayangan
    b. memperkukuh bola mata
    c. mengatur banyak sedikit cahaya yang diperlukan mata
    d. melindungi bola mata dari kerusakan
    e. penyedia makanan bagi bagian mata yang lain

24. Pembuluh Eustachius menghubungkan . . . .
    a. rongga hidung dan telinga dalam
    b. rongga mulut dengan telinga luar
    c. faring dengan telinga luar
    d. rongga faring dengan rongga telinga
    e. faring dengan rongga telinga

25. Pada telinga dalam terdapat bagian yang sangat peka terhadap bunyi dan merupakan reseptor vibrasi yang sebenarnya. Bagian yang dimaksud yaitu . . . .
    a. kanalis semisirkularis
    b. koklea
    c. organ korti
    d. sakulus
    e. utrikulus

26. Bagian tubuh yang permukaan kulitnya paling peka terdapat pada . . . .
    a. telapak tangan dan pipi
    b. bibir dan telapak tangan
    c. pipi dan ujung jari
    d. ujung jari dan bibir
    e. telapak tangan dan ujung jari

27. Reseptor pengecap pada lidah terdapat di dalam . . . .
    a. epitelium
    b. epiglotis
    c. tonsil
    d. badan lidah
    e. papila

28. Mukosa olfaktori pada epitelium olfaktori berfungsi untuk . . . .
    a. mengalirkan impuls sepanjang saraf olfaktori
    b. melarutkan molekul bau
    c. menguapkan rangsang berupa bau
    d. menahan debu
    e. mempersatukan sinyal yang dikirim berupa bau

29. Hormon ekdison terbentuk setelah ada kerja sama antara . . . .
    a. kelenjar protorasik dengan otak
    b. kelenjar korpora alata dengan otak
    c. hormon juvenil dan kelenjar korpora alata
    d. kelenjar protorasik dan kelenjar korpora alata
    e. hormon juvenil dan hormon feromon

30. Bila kelenjar korpora alata diambil maka . . . .
    a. terjadi proses pergantian kulit
    b. merangsang pertumbuhan larva
    c. merangsang perkembangan pupa
    d. mempercepat proses metamorfosis
    e. menghambat proses metamorfosis

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apakah stimulus itu?
2. Bedakan antara saraf kranial dan saraf spinal.
3. Apa yang dimaksud dengan *master of gland*?
4. Bagian apa sajakah dari sistem saraf yang turut serta dalam memelihara keseimbangan dan gerak tubuh yang terkoordinasi?
5. Bagaimana pengaturan lensa mata saat melihat benda dekat dengan benda jauh? Disebut apakah kemampuan itu?

C. *Berpikir kritis.*

Ibu (calon ibu) yang cemas menjelang melahirkan lantaran takut nyeri, kini bisa berlega hati. Teknik *analgesia spinal* memungkinkannya melahirkan tanpa rasa nyeri. Pada teknik ini obat anestesia disuntikkan di ruang intratekal, yaitu sebuah ruang di dalam sumsum tulang belakang. Obat tersebut akan memblok rasa nyeri. Keuntungan lain penggunaan teknik ini, dosis obat yang diberikan lebih kecil dibanding teknik yang lain, tetapi efek analgesiknya merata. Teknik ini relatif lebih mudah dilaksanakan dan lebih murah dibandingkan dengan bedah *caesar*. Dengan teknik ini biaya persalinan dapat dihemat sampai 75%.

**Sumber:** *Intisari*

**Pertanyaan:**

1. Mengapa suntikan tersebut langsung ditempatkan di bagian sumsum tulang belakang?
2. Mengapa suntikan tersebut tidak menimbulkan rasa nyeri?

## Refleksi

**Sistem Koordinasi pada Manusia dan Hewan**

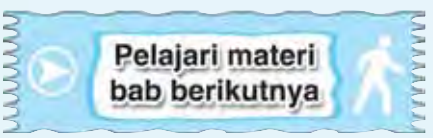
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Jelaskan bagian-bagian sel saraf dan fungsinya.
2. Bagaimana cara kerja penghantaran impuls hingga sampai ke otak?
3. Mengapa penggunaan narkotika yang tidak sesuai dapat membahayakan tubuh?
4. Jelaskan nama kelenjar dan letaknya yang terdapat dalam tubuh manusia.
5. Apa saja kelainan pada mata yang dapat mengganggu penglihatan mata?
6. Apa peran hormon juvenil pada serangga?

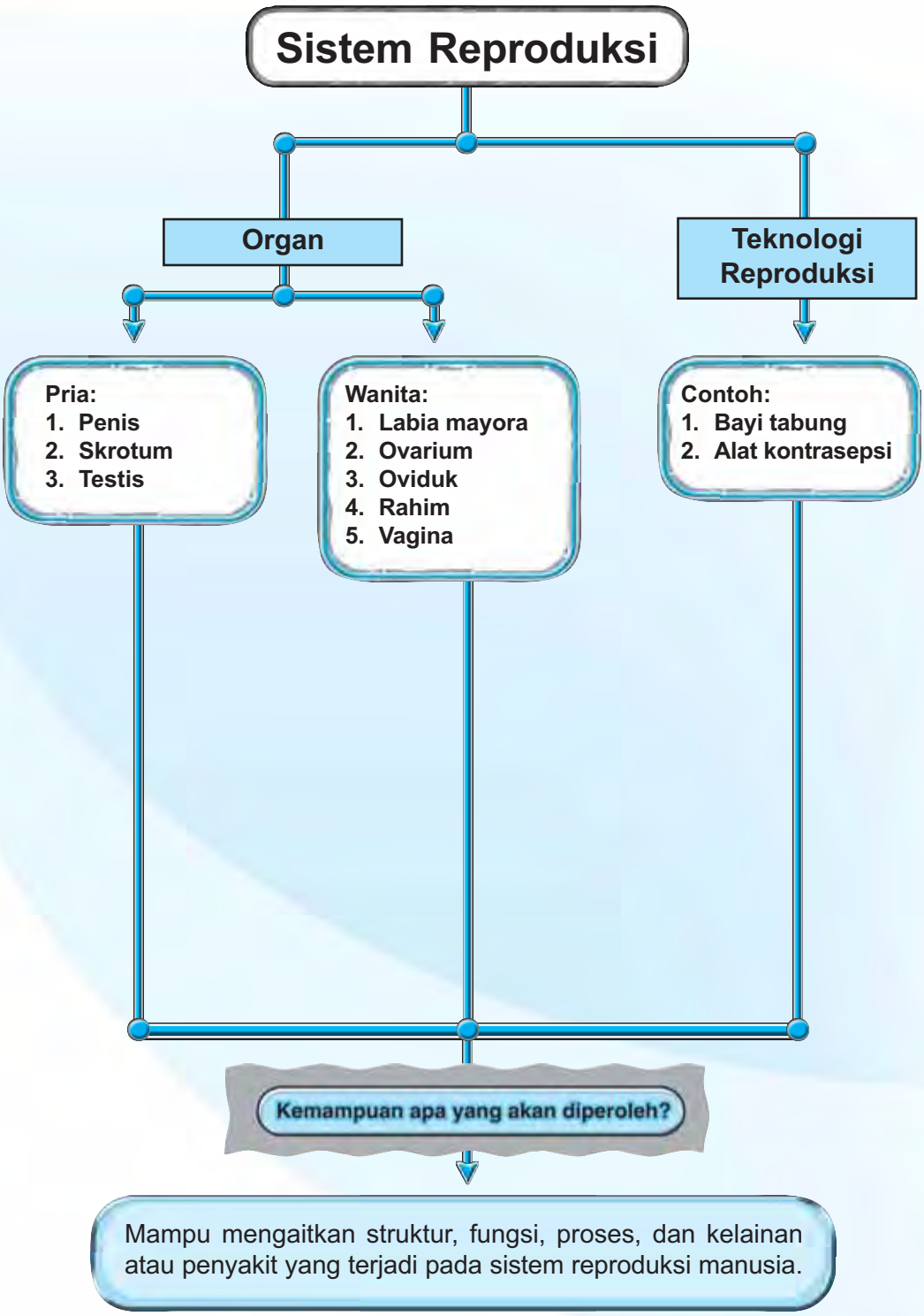
Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%



# Bab X Sistem Reproduksi Manusia



## Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Bagi sepasang suami istri dikaruniai seorang bayi merupakan suatu hal yang menggembirakan. Bayi ini akan tumbuh menjadi seorang anak dan akan berperan sebagai generasi penerus bagi kedua orang tuanya. Pernahkah Anda berpikir bagaimana proses terbentuknya bayi?

Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang proses reproduksi pada manusia. Selain itu, Anda juga akan mempelajari tentang penyakit-penyakit yang berhubungan dengan alat reproduksi tersebut. Setelah mempelajari materi pada bab ini, Anda diharapkan dapat menjaga kebersihan alat-alat reproduksi sehingga dapat terhindar dari penyakit yang menyerang alat reproduksi.

### Kata Kunci

reproduksi
sperma
fertilisasi
kontrasepsi
HIV-AIDS
penis
skrotum
testis
ovarium
oviduk
uterus
vagina
menstruasi
zigot

Manusia sebagai makhluk hidup juga melakukan reproduksi. Sistem reproduksi manusia lebih kompleks dibandingkan pada tumbuhan. Seorang pria dan wanita telah siap menghasilkan keturunan apabila memenuhi ciri-ciri tertentu secara biologis. Anda dapat menyimak materi berikut untuk dapat memahami ciri-ciri ini.

# A. Alat dan Proses Reproduksi pada Manusia

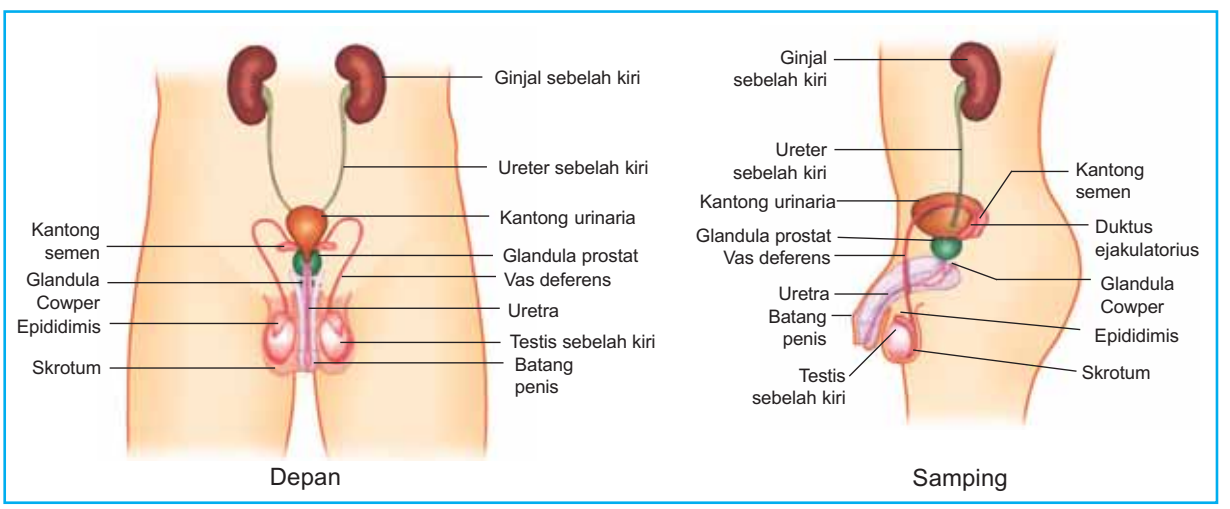
Subbab berikut ini membahas tentang alat reproduksi dan berbagai macam proses yang menyertai sistem ini. Pria dan wanita memiliki alat dan proses reproduksi yang berbeda. Pada pria terjadi proses pembentukan sperma, sedangkan pada wanita terjadi proses pembentukan ovum.

## 1. Alat Reproduksi Pria dan Proses Pembentukan Sperma

Pria memiliki serangkaian alat reproduksi dan di dalam alat ini berlangsung pula proses pembentukan sperma. Dalam proses pembentukan sperma tidak lepas dari peran hormon-hormon seksual. Simak uraian berikut agar dapat memahami secara lebih lengkap.

### a. Alat Reproduksi Pria

Alat reproduksi pria dibedakan menjadi dua, yaitu **alat kelamin bagian luar** dan **alat kelamin bagian dalam**. Alat kelamin bagian luar terdiri atas **penis** dan **skrotum**. Di dalam skrotum terdapat testis yang merupakan alat kelamin bagian dalam dan tidak tampak dari luar. Perhatikan sistem reproduksi pria pada Gambar 10.1.




**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole & Glenn*

**Gambar 10.1**
Sistem reproduksi pria

Penis berfungsi sebagai alat koitus (persetubuhan). Pada alat ini terdapat saluran ejakulasi yang berperan menyemprotkan semen hingga masuk dalam uretra dan disalurkan ke luar. Saluran uretra juga berfungsi menyalurkan urine dan dikeluarkan melalui lubang kecil di ujung penis.

**Tahukah Anda**

**Khitan**

Sejak bayi, penis diselubungi oleh kulit luar yang longgar. Untuk tujuan kebersihan dan kesehatan, kulit yang menutup penis dikhitan kira-kira 1–1,5 cm sehingga penis mudah dibersihkan.

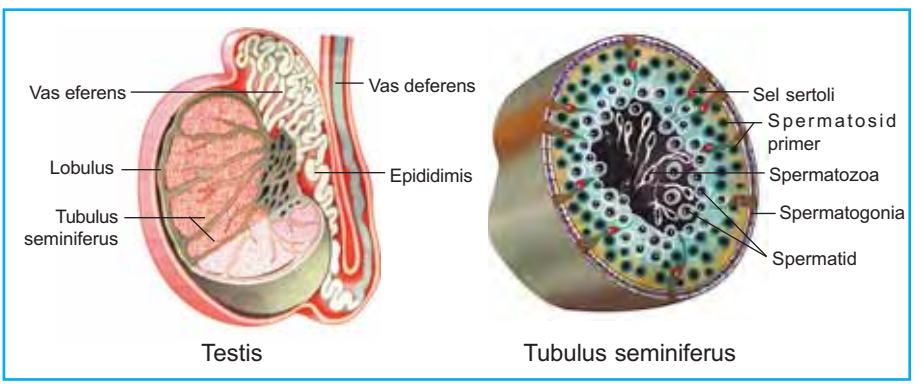
Khitan ini dapat menghindarkan pria dari berbagai macam penyakit, di antaranya kanker ganas, ejakulasi dini, dan penyakit-penyakit infeksi lain di penis.

Pada saat ejakulasi, otot yang terdapat pada tempat keluarnya urine menutup sehingga urine tidak keluar bersama semen.

Skrotum merupakan kulit luar pembungkus testis. Skrotum berfungsi menjaga temperatur testis saat pembentukan sperma. Apabila temperatur terlalu tinggi, skrotum akan mengendor dan apabila temperatur menurun, skrotum mengerut.

Di dalam testis terdapat saluran halus yang merupakan tempat pembentukan sperma, disebut **tubulus seminiferus**. Dinding tubulus seminiferus tersusun dari jaringan epitelium dan jaringan ikat. Di dalam jaringan epitelium terdapat **sel induk spermatozoa (spermatogen)** dan **sel sertoli**. Sel sertoli berfungsi memberi nutrisi pada sperma. Di antara tubulus seminiferus terdapat **sel-sel interstisiil** yang menghasilkan hormon testosteron dan hormon kelamin jantan lainnya.

Pada penampang lintang testis akan tampak daerah yang bersekat-sekat. Perhatikan Gambar 10.2. Ruang di antara sekat disebut **lobulus**. Setiap lobulus berisi kumpulan tubulus seminiferus yang berbelit-belit. Apabila dibentangkan panjang belitan tubulus seminiferus mencapai 1 km. Seluruh tubulus seminiferus menyatu membentuk **vasa efferensia**. Dari vasa efferensia muncul tubulus yang memanjang hingga 6 m disebut **epididimis**. Epididimis merupakan tempat penyimpanan sperma selama lebih kurang 18 jam. Dari epididimis, sperma menuju **vesikula seminalis** melalui vas deferens. Salah satu ujung vas deferens berakhir pada **kelenjar prostat**. Saluran ini bersatu di belakang kandung kemih membentuk **duktus ejakulatorius** pendek dan berakhir di **uretra**. Uretra merupakan saluran akhir dari saluran reproduksi dan terdapat dalam penis. Saluran ini berfungsi sebagai alat pengeluaran urine dan sebagai saluran kelamin (yaitu saluran semen dari kantong mani). Duktus ejakulatorius juga berhubungan dengan kelenjar prostat yang menghasilkan cairan encer seperti susu dan bersifat alkalis sehingga dapat menyeimbangkan keasaman residu urine di uretra. Cairan ini langsung bermuara ke uretra.

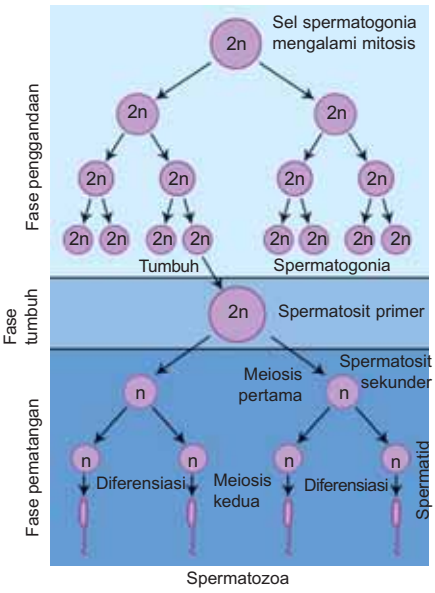



**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.2**
Struktur testis

## b. Proses Pembentukan Sperma

Pembentukan sperma berlangsung di dalam testis. Proses pembentukan atau pemasakan sperma ini disebut **spermatogenesis**.




**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.3**
Tahap spermatogenesis

Spermatogenesis berawal dari sel spermatogonia yang terdapat pada dinding tubulus seminiferus. Setiap spermatogonia yang mengandung 23 pasang kromosom, mengalami pembelahan mitosis menghasilkan **spermatosit primer** yang juga mengandung 23 pasang kromosom. Spermatosit primer ini kemudian mengalami pembelahan meiosis pertama menghasilkan 2 **spermatosit sekunder** yang haploid. Kemudian tiap spermatosit sekunder membelah lagi secara meiosis (meiosis kedua) menghasilkan 2 **spermatid** yang juga haploid. Spermatid kemudian berdiferensiasi menjadi sperma yang telah masak. Sperma ini bersifat haploid. Perhatikan Gambar 10.3.

Sperma yang telah masak mempunyai sifat motil, karena sperma dilengkapi mikrotubulus. Sperma yang matang ini mempunyai tiga bagian, yaitu bagian kepala, bagian tengah (*mid piece*), dan bagian ekor. Perhatikan Gambar 10.4 dan 10.5.

1) Bagian kepala mengandung inti sel (*nukleus*) yang haploid dan bagian ujungnya mengandung akrosom yang berisi **enzim hialuronidase** dan **proteinase** yang berperan membantu menembus lapisan yang melindungi sel telur.
2) Bagian tengah mengandung mitokondria yang berperan dalam pembentukan energi yang digunakan untuk pergerakan ekor sperma.
3) Bagian ekor, sebagai alat gerak sperma agar dapat mencapai ovum.

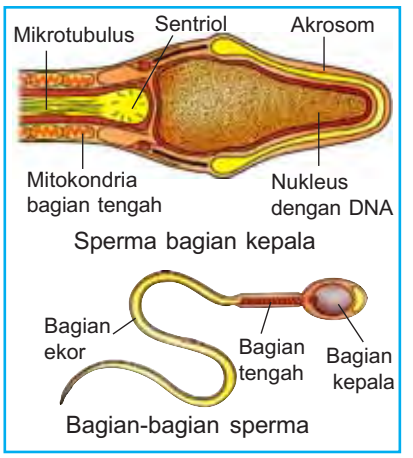
**Tahukah Anda**

**Jumlah Produksi Sperma**

Pada pria dewasa yang normal setiap 1 ml semen mengandung lebih kurang 250–500 juta sperma. Selama hidupnya, seorang pria mampu memproduksi sperma sebanyak 12.000.000.000.000 ($1{,}2 \times 10^{13}$).

**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.4**
Kumpulan sperma




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 10.5**
Struktur sperma

Produksi sperma dipengaruhi hormon *Follicle Stimulating Hormon* (FSH) dan *Luteinizing Hormon* (LH). Produksi sperma bersamaan dengan produksi hormon testosteron. Hormon inilah yang mengendalikan produksi FSH dan LH. Perhatikan Tabel 10.1 tentang jenis-jenis hormon yang dihasilkan oleh kelenjar endokrin.

**Tabel 10.1** Hormon yang Dihasilkan Oleh Kelenjar Endokrin

| Kelenjar Endokrin dan Hormon-Hormon yang Dihasilkan | Jaringan yang Dituju | Fungsi |
|---|---|---|
| Hipotalamus<br>– Hormon gonadotropin | Hipofisis anterior | Merangsang pengeluaran *FSH* (*Follicle Stimulating Hormone*), *LH* (*Luteinizing Hormone*), dan hormon tumbuh (*Growth Hormone*). |
| Hipofisis anterior<br>a) FSH | Testis | Merangsang sel-sel sertoli pada tubulus seminiferus pada testis untuk mengubah sel-sel spermatid menjadi sperma (proses spermatogenesis). |
| b) LH | Testis | Merangsang sel-sel leydig (sel-sel interstisiil) untuk menghasilkan testosteron. |
| c) Hormon tumbuh | Testis | Memacu agar memulai pembelahan spermatogonia. |
| Testis<br>– Testosteron | Seluruh tubuh | – Pada janin merangsang perkembangan organ seks primer.<br>– Masa pubertas mempengaruhi pertumbuhan alat reproduksi dan ciri-ciri kelamin sekunder (suara, kejantanan, pertumbuhan rambut, dan kematangan seksual).<br>– Dewasa berperan dalam memelihara ciri-ciri kelamin sekunder dan mendorong terjadinya spermatogenesis. |

## Eksperimen

### Mengamati Organ Reproduksi

Sediakan mencit jantan dan betina beserta alat-alat bedah. Pada eksperimen ini digunakan mencit karena hewan ini merupakan anggota Mammalia, sehingga organ reproduksinya tidak jauh berbeda dengan manusia. Lakukan pembedahan pada kedua mencit tersebut dan amati organ reproduksinya.

a. Coba Anda identifikasi bagian-bagian berikut.
   - skrotum
   - testis
   - epididimis
   - penis
   - glandula prostat

b. Coba Anda sebutkan perbedaan organ reproduksi mencit betina dengan organ reproduksi wanita dalam hal-hal berikut.
   - bentuk oviduk
   - ruang uterus

Anda tentunya telah mengetahui proses pembentukan atau pemasakan sperma yang disebut spermatogenesis. Sperma ini diproduksi oleh pria yang sudah dewasa. Menurut Anda, kira-kira pada usia berapa seorang pria mulai memproduksi sperma? Simak materi berikut agar Anda dapat menjawabnya.

Seorang pria mulai memproduksi sperma apabila testisnya telah menghasilkan hormon testosteron. Hormon inilah yang akan memacu testis untuk memproduksi sperma. Dimulainya produksi hormon testosteron menandakan pria tersebut mengalami pubertas. Pubertas ditandai dengan munculnya ciri-ciri sekunder pada pria. Seperti pada wajah tumbuh kumis, jambang, tumbuh rambut di ketiak dan di sekitar alat kelamin. Otot-otot tubuh lebih kekar, dan suara terdengar lebih berat karena jakun mulai tumbuh.

Selain fisik, pubertas juga mempengaruhi psikologi seorang pria. Secara psikologis seorang pria menunjukkan sifat-sifat maskulin, di antaranya mempunyai kecenderungan untuk melindungi, cenderung berpikir logis, tidak mengedepankan perasaan, cenderung cuek, dan cenderung diam dan menarik diri dari lingkungan apabila sedang menghadapi masalah.

Secara biologis seorang pria yang telah puber akan mengalami ”mimpi basah”. Mimpi basah dapat terjadi karena pria memproduksi sperma setiap harinya. Sperma ini tidak harus selalu dikeluarkan, sebagian sperma akan diserap oleh tubuh dan dikeluarkan melalui cairan keringat, kotoran cair, dan kotoran padat. Sperma bisa dikeluarkan melalui proses yang disebut **ejakulasi**, yaitu keluarnya sperma melalui penis. Ejakulasi terjadi secara alami (tidak disadari oleh remaja pria) melalui **mimpi basah**.

Seorang pria yang telah pubertas harus mampu memelihara kesehatan dengan menjaga kebersihan pribadi dan alat reproduksinya. Demikian juga secara religius seorang yang sudah mengalami pubertas harus semakin meningkatkan pemahaman agamanya serta mendekatkan diri kepada Tuhan agar tidak terjerumus kepada pergaulan bebas yang akan merugikan masa depannya.

**Forum Diskusi**

Diskusi kali ini untuk Anda yang berjenis kelamin pria. Coba diskusikan bersama teman-teman Anda mengenai hal-hal berikut.

1. Kegiatan-kegiatan positif yang layak untuk mengasah ketajaman sifat maskulin seorang pria.
2. Hal-hal positif yang layak dilakukan oleh seorang pria saat menghadapi masalah.
3. Cara menjaga kesehatan dan kebersihan organ reproduksi bagi seorang pria.

Simpulkan secara lisan hasil diskusi Anda.

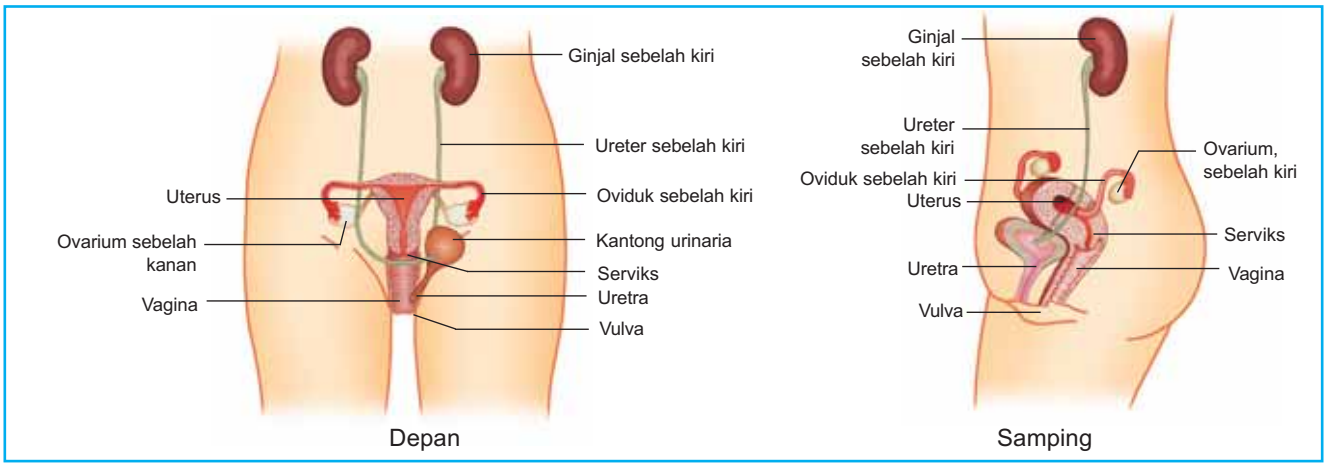
## 2. Alat Reproduksi Wanita dan Proses Pembentukan Ovum

Sistem reproduksi wanita tersusun atas serangkaian alat reproduksi yang juga menjadi tempat berlangsungnya pembentukan ovum, fertilisasi, kehamilan, dan persalinan. Simak materi berikut untuk memahami lebih lanjut.

### a. Alat Reproduksi Wanita

Seperti halnya pria, alat reproduksi wanita terdiri atas alat kelamin luar dan alat kelamin dalam. Bagian luar alat kelamin terdiri atas **labia mayora** yang merupakan bibir luar vagina berukuran besar tampak tebal berlapis lemak. Pertemuan antara kedua labia mayora dibagian atas disebut **mons veneris**. Di dalam labia mayora terdapat tonjolan kecil yang disebut **klitoris**. Sebelah dalam labia mayora terdapat labia minora yang merupakan lipatan kulit yang halus, tipis, dan tidak dilapisi lemak. Tepat di bawah klitoris terdapat **orificium urethrae** yang merupakan muara saluran kencing.

Di bawah saluran kencing ini terdapat **himen (selaput dara)** yang mengelilingi lubang masuk ke vagina. Perhatikan Gambar 10.6.




**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole & Glenn*

**Gambar 10.6**
Sistem reproduksi wanita

**Tahukah Anda**

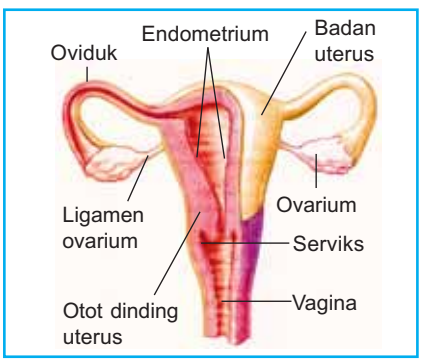
**Penemuan Oviduk**

Oviduk (tuba fallopii) mempunyai panjang sekitar 4 inci. Pemberi nama organ ini adalah **Gabriello Fallopio** pada abad XVI. Dia seorang ahli anatomi tubuh berkebangsaan Italia.

Alat kelamin wanita bagian dalam terdiri atas ovarium (indung telur), oviduk (*tuba fallopii*), rahim (uterus), dan vagina. Ovarium berjumlah sepasang yang terletak di rongga perut kanan dan kiri. Di dalam ovarium terdapat folikel-folikel. Tiap folikel terdapat satu sel telur. Folikel ini berfungsi menyediakan nutrisi dan melindungi perkembangan sel telur.

Oviduk merupakan saluran yang menghubungkan ovarium dengan rahim (uterus). Saluran ini berjumlah sepasang. Ujungnya berbentuk corong berjumbai-jumbai (fimbriae) yang berfungsi menangkap ovum. Setelah ovum ditangkap oleh fimbriae, kemudian diangkut oleh tuba fallopii (bagian oviduk yang menyempit) dengan gerak peristaltik sepanjang dinding tuba yang bersilia menuju uterus.

Uterus merupakan ruangan untuk pertumbuhan dan perkembangan janin. Uterus hanya terdiri atas satu ruang (simpleks) yang berotot tebal. Pada wanita yang belum pernah melahirkan, ukuran uterus biasanya memiliki panjang 7 cm dan lebar 4–5 cm. Uterus bagian bawah menyempit disebut **serviks uteri**, sedangkan bagian tengah yang berukuran lebar disebut **corpus uteri** (*badan rahim*). Perhatikan Gambar 10.7.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 10.7**
Alat reproduksi wanita

Uterus tersusun atas tiga lapisan, yaitu *perimetrium*, *miometrium*, dan *endometrium*. Endometrium menghasilkan banyak lendir dan mengandung banyak pembuluh darah. Lapisan inilah yang mengalami penebalan dan akan mengelupas setiap bulannya apabila tidak ada implantasi zigot di dalam uterus.

Vagina merupakan sebuah tabung berlapiskan otot yang membujur ke arah belakang dan atas. Dinding vagina lebih tipis dari dinding uterus dan lebih banyak terdapat lipatan-lipatan. Keadaan ini bermanfaat untuk mempermudah jalannya kelahiran bayi. Di dalam vagina terdapat lendir yang dihasilkan oleh dinding vagina serta kelenjar bartholini.

## Tugas Kelompok

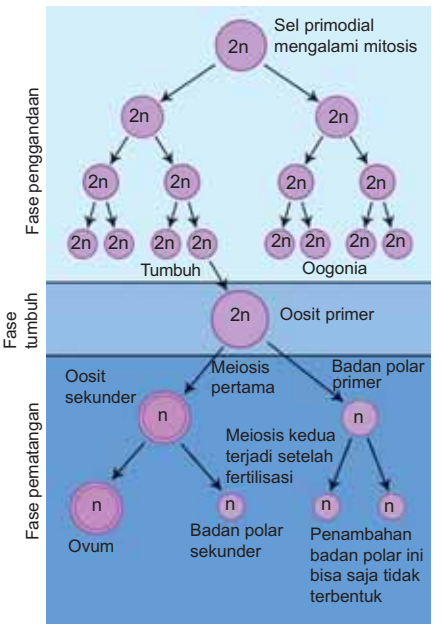
Buatlah carta penampang organ reproduksi pria dan wanita secara berkelompok. Warnai penampang organ reproduksi tersebut untuk membedakan bagian-bagiannya. Jangan lupa beri keterangan bagian-bagian organ tersebut. Carta ini dapat membantu Anda dalam mempelajari organ reproduksi pria dan wanita.

### b. Proses Pembentukan Ovum

Proses pembentukan ovum disebut **oogenesis**. Perhatikan Gambar 10.9. Proses ini terjadi di dalam ovarium. Sejak masa embrio hingga dewasa, oogonia (sel induk telur) di dalam ovarium mengalami perkembangan. Oogonium pada masa embrio ini memperbanyak diri secara mitosis membentuk oosit primer. Saat embrio berusia 6 bulan, oosit primer mengalami meiosis I dan berhenti pada fase profase. Kemudian oosit primer ini berhenti membelah hingga masa pubertas.

**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.8**
Oosit sekunder di tuba fallopii




**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.9**
Tahap oogenesis

Saat wanita mengalami pubertas, hipofisis akan menghasilkan *Follicle Stimulating Hormone* (FSH) dan oosit primer melanjutkan proses meiosis I. Pembelahan meiosis ini menghasilkan dua sel yang ukurannya tidak sama. Sel yang berukuran besar disebut **oosit sekunder** dan yang kecil disebut **badan polar pertama**. Perhatikan Gambar 10.8. Oosit sekunder dikelilingi oleh folikel. Di bawah pengaruh FSH, folikel-folikel ini membelah berkali-kali dan membentuk *folikel de Graaf* (folikel yang sudah masak) yang di antaranya mempunyai rongga. Selanjutnya, sel-sel folikel memproduksi estrogen yang merangsang hipofisis untuk menyekresikan *Luteinizing Hormone* (LH). LH berfungsi memacu terjadinya ovulasi. Saat menjelang ovulasi ini, meiosis I selesai. Oosit sekunder dan badan polar pertama melanjutkan pembelahan dengan melakukan meiosis II dan berhenti pada metafase II. Selanjutnya, oosit sekunder dilepas dari ovarium dan ditangkap oleh fimbriae dan dibawa ke oviduk. Pelepasan oosit sekunder di ovarium dikenal dengan istilah **ovulasi**. LH membuat sel-sel folikel berkembang menjadi korpus luteum.

Korpus luteum memproduksi hormon estrogen dan progesteron. Hormon progesteron akan menghambat LH yang memungkinkan bertahannya korpus luteum. Jadi, pada saat ovulasi, yang dilepas bukan ovum tetapi oosit sekunder pada tahap metafase II.

Jika terjadi pembuahan oleh spermatozoa, oosit sekunder dan badan polar pertama akan melanjutkan tahapan meiosis II. Pembelahan oosit sekunder menghasilkan 1 ootid dan 1 badan polar kedua, sedangkan badan polar pertama akan menghasilkan dua badan polar kedua. Saat akan terjadi pembuahan, ootid berdiferensiasi membentuk ovum, dan tiga badan polar yang menempel pada ovum akan mengalami degenerasi.

Sel telur yang dibuahi dan yang tidak dibuahi akan menuju uterus. Sementara itu, hormon progesteron dihasilkan dan akan mempengaruhi penebalan dinding uterus sehingga siap terjadi implantasi. Jika sel telur ini tidak dibuahi akan luruh dan dikeluarkan sebagai **menstruasi** (haid) bersama jaringan yang terbentuk pada dinding uterus.

Terjadinya menstruasi pertama menandakan seorang wanita mengalami pubertas. Pubertas selain ditandai dengan menstruasi juga ditandai dengan aktifnya hormon seksual pada wanita. Hormon inilah yang memacu perubahan fisik pada wanita dan terjadinya menstruasi. Perubahan fisik tersebut di antaranya tumbuhnya payudara, pinggul mulai melebar dan membesar, serta tumbuh rambut di ketiak dan kemaluan.

Selain fisik, pubertas juga mempengaruhi psikologi wanita. Secara psikologis seorang wanita yang sudah memasuki masa pubertas akan menunjukkan sifat feminin, di antaranya senang berdandan, cenderung mengedepankan perasaan, sehingga perasaannya mudah tersentuh. Apabila sedang menghadapi suatu masalah, wanita akan cenderung mencari seorang teman untuk mencurahkan permasalahannya.

### Tahukah Anda

**Pubertas dan Menopause**

Pubertas merupakan tahap perkembangan manusia, ditandai dengan terjadinya pematangan organ reproduksi dan mulai pertama kali dihasilkannya gamet (sel kelamin).

Sementara itu, menopause merupakan masa berhentinya kerja hormon-hormon reproduksi pada wanita. Sehingga organ-organ reproduksi sudah tidak mampu menghasilkan sel telur. Kondisi ini menyebabkan berhentinya siklus menstruasi. Menopause ini biasa terjadi pada wanita usia 45 atau 55 tahun. Akan tetapi, terjadinya pubertas dan menopause pada setiap manusia berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh keadaan nutrisi dan psikologi setiap orang yang berbeda-beda pula.

### Forum Diskusi

Diskusi ini khusus bagi Anda yang berjenis kelamin wanita. Sebagian masyarakat kita masih ada yang beranggapan bahwa pada saat menstruasi, seorang wanita dilarang memotong kuku, keramas, ataupun menyisir rambut. Berdasarkan fenomena di atas, bagaimana menurut Anda dilihat dari sisi kesehatan dan kebersihan? Kira-kira apa saja yang harus dilakukan seorang wanita untuk menjaga kesehatan dan kebersihan saat menstruasi?

Pada wanita terdapat siklus menstruasi. Siklus ini berkaitan dengan pembentukan sel telur dan pembentukan endometrium. Siklus menstruasi pada umumnya berlangsung selama 28 hari, tetapi ada juga yang berlangsung 21 hari bahkan 30 hari. Perbedaan siklus ini dipengaruhi oleh hormon-hormon reproduksi. Siklus menstruasi pada wanita terdiri dari empat fase sebagai berikut.

## Siklus Menstruasi

**1–5 hari**
**Fase Menstruasi**
Menurunnya progesteron dan estrogen menyebabkan pembuluh darah pada endometrium menegang, sehingga menyebabkan suplai oksigen menurun. Karena tidak terjadi kehamilan maka endometrium mengalami degenerasi yang ditandai dengan luruhnya sel-sel pada dinding uterus, pecahnya pembuluh darah dalam endometrium, menyebabkan darah dan sel-sel tersebut keluar melalui vagina. Peristiwa ini disebut menstruasi. Menstruasi berlangsung antara 5–7 hari.

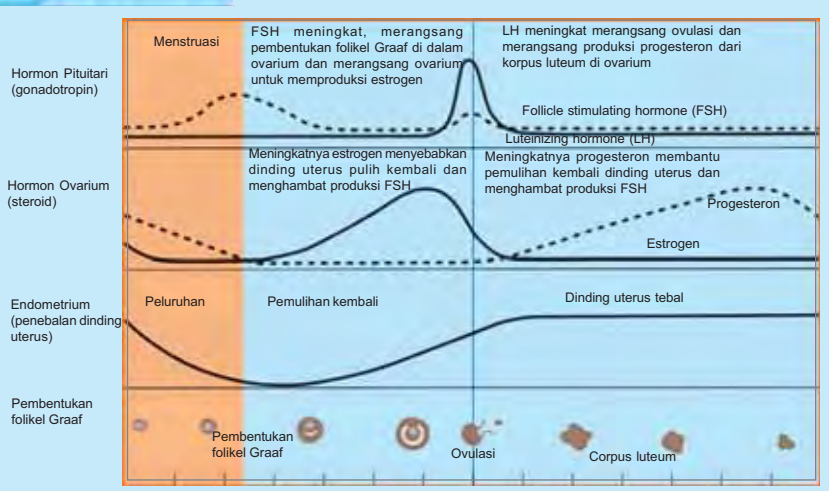
**6–10 hari**
**Fase Folikuler (Fase Reperasi)**
Terjadi proses penyembuhan akibat pecahnya pembuluh darah. Fase ini dipengaruhi oleh hormon estrogen yang dihasilkan oleh folikel. Hormon ini merangsang pertumbuhan endometrium yaitu dengan mempertebal lapisan endometrium dan membentuk pembuluh darah serta kelenjar.

**11–18 hari**
**Fase Fertil**
Meningkatnya hormon estrogen dapat memacu dihasilkannya LH. Apabila LH meningkat, maka folikel memproduksi progesteron. Hormon-hormon ini berperan mematangkan folikel dan merangsang terjadinya ovulasi yaitu lepasnya ovum dari ovarium. Ovum ini bergerak sepanjang tuba fallopii. Pada saat seperti ini, wanita tersebut dalam masa fertil atau subur sehingga ovum siap dibuahi.

**19–28 hari**
**Fase Luteal**
Pada saat ovulasi, folikel Graaf pecah berubah menjadi korpus rubrum yang mengandung banyak darah. Adanya LH menyebabkan korpus rubrum berubah menjadi korpus luteum (badan kuning) untuk menghasilkan hormon progesteron yang berfungsi mempersiapkan endometrium menerima embrio. Pada saat ini endometrium menjadi tebal dan lembut, serta dilengkapi banyak pembuluh darah. Jika tidak ada kehamilan, korpus luteum berdegenerasi menjadi korpus albikans sehingga progesteron dan estrogen menurun bahkan hilang.

**Gambar 10.10**
Bagan siklus menstruasi yang terdiri dari empat fase

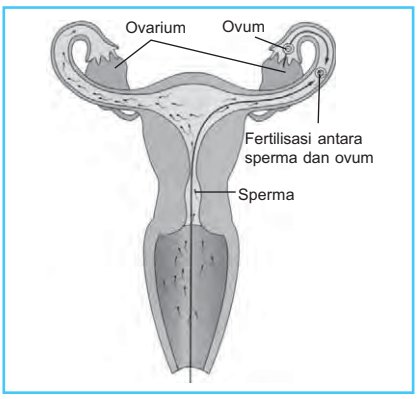
## Forum Diskusi




Amati grafik di atas. Berdasar grafik tersebut, coba Anda diskusikan masing-masing fungsi hormon reproduksi secara berkelompok. Hasil diskusi Anda dapat disajikan dalam tabel seperti berikut.

| Hormon | Fungsi |
|---|---|
| Follicle Stimulating Hormone | 1. . . .<br>2. . . . |
| Estrogen | 1. . . .<br>2. . . . |

| Hormon | Fungsi |
|---|---|
| Luteinizing Hormone | 1. . . .<br>2. . . . |
| Progesteron | 1. . . .<br>2. . . . |




**Sumber:** *Reproduction, Katchadourian*

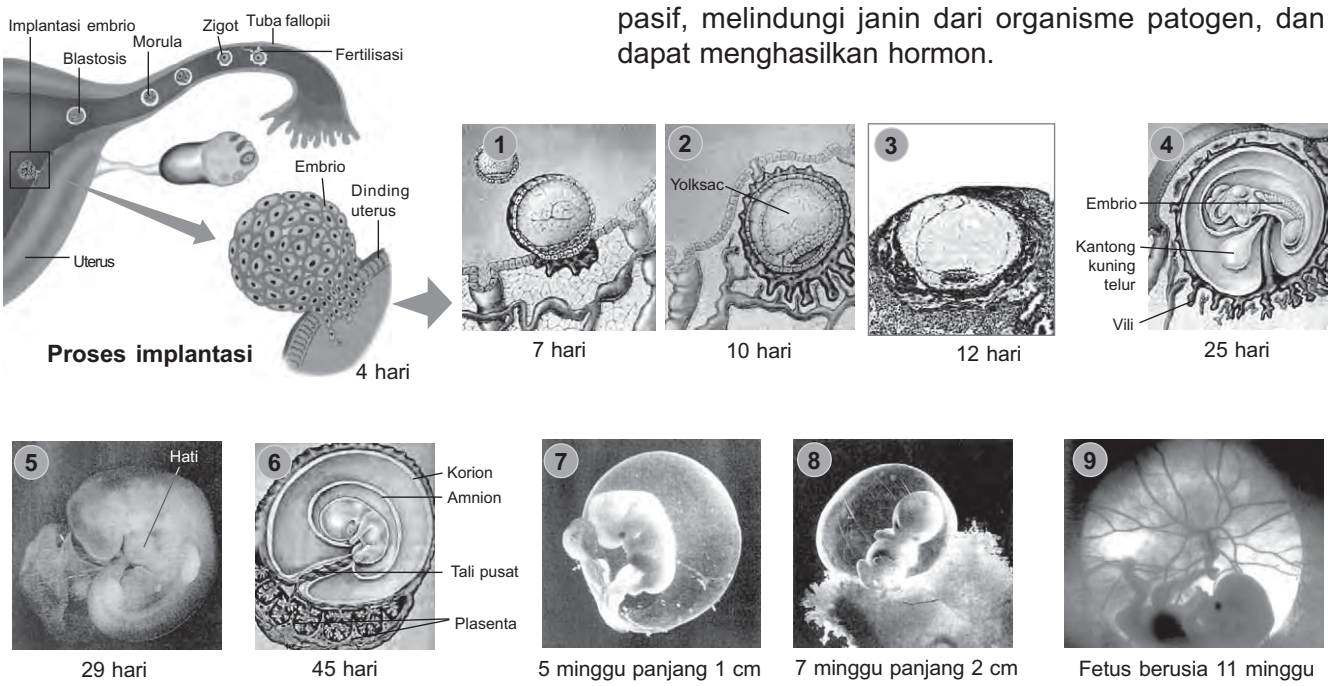
**Gambar 10.11**
Proses fertilisasi

## c. Proses Fertilisasi dan Proses Perkembangan Zigot

Fertilisasi pada manusia diawali dengan terjadinya persetubuhan (koitus). Fertilisasi merupakan peleburan antara inti spermatozoa dengan inti sel telur. Perhatikan Gambar 10.11. Pada saat spermatozoa menembus dinding sel telur, ekor sperma ditanggalkan di luar. Proses fertilisasi ini dapat terjadi di bagian oviduk atau uterus. Bersatunya inti spermatozoa dan inti sel telur akan tumbuh menjadi **zigot**. Zigot mengalami pertumbuhan dan perkembangan melalui 3 tahap selama kurang lebih 280 hari. Tahap-tahap ini meliputi periode preimplantasi (7 hari pertama), periode embrionik (7 minggu berikutnya), dan periode fetus (7 bulan berikutnya). Perhatikan Gambar 10.12.

### 1) *Periode Preimplantasi*

Selama 2–4 hari pertama pasca pembuahan, zigot berkembang dari 1 sel menjadi kelompok 16 sel (morula). Morula kemudian tumbuh dan berdiferensiasi menjadi 100 sel. Selama periode ini, zigot berjalan di sepanjang oviduk, setelah itu masuk ke uterus dan tertanam dalam endometrium uterus. Morula kemudian membentuk bola berongga yang disebut **blastosit**. Blastosit mempunyai lapisan luar yang disebut **tropoblas**. Tropoblas ini berkembang membentuk membran embrio, korion, dan amnion. Korion mengalami perkembangan lebih lanjut membentuk vili. Vili ini tumbuh menjadi plasenta. Pada perkembangan lebih lanjut, antara fetus dan plasenta dihubungkan oleh tali pusar. **Plasenta** berfungsi sebagai jalan pertukaran gas, makanan, dan zat sisa antara ibu dan janin. Selain itu, plasenta juga berfungsi melindungi janin dari penyakit dengan membentuk imunitas secara pasif, melindungi janin dari organisme patogen, dan dapat menghasilkan hormon.




**Sumber:** *Biology, Solomon*

**Gambar 10.12**
Proses implantasi dan perkembangan fetus

**Amnion** berasal dari lipatan jaringan tropoblas yang melingkupi sebelah luar embrioblas. Amnion merupakan kantong yang berisi cairan tempat embrio berada. Dinding amnion menghasilkan cairan ketuban yang berguna untuk menjaga agar embrio tetap basah dan tahan goncangan.

**Korion** merupakan selaput yang terdapat di sebelah luar amnion. Korion tumbuh keluar membentuk jonjot yang terdiri atas mesoderma dan tropoblas yang berhubungan dengan rahim. Di dalamnya terdapat pembuluh-pembuluh darah yang berhubungan dengan peredaran darah induknya melalui perantaraan plasenta.

**Alantois** merupakan jaringan yang terletak di dalam tali pusat. Di dalam alantois berkembang banyak pembuluh darah yang berfungsi menghubungkan sirkulasi embrio dengan plasenta.

Antara amnion dan plasenta terdapat kantong kuning telur (*yolksack*) atau *sacus vatelianus*. Yolksack merupakan tempat munculnya sel-sel darah dan pembuluh darah yang pertama. Bagian ini berfungsi menyediakan makanan utama bagi embrio.

### 2) *Periode Embrionik*

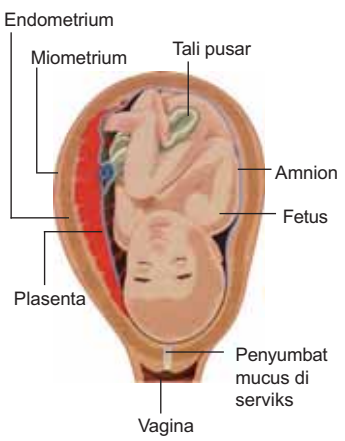
Tahap perkembangan ini didominasi oleh pembentukan kepala. Ciri wajah makin terlihat jelas. Telinga, mata, hidung, dan leher sudah terbentuk secara normal. Pada tahap ini juga terbentuk lengan yang diawali dengan pembentukan jari-jari. Daerah kepala dan jantung akan mengalami pembesaran. Hati juga tumbuh dengan cepat hingga mendominasi organ-organ perut. Ekor akan memendek dan paha akan mengalami perkembangan. Embrio pada akhir periode ini disebut **fetus**.

### 3) *Periode Fetus*

Selama 6 bulan pada periode fetus akan terjadi perkembangan yang sangat cepat dan terjadi perbaikan proporsi komponen tubuh melalui diferensiasi jaringan. Pada periode ini terjadi perkembangan tubuh dengan pesat, sehingga proporsi kepala akan berkurang sebesar setengah dari seluruh panjang tubuh.

Pada bulan keempat, wajah sudah menunjukkan seperti wajah manusia normal. Mata sudah mengarah ke lateral dan ke bagian depan wajah. Telinga juga sudah terletak pada daerah sejajar dengan mata. Lengan bawah tumbuh lebih lambat daripada lengan atas. Osifikasi sebagian besar terpusat pada tulang. Jenis kelamin fetus sudah terlihat secara eksternal pada bulan ketiga.

Pada bulan kelima, kulit yang keriput akan tertutup oleh rambut. Selama bulan ini, pergerakan fetus akan terasa oleh si ibu. Glandula sebasea terbentuk aktif tepat sebelum bayi dilahirkan (bulan ke-7 dan 8). Perhatikan Gambar 10.13. Lemak muncul pertama kali ketika jaringan lemak berdiferensiasi dan berproliferasi sejak minggu ke-14. Pada dua bulan terakhir kehidupan fetus, lemak terdeposit mengisi keriput pada kulit dan mengisi berat badan bayi pada saat kelahiran.




**Sumber:** *New Understanding Biology, Susan Toole dan Glenn*

**Gambar 10.13**
Fetus usia 7 bulan

Bayi siap lahir

Bayi lahir dengan bagian kepala terlebih dahulu

Diikuti dengan bahu

Pengeluaran plasenta

**Sumber:** *Reproduction, Katchadourian*

**Gambar 10.14**
Tahapan persalinan secara normal

## d. Proses Persalinan

Proses persalinan dalam ilmu kedokteran dibagi dalam 4 tahap. Perhatikan Gambar 10.14. Pada tahap I, mulai terjadi pembukaan jalan lahir dari 1 cm sampai lengkap (10 cm). Dalam proses persalinan normal, tahap pertama ini memerlukan waktu sekitar 20 jam untuk anak pertama. Memasuki tahap II, yaitu setelah pembukaan jalan lahir lengkap sampai bayi lahir. Biasanya, tahapan ini memerlukan waktu sekitar dua jam. Selanjutnya tahap III, mulai saat bayi lahir sampai keluar ari-ari. Pada tahap ini, otot rahim berkontraksi, serviks membesar, dan bayi didorong ke luar. Persalinan yang normal umumnya kepala bayi keluar terlebih dahulu dan diikuti bagian tubuh lainnya. Pada saat berkontraksi, amnion pecah, dan cairan amnion keluar bersama bayi untuk melicinkan jalan keluar. Secara normal, tahapan ini hanya memerlukan waktu setengah jam.

Tahap IV, yaitu dua jam pasca kelahiran. Beberapa saat setelah bayi lahir dilakukan pemotongan tali pusar. Pada tali pusar tidak terdapat jaringan saraf sehingga tidak terasa sakit sewaktu dipotong. Keluarnya plasenta terjadi kira-kira tiga puluh menit setelah bayi keluar karena dinding rahim berkontraksi lagi.

Proses persalinan tidak dapat terlepas dari pengaturan hormon. Adapun jenis hormon yang berperan pada proses persalinan sebagai berikut.

1) *Hormon relaksin*, mempengaruhi fleksibilitas simfisis pubis.
2) *Hormon estrogen*, berperan mengatasi pengaruh hormon progesteron yang menghambat kontraksi dinding rahim.
3) *Hormon prostaglandin*, dihasilkan semua sel dalam jumlah sedikit untuk mengatasi pengaruh progesteron.
4) *Hormon oksitosin*, mempengaruhi kontraksi dinding uterus.

Bayi yang tidak normal, terlalu besar atau posisinya melintang, harus dilakukan bedah sesar. Operasi ini dilakukan dengan membuat sayatan pada perut menuju rahim, selanjutnya bayi diangkat dari rahim.

Setelah dilahirkan bayi memerlukan perawatan secara cermat, di antaranya dengan memberi ASI. Air susu ibu merupakan makanan dan minuman terbaik untuk bayi terutama sejak lahir hingga bayi berusia enam bulan. Air susu ibu yang diberikan pertama kali berwarna kekuningan. Air ini dinamakan **kolostrum**. Kandungan protein kolostrum tiga kali lipat dari air susu ibu biasa. Kolostrum juga mengandung antibodi yang sangat tinggi sehingga mampu melawan berbagai bibit penyakit seperti salesma dan radang paru-paru. Oleh karena itu, kolostrum dapat digunakan sebagai imunisasi pertama bagi bayi.

Setelah memahami manfaat ASI bagi bayi, menurut Anda kira-kira apa saja keunggulan ASI dibandingkan dengan susu biasa? Lakukan aktivitas berikut untuk mengetahuinya.

**Tahukah Anda**

**Keunggulan ASI**

Air susu ibu dijamin bersih dan bebas bakteri patogen. Selain itu,ASI juga mengandung *bifudus faktor* yang membantu membiaknya *Lactobacillus bifidus* untuk memerangi bakteri jahat penyebab diare. Air susu ibu juga dijamin steril, walau bayi tidak menetek beberapa hari. ASI juga mengandung *acid docosahexanoic* dan *acid arachidonic* yang berguna untuk membangun sistem saraf. ASI pun mampu meningkatkan kecerdasan bayi.

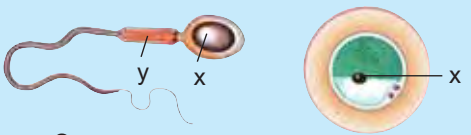
## Forum Diskusi

ASI dari segi kesehatan, psikologi, dan ekonomi menunjukkan banyak keunggulannya dibandingkan dengan susu instan. Coba Anda buktikan melalui diskusi kelompok mengenai keunggulan ASI dilihat dari segi kesehatan, psikologi, dan ekonomi. Hasil diskusi Anda dapat diperkuat dengan melakukan survei langsung. Survei ini bertujuan untuk membandingkan keluarga yang memberikan ASI pada bayinya dengan yang tidak.

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Amati diagram sperma dan ovum berikut.

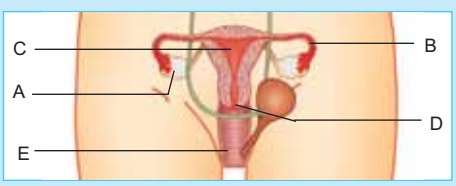



Sperma Ovum

   a. Namai bagian x dan y tersebut.
   b. Struktur apa yang membedakan antara sperma dan ovum?
   c. Di manakah gamet-gamet tersebut dihasilkan?

2. Sebutkan bagian-bagian alat reproduksi pria yang berhubungan dengan hal-hal berikut.
   a. Penghasil hormon seksual.
   b. Pengatur temperatur testis.
   c. Penyuplai nutrisi untuk sperma.

3. Amati gambar alat reproduksi pada wanita seperti berikut.

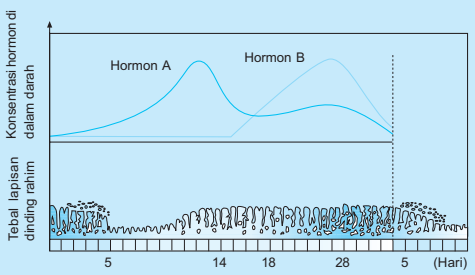



   a. Namai struktur A, B, C, D, dan E.
   b. Tunjukkan huruf yang berkaitan dengan fungsi-fungsi berikut.
      1) Di mana tempat terjadinya pembuahan?
      2) Di mana tempat dihasilkannya hormon seksual?
      3) Di mana tempat zigot tumbuh dan berkembang?

4. Dalam tabel berikut terdapat hormon-hormon yang berperan dalam sistem reproduksi. Coba salin dan lengkapi bagian tabel yang masih kosong.

| Hormon | Peranan |
|---|---|
| . . . | Memulihkan endometrium |
| Oksitosin | . . . |
| . . . | Merangsang ovulasi |
| Progesteron | . . . |
| Follicle Stimulating Hormone (FSH) | . . . |

5. Amati grafik siklus menstruasi berikut.




**Sumber:** *Biology for '0' Level Science, Lam Peng Kwan Eric Y K Lam*

Berdasarkan grafik di atas, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.
   a. Apakah pengaruh hormon A dan B pada dinding uterus?
   b. Ovulasi terjadi pada hari ke-14. Apakah yang dimaksud dengan ovulasi? Bagaimana keberadaan hormon A dan B terhadap ovulasi?
   c. Coba Anda perkirakan masa subur berdasarkan grafik di atas.
   d. Apakah yang terjadi pada dinding uterus pada 5 hari pertama?

6. Berikut terdapat kalender yang menunjukkan tanggal menstruasi seorang wanita. Tanda * menunjukkan tanggal dimulainya menstruasi.

**APRIL**

| Minggu | Senin | Selasa | Rabu | Kamis | Jumat | Sabtu |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ☆1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| 29 | 30 | | | | | |

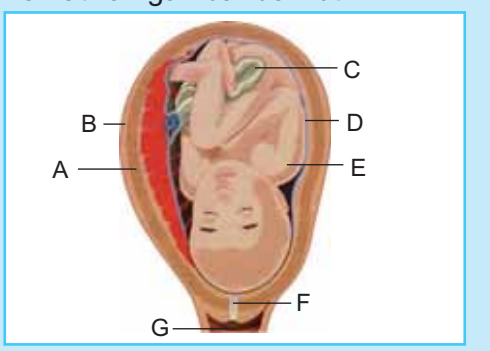
Jawablah pertanyaan-pertanyaan yang berhubungan dengan siklus menstruasi wanita tersebut.

a. Apakah menstruasi wanita tersebut di setiap bulannya berlangsung pada tanggal yang sama? Jelaskan alasan Anda.
b. Coba perkirakan tanggal berakhirnya menstruasi wanita tersebut.
c. Coba perkirakan masa subur wanita tersebut.
d. Apa yang terjadi jika antara tanggal 11–18 April terjadi:
   1) pembuahan terhadap ovum,
   2) tidak terjadi pembuahan pada ovum?

7. Dalam perkembangan hidupnya, pria dan wanita mengalami masa pubertas. Akan tetapi, ciri pubertas antara pria dan wanita berbeda. Coba tuliskan perbedaannya dalam tabel berikut.

| Ciri-Ciri Pubertas | |
|---|---|
| **Pria** | **Wanita** |
| a. ...<br>b. ...<br>c. ... | ...<br>...<br>... |

8. Perhatikan gambar berikut.




a. Tulislah nama-nama bagian yang ditunjuk.
b. Bagian mana yang menghubungkan antara fetus dengan ibunya?
c. Bagaimana sistem perlindungan fetus agar tidak terpengaruh dari goncangan atau tekanan yang berasal dari luar tubuh?

## B. Kesehatan Reproduksi pada Manusia

Seiring dengan perkembangan dunia kedokteran, kini telah banyak ditemukan faktor-faktor penyebab gangguan atau kelainan pada organ reproduksi. Para ahli bidang ini pun kini juga tengah mengupayakan menciptakan teknologi reproduksi guna mengatasi gangguan dan kelainan pada organ reproduksi tersebut. Simak uraian berikut untuk mengetahui lebih jelas.

### 1. Gangguan dan Kelainan Organ Reproduksi

Seperti halnya organ lain, organ reproduksi manusia juga dapat mengalami gangguan atau kelainan. Gangguan atau kelainan pada organ reproduksi dapat mempengaruhi kesuburan (*fertilitas*) seseorang. Apabila gangguan kesuburan seseorang menyebabkan terjadinya ketidakhamilan walau tanpa alat kontrasepsi selama satu tahun, maka kondisi ini dapat disebut sebagai **kemandulan (sterilitas)**.

Sterilitas pada seorang pria dapat disebabkan oleh terjadinya kelainan struktur dan fungsi organ reproduksi, kelainan sistem hormonal, gangguan peredaran darah pada alat reproduksi, infeksi pada saluran reproduksi serta faktor imunologi. Sementara itu, sterilitas pada seorang wanita dapat disebabkan oleh kegagalan pelepasan sel telur, infeksi, atau kelainan pada saluran telur, serta faktor-faktor lain.

**Tahukah Anda**

**Kanker Mulut Rahim**

Kanker mulut rahim merupakan salah satu jenis kanker yang banyak diderita oleh wanita. Kanker ini berasal dari sel-sel dengan ukuran tertentu dan menutupi permukaan mulut rahim. Sel-sel seperti ini apabila dibiarkan dapat berkembang menjadi kanker dan apabila termasuk kanker ganas dapat tumbuh menjadi tumor yang mematikan.

Kanker mulut rahim dapat didiagnosis menggunakan metode tes *pap smear*. Tes *pap smear* dilakukan dengan mengambil sedikit sel dari mulut rahim. Sel ini kemudian diamati menggunakan mikroskop. Sel-sel yang tidak normal akan mempunyai karakteristik tertentu.

Selain sterilitas, gangguan maupun kelainan organ reproduksi dapat juga ditunjukkan dengan terjadinya keguguran yang berulang kali. Apabila kedua hal tersebut terjadi, maka seorang pria dan wanita perlu melakukan pemeriksaan ACA dan infeksi TORCH. Pemeriksaan ACA yaitu pemeriksaan kadar antikardiolipin antibodi dalam darah. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar ACA, karena kadar ACA yang tinggi dapat menyulitkan perlekatan hasil pembuahan sel telur di dinding rahim serta mengganggu perkembangan janin sehingga sering terjadi keguguran.

Sementara itu, infeksi TORCH merupakan infeksi multiorganisme parasit *Toxoplasma gondii*, virus *Rubella*, *Sitomegalo*, *Herpes simplex*, dan bakteri *Clamidia*. Infeksi ini bisa menyebabkan kematian janin maupun cacat bawaan pada bayi.

Melihat berbagai gangguan dan kelainan yang sering terjadi pada sistem reproduksi, maka para ahli bidang biologi dan kedokteran mencetuskan suatu teknologi dalam sistem reproduksi.

## 2. Teknologi Reproduksi pada Manusia

Kemandulan dapat disebabkan oleh tersumbatnya saluran fallopii oleh suatu penyakit atau hal lain sehingga menghambat proses pembuahan. Melihat kondisi ini, muncullah teknik operasi atau pembedahan saluran fallopii (*tubal plastic surgery*). Namun, persentase keberhasilan teknik ini sangat kecil. Kemudian muncullah teknik bayi tabung yang lebih dikenal dengan "**in vitro fertilization**".

Teknik ini memerlukan 3 tahap yaitu sebagai berikut.

a. Pengambilan ovum yang sudah matang dari seorang wanita.
b. Menyediakan media kultur sebagai tempat pembuahan *in vitro*. Media ini harus mempunyai kandungan kimia sesuai dengan cairan yang ada di saluran fallopii.
c. Pengambilan sperma dari seorang pria.

Setelah itu, sperma diinjeksikan ke dalam ovum dengan harapan akan terjadi pembuahan dan pembentukan embrio. Calon bayi inilah yang akan ditransfer ke dalam rahim si calon ibu. Akan tetapi, kalau memungkinkan, embrio akan terus dikembangkan di media kultur hingga hari ke enam dan berkembang menjadi blastosis. Setelah itu, baru diimplantasikan ke rahim ibu.

Lakukan tugas berikut agar Anda lebih memahami teknik bayi tabung.

### Tugas Mandiri

Carilah informasi lebih lanjut mengenai bayi tabung melalui surat kabar, majalah, atau internet. Informasi yang dicari meliputi:

a. Cara-cara pengambilan ovum dan sperma.
b. Proses fertilisasi dalam teknik bayi tabung.
c. Proses implantasi dalam teknik bayi tabung.

d. Syarat-syarat melakukan teknik bayi tabung dilihat dari segi kesehatan dan agama.
e. Perkembangan bayi tabung di Indonesia.

Catatlah hasil eksplorasi Anda dan presentasikan di kelas.

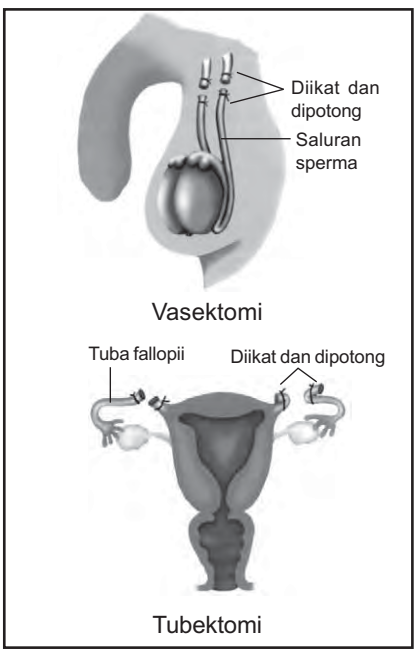
Selain untuk mengatasi sterilitas, ahli kedokteran juga mengembangkan teknik reproduksi yang berperan menghambat terjadinya proses pembuahan (fertilisasi) sehingga tidak terjadi kehamilan. Teknik ini biasa dikenal dengan istilah **kontrasepsi.**

Secara umum berdasarkan sifat kerjanya kontrasepsi dibedakan menjadi dua macam, yaitu **kontrasepsi permanen** dan **kontrasepsi temporer**.

Kontrasepsi permanen disebut juga kontrasepsi mantap. Kontrasepsi dengan cara ini bertujuan menghilangkan kemampuan untuk dapat hamil. Kontrasepsi jenis ini dilakukan dengan cara operasi, baik pada wanita (tubektomi) maupun pria (vasektomi).

Vasektomi dilakukan dengan mengikat dan memotong saluran *vas deferens*. Vasektomi menyebabkan sperma tidak sampai ke uretra sehingga sperma tidak dapat dikeluarkan. Namun, seorang pria yang melakukan vasektomi masih mampu mengeluarkan air mani saat ejakulasi walaupun mani tidak mengandung sperma. Hal ini karena cairan mani berasal dari glandula prostat.

Tubektomi dilakukan dengan cara mengikat dan memotong oviduk. Cara ini membuat ovum yang sudah diovulasikan tidak dapat melewati saluran oviduk sehingga ovum tidak dapat bertemu dengan sperma. Perhatikan Gambar 10.15.



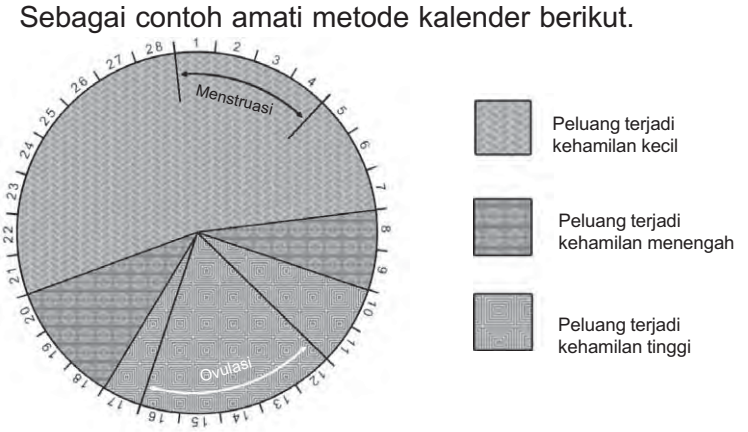

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.15**
Sterilisasi pada pria dan wanita

Kontrasepsi temporer dikenal juga sebagai kontrasepsi tidak tetap karena kemampuan hamil dapat dikembalikan. Kontrasepsi jenis ini dapat dilakukan dengan tanpa alat bantu dan dengan alat bantu.

Kontrasepsi tanpa alat bantu dilakukan dengan menghindari hubungan seksual pada saat wanita mengalami masa subur. Masa subur terjadi pada saat wanita mengalami ovulasi. Masa subur ini dapat diperkirakan dengan menghitung siklus menstruasi pada setiap bulannya, yaitu 11–18 hari sejak hari pertama menstruasi. Cara seperti ini dikenal dengan **metode kalender**. Perhatikan Gambar 10.16.

Sebagai contoh amati metode kalender berikut.




**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.16**
Metode kalender

## Tugas Mandiri

Tandailah hari pertama menstruasi Anda pada kalender bulan ini. Perkirakan masa ovulasi Anda. Bagi Anda yang laki-laki dapat memperkirakan masa ovulasi saudara perempuan atau ibu Anda.

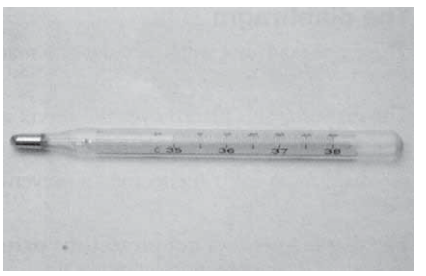
Selain metode kalender, kontrasepsi tanpa alat bantu juga dapat berdasarkan suhu tubuh. Suhu tubuh ini dapat diukur dengan termometer. Perhatikan Gambar 10.17. Suhu tubuh wanita setelah masa ovulasi meningkat 0,2–0,4°C. Jadi, untuk menghindari terjadinya kehamilan, hubungan seksual dapat dilakukan 4 hari setelah terjadi peningkatan suhu tubuh.

Kontrasepsi tanpa alat bantu juga dapat berdasarkan jumlah lendir pada rahim. Apabila seorang wanita sedang mengalami masa ovulasi, maka rahim akan menghasilkan banyak lendir. Untuk menghindari terjadinya kehamilan, maka hubungan seksual dilakukan 4 hari setelah keadaan ini.

Kontrasepsi menggunakan alat bantu banyak ragamnya. Alat bantu tersebut dapat bersifat **mekanik**, **kimia**, dan **hormonal**. Alat bantu kontrasepsi secara mekanik dapat menggunakan **kondom**, **diafragma**, dan *Intra Uterine Device* (**IUD**).

Kondom terbuat dari karet yang sangat tipis tetapi sangat kuat. Perhatikan Gambar 10.18. Kondom ini dikenakan oleh pria saat akan berhubungan seksual dan mencegah bertemunya sperma dengan ovum. Kondom mempunyai daya efektivitas sekitar 90% untuk menghindari terjadinya pembuahan.

Diafragma terbuat dari karet yang sangat tipis. Perhatikan Gambar 10.19. Diafragma ini menutup uterus dan tuba fallopii untuk mencegah agar sperma tidak memasuki uterus. Diafragma mempunyai efektivitas sekitar 90% untuk mencegah terjadinya pembuahan.



**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

**Gambar 10.17**
Termometer ovulasi

## Tahukah Anda

**Penemuan Kondom dan Diafragma**

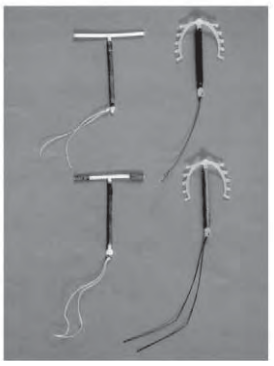
Kondom dan diafragma pertama kali dibuat pada pertengahan tahun 1800. Ide pembuatan kondom dan diafragma ini tercetus setelah banyak bahan yang berasal dari karet.

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.18**
Kondom

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.19**
Diafragma



Model-model IUD

IUD dipasang di uterus

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.20**
IUD dapat mencegah terjadinya pembuahan

Spermisid

Pil

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.21**
Berbagai alat kontrasepsi

Selain kondom dan diafragma, alat kontrasepsi yang bersifat mekanik lainnya adalah IUD yang dipasang di uterus untuk mencegah implantasi zigot dan mencegah terjadinya pembuahan. Perhatikan Gambar 10.20. Tidak seperti kondom dan diafragma, alat ini mempunyai efektivitas sekitar 98% untuk mencegah terjadinya pembuahan.

Spermisid merupakan alat kontrasepsi yang bersifat kimia. Spermisid ini ada yang berbentuk jeli, busa, atau tissue. Perhatikan Gambar 10.21. Spermisid dikenakan pada vagina sebelum melakukan hubungan seksual. Spermisid mampu mematikan sperma dalam jumlah banyak. Cara ini mempunyai efektivitas 70% untuk mencegah terjadinya pembuahan.

Alat kontrasepsi yang bersifat hormonal di antaranya menggunakan pil dan suntikan. Perhatikan Gambar 10.21. Pil dan suntikan dapat mencegah terjadinya ovulasi. Pil ini dikonsumsi secara oral setiap hari selama 21 hari di antara masa menstruasi, sedangkan suntikan dilakukan setiap 3 bulan sekali, kontrasepsi cara ini mempunyai efektivitas sebesar 99%.

### Tugas Mandiri

Anda kini telah mengenal berbagai macam cara kontrasepsi. Coba buatlah deskripsi cara-cara kontrasepsi tersebut menggunakan tabel berikut.

| Cara Kontrasepsi | Efektivitas | Prinsip Kerja |
|---|---|---|
| Metode kalender | 60% | • Berdasarkan perkiraan masa subur. |
| ... | ... | • ... |

Dari tabel yang telah Anda buat tentukan:
- Kontrasepsi yang mencegah bertemunya sperma dan ovum.
- Kontrasepsi yang mematikan sperma.
- Kontrasepsi yang efektif untuk mencegah tertularnya HIV.

## 3. Kesehatan Reproduksi

Berdasarkan hasil konferensi Internasional Kependudukan dan Pembangunan (1994), kesehatan reproduksi didefinisikan sebagai suatu kondisi sehat secara fisik, mental, dan sosial dalam segala hal yang berkaitan dengan fungsi dan proses reproduksi.

Masyarakat, khususnya remaja perlu mengetahui kesehatan reproduksi agar memiliki informasi yang benar mengenai proses reproduksi serta berbagai faktor yang ada di sekitarnya. Dengan informasi yang benar, diharapkan remaja memiliki sikap dan tingkah laku yang bertanggung jawab mengenai pergaulan di kehidupan bersosial dan bermasyarakat.

Pengetahuan dasar yang perlu diberikan kepada remaja agar mempunyai kesehatan reproduksi yang sehat di antaranya sebagai berikut.

a. Pengenalan mengenai sistem, proses, dan fungsi alat reproduksi.
b. Perlunya mendewasakan usia perkawinan serta mengadakan perencanaan dan pengaturan kehamilan.
c. Pengenalan bahaya narkoba dan minuman keras pada organ reproduksi.
d. Pengenalan pengaruh sosial dan media terhadap perilaku seksual dan kekerasan seksual serta cara menghindarinya.
e. Meningkatkan pemahaman agama serta terbuka dalam berkomunikasi mengenai masalah kesehatan reproduksi.
f. Pengenalan berbagai macam penyakit menular seksual (PMS) dan HIV-AIDS serta dampaknya terhadap kondisi kesehatan reproduksi.

Akhir-akhir ini banyak tindakan kriminal seperti pemerkosaan yang terjadi karena dipicu oleh bacaan atau tontonan dari tabloid, majalah, atau acara tv. Kekerasan seksual ini tentu meresahkan masyarakat. Menurut Anda, tindakan apa yang harus dilakukan pemerintah dan masyarakat menanggapi permasalahan ini?
Benarkah media massa dan elektronik dapat mempengaruhi perilaku seksual masyarakat?

Memberikan pemahaman dan pengetahun dasar mengenai kesehatan reproduksi selain bertujuan agar remaja memiliki sikap dan perilaku yang bertanggung jawab di masyarakat juga berguna agar terhindar dari penyakit menular seksual (PMS). Apakah PMS itu? Berikut akan diuraikan mengenai penyakit menular seksual (PMS).

**PMS** merupakan suatu infeksi atau penyakit yang ditularkan melalui hubungan seksual. PMS juga diartikan sebagai panyakit kelamin, atau infeksi yang ditularkan melalui hubungan seksual. PMS menyerang sekitar alat kelamin tetapi gejalanya dapat muncul dan menyerang mata, mulut, saluran pencernaan, hati, otak, dan organ tubuh lainnya.

Kebanyakan PMS dapat membahayakan organ-organ reproduksi. Pada wanita, PMS menghancurkan dinding vagina atau leher rahim, biasanya tanpa tanda-tanda infeksi. Pada pria, yang lebih dulu terinfeksi adalah saluran air kencingnya. Jika PMS tidak diobati dapat menyebabkan keluarnya cairan yang tidak normal dari penis dan berakibat sakit pada waktu buang air kecil. PMS yang tidak diobati dapat mempengaruhi organ-organ reproduksi bagian dalam dan menyebabkan kemandulan baik pada pria atau wanita.

Berikut akan dibahas satu persatu jenis-jenis PMS.

### a. Gonorhoe (Kencing Nanah)

Penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Neisseria gonorrhoea*. Bakteri tersebut dapat menyerang pria maupun wanita.

Gejala seseorang yang terkena penyakit ini di antaranya akan terasa sakit sewaktu kencing karena dari saluran kencing keluar cairan kental berupa nanah. Infeksi kronis penyakit ini dapat menyebabkan kemandulan baik pada pria maupun wanita. Penyakit ini dapat diturunkan kepada bayi yang dilahirkan dari orang tua yang mengidap gonorhoe. Bayi yang terinfeksi gonorhoe matanya tampak merah dan bengkak. Dalam waktu 1–5 hari setelah kelahiran, mata tersebut dapat mengeluarkan cairan yang kental sehingga bisa menyebabkan kebutaan apabila tidak segera diobati.

### b. Klamidia

Penyakit ini disebabkan oleh *Chlamydia trachomatis* dan dapat menjangkiti pria maupun wanita. Gejala yang ditimbulkan hampir sama dengan gonorhoe ditambah dengan terjadinya radang leher rahim pada wanita.

### c. Infeksi Trikomonas

Sebuah infeksi umum yang terjadi terus-menerus di saluran kencing perempuan. Infeksi ini disebabkan oleh Protozoa *Trichomonas vaginalis*. Banyak terjadi di seluruh dunia dan terutama didiagnosis pada wanita berusia 16–35 tahun.

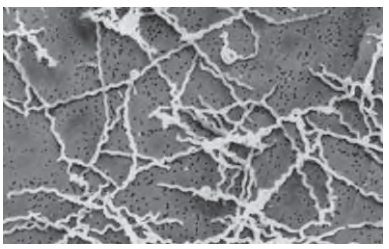
Pada wanita, infeksi ini menyebabkan peradangan di vagina sehingga banyak mengeluarkan cairan yang berwarna kuning dan berbau tidak enak. Gejala penyakit ini berupa peradangan saluran kencing. Diagnosis dilakukan dengan pemeriksaan mikroskopik dari cairan serta perlu diadakan identifikasi mengenai ada tidaknya parasit.

### d. Sifilis (Raja Singa)

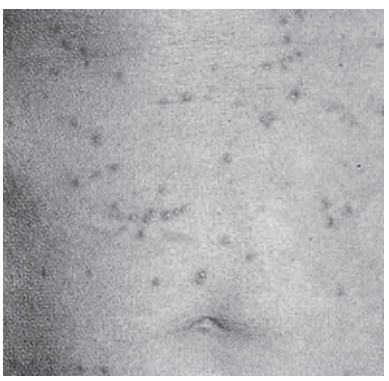
Penyakit ini disebabkan oleh *Treponema pallidium*, yaitu sebuah *spirochet* (bakteri yang berbentuk spiral). Perhatikan Gambar 10.22. Banyak terjadi di seluruh dunia, terutama dapat menyerang manusia usia 20–35 tahun. Lebih lazim terjadi di daerah perkotaan. Diperkirakan terdapat kenaikan jumlah penderita di beberapa negara industri seiring dengan meningkatnya penggunaan narkoba dan pelacuran. Penularan terjadi melalui kontak langsung antara luka (yang bernanah atau yang membengkak) di kulit dengan selaput lendir atau cairan tubuh (air mani, darah, cairan vagina) selama berhubungan seksual. Penularan bisa terjadi melalui transfusi darah bila donor berada dalam tahap awal infeksi tersebut. Infeksi bisa ditularkan dari seorang ibu hamil yang terinfeksi kepada bayi yang dikandungnya.

### e. Herpes Genitalis

Penyakit ini disebabkan oleh virus *Herpes simplex* tipe 2 (HSV-2). Gejala yang paling umum adalah bintil-bintil berisi cairan dan terasa sakit. Bintil-bintil dapat muncul di daerah sekitar alat kelamin atau dubur serta mulut. Bintil-bintil akan timbul selama 1–3 minggu, dan kemudian hilang. Beberapa waktu kemudian bintil-bintil akan muncul dan hilang secara berulang. Sebelum bintil-bintil muncul, alat kelamin terasa gatal atau panas. Setelah itu penderita akan mengalami gejala seperti flu. Walaupun infeksi herpes di kemaluan tidak bisa diobati, perkembangan klinisnya bisa dikurangi dengan pengobatan.



Bakteri penyebab sifilis



Permukaan tubuh penderita sifilis

**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.22**
Sifilis dapat menyerang susunan saraf pusat

### f. Kutil Kelamin

Penyakit ini disebabkan virus *Papilloma* manusia (HPV: *Human Papilloma Virus*). Kutil-kutil ini tumbuh di daerah kemaluan, tetapi dapat juga tumbuh di sekitar dubur.

### g. *Acquired Immune Deficiency Syndrom* (AIDS)

AIDS merupakan sekumpulan gejala penyakit yang timbul karena menurunnya kekebalan tubuh. AIDS disebabkan oleh virus HIV (*Human Immunodeficiency Virus*) di dalam tubuh. HIV merupakan suatu virus yang menyerang sel darah putih manusia dan menyebabkan menurunnya kekebalan daya tahan tubuh, sehingga mudah diserang infeksi/penyakit.

Virus HIV ini dapat hidup di dalam 4 cairan tubuh manusia yaitu:

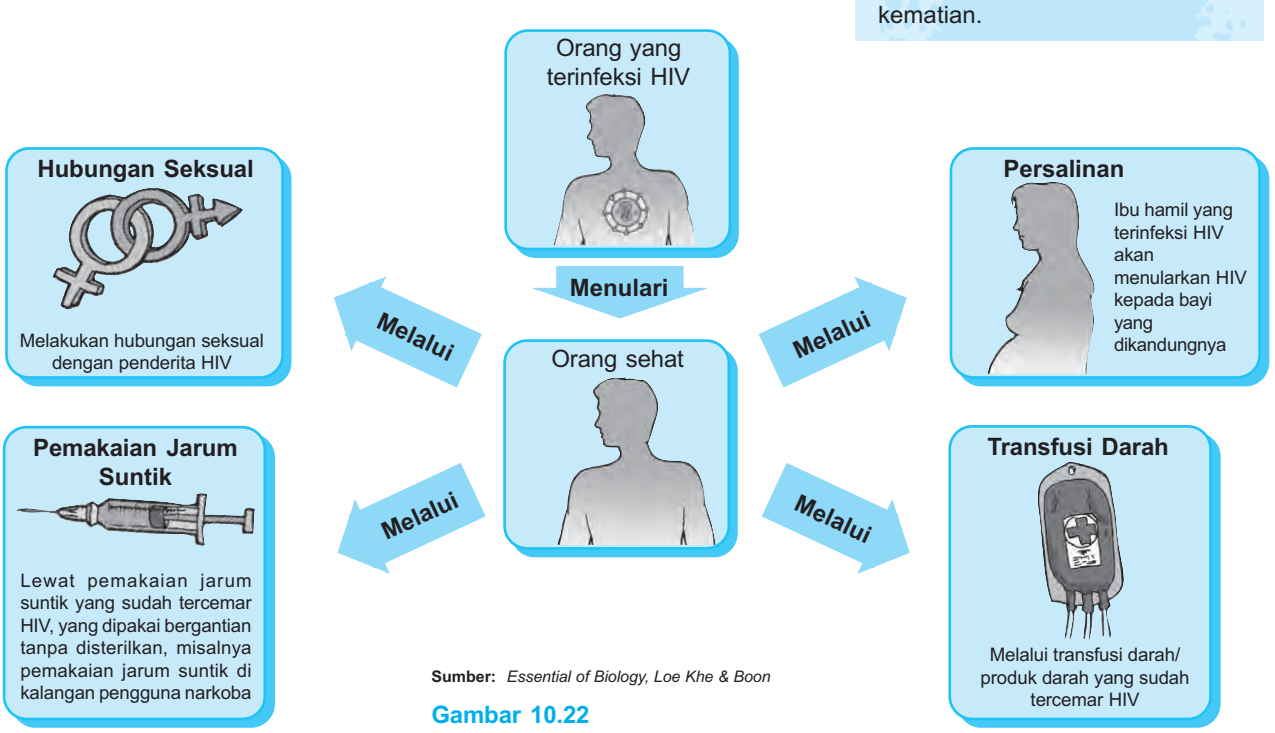
1) cairan darah,
2) cairan sperma,
3) cairan vagina,
4) air susu ibu.

Pelajari skema pada Gambar 10.22 agar Anda mendapat gambaran yang jelas tentang penularan HIV.

**Tahukah Anda**

**Sifilis Dapat Menyebabkan Kelumpuhan**

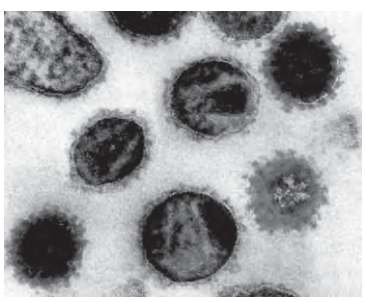
Gejala penyakit ini akan muncul beberapa minggu setelah tertular. Muncul luka seperti borok yang tidak sakit di daerah penis, leher rahim, dubur, dan dinding belakang kerongkongan/faring. Bakteri ini kemudian memasuki aliran darah; dalam waktu 1–3 bulan muncul tahap kedua. Tahap ini ditandai dengan ruam yang menyebabkan pembengkakan kelenjar. Setelah masa laten selama 5–20 tahun dengan sedikit atau tanpa gejala, tahap ketiga sifilis dapat menyerang susunan saraf pusat atau sistem kardiovaskular, yang bisa menyebabkan kelumpuhan bahkan kematian.




**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.22**
Cara penularan HIV

Keberadaan virus HIV membutuhkan waktu yang cukup lama (5 sampai 10 tahun) untuk dapat terdeteksi. Bentuk virus HIV dapat Anda amati pada Gambar 10.23. Keberadaan virus ini dalam darah terjadi tanpa menunjukan gejala penyakit tertentu dan keadaan ini disebut masa HIV positif. Bila seseorang terinfeksi HIV untuk pertama kali dan kemudian memeriksakan diri dengan menjalani tes darah, kemungkinan dalam tes pertama tersebut belum tentu dapat dideteksi adanya virus HIV di dalam darah. Hal ini disebabkan tubuh kita membutuhkan waktu 3–6 bulan untuk membentuk antibodi yang akan dideteksi oleh tes darah tersebut.



**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.23**
HIV

Masa ini disebut *window period* (periode jendela). Dalam masa ini, bila orang tersebut ternyata sudah mempunyai virus HIV di dalam tubuhnya (walaupun belum bisa dideteksi melalui tes darah), ia sudah bisa menularkan HIV.

Secara umum tanda-tanda utama yang terlihat pada seseorang yang sudah sampai pada tahapan AIDS adalah:

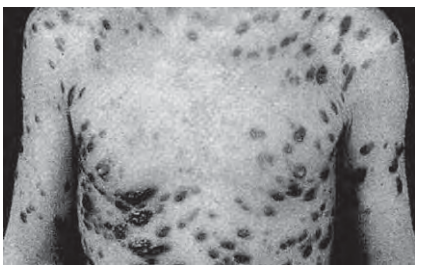
a. berat badan menurun lebih dari 10% dalam waktu singkat,
b. demam tinggi berkepanjangan (lebih dari satu bulan),
c. diare berkepanjangan (lebih dari satu bulan).

Selain itu, terdapat gejala-gejala tambahan berupa:

a. batuk berkepanjangan (lebih dari satu bulan),
b. kelainan kulit dan iritasi (gatal),
c. infeksi jamur pada mulut dan kerongkongan,
d. pembengkakan kelenjar getah bening di seluruh tubuh, seperti di bawah telinga, leher, ketiak, dan lipatan paha.

Perhatikan Gambar 10.24.

Itulah berbagai penyakit yang dapat ditularkan secara seksual. Anda dapat lebih mengetahui perkembangan penyakit menular seksual di Indonesia, dengan melakukan diskusi berikut.



**Sumber:** *Essential of Biology, Loe Khe & Boon*

**Gambar 10.24**
Tubuh penderita AIDS

## Forum Diskusi

Simak cuplikan artikel berikut.

WHO memperkirakan setiap tahun terdapat 350 juta penderita baru PMS (penyakit menular seksual) di negara berkembang seperti di Afrika, Asia, Asia Tenggara, dan Amerika Latin. Di negara industri prevalensinya sudah dapat diturunkan, namun di negara berkembang prevalensi gonore menempati tempat teratas dari semua jenis PMS. Dalam kaitannya dengan infeksi HIV-AIDS, *United States Bureau of Census* pada 1995 mengemukakan bahwa di daerah yang tinggi prevalensi PMS-nya, ternyata tinggi pula prevalensi HIV-AIDS dan banyak ditemukan perilaku seksual berisiko tinggi. Kelompok seksual berperilaku berisiko tinggi antara lain *commercial sex workers* (SCWs). Berdasarkan jenis kelaminnya, CSWs digolongkan menjadi *female commercial sex workers* (FCSWs) 'wanita penjaja seks' (WPS) dan male *commercial sex workers* (MCSWs) 3, 4, 5.

Jumlah kasus HIV-AIDS di Indonesia memang terus meningkat. Kalau bulan Desember 2003 disebutkan ada 2.720 kasus HIV dan 1.371 kasus AIDS atau total 4.091 kasus, maka sampai dengan Juni 2004 dilaporkan total kasus HIV-AIDS sudah menjadi 4.389, terdiri dari 2.864 kasus HIV dan 1.525 AIDS.

Dari wacana artikel di atas, coba diskusikan bersama kelompok Anda mengenai hal-hal berikut.

1. Pemicu meningkatnya PMS dan HIV-AIDS.
2. Cara pencegahan penularan PMS dan HIV-AIDS.
3. Solusi penanganan bagi penderita PMS dan HIV-AIDS.

## Tahukah Anda

**Ingat!**

AIDS **tidak ditularkan** melalui:

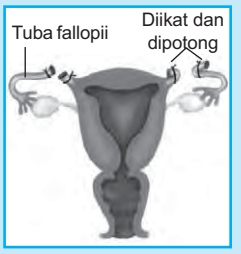
1. Makan dan minum bersama, atau pemakaian alat makan minum secara bersama.
2. Pemakaian fasilitas umum bersama, seperti telepon umum, WC umum, dan kolam renang.
3. Keringat atau gigitan nyamuk.

Demikian berbagai uraian yang berhubungan dengan sistem reproduksi. Sekiranya sudah memahami bab ini, Anda diharapkan mampu menjaga dan berhati-hati dalam bergaul, agar tidak terjebak dalam pergaulan bebas.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Tommy (35 tahun) dan Rina (31 tahun) sudah 3 tahun menikah. Namun, mereka belum juga dikaruniai seorang anak. Sudah lima dokter spesialis kandungan dan kebidanan mereka kunjungi. Sejumlah tes untuk mencari penyebab sterilitas pun dilakukan, baik terhadap Tommy maupun Rina. Hasilnya, keduanya termasuk fertil. Berkat informasi dari dokter mereka, keduanya sepakat mengikuti program bayi tabung.
   Dari kasus di atas, coba Anda jawab pertanyaan-pertanyaan berikut.
   a. Apakah yang dimaksud sterilitas?
   b. Hasil pemeriksaan oleh dokter, Tommy dan Rina dinyatakan fertil. Akan tetapi, mereka hingga kini belum dikaruniai seorang anak. Coba Anda perkirakan apa yang terjadi dengan sistem reproduksi mereka.
   c. Apa yang Anda ketahui tentang bayi tabung? Coba Anda paparkan langkah-langkah yang akan dilakukan dokter pada Tommy dan Rina untuk melakukan teknik bayi tabung ini.
2. a. Sebutkan tiga contoh penyakit yang dapat ditularkan melalui hubungan seksual.
   b. Mengapa sebagian besar penyakit seksual itu berbahaya?
3. Sebagian pasangan suami istri sering menganggap bahwa kontrasepsi dengan metode kalender ”sangat berisiko”, karena metode ini banyak kelemahannya. Coba Anda jelaskan alasan pernyataan mereka.
4. Amati gambar suatu cara kontrasepsi di atas.

   a. Kontrasepsi jenis apakah gambar di atas?
   b. Bagaimana cara melakukan kontrasepsi jenis ini?
   c. Berapa besar efektivitas keberhasilan jenis kontrasepsi ini untuk mencegah terjadinya pembuahan?
5. Amati data jenis kontrasepsi berikut berdasarkan persentase kemungkinan terjadinya fertilisasi.

| Jenis Kontrasepsi | Persentase Terjadinya Fertilisasi |
|---|---|
| Kondom | 7 |
| Spermisid | 12 |
| Vasektomi | 0 |
| Diafragma | 8 |
| Pil | 1 |

   a. Manakah jenis kontrasepsi yang paling efektif?
   b. Manakah jenis kontrasepsi yang keefektifannya paling kecil?
   c. Berapa besar keefektifan kontrasepsi menggunakan kondom?

## Rangkuman

1. Sistem reproduksi pada pria dan wanita berbeda. Proses pembentukan sperma (spermatogenesis) terjadi di dalam *tubulus seminiferus* yang berada di dalam testis dan dipacu oleh hormon testosteron. Sperma dapat bergerak aktif karena mempunyai ekor sebagai alat gerak.
   Proses pembentukan ovum (oogenesis) terjadi di ovarium. Apabila ovum tidak dibuahi akan terjadi menstruasi. Apabila ovum dibuahi oleh sperma akan terbentuk zigot dan berkembang melalui tahap preimplantasi embrionik dan fetus berkembang menjadi bayi.
2. Sterilisasi pada pria dapat disebabkan terjadinya kelainan struktur dan fungsi organ reproduksi, kelainan sistem hormonal, gangguan peredaran darah pada alat reproduksi, infeksi, dan faktor imunologi. Adapun pada wanita, sterilitas disebabkan oleh terjadinya kegagalan pelepasan sel telur, infeksi, dan kelainan saluran telur.
3. Jenis-jenis kontrasepsi untuk menghambat terjadinya proses pembuahan adalah vasektomi pada pria, tubektomi pada wanita, kondom, diafragma, IUD, spermisid, dan pil.
4. AIDS disebabkan oleh infeksi virus HIV, dapat terdeteksi 5–10 tahun setelah terinfeksi.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Sel kelamin jantan (spermatozoa) diproduksi di dalam . . . .
   a. penis
   b. testis
   c. skrotum
   d. epididimis
   e. vas deferens

2. Proses pembentukan gamet terjadi melalui pembelahan . . . .
   a. segregasi
   b. mitosis
   c. amitosis
   d. meiosis
   e. mitosis meiosis

3. Pematangan sel-sel spermatozoa terjadi di dalam . . . .
   a. tubulus seminiferus
   b. duktus afferens
   c. duktus epididimis
   d. duktus defferens
   e. uretra

4. Sel yang berfungsi memberi makanan spermatozoa yaitu . . . .
   a. sel induk sperma
   b. sel Sertoli
   c. sel Leydig
   d. spermatogonium
   e. spermatozoid

5. Enzim yang dihasilkan pada bagian kepala sel sperma yang berperan menembus lapisan yang melindungi sel telur disebut . . . .
   a. hialuronidase
   b. enterokinase
   c. endonuklease
   d. katalase
   e. nukleotidase

6. Setelah masa pubertas, seorang anak laki-laki akan mengalami perubahan suara dan rambut tumbuh di berbagai bagian tubuhnya. Keadaan ini terjadi karena pengaruh hormon . . . .
   a. insulin
   b. estrogen
   c. testosteron
   d. adrenalin
   e. progesteron

7. Pada spermatogenesis, sel yang pertama kali bersifat haploid yaitu . . . .
   a. spermatogonium
   b. spermatosit primer
   c. spermatosit sekunder
   d. spermatid
   e. spermatozoa

8. Sel kelamin wanita diperoleh dari hasil pembelahan reproduksi di dalam . . . .
   a. ovum
   b. testis
   c. ovarium
   d. uterus
   e. tuba fallopii

9. Anak perempuan jika masa pubertasnya telah dilalui tetapi sifat-sifat kelamin sekundernya tidak tampak, kemungkinan kekurangan . . . .
   a. progesteron dan estrogen
   b. estrogen dan testosteron
   c. progresteron dan testosteron
   d. estrogen dan gastrin
   e. progresteron dan gastrin

10. Pernyataan-pernyataan berikut ini mengenai sistem reproduksi wanita.
    1) Estrogen dan progesteron sangat penting agar ovulasi terjadi.
    2) Estrogen cenderung menghambat produksi FSH oleh kelenjar pituitari anterior.
    3) Fertilisasi ovum oleh spermatozoa biasanya terjadi di uterus.
    4) ”LH” sangat besar perannya dalam produksi progesteron.
    5) Jumlah estrogen dan progesteron selalu berfluktuasi di dalam darah.

    Pernyataan yang benar tentang reproduksi wanita yaitu . . . .
    a. 1), 2), dan 5)
    b. 1), 3), dan 5)
    c. 2), 3), dan 4)
    d. 2), 3), dan 5)
    e. 3), 4), dan 5)

11. Pematangan sel telur dalam folikel dipengaruhi oleh hormon . . . .
    a. LH
    b. FSH
    c. estrogen
    d. progesteron
    e. oksitosin

12. Pada waktu kehamilan yang berfungsi melindungi embrio dari kekeringan dan goncangan disebut . . . .
    a. alantois
    b. amnion
    c. karion
    d. plasenta
    e. tali pusar

13. Bagian yang merupakan tempat penyaluran zat makanan, $O_2$, sampah, dan $CO_2$ antara ibu dan janin di rahim dinamakan . . . .
    a. amnion
    b. korion
    c. plasenta
    d. kuning telur
    e. tali pusar

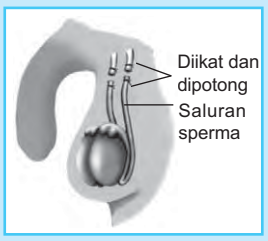
14. Hormon yang mempengaruhi kontraksi uterus saat kelahiran yaitu . . . .
    a. relaksin
    b. prostaglandin
    c. oksitosin
    d. progesteron
    e. relaktin

15. Prinsip kontrasepsi vasektomi pada laki-laki dan tubektomi pada wanita yaitu . . . .
    a. menghambat atau menghentikan terjadinya ovulasi secara hormonal
    b. menghambat bertemunya sperma dengan sel telur secara mekanik
    c. mencegah pertemuan sperma dan sel telur dengan mematikan secara kimiawi
    d. menghentikan disalurkannya sperma dan ovum dengan pengikatan atau pemotongan
    e. mengatur hubungan suami istri

16. Salah satu upaya untuk mengurangi persebaran sifilis melalui cara . . . .
    a. menggunakan kontrasepsi metode pil
    b. tidak berganti-ganti pasangan dalam hal berhubungan seksual
    c. tidak sembarangan menggunakan perlengkapan mandi milik orang lain
    d. tidak makan dan minum dengan menggunakan gelas atau piring orang lain
    e. tidak berciuman dengan orang yang terinfeksi sifilis

17. Alat kontrasepsi yang membantu mengatur hormon ovulasi yaitu . . . .
    a. spermisid
    b. vasektomi
    c. pil
    d. tubektomi
    e. kondom

18. Perlakuan seperti gambar di samping dapat berakibat . . . .
    a. hormon seksual tidak lagi diproduksi
    b. pengeluaran urine jadi terhambat
    c. sperma tidak lagi diproduksi
    d. kemandulan pada laki-laki
    e. menurunkan kemampuan ejakulasi




19. Sistem kerja kontrasepsi metode pil bertujuan untuk . . . .
    a. menghentikan kerja oviduk
    b. menghalangi implantasi zigot di uterus
    c. menghalangi terjadinya fertilisasi
    d. menghentikan produksi ovum di ovarium
    e. menghentikan siklus menstruasi pada wanita

20. Penularan AIDS dapat melalui hal-hal berikut, *kecuali* . . . .
    a. hubungan seksual dengan penderita AIDS
    b. nyamuk setelah menggigit penderita AIDS
    c. ASI dari seorang ibu yang menderita AIDS
    d. jarum suntik yang telah digunakan oleh penderita AIDS
    e. transfusi darah dari seorang penderita AIDS

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan fungsi dari beberapa organ seperti berikut.
    a. ovarium
    b. oviduk
    c. plasenta
2. Apa saja keunggulan ASI dibandingkan dengan susu instan?
3. Apakah yang dimaksud dengan fertilisasi *in vitro*?
4. Mengapa janin yang terdapat di dalam kandungan tahan terhadap goncangan yang berasal dari luar?
5. Mengapa saat ejakulasi, urine tidak ikut keluar bersama semen?

C. *Berpikir kritis.*

Setiap tanggal 1 Desember seluruh penduduk dunia memperingati hari AIDS sedunia. Coba perkirakan apa tujuan dari peringatan ini?

## Refleksi

### Sistem Reproduksi Manusia

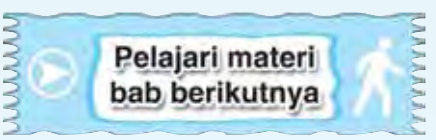
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.

1. Jelaskan tahap-tahap pembentukan sperma dan ovum.
2. Apa saja hormon yang berperan pada sistem reproduksi pria dan wanita?
3. Apa saja faktor yang menyebabkan dilakukan bedah sesar?
4. Jelaskan macam alat kontrasepsi yang ada pada masa sekarang, bagaimana perbedaannya?
5. Bagaimana virus HIV dapat menular dari panderita HIV ke manusia sehat?

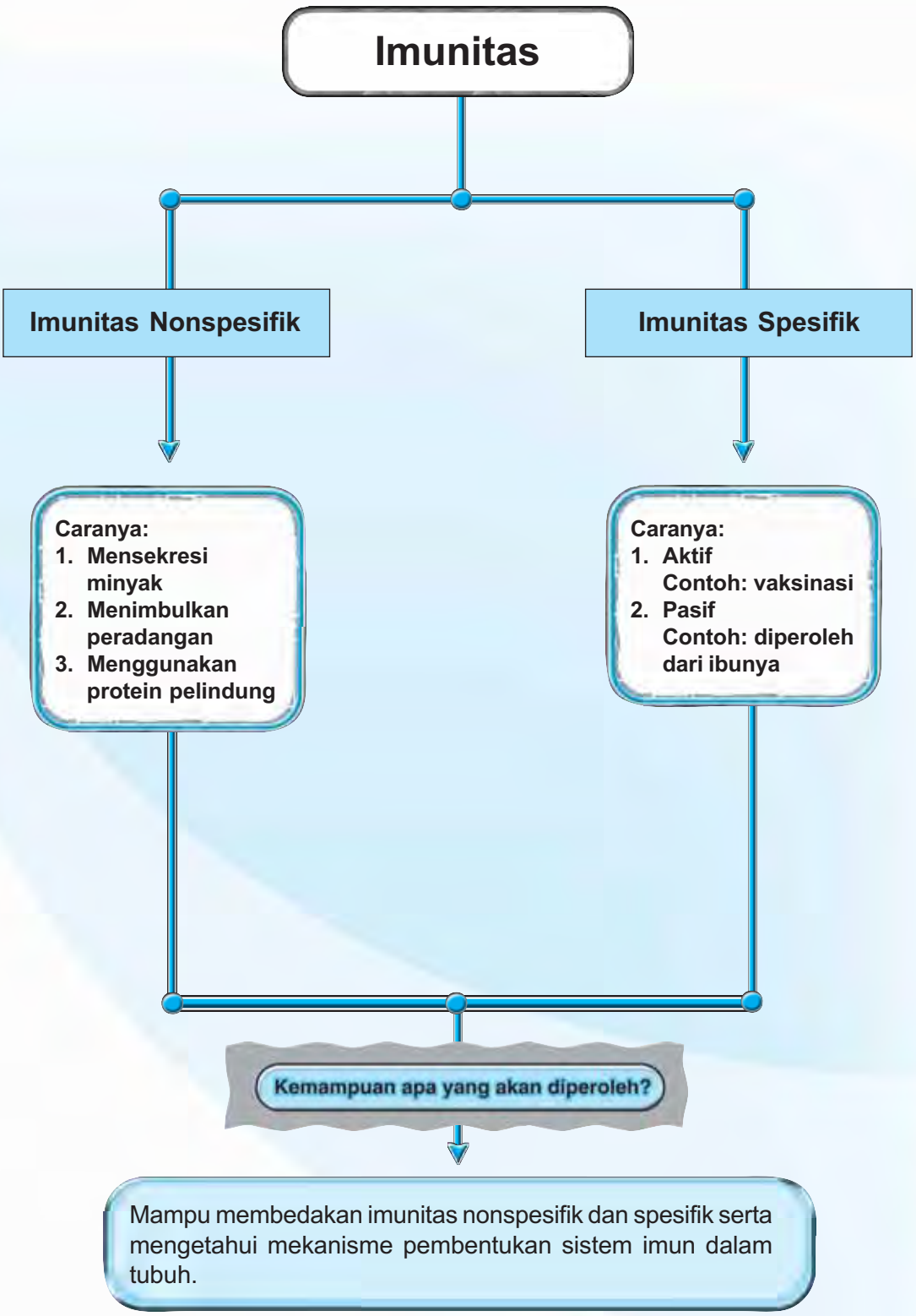
Pelajari kembali

Jawaban betul < 60%

Jawaban betul ≥ 60%



# Bab XI Sistem Imun



Selasar

**Sumber:** *Dokumentasi Penerbit*

Anak balita perlu diberi kekebalan terhadap suatu penyakit tertentu, misalnya penyakit polio. Imunisasi polio biasanya dilakukan secara serentak di seluruh wilayah Indonesia. Imunisasi dilakukan agar anak mendapat kekebalan tubuh terhadap bibit penyakit yang berada dalam vaksin, sehingga untuk selanjutnya tidak mudah terserang penyakit seperti yang ada di dalam vaksin.

Pada bab ini akan dipelajari macam-macam imun dan proses yang terjadi dalam menghadapi kuman penyakit, serta mempelajari penyakit AIDS. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan mampu menjelaskan mekanisme pertahanan yang terjadi di dalam tubuh dan berusaha menjaga kesehatan tubuh.

**Kata Kunci**

sistem imun
antibodi
antigen
kuman penyakit
HIV-AIDS
infeksi
protein komplemen
inflamatori
imunoglobulin
reseptor CD4
sel B
sel T
virus
vaksin

Sistem imun tidak memiliki tempat khusus dalam tubuh manusia dan tidak dikontrol oleh organ pusat seperti otak. Sel-sel tertentu berperan sebagai pasukan pertahanan untuk memerangi penyusup atau benda asing yang masuk ke tubuh yang berpotensi menimbulkan gangguan pada tubuh. Sel-sel dalam sistem imun menghasilkan antibodi yang akan mengenali antigen dari benda asing atau mikroorganisme patogen.

Imunisasi merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk memperoleh kekebalan secara aktif. Sel-sel apa saja yang berperan dan bagaimana sistem imun bekerja akan dipelajari dalam subbab berikut ini. Sebagai contoh gangguan pada sistem kekebalan tubuh adalah AIDS yang disebabkan infeksi HIV. Penyakit ini akan dipelajari dalam subbab berikutnya.

## A. Mekanisme Pembentukan Kekebalan Tubuh

Apabila tubuh mendapatkan serangan dari benda asing maupun infeksi mikroorganisme (kuman penyakit, bakteri, jamur, atau virus) maka sistem kekebalan tubuh akan berperan dalam melindungi tubuh dari bahaya akibat serangan tersebut. Ada beberapa macam imunitas yang dibedakan berdasarkan cara mempertahankan dan berdasarkan cara memperolehnya.

Mikrobia untuk dapat menginfeksi bagian organ yang lebih dalam terlebih dahulu harus berhasil menembus penghalang luar yaitu kulit dan membran mukosa. Apabila sudah berhasil melewati pertahanan pertama maka harus menghadapi pertahanan kedua yaitu fagositosis (protein antimikrobia).

Berdasarkan cara mempertahankan diri dari penyakit, imunitas dibedakan menjadi dua, yaitu **imunitas nonspesifik** dan **imunitas spesifik**. Adapun berdasarkan cara memperolehnya dibedakan menjadi **kekebalan aktif** dan **kekebalan pasif**. Berikut ini akan dibahas jenis-jenis kekebalan satu persatu dan proses pembentukan antibodi. Tabel 11.1 di bawah ini akan memperjelas tentang lapisan pertahanan yang dilakukan oleh tubuh.

**Tabel 11.1** Beberapa Lapis Pertahanan (Imun)

| Imun Nonspesifik | | Imun Spesifik |
|---|---|---|
| **Pertahanan Pertama** | **Pertahanan Kedua** | **Pertahanan Ketiga** |
| Kulit<br>Membran mukosa dan cairan sekresinya | Sel fagosit<br>Protein antimikrobia<br>Reaksi peradangan | Limfosit<br>Antibodi |

### 1. Imunitas Nonspesifik

Pertahanan tubuh terhadap serangan (infeksi) oleh mikroorganisme telah dilakukan sejak dari permukaan luar tubuh yaitu kulit dan pada permukaan organ-organ dalam. Tubuh dapat melindungi diri tanpa harus terlebih dulu mengenali atau menentukan identitas organisme penyerang. Imunitas nonspesifik didapat melalui tiga cara berikut.

## a. Pertahanan yang Terdapat di Permukaan Organ Tubuh

Tubuh memiliki daerah-daerah yang rawan terinfeksi oleh kuman penyakit berupa mikroorganisme, yaitu daerah saluran pernapasan dan saluran pencernaan. Saluran pencernaan setiap hari dilewati oleh berbagai macam makanan dan air yang diminum. Makanan tersebut tidak selalu terbebas dari kuman penyakit baik berupa jamur maupun bakteri sehingga terinfeksi melalui saluran pencernaan kemungkinannya tinggi.

Setiap organ tubuh seperti paru-paru, lambung, ginjal, mempunyai kulit dan membran mukosa sebagai pembatas mekanis agar mikrobia tidak masuk ke dalam organ tersebut. Setiap kulit dan membran mukosa pada organ-organ tubuh memiliki cara tersendiri untuk melindungi diri dari kuman penyakit.

Sebagai contoh, pada kulit terdapat kelenjar minyak yang mengandung bahan kimia dan dapat melemahkan bahkan membunuh bakteri di kulit. Mikroorganisme yang berada pada bahan makanan sebagian besar sudah dimatikan oleh saliva yang mengandung lisosom. Di dalam perut, mikroorganisme yang masih hidup juga dimatikan dengan adanya asam-asam. Di dalam usus terdapat enzim-enzim pencernaan yang juga dapat membunuh mikroorganisme yang merugikan.

Demikian juga dengan saluran pernapasan. Hal ini disebabkan udara yang dihirup melalui hidung mengandung partikel-partikel asing (berupa debu) maupun mikro-organisme (termasuk spora jamur). Spora jamur dapat tumbuh dan berkembang biak jika berada di tempat (lingkungan) yang sesuai.

Pada trakea terdapat sel-sel bersilia yang dapat menyapu lendir serta partikel-partikel berbahaya yang terselip di antara kerongkongan agar dapat keluar bersama air ludah.

**Tahukah Anda**

**Saliva Dapat Membunuh Mikroorganisme**

Cairan ludah atau saliva ternyata tidak hanya berfungsi dalam pencernaan secara kimiawi saja, tetapi juga berperan dalam membunuh mikroorganisme yang masuk bersama makanan. Di dalam saliva terkandung lisosom. Lisosom inilah yang dapat membunuh mikroorganisme tersebut.

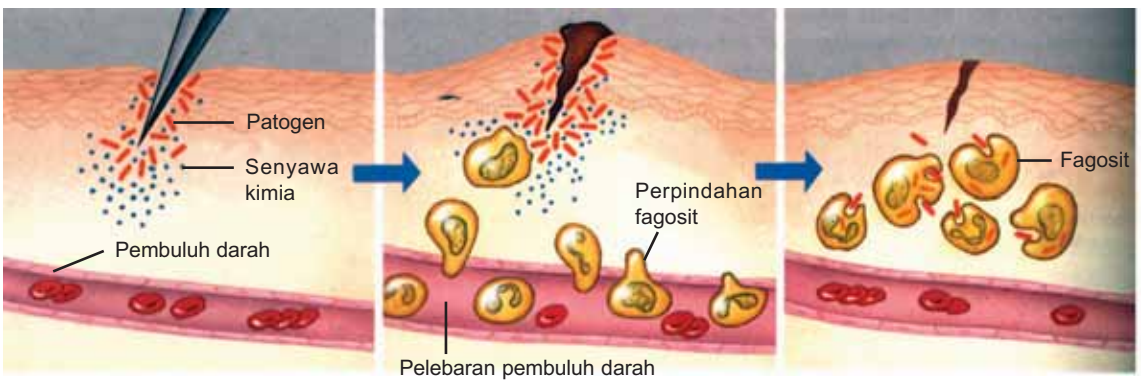
## b. Pertahanan dengan Cara Menimbulkan Peradangan (*Inflamatori*)

Mikroorganisme yang telah berhasil melewati pertahanan di bagian permukaan organ dapat menginfeksi sel-sel dalam organ. Tubuh akan melakukan perlindungan dan pertahanan dengan memberi tanda secara kimiawi yaitu dengan cara sel terinfeksi mengeluarkan senyawa kimia **histamin** dan **prostaglandin**. Senyawa kimia ini akan menyebabkan pelebaran pada pembuluh darah di daerah yang terinfeksi. Hal ini akan menaikkan aliran darah ke daerah yang terkena infeksi. Akibatnya daerah terinfeksi menjadi berwarna kemerahan dan terasa lebih hangat.

Apabila kulit mengalami luka akan terjadi peradangan yang ditandai dengan memar, nyeri, bengkak, dan meningkatnya suhu tubuh. Jika luka ini menyebabkan pembuluh darah robek maka mastosit akan menghasilkan **bradikinin** dan **histamin**. Bradikinin dan histamin ini akan merangsang ujung saraf sehingga pembuluh darah dapat semakin melebar dan bersifat permeabel.

Kenaikan permeabilitas kapiler darah menyebabkan neutrofil berpindah dari darah ke cairan luar sel. Neutrofil ini akan menyerang bakteri yang menginfeksi sel.

Selanjutnya, neutrofil dan monosit berkumpul di tempat yang terluka dan mendesak hingga menembus dinding kapiler. Setelah itu, neutrofil mulai memakan bakteri dan monosit berubah menjadi makrofag (sel yang berukuran besar). Makrofag berfungsi fagositosis dan merangsang pembentukan jenis sel darah putih yang lain.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 11.1**
Mekanisme pertahanan tubuh dengan respon inflamatori

Perhatikan Gambar 11.1. Berdasarkan gambar tersebut, sistem pertahanan tubuh dapat dijelaskan sebagai berikut.

1) Jaringan mengalami luka, kemudian mengeluarkan tanda berupa senyawa kimia yaitu histamin dan senyawa kimia lainnya.
2) Terjadi pelebaran pembuluh darah (*vasodilatasi*) yang menyebabkan bertambahnya aliran darah, menaikkan permeabilitas pembuluh darah. Selanjutnya terjadi perpindahan sel-sel fagosit.
3) Sel-sel fagosit (makrofag dan neutrofil) memakan patogen.

Sinyal kimia yang dihasilkan oleh jaringan yang luka akan menyebabkan ujung saraf mengirimkan sinyal ke sistem saraf. Histamin berperan dalam proses pelebaran pembuluh darah.

Makrofag disebut juga *big eaters* karena berukuran besar, mempunyai bentuk tidak beraturan, dan membunuh bakteri dengan cara memakannya. Anda dapat mengingat kembali cara makan amoeba, seperti itulah cara makrofag memakan bakteri. Makrofag yang memakan bakteri dapat dilihat pada Gambar 11.2 di samping.

Bakteri yang sudah berada di dalam makrofag kemudian dihancurkan dengan enzim lisosom. Makrofag ini juga bertugas untuk mengatasi infeksi virus dan partikel debu yang berada di dalam paru-paru. Sebenarnya di dalam tubuh keberadaan makrofag ini sedikit, tetapi memiliki peran sangat penting.

**Sumber:** *Biology, Campbell*

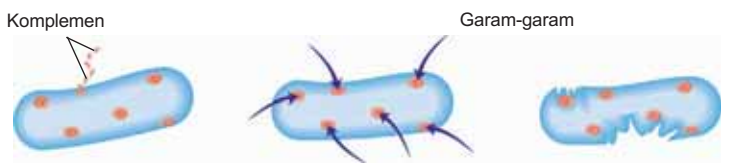
**Gambar 11.2**
Makrofag yang sedang memakan bakteri

Setelah infeksi tertanggulangi, beberapa neutrofil akhirnya mati seiring dengan matinya jaringan sel dan bakteri. Setelah ini sel-sel yang masih hidup membentuk nanah. Terbentuknya nanah ini merupakan indikator bahwa infeksi telah sembuh. Jadi reaksi inflamatori ini sebagai sinyal adanya bahaya dan sebagai perintah agar sel darah putih memakan bakteri yang menginfeksi tubuh.

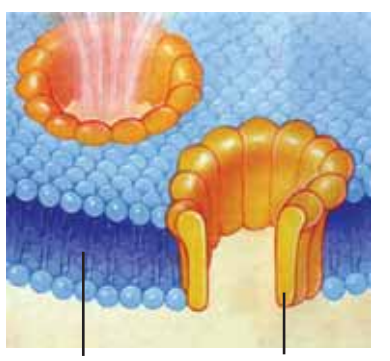
Selain sel monosit yang berubah menjadi makrofag juga terdapat sel neutrofil yang akan membunuh bakteri (mikro-organisme asing lainnya).

### c. Pertahanan Menggunakan Protein Pelindung

Jenis protein ini mampu menghasilkan respons kekebalan, di antaranya adalah komplemen. Komplemen ini dapat melekat pada bakteri penginfeksi. Setelah itu, komplemen menyerang membran bakteri dengan membentuk lubang pada dinding sel dan membran plasmanya. Hal ini menyebabkan ion-ion $Ca^+$ keluar dari sel bakteri, sedangkan cairan serta garam-garam dari luar sel bakteri akan masuk ke dalam tubuh bakteri. Masuknya cairan dan garam ini menyebabkan sel bakteri hancur. Mekanisme penghancuran bakteri oleh protein komplemen dapat Anda amati pada Gambar 11.3.




**Sumber:** *Biology, S.S Mader*




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 11.3**
Mekanisme penghancuran bakteri oleh protein komplemen

## 2. Imunitas Spesifik

Imunitas spesifik diperlukan untuk melawan antigen dari imunitas nonspesifik. Antigen merupakan substansi berupa protein dan polisakarida yang mampu merangsang munculnya sistem kekebalan tubuh (antibodi).

Mikrobia yang sering menginfeksi tubuh juga mempunyai antigen. Selain itu, antigen ini juga dapat berasal dari sel asing atau sel kanker. Tubuh kita seringkali dapat membentuk sistem imun (kekebalan) dengan sendirinya. Setelah mempunyai kekebalan, tubuh akan kebal terhadap penyakit tersebut walaupun tubuh telah terinfeksi beberapa kali. Sebagai contoh campak atau cacar air, penyakit ini biasanya hanya menjangkiti manusia sekali dalam seumur hidupnya. Hal ini karena tubuh telah membentuk kekebalan primer. Kekebalan primer diperoleh dari B limfosit dan T limfosit.

## Forum Diskusi

Orang yang sudah pernah mengalami sakit cacar pada saat kecil, tidak terkena cacar lagi sampai tua. Diskusikan dengan teman satu kelompok mengapa hal ini terjadi. Jelaskan macam imunisasi berdasarkan cara mendapatkannya.

Adapun imunitas spesifik dapat di peroleh melalui pembentukan antibodi. Antibodi merupakan senyawa kimia yang dihasilkan oleh sel darah putih. Apakah Anda tahu bagaimana kuman penyakit dapat terbunuh di dalam tubuh? Semua kuman penyakit memiliki zat kimia pada permukaannya yang disebut **antigen**. Antigen sebenarnya terbentuk atas protein. Tubuh akan merespon ketika tubuh mendapatkan penyakit dengan cara membuat antibodi. Jenis antigen pada setiap kuman penyakit bersifat spesifik atau berbeda-beda untuk setiap jenis kuman penyakit. Dengan demikian diperlukan antibodi yang berbeda pula untuk jenis kuman yang berbeda. Tubuh memerlukan macam antibodi yang banyak untuk melindungi tubuh dari berbagai macam kuman penyakit. Anda pasti tahu bahwa dalam kehidupan sehari-hari tubuh tidak dapat selalu berada dalam kondisi terbebas dari kotoran dan mikroorganisme (steril).

**Sumber:** *Biology For You, Gareth Williams*

**Gambar 11.4**
Vaksinasi dengan cara disuntik

Tubuh dapat dengan cepat merespon infeksi suatu kuman penyakti apabila di dalam tubuh sudah terdapat antibodi untuk jenis antigen tertentu yang berasal dari kuman. Bagaimana antibodi dapat terbentuk dalam tubuh?

### a. Cara Mendapatkan Antibodi

Berdasarkan cara mendapatkan imun atau kekebalan, dikenal dua macam kekebalan, yaitu kekebalan aktif dan pasif.

#### 1) *Kekebalan Aktif*

Kekebalan aktif terjadi jika seseorang kebal terhadap suatu penyakit setelah diberikan vaksinasi dengan suatu bibit penyakit. Perhatikan Gambar 11.4. Jika kekebalan itu diperoleh setelah orang mengalami sakit karena infeksi suatu kuman penyakit maka disebut kekebalan aktif alami. Sebagai contohnya adalah seseorang yang pernah sakit campak maka seumur hidupnya orang tersebut tidak akan sakit campak lagi.

Apakah Anda ingat bahwa pada saat masih kecil mendapatkan imunisasi polio? Sekarang ini di Indonesia sudah dilaksanakan imunisasi polio untuk anak-anak balita. Hal ini dilakukan agar Indonesia terbebas dari virus polio. Apa sebenarnya yang terkandung di dalam vaksin?

Vaksin mengandung bibit penyakit yang telah mati atau dinonaktifkan, dimana pada bibit penyakit tersebut masih mempunyai antigen yang kemudian akan direspon oleh sistem imun dengan cara membentuk antibodi.

**Tugas Mandiri**

Datanglah ke puskesmas yang ada di tempat Anda. Carilah informasi mengenai jenis imunisasi yang sudah dilakukan di Indonesia dan perkembangan kegiatan imunisasi di Indonesia. Apakah sudah efektif? Apa saja yang menjadi hambatannya?

Sel B dan sel T (sel limfosit) ikut berperan dalam menghasilkan antibodi. Sel B (B limfosit) membentuk sistem imunitas humoral, yaitu imunitas dengan cara membentuk antibodi yang berada di darah dan limfa. Sel B berfungsi secara spesifik mengenali antigen asing serta berperan membentuk kekebalan terhadap infeksi bakteri, seperti *Streptococcus*, *Meningococcus*, virus campak, dan Poliomeilitis. Antibodi ini kemudian melekat pada antigen dan melumpuhkannya.

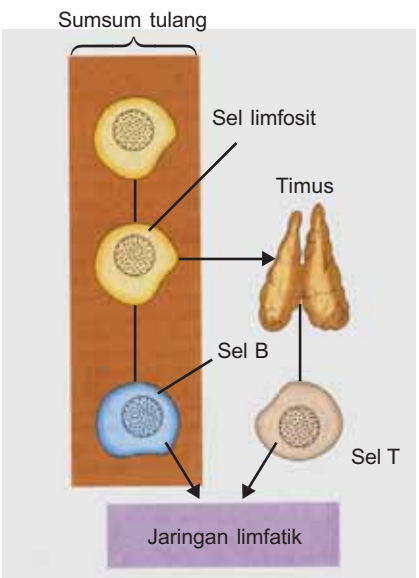
Sel B ini juga mampu membentuk sel pengingat (*memory cell*). Sel ini berfungsi untuk membentuk kekebalan tubuh dalam jangka panjang. Sebagai contoh jika terdapat antigen yang sama masuk kembali ke dalam tubuh maka sel pengingat ini akan segera meningkatkan antibodi dan membentuk sel plasma dalam waktu cepat. Sel plasma adalah sel B yang mampu menghasilkan antibodi dalam darah dan limfa.

Sel T (T limfosit) membentuk sistem imunitas terhadap infeksi bakteri, virus, jamur, sel kanker, serta timbulnya alergi. Sel T ini mengalami pematangan di glandula timus dan bekerja secara fagositosis. Namun T limfosit tidak menghasilkan antibodi. T limfosit secara langsung dapat menyerang sel penghasil antigen. Sel T kadang ikut membantu produksi antibodi oleh sel B.

Sel T dan sel B berasal dari sel limfosit yang di-produksi dalam sumsum tulang. Perhatikan Gambar 11.5 Sel limfosit yang melanjutkan pematangan selnya di sumsum tulang akan menjadi sel B.

Baik sel B maupun sel T dilengkapi dengan reseptor antigen di dalam plasma membrannya. Reseptor antigen pada sel B merupakan rangkaian membran molekul antibodi yang spesifik untuk antigen tertentu. Reseptor antigen dari sel T berbeda dari antibodi, namun reseptor sel T mengenali antigennya secara spesifik. Spesifikasi dan banyaknya macam dari sistem imun tergantung reseptor pada setiap sel B dan sel T yang memungkinkan limfosit mengidentifikasi dan merespon antigen.

Saat antigen berikatan dengan reseptor yang spesifik pada permukaan limfosit, limfosit akan aktif untuk berdeferensiasi dan terbagi menaikkan populasi dari sel efektor. Sel ini secara nyata melindungi tubuh dalam respon imun. Dalam sistem humoral, sel B diaktifkan oleh ikatan antigen yang akan meningkatkan sel efektor yang disebut dengan sel plasma. Sel ini mensekresi antibodi untuk membantu mengurangi antigen.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 11.5**
Tempat pembentukan sel T dan sel B

### 2) *Kekebalan Pasif*

Setiap antigen memiliki permukaan molekul yang unik dan dapat menstimulasi pembentukan berbagai tipe antibodi. Sistem imun dapat merespon berjuta-juta jenis dari mikroorganisme atau benda asing. Bayi dapat memperoleh kekebalan (antibodi) dari ibunya pada saat masih berada di dalam kandungan. Sehingga bayi tersebut memiliki sistem kekebalan terhadap penyakit seperti kekebalan yang dimiliki ibunya.

Kekebalan pasif setelah lahir yaitu jika bayi terhindar dari penyakit setelah dilakukan suntikan dengan serum yang mengandung antibodi, misanya ATS (Anti Tetanus Serum). Sistem kekebalan tubuh yang diperoleh bayi sebelum lahir belum bisa beroperasi secara penuh, tetapi tubuh masih bergantung pada sistem kekebalan pada ibunya. Imunitas pasif hanya berlangsung beberapa hari atau beberapa minggu saja.

**Tahukah Anda**

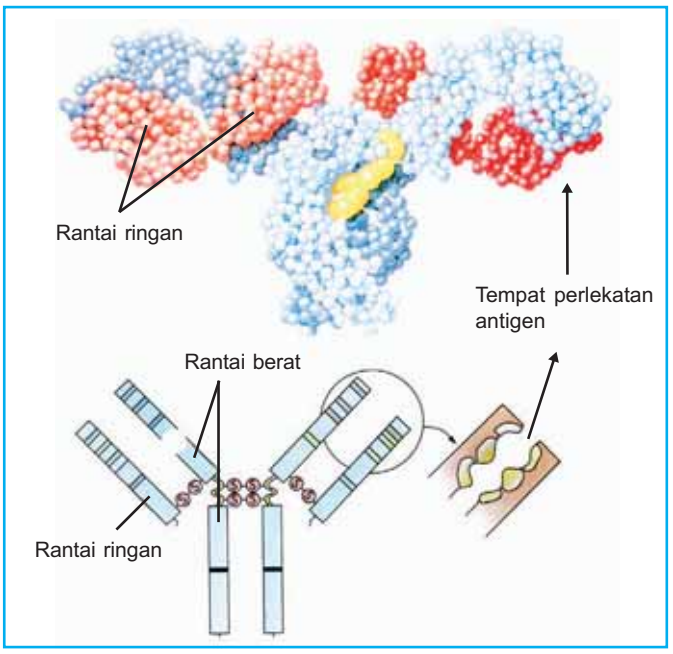
**Tuberculosis**

Sebenarnya pada saat imunisasi BCG, ke dalam tubuh Anda telah dimasukkan jenis bakteri dari galur *Mycobacterium boris* yang telah dihilangkan sifat patogennya. Imunisasi ini bertujuan untuk mencegah terjangkitnya penyakit tuberculosis.

Penyakit tuberculosis telah membunuh sekitar 3 juta orang pada tahun 1995. Penyakit ini harus diwaspadai sehingga imunisasi harus terus dilakukan.

## b. Struktur Antibodi

Setiap molekul antibodi terdiri dari dua rantai polipeptida yang identik, terdiri dari rantai berat dan rantai ringan. Struktur yang identik menyebabkan rantai-rantai polipeptida membentuk bayangan kaca terhadap sesamanya. Empat rantai pada molekul antibodi dihubungkan satu sama lain dengan ikatan disulfida (–s–s–) membentuk molekul bentuk Y. Dengan membandingkan deretan asam amino dari molekul-molekul antibodi yang berbeda, menunjukkan bahwa spesifikasi antigen-antibodi berada pada dua lengan dari Y. Sementara cabang dari Y menentukan peran antibodi dalam respon imun. Struktur antibodi dapat Anda amati pada Gambar 11.6 di samping ini untuk memudahkan dalam membayangkan bentuk antibodi.




**Sumber:** *Biology, Raven dan Johnson*

**Gambar 11.6**
Model struktur antibodi

## c. Cara Kerja Antibodi

Cara kerja antibodi dalam mengikat antigen ada empat macam. Prinsipnya adalah terjadi pengikatan antigen oleh antibodi, yang selanjutnya antigen yang telah diikat antibodi akan dimakan oleh sel makrofag.

Berikut ini adalah cara pengikatan antigen oleh antibodi.

### 1) *Netralisasi*

Antibodi menonaktifkan antigen dengan cara memblok bagian tertentu antigen. Antibodi juga menetralisasi virus dengan cara mengikat bagian tertentu virus pada sel inang. Dengan terjadinya netralisasi maka efek merugikan dari antigen atau toksik dari patogen dapat dikurangi.

### 2) *Penggumpalan*

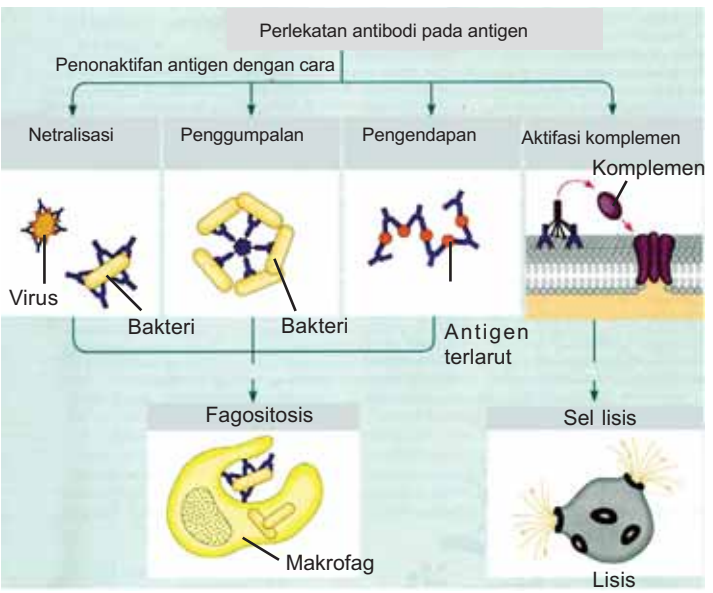
Penggumpalan partikel-partikel antigen dapat dilakukan karena struktur antibodi yang memungkinkan untuk melakukan pengikatan lebih dari satu antigen. Molekul antibodi memiliki sedikitnya dua tempat pengikatan antigen yang dapat bergabung dengan antigen-antigen yang berdekatan. Gumpalan atau kumpulan bakteri akan memudahkan sel fagositik (makrofag) untuk menangkap dan memakan bakteri secara cepat.

### 3) *Pengendapan*

Prinsip pengendapan hampir sama dengan penggumpalan, tetapi pada pengendapan antigen yang dituju berupa antigen yang larut. Pengikatan antigen-antigen tersebut membuatnya dapat diendapkan, sehingga sel-sel makrofag mudah dalam menangkapnya.

### 4) *Aktifasi Komplemen*

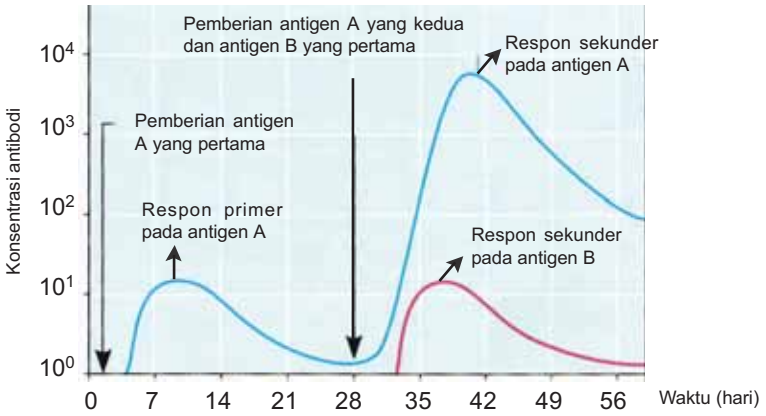
Antibodi akan bekerja sama dengan protein komplemen untuk melakukan penyerangan terhadap sel asing. Pengaktifan protein komplemen akan menyebabkan terjadinya luka pada membran sel asing dan dapat terjadi lisis. Perhatikan Gambar 11.7.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 11.7**
Reaksi antibodi pada antigen dan sel asing dalam penonaktifan antigen

Sistem imun dapat mengenali antigen yang sebelumnya pernah dimasukkan ke dalam tubuh, disebut memori imunologi. Dikenal respon primer dan respon sekunder dalam sistem imun yang berkaitan dengan memori imun. Berikut ini adalah gambaran respon primer dan sekunder.




**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 11.8**
Memori primer dan sekunder pada sistem imun

Gambar 11.8 menunjukkan bahwa setelah injeksi antigen A yang kedua, respon imun sekunder jauh lebih besar dan lebih cepat daripada respon primer. Dengan demikian respon sekunder sebenarnya lebih penting peranannya dalam sistem imun.

## Uji Kompetensi A

*Jawablah soal-soal berikut.*

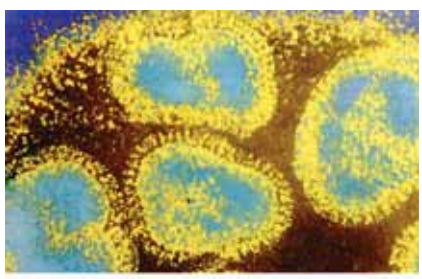
1. Apa saja yang menjadi alat pertahanan (kekebalan) tubuh?
2. Bedakan imunitas spesifik dan nonspesifik yang terjadi dalam tubuh manusia.
3. Jelaskan terjadinya proses peradangan bila terinfeksi bakteri.
4. Bagaimana protein komplemen dapat menghancurkan bakteri?
5. Apa tujuan dari imunisasi?

# B. Gangguan pada Kekebalan Tubuh

Anda tentunya pernah merasakan gangguan pada tubuh yang ditandai adanya rasa sakit, misalnya flu. Apa sebenarnya yang menyebabkan timbulnya suatu penyakit? Anda juga sering mendengar atau membaca penyakit AIDS. Bagaimana AIDS dapat menyerang manusia? Berikut ini akan dipelajari apa yang menyebabkan penyakit khususnya penyakit AIDS.

## 1. Penyebab Penyakit

Mikrobia yang menyebabkan penyakit disebut kuman penyakit (patogen). Mikrobia tersebut dapat berupa bakteria, jamur, maupun virus. Bakteri dan jamur sebagian bermanfaat bagi kehidupan manusia. Tetapi berbeda dengan virus, yang merupakan patogen memiliki sifat dapat menyebabkan penyakit. Sifat virus selalu hidup pada organisme hidup lain (sebagai parasit). Di dalam tubuh organisme lain, virus mampu berkembang biak secara capat dan dapat secara terus-menerus berubah membentuk strain baru yang tahan terhadap obat. Contoh penyakit yang disebabkan oleh aktivitas virus adalah influenza dan AIDS. Perhatikan Gambar 11.9.



**Sumber:** *Biology For You, Gareth Williams*

**Gambar 11.9**
Virus influenza

Mengapa tubuh manusia dapat menjadi tempat yang cocok untuk perkembangbiakan mikroorganisme?

Tubuh manusia memiliki suhu yang relatif stabil, mendekati pH netral, menyediakan pasokan makanan secara konstan, dan selalu menyediakan oksigen. Keadaan yang seperti itu sangat ideal bagi pertumbuhan dan perkembangan mikroorganisme. Mikroorganisme ini sebagian dapat menyebabkan penyakit. Mikroorganisme yang menyebabkan penyakit disebut sebagai patogen. Mikroorganisme dapat dikatakan sebagai patogen dengan syarat mampu masuk ke dalam tubuh, tumbuh berkoloni di dalam tubuh, tahan terhadap pertahanan tubuh, dan menyebabkan kerusakan pada jaringan tubuh yang ditempati.

Kuman dapat menyebabkan sakit dengan cara-cara sebagai berikut.

a. Merusak jaringan, misalnya *Tuberculosis* merusak jaringan paru-paru.
b. Mengeluarkan toksin, misalnya bakteri *Salmonella* yang menghasilkan racun pada makanan.

**Forum Diskusi**

Teman Anda mengalami sakit flu (influenza). Di kantin saat makan, Anda dan teman-teman yang lain duduk bersama dengannya. Hari berikutnya Anda dan ketiga teman Anda merasakan tidak enak badan. Setelah bersama-sama diperiksa, dokter mengatakan Anda dan teman-teman mengalami gejala flu, apa yang dapat Anda bahas dari kejadian di atas?

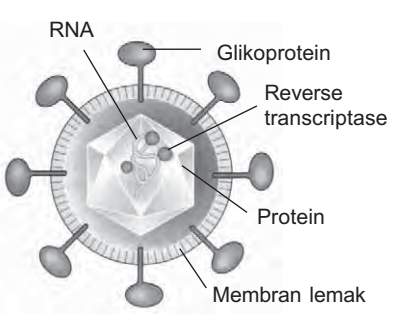
Kuman penyakit dapat menular dari orang yang terinfeksi ke orang yang masih sehat. Sebagai bentuk pencegahan, Anda disarankan untuk selalu berhati-hati dan menjaga kesehatan dengan melakukan beberapa usaha berikut.

a. Mencuci tangan sebelum memegang makanan yang akan dimakan.
b. Mencuci rambut dengan sampo.
c. Rutin mandi setiap hari.
d. Rutin menyikat gigi.

## 2. Penyakit AIDS

AIDS merupakan sekumpulan penyakit sebagai dampak dari melemahnya sistem kekebalan tubuh. Kekebalan tubuh dapat melemah karena mendapat serangan dari HIV (*Human Immunodeviciency Virus*). Perhatikan Gambar 11.10. Virus ini mampu menyerang dan merusak sel darah putih sehingga kemampuan tubuh dalam memerangi kuman penyakit menjadi berkurang. Orang yang terinfeksi virus HIV tidak selalu dikatakan positif mengidap penyakit AIDS tetapi bisa saja hanya sebagai pembawa (karier).

HIV dapat ditularkan oleh penderita ke orang lain melalui darah atau semen (sperma) dan cairan vagina. Apabila orang yang sehat melakukan hubungan seksual dengan orang karier




**Sumber:** *New Understanding Biology, Glenn dan Susan Toole*

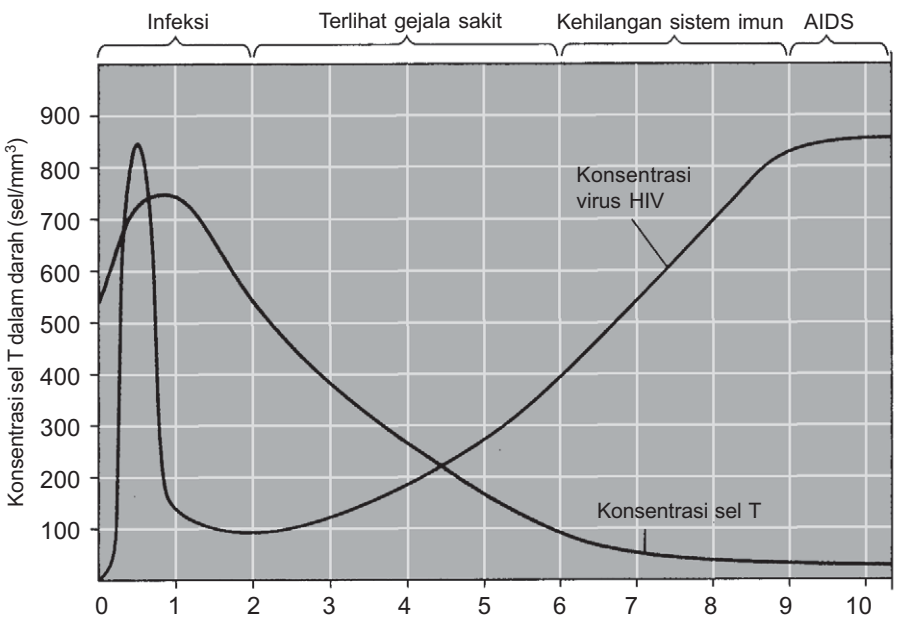
**Gambar 11.10**
Struktur virus HIV

HIV maka besar kemungkinan akan tertular virus HIV. Selain dengan hubungan seksual, virus HIV juga dapat menular dari ibu yang terinfeksi kepada bayi yang dikandungnya melalui plasenta.

Jarum suntik yang dipergunakan secara sembarangan juga berpotensi menjadi sarana penularan virus HIV. Hal ini dapat terjadi apabila seorang pengidap virus HIV menggunakan jarum suntik yang selanjutnya digunakan kembali oleh orang lain. Biasanya ini terjadi pada orang-orang pengguna obat-obat terlarang yang menggunakan jarum suntik secara bersama-sama. Jarum suntik yang telah dipakai dapat terkena darah orang yang memakainya, sedangkan darah dapat menjadi sarana penularan virus HIV.

Pencegahan dapat dilakukan dengan memakai kondom saat berhubungan seks, selalu menggunakan jarum suntik yang steril dan berhati-hati pada saat melakukan transfusi darah.

HIV menginfeksi sel yang permukaannya terdapat molekul CD4 sebagai reseptor. Infeksi dimulai ketika glikoprotein pada HIV membentuk tempelan ke reseptor CD4. Virus masuk ke sel dan memulai replikasi (memperbanyak diri). Sel terinfeksi dapat menghasilkan bentuk virus yang baru. Sel T menjadi target utama dari virus ini, sehingga efek utamanya adalah pada sistem imun. Selanjutnya sel-sel lain yang memiliki CD4 (beberapa makrofag), subklas sel B, juga dapat terinfeksi. Perhatikan Gambar 11.11.

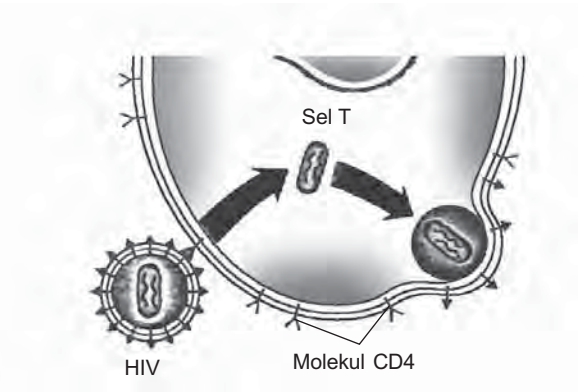



**Sumber:** *Biology, Campbell*

**Gambar 11.11**
Penurunan konsentrasi sel T seiring dengan bertambahnya waktu infeksi HIV

Sebenarnya pada awal-awal terjadi infeksi, sistem imun masih bekerja dengan baik sampai beberapa tahun. Akan tetapi sistem imun dalam tubuh menurun seiring dengan terakumulasinya varian baru dan antigen yang berbeda. Gambar 11.12 berikut dapat memperjelas apa yang sudah dipelajari sebelumnya.

**Sumber:** *New Understanding Biology, Glenn dan Susan Toole*




**Sumber:** *Biology, S.S. Mader*

**Gambar 11.12**
Infeksi HIV pada sel T

HIV menempel ke reseptor CD4 pada permukaan sel T dan masuk sel secara endositosis, kemudian memperbanyak diri. Selanjutnya keluar dari sel T dengan cara melisiskan sel atau dapat juga dengan cara eksositosis.

Setelah masa delapan tahun terinfeksi maka penderita HIV dapat menderita AIDS, dan mudah terserang penyakit jenis lainnya, seperti tuberculosis, kanker, melemahnya ingatan, dan kehilangan sistem koordinasi tubuh.

Mengapa orang yang terinfeksi virus HIV baru dapat mengetahuinya setelah beberapa tahun? Hal ini karena selama kurang lebih 8 tahun setelah terinfeksi HIV, penderita tidak merasakan gejala sakit. Virus HIV bersifat dorman dalam tubuh manusia, tetapi apabila berhubungan seks dengan orang lain, maka virus ini akan tertular pada orang lain.

Seseorang dapat mengetahui apakah terinfeks atau tidak dengan melakukan tes darah dan cairan tubuh. Harus diperhatikan juga bahwa HIV tidak ditularkan melalui kontak fisik.

Virus HIV akan cepat mati apabila berada di luar tubuh manusia, sehingga untuk dapat menular pada manusia lain, sperma, cairan vagina, dan darah harus segera berpindah pada tubuh orang lain tersebut.

## Forum Diskusi

Seorang pembantu rumah tangga mencuci pakaian majikannya yang ternyata merupakan seorang penderita HIV, diskusikan dengan teman satu kelompok mengenai keamanan pembantu tadi.

Apakah pembantu tadi dapat tertular HIV hanya dengan mencuci pakaian penderita? Apa yang sebaiknya dilakukan oleh pembantu tersebut?

Penanggulangan terhadap penyakit AIDS sudah banyak dilakukan. Pengobatan yang dilakukan pada dasarnya bertujuan untuk mengurangi penyakitnya dan sulit untuk menghilangkan penyakit AIDS. Oleh karena itu kita sebaiknya selalu berhati-hati agar tidak tertular virus HIV.

## Uji Kompetensi B

*Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa sebenarnya kuman atau bibit penyakit itu?
2. Bagaimana seseorang bisa mendapat kekebalan atau imun?
3. Jelaskan perbedaan sel B dan sel T.
4. Melalui apa saja HIV dapat ditularkan?
5. Apa saja akibat yang ditimbulkan apabila sudah terkena AIDS?

## Rangkuman

1. Sistem imun diperlukan dalam menjaga tubuh agar tidak terinfeksi oleh kuman penyakit. Sistem imun pada manusia terbagi menjadi sistem imun spesifik dan nonspesifik.
2. Imun secara spesifik dengan pembentukan antibodi oleh sel B dan sel T yang secara langsung menyerang sel penghasil antigen.
3. Imun nonspesifik terdiri dari pertahanan di permukaan tubuh atau organ, inflamatori, dan protein komplemen.
4. Kekebalan aktif dapat diperoleh setelah mengalami sakit atau dengan pemberian vaksin. Kekebalan pasif dapat diperoleh sejak dalam kandungan (berasal dari sistem imun ibu) dan dari kolostrum.
5. Mikroorganisme penyebab penyakit dapat dikenali dari antigen yang terdapat pada membran selnya dan dapat dimatikan dengan pembentukan antibodi.
6. HIV dapat menyerang sistem imun manusia dan dalam jangka waktu yang lama akan menimbulkan penyakit AIDS.
7. HIV dapat ditularkan melalui darah, cairan vagina, dan sperma yang terjadi pada saat transfusi darah dan hubungan seks.

## Evaluasi

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Mikroorganisme yang menyebabkab timbulnya penyakit di dalam tubuh disebut . . . .
   a. peradangan
   b. infeksi
   c. patogen
   d. imun
   e. lisosom
2. Sel yang berperang dalam sistem imun dengan ciri berukuran besar yaitu . . . .
   a. limfosit
   b. sel-T
   c. sel-B
   d. sel darah
   e. makrofag

3. AIDS disebabkan menurunnya jumlah sel tertentu dalam sistem imun, yaitu . . . .
   a. se-T
   b. sel-B
   c. sel NK (pembuluh alami)
   d. haemoglobin
   e. antigen

4. Manakah pernyataan berikut ini yang benar?
   a. Antibodi tertentu dapat mengenali beberapa kuman penyakit.
   b. Virus HIV dapat menyerang semua sel dalam tubuh manusia.
   c. Antibodi bekerja spesifik untuk antigen tertentu saja.
   d. Makrofag hanya berada di dalam organ tertentu saja.
   e. Kuman penyakit hanya dapat dibunuh oleh makrofag.

5. Pernyataan yang berkaitan dengan sistem imun berikut ini benar, *kecuali* . . .
   a. Kekebalan tubuh diatur oleh sistem saraf pusat.
   b. Udara yang dihirup melalui hidung dapat membawa kuman penyakit.
   c. Antibodi tidak selalu dapat menonaktifkan virus yang masuk.
   d. Imunisasi merupakan cara memperoleh kekebalan secara aktif.
   e. Seiring dengan bertambahnya waktu infeksi HIV, sistem kekebalan tubuh semakin berkurang.

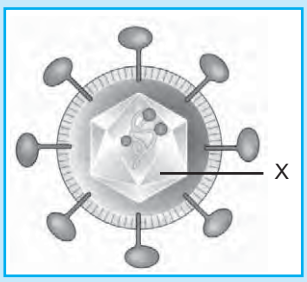
6. Proses keluarnya virus dari dalam sel terinfeksi dengan merusak dinding sel disebut . . . .
   a. ektoplasma
   b. eksositosis
   c. plasmolisis
   d. lisis
   e. replikasi

7. Virus HIV dapat ditularkan melalui . . . .
   a. air kencing, sperma, keringat
   b. keringat, kontak fisik, darah
   c. sperma, darah, keringat
   d. cairan vagina, air kencing, ludah
   e. cairan vagina, darah, sperma

8. Molekul yang dihasilkan oleh mikroorganisme sehingga dikenali oleh sistem imun disebut . . . .
   a. racun
   b. serum
   c. antibodi
   d. antigen
   e. protein komplemen

9. Sel B dihasilkan di dalam . . . .
   a. cairan darah
   b. sumsum tulang
   c. timus
   d. hati
   e. kulit

10. Perhatikan gambar struktur virus berikut ini.




Bagian yang ditunjuk dengan tanda X yaitu . . . .
   a. glikoprotein
   b. membran lemak
   c. RNA
   d. protein
   e. reverse transkriptase

11. Sistem imun diperoleh secara pasif melalui . . . .
   a. imunisasi
   b. pemberian ibu saat di kandungan
   c. serangan penyakit
   d. pemberian antibiotika
   e. konsumsi obat-obatan

12. Bakteri yang dapat menyebabkan rusaknya jaringan hati yaitu . . . .
   a. *Clostridium botulinum*
   b. *Eschericia coli*
   c. *Shigella*
   d. *Mycobacterium tuberculosis*
   e. *Salmonella*

13. Seseorang yang menderita sakit karena infeksi virus akan mengalami panas yang disebabkan . . . .
    a. peningkatan jumlah neutrofil untuk memakan virus
    b. peningkatan jumlah limfosit karena bereaksi dengan toksin
    c. peningkatan jumlah limfosit untuk menghasilkan antibodi
    d. penurunan jumlah leukosit untuk merespon antigen
    e. penurunan jumlah neutrofil karena banyak yang mati
14. Imunitas humoral dibentuk oleh . . . .
    a. sel T
    b. sel B
    c. neutrofil
    d. makrofag
    e. monosit
15. Zat asing yang masuk dalam tubuh disebut juga . . . .
    a. antibodi
    b. antigen
    c. virus
    d. bakteri
    e. protein asing

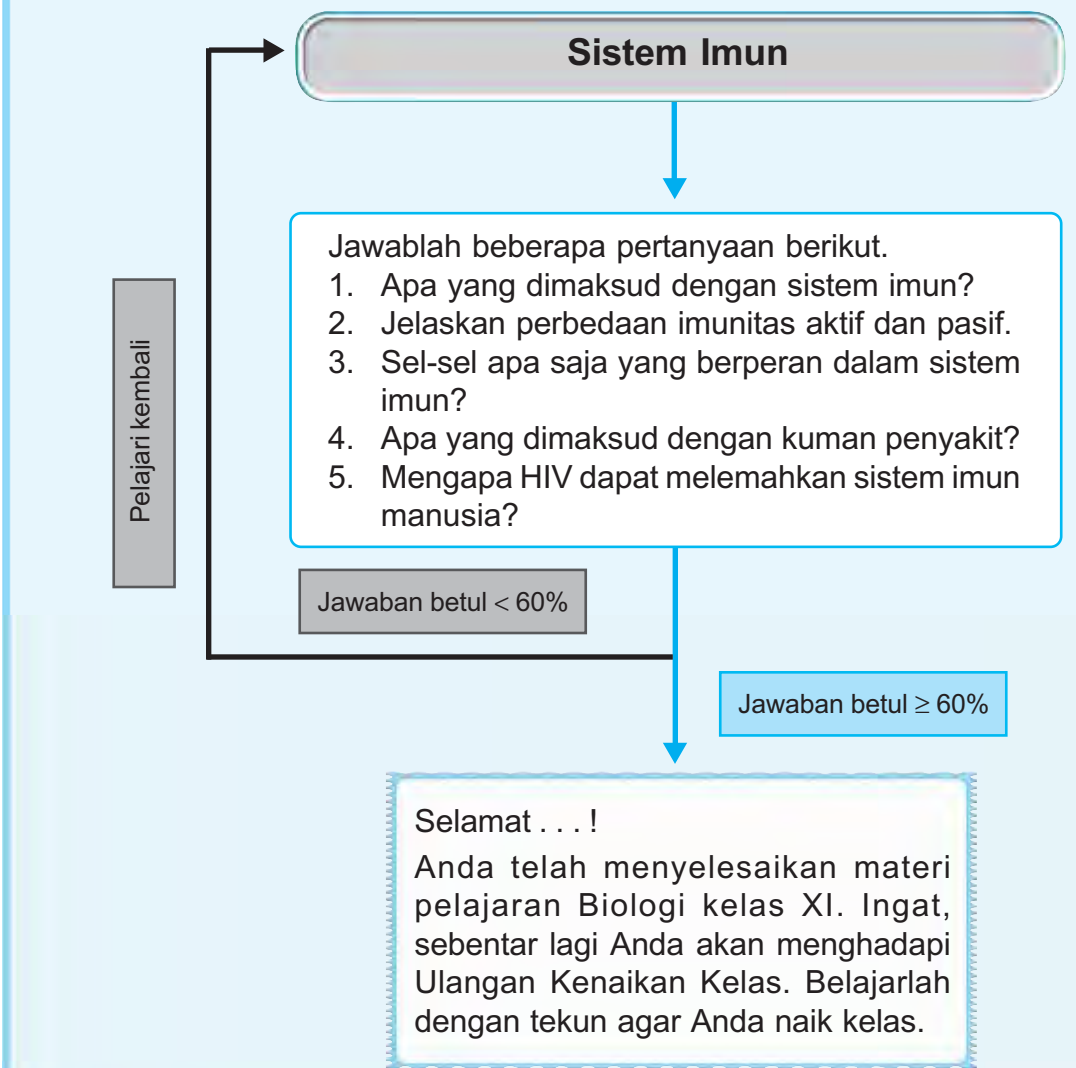
B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Apa yang dimaksud dengan imun?
2. Mengapa saluran pencernaan dan saluran udara rawan terinfeksi penyakit?
3. Apa peran makrofag dalam sistem imun?
4. Apa yang dimaksud dengan antigen dan antibodi?
5. Mengapa AIDS baru muncul setelah beberapa tahun terinfeksi HIV?

C. *Berpikir Kritis.*

Iman dan Amin dua anak bersaudara. Mereka naik sepeda bersama di jalan raya. Mereka terjatuh dari sepeda karena menabrak batu di tepi jalan. Akibatnya lutut mereka berdua mengalami luka. Sesampainya di rumah mereka berdua segera mengobati luka dengan obat merah. Pada pagi hari sesudahnya, lutut mereka terasa nyeri dan terjadi pembengkakan. Iman dan Amin mendatangi Anda, dan bertanya mengapa hal itu bisa terjadi pada lutut mereka. Anda diminta menjelaskan hal tersebut yang berkaitan dengan sistem imun di dalam tubuh kedua anak tersebut.

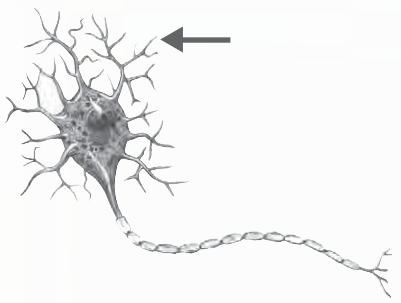
## Refleksi


Sistem Imun
Jawablah beberapa pertanyaan berikut.
1. Apa yang dimaksud dengan sistem imun?
2. Jelaskan perbedaan imunitas aktif dan pasif.
3. Sel-sel apa saja yang berperan dalam sistem imun?
4. Apa yang dimaksud dengan kuman penyakit?
5. Mengapa HIV dapat melemahkan sistem imun manusia?
Pelajari kembali
Jawaban betul < 60%
Jawaban betul ≥ 60%
Selamat . . . !
Anda telah menyelesaikan materi pelajaran Biologi kelas XI. Ingat, sebentar lagi Anda akan menghadapi Ulangan Kenaikan Kelas. Belajarlah dengan tekun agar Anda naik kelas.

# Latihan Ulangan Blok 4

A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Pada gambar di bawah, fungsi dari bagian yang ditunjuk yaitu . . . .



   a. menyalurkan impuls ke neuron lain
   b. menerima impuls dari neuron lain
   c. sebagai isolator
   d. mempercepat jalannya impuls
   e. meneruskan impuls dari badan sel ke sel-sel saraf yang lain

2. Ciri neuron sensorik yaitu . . . .
   a. struktur dendrit pendek
   b. struktur neurit panjang
   c. impuls berasal dari sistem saraf pusat ke efektor
   d. dendrit berhubungan dengan reseptor
   e. neurit berhubungan dengan efektor

3. Sistem saraf yang berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan sistem koordinasi yaitu sistem saraf . . . .
   a. pusat
   b. tepi
   c. simpatetik
   d. parasimpatetik
   e. kraniospinal

4. Bagian otak yang berfungsi untuk mengatur suhu tubuh yaitu . . . .
   a. serebrum
   b. serebelum
   c. hipotalamus
   d. medula spinalis
   e. medula oblongata

5. Saraf simpatetik berfungsi untuk . . . .
   a. memperlambat kerja organ tubuh
   b. mempercepat kerja organ tubuh
   c. menyampaikan informasi ke dan dari saraf pusat
   d. mengendalikan sistem koordinasi
   e. membawa neurotransmiter ke celah sinapsis

6. Kelenjar yang dikenal dengan *master of gland* yaitu . . . .
   a. tiroid
   b. adrenalin
   c. hipofisis
   d. paratiroid
   e. timus

7. FSH berfungsi untuk . . . .
   a. memacu perkembangan spermatogenesis
   b. menstimulasi estrogen
   c. menstimulasi sekresi air susu
   d. merangsang korteks adrenal untuk memproduksi kortiko steroid
   e. merangsang korteks otot pada uterus

8. Hormon yang berfungsi mengendalikan kadar kalsium dalam darah yaitu . . . .
   a. oksitosin
   b. tiroksin
   c. kalsitonin
   d. parathormon
   e. vasopresin

9. Penyakit atau kelainan pada mata yang disebabkan pengapuran pada lensa mata sehingga daya akomodasi berkurang dan penglihatan menjadi kabur yaitu . . . .
   a. katarak
   b. rabun senja
   c. presbiopi
   d. hipermetropi
   e. miopi

10. Hormon yang berfungsi dalam perkembangan organ seksual sekunder wanita yaitu . . . .
   a. androgen dan testosteron
   b. progesteron dan estrogen
   c. testosteron dan androgen
   d. tiroksin dan testosteron
   e. epinefrin dan tiroksin

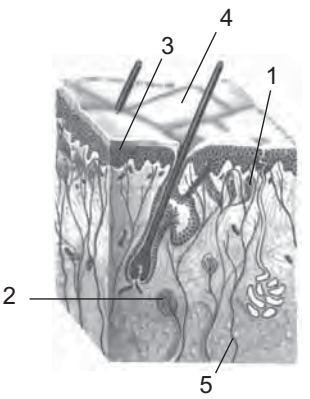
11.

   Bagian yang ditunjuk pada gambar di atas berfungsi untuk . . . .
   a. menerima rangsang cahaya
   b. melindungi bola mata dari kerusakan mekanis
   c. mengatur banyak sedikitnya cahaya yang masuk ke mata
   d. memfokuskan cahaya
   e. penyedia makanan bagi bagian mata yang lain

12. Pengaruh penggunaan morfin dan kokain dalam dosis yang tepat terhadap sistem saraf yaitu . . . .
    a. menimbulkan ketergantungan
    b. menekan rasa sakit
    c. menahan rasa sakit
    d. menghilangkan keragu-raguan
    e. menekan rasa malu

13. Organ yang berfungsi untuk meneruskan bunyi ke saraf auditori yaitu . . . .
    a. membran timpani
    b. koklea
    c. organ korti
    d. kanalis semisirkularis
    e. utrikulus

14. Bagian kulit yang merupakan saraf perasa tekanan kuat ditunjukkan oleh nomor . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5




15. Hewan yang dapat menghasilkan feromon yaitu . . . .
    a. ular
    b. katak
    c. semut
    d. cacing
    e. ulat

16. Saluran reproduksi internal pada laki-laki yang berfungsi untuk pemasakan sperma yaitu . . . .
    a. tubulus seminiferus
    b. kelenjar prostat
    c. vas deferens
    d. epididimis
    e. vesicula seminalis

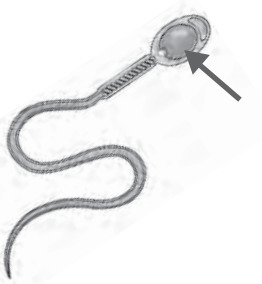
17. Pada tubektomi, organ yang dipotong kemudian diikat yaitu . . . .
    a. oviduk
    b. uterus
    c. ovarium
    d. vagina
    e. endometrium

18. Pada spermatogenesis,sel yang bersifat haploid yaitu . . . .
    a. spermatosit primer dan spermatosit sekunder
    b. spermatogonium dan spermatozoa
    c. spermatid dan spermatogonium
    d. spermatosit primer dan spermatid
    e. spermatid dan spermatozoa

19. Pengertian ovulasi adalah . . . .
    a. pembentukan sel telur oleh folikel
    b. pembuahan sel telur oleh sperma
    c. pelepasan sel telur dari ovarium
    d. pergerakan sel telur dalam oviduk
    e. pembentukan folikel awal

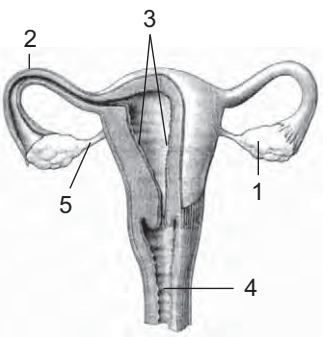
20. Jika seorang laki-laki dikhitan, organ yang dihilangkan yaitu . . . .
    a. testis
    b. penis
    c. vasa deferensia
    d. skrotum
    e. kelenjar prostat

21. Pada gambar di samping, bagian yang ditunjuk mengandung enzim . . . .
    a. amilasi
    b. endonuklease
    c. hialuronidase
    d. progesteron
    e. enterokinase



22. Proses ovulasi dipacu oleh hormon . . . .
    a. FSH
    b. LH
    c. estrogen
    d. progesteron
    e. gonadrotropin

23. Lapisan yang mengalami banyak pembuluh darah ditunjukkan oleh . . . .
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5




24. Bagian yang berfungsi untuk menyalurkan nutrisi dan melindungi janin dari patogen yaitu . . . .
    a. amnion
    b. korion
    c. alantois
    d. plasenta
    e. air ketuban

25. Bagian yang berfungsi mempengaruhi kontraksi dinding uterus yaitu . . . .
    a. plasenta
    b. amnion
    c. korion
    d. alantois
    e. kantong kuning telur

26. Hormon yang berfungsi mempengaruhi kontraksi dinding uterus yaitu . . . .
    a. relaksin
    b. estrogen
    c. prostaglandin
    d. oksitosin
    e. prolaktin

27. Berikut ini merupakan tujuan penggunaan alat kontrasepsi, *kecuali* . . . .
    a. melindungi diri dari PMS
    b. mencegah bertemunya sperma dengan sel telur
    c. mencegah kehamilan
    d. mengatasi sterilitas
    e. menghambat terjadinya ovulasi

28. Yang tidak termasuk mikroorganisme yang mengganggu organ reproduksi yaitu . . . .
    a. *Toxoplasma gandii*
    b. *Clamyda trachomatis*
    c. *Trichomonas vaginalis*
    d. *Neisseria gonorrhoea*
    e. *Salmonella typhi*

29. Vasektomi dapat menyebabkan . . . .
    a. sperma tidak diproduksi
    b. laki-laki menjadi mandul
    c. kemampuan ejakulasi menurun
    d. pengeluaran urine menjadi terhambat
    e. hormon seksual tidak diproduksi

30. Alat kontrasepsi yang digunakan untuk mencegah implantasi zigot yaitu . . . .
    a. kondom
    b. diafragma
    c. IUD
    b. spermisid
    e. pil

31. HIV dapat menyebabkan kematian karena virus ini dapat merusak . . . .
    a. trombosit
    b. eritrosit
    c. monosit
    d. limfosit
    e. sperma

32. Bila ada zat penyebab alergi masuk ke tubuh, makrofag akan melepaskan senyawa . . . .
    a. histamin
    b. histidin
    c. tromboplastin
    d. antitoksin
    e. aglutinin

33. Substansi berupa protein dan polisakarida yang mampu merangsang munculnya sistem kekebalan tubuh disebut . . . .
    a. antibodi
    b. serum
    c. antigen
    d. resipien
    e. aglutinin

34. Kekebalan primer diperoleh dari B-limfosit dan T-limfosit. Kedua kekebalan primer tersebut berbeda, dimana B-limfosit membentuk sistem imun dengan . . . dan mengalami pematangan di . . . .
    a. membentuk antibodi, sumsum tulang
    b. menyerang langsung sel penghasil antigen
    c. membentuk antibodi, kelenjar timus
    d. menyerang langsung sel penghasil antigen, sumsum tulang
    e. menyerang langsung sel penghasil antigen, limfa

35. Tempat pematangan sel T terjadi di . . . .
    a. sumsum tulang
    b. limpa
    c. timus
    d. hati
    e. kelenjar limfa

36. Imunitas spesifik dapat dilakukan oleh protein spesifik yang disebut dengan protein komplemen. Berikut ini pernyataan yang menyebabkan sel bakteri dapat hancur akibat kerja dari protein komplemen, *kecuali* . . . .
    a. komplemen menyerang membran bakteri
    b. komplemen membentuk lubang di dinding sel bakteri
    c. ion-ion Ca masuk ke dalam sel bakteri
    d. ion-ion Ca keluar dari sel bakteri
    e. garam-garam dari luar sel bakteri masuk ke dalam tubuh bakteri

37. Antibodi tertentu dapat masuk ke tubuh bayi lewat air susu yang pertama kali dari ibu yang diminumkan kepada bayi. Hal ini merupakan contoh dari kekebalan . . . .
    a. aktif alami
    b. pasif alami
    c. aktif buatan
    d. pasif buatan
    e. spesifik buatan

38. Fungsi sel T-limfosit yaitu . . . .
    a. membentuk sistem imunitas humoral
    b. menghasilkan antibodi
    c. membentuk sel pengingat (*memory cell*)
    d. fagositosis bakteri, virus, jamur secara langsung
    e. membentuk kekebalan tubuh dalam jangka panjang

39. Pertahanan tubuh dengan cara menimbulkan peradangan biasa dikenal dengan sebutan . . . .
    a. autoimunitas
    b. serum
    c. inflamatori
    d. imunitas spesifik
    e. komplemen

40. Pernyataan yang tidak benar mengenai reaksi peradangan adalah . . . .
    a. jika pembuluh darah robek, mastosit akan menghasilkan bradikinin
    b. histamin yang dihasilkan mastosit menyebabkan kapiler darah melebar
    c. neutrofil dan monosit menekan dinding kapiler lalu neutrofil memakan bakteri
    d. monosit berubah menjadi makrofag
    e. monosit menghasilkan histamin dan bradikinin

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Bagaimanakah mekanisme perjalanan gerak reflek pada tangan manusia yang terkena jarum?
2. Apakah fungsi otak besar dan otak kecil?
3. Mengapa kelenjar endokrin juga disebut kelenjar buntu?
4. Bagaimanakah mekanisme pengendalian kadar kalsium dalam darah?
5. Bagaimanakah mekanisme kerja indra pengecap?
6. Jelaskan tahap-tahap oogenesis.
7. Bagaimana proses terjadinya menstruasi?
8. Apakah keunggulan ASI dibandingkan dengan air susu biasa?
9. Bagaimana cara mengetahui masa fertil pada seorang wanita?
10. Jelaskan bagaimana cara menjaga kesehatan organ reproduksi.
11 Jelaskan perbedaan sistem imun spesifik dan non spesifik.
12. Apakah yang dimaksud dengan sistem imunitas humoral? Jelaskan.
13. Bagaimanakah cara kerja antibodi?
14. Bagaimana proses aktivasi protein komplemen?
15. Jelaskan tentang kekebalan aktif dan kekebalan pasif.

# Latihan Ulangan Kenaikan Kelas

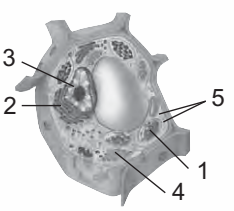
A. *Pilihlah salah satu jawaban yang tepat.*

1. Di bawah ini merupakan jenis-jenis perpindahan molekul pada sel.
   1) Endositosis
   2) Osmosis
   3) Difusi
   4) Eksositosis
   5) Pompa natrium ($Na^+$), kalium ($K^+$)

   Dari kelima jenis perpindahan molekul di atas yang termasuk perpindahan molekul dengan tipe transpor aktif terdapat pada nomor . . . .
   a. 1), 2), 3)
   b. 1), 3), 4)
   c. 1), 4), 5)
   d. 2), 3), 5)
   e. 2), 4), 5)

2. Retikulum endoplasma berfungsi untuk . . . .
   a. respirasi sel
   b. mensintesis lemak dan kolesterol
   c. pembawa informasi genetik
   d. melakukan pencernaan intrasel
   e. membentuk membran plasma

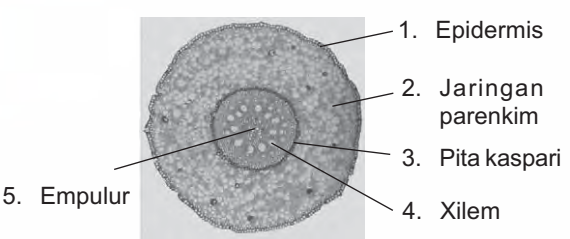
3. Organel sel tumbuhan yang tidak dimiliki oleh sel hewan ditunjukkan oleh nomor . . . .




   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

4. Bagian tanaman yang berfungsi mengangkut sari-sari makanan yaitu . . . .
   a. epidermis
   b. parenkim
   c. xilem
   d. floem
   e. empulur

5. Bagian yang berfungsi sebagai jaringan pelindung terdapat pada nomor . . . .




   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

6. Salah satu teknik yang digunakan untuk penyembuhan luka bakar yaitu . . . .
   a. transportasi
   b. transplantasi
   c. translokasi
   d. vaskularisasi
   e. kloning

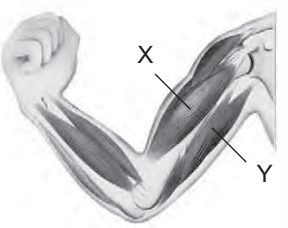
7.

   1 2 3

   Sel-sel apa sajakah ke-3 sel di atas?

| | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| a. | sel epidermis | sel darah putih | sperma |
| b. | sel epidermis | sel darah putih | sperma |
| c. | sel epidermis | keping darah | ovum |
| d. | sel palisade | sel darah merah | ovum |
| e. | sel palisade | sel darah merah | neuron |

8. Sistem organ yang berfungsi mengeluarkan hasil metabolisme berupa urine termasuk dalam sistem . . . .
   a. endokrin
   b. urinaria
   c. transportasi
   d. digesti
   e. respirasi

9. 


   Pada otot X dan Y, saat digunakan untuk mengangkat lengan dari posisi lurus seperti gambar di atas terjadi . . . .

| | Otot X | Otot Y |
|---|---|---|
| a. | kontraksi | kontraksi |
| b. | kontraksi | relaksasi |
| c. | ekspansi | kontraksi |
| d. | ekspansi | relaksasi |
| e. | relaksasi | kontraksi |

10. Orang yang terbiasa membawa beban berat sebelah kanan saja atau sebelah kiri saja dapat mengalami kelainan tulang yang disebut . . . .
    a. skoliosis
    b. lordosis
    c. kifosis
    d. rakhitis
    e. osteoporosis

11. Sendi engsel contohnya terdapat pada persendian. . . .
    a. tulang siku
    b. tengkorak
    c. tengkorak dengan tulang atlas
    d. antara ruas-ruas tulang belakang
    e. tulang paha dengan gelang panggul

12.
    1) 2) 3)

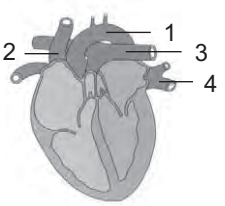
    Otot yang berfungsi sebagai dinding saluran alat-alat dalam terdapat pada nomor . . . .
    a. 1)
    b. 2)
    c. 3)
    d. 1) dan 2)
    e. 2) dan 3)

13. Tabel berikut yang menunjukkan karakteristik darah dalam pembuluh darah di tubuh.

| Konsentrasi Oksigen | Konsentrasi Karbon Dioksida | Tekanan |
|---|---|---|
| Tinggi | Rendah | Tinggi |

    Pembuluh darah yang menunjukkan karakteristik tersebut terdapat pada . . . .
    a. aorta
    b. vena porta hepatica
    c. arteri pulmonalis
    d. vena pulmonalis
    e. vena kava

14. Gambar di samping ini menunjukkan penampang melintang jantung mamalia. Nama-nama bagian jantung yang tepat diberi nomor yaitu . . . .




| | Aorta | Arteri Pulmonalis | Vena Pulmonalis | Vena Kava |
|---|---|---|---|---|
| a. | 1 | 2 | 3 | 4 |
| b. | 1 | 3 | 4 | 2 |
| c. | 2 | 4 | 3 | 2 |
| d. | 3 | 1 | 4 | 2 |
| e. | 3 | 2 | 1 | 4 |

15. Jantung katak terdiri dari . . . .
    a. lima pasang jantung pembuluh
    b. 3 ruangan, atrium kiri, atrium kanan, dan satu ventrikel
    c. 3 ruangan, ventrikel kiri, ventrikel kanan, dan satu atrium
    d. 4 ruangan, atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, ventrikel kiri dengan sinus venosus
    e. 4 ruangan, atrium kanan, atrium kiri, ventrikel kanan, ventrikel kiri tanpa sinus venosus

16. Komponen sel darah yang paling banyak mengangkut oksigen yaitu . . . .
    a. garam anorganik
    b. protein plasma
    c. keping darah
    d. sel darah merah
    e. sel darah putih

17. Kekurangan vitamin $B_1$ dapat menimbulkan penyakit . . . .
    a. rakitis
    b. beri-beri
    c. sariawan
    d. rabun senja
    e. pelagra

18. Urea merupakan hasil sisa metabolisme yang berasal dari . . . .
    a. selulosa
    b. lemak
    c. gliserol
    d. glukosa
    e. protein

19. Sebuah albumin telur diuji biuret. Pernyataan berikut yang dapat menunjukkan hasil uji tersebut beserta kesimpulannya yaitu . . . .

| | Hasil | Kesimpulan |
|---|---|---|
| a. | Biru kehitaman | Mengandung protein |
| b. | Biru kehitaman | Mengandung tepung |
| c. | Ungu | Mengandung protein |
| d. | Ungu | Mengandung gula |
| e. | Merah | Mengandung gula |

20. Urutan yang menunjukkan arah karbon dioksida saat meninggalkan tubuh yaitu . . . .
    a. alveolus → bronkiolus → bronkus → laring → trakea
    b. alveolus → bronkiolus → bronkus → trakea → laring
    c. alveolus → bronkus → bronkiolus → laring → trakea
    d. laring → trakea → bronkus → bronkiolus → alveolus
    e. trakea → laring → bronkus → bronkiolus → alveolus

21. Hasil terakhir dari respirasi anaerobik khamir berupa . . . .
    a. karbon dioksida dan etanol
    b. karbon dioksida dan asam laktat
    c. karbon dioksida dan air
    d. etanol dan asam laktat
    e. etanol dan air

22. Sistem pernapasan Arthropoda berupa . . . .
    a. sistem pembuluh trakea
    b. permukaan tubuh
    c. ostium
    d. insang
    e. paru-paru

23. Gangguan pernapasan yang memiliki gejala sakit tenggorokan, sulit menelan, demam, dan otot-otot terasa sakit yaitu . . . .
    a. tuberkulosis
    b. difteri
    c. pneumonia
    d. bronkitis
    e. tonsilitis

24. Fungsi kantong udara pada paru-paru untuk . . . .
    a. menyediakan daerah permukaan yang luas untuk pertukaran gas
    b. menghangatkan udara sebelum diambil oleh sistem peredaran darah
    c. menyaring bakteri yang membahayakan dari udara yang diambil oleh paru-paru
    d. memisahkan paru-paru dari bagian yang menyediakan oksigen dan bagian yang memindahkan karbon dioksida
    e. sebagai tempat pertukaran udara

25. Kapasitas vital paru-paru yaitu . . . .
    a. volume udara keseluruhan yang ada dalam paru-paru
    b. volume udara yang masuk setelah inspirasi biasa
    c. volume udara yang tersisa walaupun kita mengembuskan napas sekuat-kuatnya
    d. jumlah volume udara pernapasan biasa, udara cadangan inspirasi, dan udara ekspirasi
    e. jumlah volume udara yang masuk dan udara cadangan inspirasi

26. Ciri pernapasan dada pada waktu inspirasi yaitu . . . .
    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

27. Salah satu contoh ekskresi yaitu . . . .
    a. adanya glikogen dalam hati
    b. pengeluaran insulin dari pankreas
    c. pengeluaran saliva dari kelenjar saliva
    d. pengeluaran karbon dioksida dari paru-paru
    e. pengeluaran feses dari saluran pencernaan

28. Bila pada tes urine seseorang dengan menggunakan reagen biuret diperoleh warna ungu, dapat diduga bagian ginjal yang mengalami kelainan yaitu . . . .
    a. *glomerulus*
    b. *kapsula Bowman*
    c. *badan Malpighi*
    d. *tubulus kontortus*
    e. *vesika urinaria*

29. Lapisan kulit yang selalu tumbuh membentuk sel-sel baru terdapat pada . . . .
    a. *stratum korneum*
    b. *stratum lusidum*
    c. *stratum granulosum*
    d. *stratum germinativum*
    e. *vitreous humor*

30. Bagian ginjal yang terdapat banyak pembuluh darah disebut . . . .
    a. *kapsula Bowman*
    b. *lengkung henle*
    c. *columna bertini*
    d. *glomerulus*
    e. *prosescus ferini*

31. Urine seorang penderita *diabetus mellitus* mengandung kelebihan jumlah . . . .
    a. asam amino
    b. asam lemak
    c. glukosa
    d. tepung
    e. urea

32. Alat ekskresi hewan Vertebrata berupa ginjal metanefros terdapat pada . . . .
    a. Pisces dan Amphibia
    b. Pisces dan Aves
    c. Amphibia dan Reptilia
    d. Amphibia dan Aves
    e. Reptilia dan Aves

33. Alat ekskresi cacing tanah yaitu . . . .
    a. sel api
    b. vakuola kontraktil
    c. nefridium
    d. buluh Malpighi
    e. klitelum

34. Bagian otak yang merupakan tempat penyeberangan impuls dari alat tubuh bagian kanan ke kiri dan sebaliknya yaitu . . . .
    a. otak tengah
    b. otak kecil
    c. medula oblongata
    d. jembatan Varol
    e. hipotalamus

35. Sel makrofag dapat memakan sel-sel bakteri dan menghancurkannya dengan . . . .
    a. antibodi
    b. antigen
    c. lisosom
    d. histamin
    e. protein komplemen
36. Salah satu ciri dendrit yaitu . . . .
    a. berupa serabut panjang
    b. percabangan sedikit
    c. terbungkus oleh selaput lemak berwarna putih
    d. menerima impuls dari sel saraf yang lain
    e. menyampaikan impuls ke efektor
37. Saluran *eustachius* menghubungkan antara rongga mulut dengan . . . .
    a. rongga hidung
    b. telinga dalam
    c. telinga tengah
    d. telinga luar
    e. rumah siput
38. Bagian mata yang berfungsi untuk mensuplai nutrisi dan oksigen bagi retina disebut . . . .
    a. sklera
    b. kornea
    c. iris
    d. lensa
    e. koroidea
39. Ujung saraf *Paccini* peka terhadap rangsang . . . .
    a. nyeri
    b. panas
    c. tekanan
    d. dingin
    e. sentuhan
40. Hormon yang berperan dalam mengendalikan pertukaran kalsium dan fosfor dalam darah dihasilkan oleh kelenjar . . . .
    a. tiroid
    b. paratiroid
    c. hipofisis
    d. adrenal
    e. pankreas
41. Alat kelamin luar pada pria disebut . . . .
    a. testis
    b. duktus epididimis
    c. vesikula seminalis
    d. kelenjar kelamin
    e. penis
42. Rahim disebut juga . . . .
    a. tuba fallopii
    b. uterus
    c. ureter
    d. uretra
    e. ovarium
43. Pernyataan yang paling tepat di bawah ini mengenai *gametogenesis* pada manusia yaitu . . .
    a. Suatu proses yang terjadi pada oviduk dan vasa diferensia.
    b. Proses pembentukan gamet yang menghasilkan ovum dalam jumlah yang sama.
    c. Proses pembentukan sperma pada testis dan ovum pada ovarium.
    d. Pada wanita dihasilkan 1 ovum, pada laki-laki dihasilkan 4 sperma yang masing-masing diploid.
    e. Menghasilkan gamet yang memiliki jumlah kromosom yang sama dengan induknya.
44. Hormon yang merangsang kelenjar susu sehingga pada saat diperlukan siap berfungsi disebut . . . .
    a. oksitosin
    b. relaktin
    c. estrogen
    d. prolaktin
    e. LH
45. Prinsip kontrasepsi vasektomi pada laki-laki dan tubektomi pada wanita yaitu . . . .
    a. menghambat atau menghentikan terjadinya ovulasi secara hormonal
    b. menghambat bertemunya sperma dengan sel telur secara mekanik
    c. mencegah pertemuan sperma dan sel telur dengan mematikan secara kimiawi
    d. menghentikan disalurkannya sperma dan ovum dengan pengikatan atau pemotongan
    e. mengatur hubungan suami istri

B. *Jawablah soal-soal berikut.*

1. Jelaskan perbedaan sel prokariotik dan eukariotik.
2. Terangkan mekanisme terjadinya kontraksi otot.
3. Sebutkan beberapa fungsi hati dalam sistem pencernaan dan sistem transportasi.
4. Mengapa paru-paru sebelah kanan lebih mudah diserang penyakit dibanding paru-paru sebelah kiri?
5. Sebutkan 4 macam alat ekskresi beserta zat yang diekskresikan.
6. Sebutkan 4 faktor yang mempengaruhi banyak sedikitnya urine yang dikeluarkan dari dalam tubuh.
7. Jelaskan mekanisme kerja gerak refleks.
8. Sebutkan 4 macam sensasi rasa utama yang dimiliki lidah beserta letaknya.
9. Apa yang dimaksud dengan imunitas aktif? Berikan dua contoh imunitas aktif.
10. Buatlah skema spermatogenesis dan oogenesis pada manusia.

## Glosarium

**Adrenalin:** hormon yang dihasilkan kelenjar adrenal.

**Afferent:** saraf-saraf yang membawa rangsangan ke susunan saraf pusat.

**Afinitas:** kecenderungan suatu unsur atau senyawa untuk membentuk ikatan kimia dengan unsur atau senyawa lain.

**Air hidrasi:** persenyawaan suatu zat dengan air.

**Aktomiosin:** protein dalam otot yang terbentuk karena pautan dari protein aktin dan miosin dalam miofilamen yang memendek bila dirangsang sehingga otot mengerut.

**Alveolus:** saku-saku kecil berisi udara yang terdapat pada paru-paru Vertebrata, berdinding tipis, dikelilingi pembuluh darah, dan berfungsi sebagai tempat pertukaran oksigen dan karbon dioksida dalam proses pernapasan.

**Anastomosis:** perfusian beberapa cabang organ memanjang atau membenang seperti hifa dan pembuluh darah secara tidak teratur sampai terbentuknya jaring-jaring.

**Antagonis:** bekerja berlawanan, seperti kerja otot ekstentor yang bersifat meluruskan dan otot fleksor yang bersifat membengkokkan.

**Antibiotika:** senyawa yang dihasilkan suatu jasad renik yang dalam kadar rendah mampu menghambat atau merusak pertumbuhan.

**Antibodi**: protein imunoglobin atau molekul glikoprotein yang dihasilkan tubuh sebagai reaksi akibat masuknya suatu antigen.

**Antigen:** zat yang dapat merangsang pembentukan antibodi jika diinjeksikan ke dalam tubuh.

**Belli:** pusat otot yang memiliki kemampuan berkontraksi.

**Bifurkase:** bercabang dua.

**Bikonkaf:** mempunyai dua sisi yang cekung.

**Biner:** terjadi dari dua bagian atau ditandai oleh dua benda atau dua bagian.

**Cakraepifisis:** bagian tulang di antara epifisis dan diafisis yang masih dapat bertambah panjang.

**Dehidrogenasi:** pengurangan atom H dari suatu senyawa/substrat.

**Derivat:** turunan atau berasal dari suatu jaringan.

**Diafisis:** tulang bagian tengah.

**Diapedesis:** sel darah putih keluar dari kapiler ke jaringan melalui *junction* antarsel endotel dengan gerak amoebosid.

**Diapesis:** kemampuan menembus atau melewati dinding kapiler.

**Diferensial:** bersangkutan, menunjukkan, atau menghasilkan perbedaan.

**Diferensiasi:** pertumbuhan lebih khusus (lanjut).

**Difusi:** gerakan pasif molekul dalam larutan yang berkonsentrasi tinggi ke yang berkonsentrasi rendah.

**Diskus interkalaris:** batas antarsel pada otot jantung.

**Dosis:** kuantitas bahan yang dipakai dalam suatu perlakuan untuk setiap satuan luas, isi, atau berat yang akan menghasilkan efek optimum.

**Edaphik:** lingkungan yang dipengaruhi leh faktor kimia, fisika, dan biologi tanah.

**Efferent:** saraf-saraf yang membawa rangsangan.

**Ejakulasi:** pancaran sperma dari penis yang terjadi saat persetubuhan.

**Ekskresi:** pembuangan limbah yang dihasilkan metabolisme sel dari dalam tubuh hewan atau tumbuhan melalui saluran atau jaringan khusus.

**Ekspirasi:** proses pengeluaran udara pernapasan.

**Eksplan:** jaringan atau bagian suatu organisme yang ditumbuhkan pada medium buatan secara *in vitro*.

**Eksudat:** tetesan yang keluar dari badan atau organ melalui lubang atau pori tubuh.

**Elastis:** lentur.

**Elektrolit:** senyawa yang larutannya mampu menghantarkan arus listrik.

**Embrional:** berkaitan dengan janin atau embrio.

**Enzim:** zat kimia organik yang dihasilkan sekelompok sel tertentu dalam tubuh dan membantu mempercepat reaksi.

**Epifisis:** tulang bagian ujung.

**Epitelium:** jaringan sel hewan yang menutupi suatu permukaan atau melapisi suatu saluran rongga.

**Fagositik:** berkaitan dengan sel pemakan benda asing/partikel asing.

**Fagositosis:** proses yang terjadi pada sebuah sel yang mengelilingi partikel-partikel dari sekitar sel dengan sitoplasmanya.

**Fertilisasi:** penyatuan gamet jantan dan gamet betina untuk membentuk zigot.

**Filamen:** benda yang berbentuk seperti benang yang tipis.

**Frekuensi:** jumlah kejadian bahwa suatu jenis terdapat dalam sederetan cuplikan.

**Geografis:** berdasarkan iklim atau keadaan tertentu.

**Gliserol:** cairan kental tidak berwarna dan tidak berbau, rasanya manis, dapat bercampur dengan air dan alkohol, dan berasal dari lemak hewani atau nabati.

**Glomerulus:** jala pembuluh-pembuluh darah kapiler; bagian kapsul Bowman pada ginjal, berfungsi untuk menyalurkan air tubuh ke dalam ginjal menjadi air seni.

**Gradien:** perbedaan konsentrasi.

**Granula:** butir-butir kecil.

**Gutasi:** pengeluaran tetesan air dari permukaan tumbuhan tanpa pelukaan (biasanya dari daun).

**Hemin:** protein yang mengandung senyawa besi.

**Heriditas:** penurunan sifat genetik dari orang tua kepada anak.

**Hidrofit:** tumbuhan yang menjalani seluruh daur hidupnya di air atau tempat basah.

**Hipersekresi:** pengeluaran sekret (hormon) yang tidak terkontrol.

**Hipertonik:** mempunyai tekanan osmosis lebih tinggi daripada larutan lain.

**Hipotonik:** mempunyai keadaan tekanan osmosis lebih rendah daripada larutan lain yang menjadi pembandingnya karena konsentrasi ion yang dikandungnya rendah.

**Homogen:** mempunyai kemiripan atau persamaan.

**Homoiotermal:** hewan yang mampu mengatur suhu tubuhnya tanpa bergantung pada suhu lingkungan.

**Hormon:** suatu senyawa organik yang khas, disintesis oleh sel khusus suatu makhluk serta dalam konsentrasi rendah, dikirim ke bagian tubuh lain untuk membantu mengatur proses kehidupan sehingga terlihat pengaruhnya secara efektif di seluruh tubuh.

**Implantasi:** penempelan atau penanaman.

**Impuls:** pesan atau rangsangan kimia maupun fisik dari luar organ yang dialirkan melalui atau menyentuh selaput serabut saraf.

**Imun:** terbebas dari kemungkinan sakit karena tidak dapat diinfeksi.

**Imunisasi:** perlakuan yang diberikan kepada individu makhluk hidup untuk membuatnya kebal terhadap penyakit menular.

**Independen:** sendiri, mandiri, bebas.

**Infeksi:** kemasukan bibit penyakit, ketularan penyakit, masuknya parasit pada inang.

**Insang:** organ pernapasan pada binatang air tertentu.

**Insersio:** tendon yang melekat pada tulang yang bergerak.

**Inspirasi:** proses absorpsi oksigen oleh tumbuhan dan hewan.

**Jaringan:** gabungan sel yang mempunyai tugas dan fungsi sama.

**Kanalikuli:** penghubung antara lakuna yang satu dengan lainnya.

**Kapiler:** salah satu pembuluh darah halus yang bersama kapiler lain membentuk jalur-jalur pada bermacam-macam bagian tubuh.

**Karbon dioksida:** gas dalam jumlah kecil (sekitar 0,4%) berasal dari hasil pernapasan dan letusan gunung api.

**Karsinogenik:** zat yang dapat menimbulkan kanker.

**Katalase:** enzim yang mengurai hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

**Kelenjar:** organ atau struktur bersel yang menghasilkan bahan tertentu untuk dipakai di dalam tubuh atau untuk diekskresikan.

**Koloid:** zat yang berpencar dalam pelarut sebagai butir yang lebih besar daripada molekul, tetapi tidak dapat dilihat dengan mata.

**Kondroblas:** sel-sel pembentuk sel tulang rawan.

**Kondrosit:** sel-sel tulang rawan.

**Konsentris:** tersusun secara melingkar.

**Kontraksi:** pengerutan menjadi pendek pada otot sebagai reaksi terhadap perangsangan.

**Kotiledon:** kepingan biji yang merupakan daun pertama lembaga.

**Kutikula:** lapisan semacam zat lemak yang tidak dapat dilewati air pada lapisan luar dinding sel-sel epidermis tumbuhan.

**Lakuna:** ruang tempat sel-sel tulang berada.

**Lamela:** lapisan tipis atau struktur mirip lempeng.

**Lamina basalis:** lapisan jaringan ikat di dasar jaringan epitel.

**Letal:** menyebabkan kematian dengan proses kegiatan langsung.

**Ligamen:** pita jaringan yang kuat yang menghubungkan dua atau beberapa tulang yang dapat bergerak, umumnya terdapat pada daerah persendian untuk mencegah pergeseran persendian.

**Lignin:** senyawa aromatik yang bersama-sama selulosa mempertebal dinding sel tumbuhan sehingga membuat sel-sel tersebut kuat dan kaku.

**Limfosit:** tipe sel darah putih yang menyusun 25% sel darah putih manusia, tidak bersifat fag dan sangat mobil, berfungsi sebagai antibodi dan memperbaiki jaringan yang rusak.

**Makanan instan:** makanan siap saji.

**Makrofag:** leukosit fagosit besar berinti satu yang terdapat dalam jaringan tetapi berasal dari monosit darah, berfungsi mengangkat sisa-sisa sesudah kerusakan, bersifat katalisator dalam pembentukan antibodi.

**Matriks:** substansi pembentuk yang menjadi asal sel dan struktur lainnya; substansi antarsel pada jaringan.

**Menstruasi:** datang bulan.

**Mesenterium:** lipatan yang berfungsi mempertahankan atau menggantung organ-organ dalam tubuh pada posisinya.

**Metamorfosis:** transformasi struktur mencolok dalam perkembangan makhluk atau deretan perubahan bentuk beberapa kaki selama masa hidup serangga.

**Mimpi basah:** pengeluaran sperma secara tidak langsung yang disebabkan penuhnya sperma dalam testis.

**Modifikasi:** variasi yang terjadi karena faktor lingkungan.

**Morfologi:** cabang ilmu biologi yang mempelajari bentuk luar dan struktur makhluk hidup.

**Motil:** gerak aktif.

**Mukosa:** zat lendir.

**Neuron:** sel saraf.

**Noktah:** bagian dinding sel tumbuhan yang tidak mengalami penebalan.

**Oksidasi:** penggabungan suatu zat dengan oksigen.

**Oksihemoglobin:** hemoglobin yang mengikat oksigen.

**Oksigen:** unsur bertanda atom O, berupa gas tak berbau yang menyusun sekitar 20% udara di atmosfer dan sangat penting untuk proses kehidupan.

**Organik:** berkaitan dengan zat yang berasal dari makhluk hidup.

**Origo:** tendon yang melekat pada tulang yang tidak bergerak.

**Osifikasi:** proses pembentukan tulang dari tulang rawan menjadi tulang keras atau proses pengerasan tulang rawan.

**Osteoblas:** sel-sel penyusun tulang keras.

**Osteosit:** sel khas tulang dewasa yang berkembang dari osteoblas.

**Patogen:** parasit yang mampu menimbulkan penyakit pada inangnya; bahan yang mampu menghasilkan penyakit.

**Pektin:** polisakarida yang terbentuk dari galaktosa, asam galakturomat, xilosa, dan arabinosa, banyak terdapat pada dinding sel kulit dan daging buah.

**Perforasi:** melubangi, penembusan.

**Perikarion:** protoplasma yang terdapat di sekitar inti sel, berupa badan-badan sel saraf yang disebut siton.

**Pernapasan:** pertukaran gas antara suatu makhluk hidup dengan lingkungannya; respirasi.

**Pinositosis:** pengambilan atau penelanan butir-butir cairan dalam vesikula oleh suatu sel.

**Plasma darah:** cairan darah yang mengandung air, ion, dan protein.

**Plasmodesmata:** saluran yang menghubungkan dua sel.

**Pleura:** membran yang menutupi permukaan paru-paru mamalia.

**Post-ganglion:** setelah ganglion.

**Pre-ganglion:** di depan ganglion.

**Pseudopodia:** kaki semu.

**Pubertas:** masa akil balig.

**Reabsorpsi:** proses penyerapan kembali suatu zat ke dalam sel atau jaringan.

**Reseptor:** protein yang bertindak sebagai penerima suatu zat yang akan masuk atau merangsang sel.

**Resin:** suatu hasil ekskresi tumbuhan tertentu, bereaksi asam, dapat berupa benda padat yang amorf dan bening atau larutan dalam minyak esensial.

**Rileks:** dalam keadaan istirahat.

**Sarkomer:** satuan kontraktil yang menyusun miofibril otot lurik.

**Seeding:** tanaman baru yang masih kecil.

**Segmen:** satuan rangkaian yang pada dasarnya mempunyai struktur yang sama.

**Sekret:** produksi kelenjar.

**Selulosa:** polisakarida yang dihasilkan oleh sitoplasma sel tanaman dan yang membentuk dinding sel.

**Semen:** sekresi testis dan kelenjar pelengkapnya serta mengandung sperma.

**Skala:** perbandingan ukuran besarnya gambar dan sebagainya dengan keadaan sebenarnya.

**Silia:** suatu pertumbuhan dari ektoderm Eukariota tertentu yang berbentuk seperti rambut.

**Silikosis:** penyakit paru-paru akibat terhirupnya debu batuan yang mengandung silikat.

**Sinergis:** pasangan otot yang kerjanya saling menunjang.

**Sintesis:** reaksi kimia antara dua atau lebih zat membentuk suatu zat baru.

**Sirkulasi:** peredaran.

**Sistem Havers:** susunan sel-sel tulang yang membentuk suatu jaringan pada tulang kompak.

**Skeleton aksial:** skeleton yang merupakan sumbu tubuh.

**Skeleton apendikuler:** skeleton yang terdiri atas alat gerak tubuh.

**Sperma:** sel kelamin jantan atau gamet jantan pada manusia atau hewan.

**Spesialisasi:** proses perubahan fungsi sel.

**Spindel:** serat mikrotubulus berbentuk gelendong dan pada kedua kutubnya ada bintang kutub yang berisi sepasang sentriol.

**Spiral:** lilitan, pilin.

**Steril:** bersih dari kuman atau mikroorganisme; tidak dapat berkembang biak secara seksual maupun aseksual.

**Sterol:** alkohol tidak jenuh.

**Stimulus:** setiap organ baik internal maupun eksternal yang menyebabkan adanya reaksi atau perubahan pada makhluk hidup.

**Suberin:** lilin yang terbentuk pada dinding sel yang mengalami perubahan, seperti pada jaringan gabus.

**Subkultur:** biakan yang diturunkan dari biakan sebelumnya.

**Suspensi:** sistem koloid zat padat yang terserap dalam zat cair, yang partikel-partikelnya tidak mudah mengendap karena kecil ukurannya dan tidak mudah menggumpal.

**Tetanus:** kontraksi otot yang terus-menerus.

**Tonsil:** satu dari penggumpalan jaringan limfoid di dalam faring atau di dekat pangkal lidah.

**Transkripsi:** proses sintesis mRNA dengan menggunakan DNA sebagai acuan.

**Transpirasi:** pengeluaran air yang berlebihan dalam tumbuhan yang berbentuk uap air.

**Urine:** hasil ekskresi berupa cairan yang dikeluarkan oleh ginjal.

**Vaksin:** bibit penyakit yang sudah dilemahkan, dimatikan, atau dinonaktifkan.

**Vaskularisasi:** proses pembentukan pembuluh darah.

**Vesikel:** kantong kecil berisi cairan.

**Visera:** alat yang terdapat dalam rongga-rongga badan terutama dalam rongga perut.

**Xerofit:** tumbuhan yang hidup di daerah kering atau kekurangan air.

**Zat kitin:** zat tanduk setengah bening, terdapat dalam rangka luar yang berfungsi sebagai kulit.

# Daftar Pustaka


Abercrombie, M. dkk. 1993. *Kamus Lengkap Biologi*. Jakarta: Erlangga.

Anonim. 1996. *Hamparan Dunia Ilmu Time–Life: Dunia Tumbuhan. Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Tira Pustaka.

_____. 1971. *Ilustrated World of Science Encyclopedia 2*. Chicago: Creative World Publications, Inc.

_____. 2006. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah. Lampiran 3: Standar Kompetensi dan Kompetensi Dasar Mata Pelajaran Kimia untuk SMA/MA*. Jakarta.

_____. 2006. *Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2006 tentang Standar Kompetensi Lulusan untuk Satuan Pendidikan Dasar dan Menengah*. Jakarta.

Boon, L.K. dkk. 2002. *Essentials of Biology*. Singapore: SNP Pan Pacific Publishing pte Ltd.

Campbell, N. 1997. *Biology*. *Fourth Edition*. California: The Benjamin/Cimmings Publishing Company, Inc.

Duval, Ellen Neall. 1959. *Kinesiology: The Anatomy of Motion*. New York: Prentice–Hall, Inc.

Glenn, dan Susan Toole. 1999. *New Understanding Biology*. London: Stanley Thornes.

Hermaya, T. 1996. *Tubuh Manusia*. *Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Tira Pustaka.

Johnson, J. 2005. *100 Pengetahuan tentang Burung*. Bandung: Pakar Raya.

Junqueira, C. dan Jose Carneiro. 1980. *Histologi Dasar*. *Edisi ke-3*. Jakarta: CV. EGC Penerbit Buku Kedokteran.

Katchadourian, H. 1999. *Reproduction*. New York: Everyday Learning.

Kimball, J.W. 1988. *Biologi*. *Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.

Kwan, L.P. dan Eric Y.K. Lam. 2003. *Comprehensive Biology for "O" Level Science*. Singapore: Federal Publication.

Lawry, J.V. 1999. *Breathing*. New York: Everyday Learning.

Mader, S.S. 1998. *Biology*. *6th Edition*. New York: The McGraw–Hill Companies.

Nourse, A.E. 1980. *Pustaka Ilmu Life – Tubuh* (Terjemahan). Jakarta: Tira Pustaka.

Parker, S. 2002. *Ilmu Kedokteran*. *Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Balai Pustaka.

Pearce, Evelyn C. 1979. *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. Jakarta: Gramedia.

Poedjiadi, A. 1994. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: UI Press.

Purnomo. 2003. *Struktur dan Perkembangan Tumbuhan*. Yogyakarta: Fakultas Biologi Universitas Gadjah Mada.

Ramalingam, S. 1995. *Workbook Biology. Volume 1*. Singapore: Federal Publications.

Raven, and Johnson. 1996. *Biology*. *Fourth Edition*. New York: WBC/McGraw–Hill Companies, Inc.

Rutland, J. 1976. *Tubuh Manusia*. *Edisi Bahasa Indonesia*. Jakarta: Widyadara.

Soerodikoesoemo, W. 1987. *Petunjuk Praktikum Mikroteknik Tumbuhan*. Yogyakarta: Laboratorium Embriologi dan Mikroteknik Tumbuhan Fakultas Biologi UGM.

Solomon, Berg dan Martin. 1999. *Biology*. *Fifth Edition*. Philadelphia: Saunders College Publishing.

Tan, S.K. 1997. *G.C.E. "0" Level (Pure) Biology*. Singapore: Redspot Publishing.

Tjitrosoepomo, G. 1985. *Morfologi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

_____. 1989. *Taksonomi Tumbuhan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Van Cleave, Janice. 2004. *A+ Proyek-Proyek Biologi*. *Edisi Bahasa Indonesia*. Bandung: Pakar Raya.

Winokur, Morris. 1962. *General Biology*. New Jersey: Littlefield Adams & Co.

# Indeks


**A**
Abomasum, 181, 209–210, 212
Absorpsi, 184, 191–193, 203, 209
Aglutinogen, 147, 148, 170
Agranulosit, 144
Akar, 41, 42, 44, 46–62, 66, 68, 72–79
Akson, 287, 288, 290, 295–297, 316, 319
Aktin, 130, 135, 137
Alat gerak aktif, 114–115, 127
Alveolus, 151, 218, 221–223, 228, 230, 234, 235, 237, 248, 251–254
Amphibia, 139, 166, 169
Annelida, 274–276, 278
Anthrakosis, 234
Antibiotika, 235
Antigen, 147–150, 170
Aorta, 152, 154, 156, 164–166, 168, 170
Appendiks, 192–193
Appendisitis, 193
Arteri, 140, 152, 154–161, 163, 165–170
Asam,
- Asam amino, 190–192, 197–198, 202, 209–213, 215
- Asam lambung, 183, 188
- Asam lemak, 189–192, 194

Asfiksi, 234, 253
ASI, 336, 337
Asidosis, 200, 225
Asma, 224, 234, 236, 238, 255
Atom , 194
Atrium, 140, 152–154, 162, 164–171
Atrofi, 132, 137

**B**
Bakal buah, 68, 70
Basofil, 144
Batang, 41–44, 46, 48–50, 52–57, 61–64, 67–69, 72–73, 75–79
Bayi tabung, 339, 340, 347
Belalang, 240–242, 275–276, 278, 316
Berat badan, 205
Berkontraksi, 228, 229, 234, 241, 246, 247, 252, 253
Bolus, 186–188, 194, 209, 214
Bronkiolus, 221, 234, 247, 251–253, 255
Bronkitis, 234–236, 253
Bronkus, 221–222, 228, 234, 246–249, 251–253
Bunga, 44, 49, 51–52, 54, 66, 68–73, 79

**C**
Cacing tanah, 239, 240
Colum, 185
Corona, 185
*Corynebacterium diphteriae*, 234

**D**
Darah, 86–91, 93–95, 98, 100, 102, 105, 107
Daun, 41–51, 53–57, 59, 62, 65–69, 72, 73, 75–79
Defekasi, 184, 192–194, 212
Deglutisi, 183
Dendrit, 287–288, 290, 295–297
Derivat epidermis, 44, 46, 52, 61
Dermis, 268
Diafisis, 92
Diafragma, 341, 342, 347
Diare, 193, 201
Diastole, 140, 154–155
Dicotyledoneae, 43, 44, 52, 58–62, 64–67, 70–73, 76–79
Difusi, 1–2, 11–12, 16–17, 34, 35, 37, 38
Digesti, 183, 212
Duodenum, 188–190, 192, 213–214

**E**
Efektor, 287–288, 293, 298–297, 304
Ejakulasi, 325, 326, 329
Ekspirasi, 218, 223, 227, 228, 231– 232, 244–249, 251, 253, 255–256
Eksplan, 73–74
Email, 185
Embrio, 331, 333–335
Embrionik, 334–335
Emfisema, 234–236, 252, 253
Empedu, 190–191, 194, 198, 200, 206, 211, 213
Endodermis, 47, 53–54, 58–59, 61–62, 73, 78–79
Endokardium, 152
Endometrium, 330, 332–335, 337
Eosinofil, 144
Epidermis, 40–44, 46–49, 52, 53, 58–66, 69, 70, 75–79, 268, 277
Epifis, 91–92
Epitelium,
- Epitelium kelenjar, 86, 105
- Epitelium kompleks, 84–85
- Epitelium penutup, 86
- Epitelium simpleks, 84

Esensial, 204, 210, 215
Esofagus, 186, 187, 208–210
Estrogen, 331–333
Eukariotik, 1–2, 8–10, 21–27, 30, 34, 37, 38

**F**
Fagosit, 144, 145, 353, 355
Faring, 220, 222, 234, 244, 246, 247, 249, 251–253, 255
Faringitis, 234, 255
Fertilisasi, 324, 329, 331, 334, 335
Fetus, 334, 335, 338
Fibrinogen, 145–146, 170

Fisura, 124
Flame cell, 274, 276, 278
Floem, 40–43, 48, 50–53, 56–62, 64, 73, 75–79
Fotoreseptor, 306
Fotosintesis, 45, 48–50, 54–56, 65, 66, 68
Fraktura, 124
Frekuensi pernapasan, 218, 229, 230, 233, 238, 251, 253
FSH, 328, 331, 333, 337

**G**
Gastritis, 193
Glikogen, 196, 200
Glomerulus, 258–261, 263–264, 275–276
Gonorhoe, 343–344
Gutasi, 54, 57, 65

**H**
Hemofilia, 158, 169, 171
Hemoglobin, 142–143, 150, 158, 164, 169, 171, 223–224, 234
Hemoroid, 193
Herpes simplex, 339, 344
Hidronefrosis, 265, 276
Hidung, 219, 220, 222, 228, 234, 236, 246–247, 249, 251, 255
Histamin, 144, 157
HIV, 342, 343, 345, 346, 347, 350
Hormon gonadotropin, 328

**I**
Ileum, 189, 191, 213
Implantasi, 330, 332, 334
Imunitas nonspesifik, 351, 353, 356
Imunoglobulin, 352
In vitro fertilization, 339
Indra pendengar, 310–311
Infeksi, 326, 338
Inflamatori, 352, 355–356, 365
Ingesti, 183, 212, 275
Insang, 275
Intestinum,
- Intestinum crassum, 192
- Intestinum tenue, 192

IUD, 341–343, 347

**J**
Jantung, 139, 151–153, 158, 162–140, 151–168, 170–172
Jaringan,
- Jaringan epidermis, 41, 43–44
- Jaringan epitelium, 82–84, 86, 104–105, 107
- Jaringan floem, 50, 62
- Jaringan gabus, 43, 47, 63
- Jaringan kolenkim, 48–49, 52
- Jaringan meristem, 41–43
- Jaringan otot, 82, 94, 99, 104, 106–107
- Jaringan parenkim, 48, 51
- Jaringan pengikat, 82, 88–90, 104
- Jaringan saraf, 82, 95–96, 104
- Jaringan sklerenkim, 49, 50

**K**
Kanalikuli, 92–93, 107, 271
Kapsul Bowman, 259–261, 277
Karbohidrat, 181, 194, 195–196, 198–199, 201, 204–205, 216
Kartilago,
- Kartilago elastis, 91–92
- Kartilago fibrosa, 91–92
- Kartilago hialin, 91, 105

Kelenjar,
- Kelenjar eksokrin, 86
- Kelenjar endokrin, 86
- Kelenjar keringat, 258, 2, 211

Kemandulan, 338
Klamidia, 344
Kolon,
- Kolon ascendens, 192, 193
- Kolon descendens, 192, 193
- Kolon transversum, 192, 193

Kondrosit, 116, 135
Konstipasi, 193, 215
Kulit, 257–259, 267–270, 272–273, 275–279

**L**
Laktase, 191
Laktosa, 191
Lakuna, 91–93, 107
Lambung, 181–183, 186–90, 193, 194, 203–204, 208–209, 211–216
Lemak, 181–192, 194, 196, 198–207, 209, 211, 213–214
Lengkung Henle ascending, 260, 262
Lensa mata, 286, 307
LH, 328, 331, 333
Limfa, 84, 89–90, 94, 145, 160–162, 169–171, 358
Limfosit, 141, 144, 169, 170, 353, 356, 358, 365, 367
Lipid, 198, 212
Lordosis, 125, 136

**M**
Makroelemen, 202
Maltosa, 186, 191, 196, 213
Mastikasi, 183, 212
Mata, 286–287, 291, 293–294, 297–298, 302
Medula oblongata, 290, 292–294
Mikroskop,
- Mikroskop cahaya, 1, 4–7, 34
- Mikroskop elektron, 4–7, 19, 34

Miokardium, 152
Miosin, 130, 135, 137
Monosit, 144, 170
Mukosa, 186, 190, 193, 214

**N**
NaCl, 262
Narkotika, 299
Nefritis, 264, 276, 278
Nefron duxtamedular, 260
Neurit, 287, 288
Neuroendokrin, 300
Neuron motorik, 288–289, 292, 294, 297–298
Neutrofil, 144

**O**
Obesitas, 196
Oksitosin, 336, 337
Omasum, 181, 209–210, 212
Origo, 128, 129, 130, 135, 137
Osifikasi kondral, 121, 133
Osmosis, 1–2, 11–12, 14–15, 17, 35–34, 37–38
Osteoporosis, 114–115, 125
Otak besar, 289, 290
Osteosit, 92–93, 116, 122, 135
Otak besar, 290–291, 294, 301
Otot lurik, 113–114, 127–128, 130, 134–136, 138

**P**
Pankreas, 190–191, 204, 206, 211–213
Pencangkokan ginjal, 266
Pepsin, 188–189, 191, 197–198, 209–211, 213
Pepsinogen, 188–189, 210–211
Peptidase, 191, 197
Pepton, 188, 213
Perikardium, 91, 106, 116, 117, 135, 152, 163, 166
Peristaltik, 187, 191–192, 194, 214
Pisces, 139, 165, 169
Planaria, 274, 276, 278–280
Platyhelminthes, 274
Pronasi, 129, 137
Proses kimiawi, 183
Proses mekanis, 183
Prostaglandin, 336
Protein,
    Protein hewani, 197, 211
    Protein nabati, 197, 211
Proteosa, 188
Protrombin, 145, 170
Pulau-pulau langerhans, 191

**R**
Radix, 185
Rakhitis, 125
Rangka, 113–115, 118–119, 126, 128, 130, 132–138
Reabsorpsi, 258, 261–264, 273, 276
Reptilia, 167, 169
Resipien, 140, 148
Retikulum, 181, 209–210, 212
Rhesus, 149, 162
Rumen, 181, 209–210, 212, 214
Ruminansia, 182, 207, 209, 211–212, 215

**S**
Saraf, 287–291, 293–300
Sarkomer, 130, 135
Sekresi 26–263, 273, 275–276
Sekum, 208, 210, 214
Sel, 1, 3–13, 15–16, 18–21, 23, 26–29, 31–36, 38
Sel B, 352, 358, 363, 365–367
Sel Schwann, 288
Sel T, 352, 358, 363, 364, 365, 367
Selubung mielin, 288
Sembelit, 193
Sendi, 114, 116, 120, 122–124, 126, 133, 135, 136–138
Serabut, 88–90, 92, 105–106, 116, 118, 121–122, 128, 137
Serum, 147–149, 170
Sfinkter pilorus, 188–189
Sinartrosis, 122, 135–136
Sirkulasi limfa, 161–162, 169
Sirosis hati, 272–273, 276, 280
Sistem Havers, 93
Sistem saraf pusat, 289, 290, 293, 299
Stratum corneum, 268, 277
Streptococcus, 264
Substansi grissea, 290, 292, 293
Sukrase, 191
Sumsum, 117–118, 122

**T**
Tendon, 128, 129–130, 135
Testosteron, 326, 328
Tonus, 131, 137
Trombokinase, 145, 170
Trombosit, 140, 142, 145, 161, 169–171
Tulang belakang, 115, 118–120, 123, 133, 136–137
Tulang keras, 90–93
Tulang rawan, 113–123, 126, 134–135
Tulang rusuk, 118, 120, 136
Tulang tengkorak, 118–119, 125, 135–136

**U**
Urea, 261–263, 266, 275, 277–278
Urine primer, 261, 273, 276–277
Usus,
    Usus besar, 181, 192–193, 210, 211
    Usus halus, 181, 187, 189–191, 193, 210–211, 213
Usus halus 208–209, 211, 213

**V**
Valvula,
    Valvula bikuspidalis, 152–153, 168, 170
    Valvula trikuspidalis, 152–153, 170
Varises, 158, 169
Vena, 169
Ventrikel, 152–154
Vitamin, 181, 191–192, 194, 199–207, 213–214

# Kunci Jawaban Soal-Soal Terpilih

## Bab I Struktur dan Fungsi Sel

A. 1. d 8. b 16. d 22. d 27. c
4. d 12. d 19. a 24. a 30. d

B. 1. Fungsi membran sel:
- sebagai reseptor rangsang dari luar,
- melindungi isi sel agar tidak keluar dari sel,
- mengontrol zat-zat yang masuk maupun keluar dari sel,
- tempat terjadinya reaksi oksidasi dan respirasi.

5. Tipe plastida:
- kloroplas:
  plastida yang mengandung pigmen hijau.
- kromosom:
  plastida yang mengandung pigmen nonfotosintetik.
- leukoplas:
  plastida yang tidak berwarna.

7. Pada sel eukariotik, ribosom terdapat bebas dalam sitoplasma atau terikat RE.
9. Tipe leukoplas berdasarkan fungsinya:
- amiloplas untuk menyimpan amilum,
- elaioplas/lipidoplas untuk membentuk dan menyimpan lemak,
- proteoplas untuk menyimpan protein.

## Bab II Struktur dan Fungsi Jaringan Tumbuhan

A. 1. c 7. b 15. a 21. b 27. a
4. b 12. a 19. c 24. e 30. b

B. 3. Modifikasi akar:
- akar udara pada anggrek untuk mengikatkan diri pada tumbuhan inangnya,
- akar nafas (pneumatofor) pada *Sonneratia* untuk bernafas,
- akar parasit atau akar isap pada benalu untuk menyerap air dan makanan dari tumbuhan inang,
- akar penyimpanan makanan pada wortel,
- akar penyimpanan air pada Cucurbitaceae.

5. Karena jaringan klorenkim mengandung banyak kloroplas.
7. Air masuk ke silinder pusat melalui sel penerus air (sel endodermis yang dindingnya tidak menebal).
9.

| Organ | Dikotil | Monokotil |
|---|---|---|
| Batang | Xilem terletak di bagian dalam, sesudah kambium. | Antara xilem dan floem tidak dibatasi kambium. |
| Akar | Xilem terletak di tengah dan berbentuk menjari dikelilingi floem. | Xilem terletak berdampingan dengan floem dan xilem berada disebelah luar. |

## Bab III Struktur dan Fungsi Jaringan Hewan

A. 1. c 6. d 12. c 24. b 28. e
4. d 8. a 22. a 26. d 30. c

B. 2. Epitelium kubus selapis, epitelium silindris selapis, epitelium kubus berlapis, epitelium silindris berlapis.

4. Ciri-ciri dari kartilago hialin yaitu:
- matrik berwarna putih kebiru-biruan,
- terdapat di ujung tulang keras, cakram epifisis, persendian, saluran pernafasan,
- berfungsi memberi kekuatan, menyokong rangka embrionik, membantu pergerakan persendian.

Ciri-ciri dari kartilago elastis yaitu:
- matrik berwarna keruh kekuning-kuningan,
- terdapat di epiglotis, daun telinga, bronkiolus,
- berfungsi memberi fleksibilitas dan sebagai penyokong.

6. Epitelium melakukan penyerapan zat ke dalam tubuh dan mengeluarkan zat dari dalam tubuh, misalnya epitelium pada alveolus paru-paru untuk keluar masuknya $O_2$ dan $CO_2$.
8. Karena bahan dasarnya terdiri dari mukopolisakarida sulfat dan asam hialuronatnya tinggi dan akan bersifat kaku jika mukopolisakaridanya tinggi.

## Bab IV Sistem Gerak pada Manusia dan Hewan Vertebrata

A. 1. c 6. c 11. b 15. a 20. b
4. e 8. e 13. b 17. b 25. c

B. 1. Tetanus merupakan otot yang terus-menerus berkontraksi sedangkan tonus merupakan kontraksi maksimum pada otot, yang disebabkan otot tidak berelaksasi.

2. Tulang pada orang dewasa tidak dapat mengalami pertumbuhan lagi karena bagian cakraepifisis sudah terjadi penulangan, dan tidak terjadi aktivitas pemanjangan tulang.
5. Otot dapat berkontraksi karena bagian aktin dan miosin bertautan dan saling menggelincir satu sama lain, sehingga terjadi pemendekan pada zona H dan pita I dan ini mengakibatkan sarkomer memendek. Hal ini terjadi pada keseluruhan bagian otot, sehingga otot dapat memendek atau terjadi kontraksi.

## Bab V Sistem Sirkulasi Darah pada Manusian dan Hewan

A. 1. d 6. b 11. c 17. a 21. d
3. d 8. c 14. a 19. c 25. b

B. 1. Orang yang akan menerima darah tersebut bergolongan darah B memiliki aglutinogen A. Aglutinogen A ini tidak sesuai dengan aglutinin A pada resipien. Apabila darah golongan A dicampur dengan darah golongan B maka dapat terjadi ketidakcocokan sehingga dapat terjadi penggumpalan darah.

4. Di antara sekian banyak hewan terdapat hewan yang di dalam darahnya tidak mengandung hemoglobin, yaitu serangga. Darah serangga tidak mengandung hemoglobin karena tidak digunakan untuk pengangkutan oksigen, hanya digunakan untuk pengangkutan sari makanan.
5. a. Pada sirkulasi darah terbuka darah dan cairan lainnya tidak selamanya diedarkan melalui pembuluh darah, sedangkan pada sirkulasi darah tertutup darah yang beredar ke seluruh jaringan tubuh dan kembali ke jantung selalu melalui pembuluh darah.
   b. Pada sirkulasi darah tunggal, dalam satu kali peredaran di dalam tubuh, darah hanya melewati jantung satu kali saja. Sedangkan pada sirkulasi darah ganda, dalam satu kali periode peredaran di dalam tubuh, darah melewati jantung sebanyak dua kali.

## Bab VI Sistem Pencernaan Makanan

A. 1. a 6. b 10. b 20. c
4. b 8. c 18. e

B. 2. Sumber vitamin B3 yaitu hati, daging ikan, dan beras. Vitamin B3 berfungsi untuk membentuk koenzim A, berperan dalam sintesis hormon, dan menjaga kestabilan gula darah.
10. Hewan Ruminansia memiliki struktur gigi yang khusus, yaitu:
   a. Gigi serinya memiliki bentuk yang sesuai untuk menjepit makanan.
   b. Tidak memiliki gigi taring (gigi taring tidak berkembang).
   c. Gigi geraham berbentuk datar dan lebar.
15. Pada saat sapi makan, makanan disalurkan dari mulut ke rumen melalui kerongkongan. Terjadi pencernaan di rumen, lalu makanan dikembalikan ke mulut untuk dikunyah lagi. Makanan disalurkan kembali ke rumen untuk selanjutnya mengalami pencernaan di retikulum – omasum – abomasum.
   Pada saat sapi minum, air dari kerongkongan langsung menuju abomasum melewati saluran di antara rumen dan retikulum, sehingga air melalui mulut – esofagus – omasum – abomasum.

## Bab VII Sistem Pernapasan pada Manusia dan Hewan

A. 1. c 5. a 9. d 18. a 20. c
3. b 7. a 14. b 16. c 29. c

B. 3. Makhluk hidup perlu melakukan proses pernapasan karena tubuh yang tersusun dari sel-sel membutuhkan oksigen. Oksigen digunakan oleh sel untuk pembakaran zat-zat makanan (respirasi) sehingga dihasilkan energi.
10. Fungsi kantong udara pada waktu burung terbang yaitu:
   a. Membantu pernapasan dengan cara menyimpan oksigen cadangan.
   b. Membantu mempertahankan suhu badan.
   c. Mengatur berat jenis tubuh.

## Bab VIII Sistem Ekskresi pada Manusia dan Hewan

A. 2. b 8. d 13. d 17. c
4. d 10. e 15. b

B. 4. Kulit terdiri dari lapisan-lapisan yaitu epidermis dan dermis. Epidermis terdiri dari lapisan-lapisan (stratum) sebagai berikut.
   a. Stratum germinatium berfungsi untuk membentuk sel-sel kulit baru ke arah luar dan membentuk melanin yang mampu melindungi jaringan kulit dari bahaya sinar ultraviolet.
   b. Stratum granulosum, sebagai tempat akumulasi kreatin yang menyebabkan sel-sel pada lapisan ini mati.
   c. Stratum corneum, sebagai lapisan paling luar (pada permukaan kulit).
   Dermis berfungsi sebagai tempat pembuluh darah, folikel rambur, kelenjar minyak, kelenjar keringan, dan serabut saraf.

## Bab IX Sistem Koordinasi pada Manusian dan Hewan

A. 1. b 5. b 12. e 22. b 27. e
3. a 9. a 14. a 25. c 30. d

B. 3. *Master of gland* adalah kelenjar yang dapat mempengaruhi aktivitas kelenjar lainnya. Kelenjar yang juga disebut *master of gland* yaitu kelenjar hipofisis.
5. Lensa mata akan memipih apabila digunakan untuk melihat benda-benda jauh dan akan mencembung apabila benda yanga dilihat dekat. Kemampuan lensa mata untuk memipih dan mencembung ini disebut daya akomodasi.

## Bab X Sistem Reproduksi

A. 1. b 5. a 13. c 18. d
3. a 12. b 17. c

B. 2. Keunggulan ASI dibandingkan susu instan yaitu.
   a. ASI bebas dari patogen (steril).
   b. ASI mengandung bifidus faktor yang dapat membantu perkembangbiakan *Lactobacillus bifidus* yang dapat memerangi bakteri jahat.
   c. ASI mengandung *acid docosa hexanic* dan *acid arachi donic* yang berguna untuk membangun sistem saraf.
   d. ASI yang pertama keluar (kolostrum) mengandung protein tinggi, mengandung antibodi.

## Bab XI Sistem Imun

A. 2. e 4. c 6. d 11. b 12. b

B. 2. Saluran pencernaan dan saluran udara rawan terkena infeksi karena saluran ini setiap harinya dilewati oleh bahan makanan dan udara. Di dalam makanan dan udara sering ditemukan berbagai mikroorganisme yang dapat dapat bersifat patogen.

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

## Mengembangkan Keterampilan Proses

Banyak siswa merasa gagap saat memasuki dunia baru, yaitu dunia kerja atau jenjang pendidikan yang lebih tinggi. Mereka merasa telah membawa cukup bekal, tetapi kenyataannya bekal itu belum memadai. Mereka akhirnya hanya berdiri di persimpangan di antara dua dunia itu. Apakah yang kurang dari mereka? Salah satunya karena kurangnya keterampilan proses. Seharusnya mereka mendapatkan keterampilan proses itu saat menempuh pelajaran IPA di bangku sekolah.

Biologi sebagai salah satu bidang IPA yang menyediakan berbagai pengalaman belajar untuk memahami konsep dan proses sains (IPA). Keterampilan proses itu meliputi keterampilan mengamati, mengajukan hipotesis, serta menggunakan alat dan bahan secara baik dan benar dengan selalu mempertimbangkan keamanan dan keselamatan kerja. Bukan hanya itu, Biologi juga mengajarkan keterampilan mengajukan pertanyaan, menggolongkan dan menafsirkan data, mengkomunikasikan hasil temuan secara lisan atau tertulis, serta memilah dan memilih informasi faktual yang relevan untuk menguji gagasan-gagasan atau memecahkan masalah sehari-hari. Semua keterampilan itu dapat diperoleh melalui kegiatan pembelajaran di sekolah. Bagaimana aplikasinya dalam buku pelajaran?

Buku pelajaran sebagai media pembelajaran sudah seharusnya sejalan dengan proses pembelajaran di sekolah. Oleh karena itu, buku harus menyediakan media untuk mengembangkan keterampilan proses. Sehubungan dengan tujuan itu, buku Biologi ini disusun dengan mengutamakan perolehan keterampilan proses siswa. Akhirnya setelah pembelajaran usia, siswa benar-benar telah siap menghadapi dunianya yang baru, dunia kerja atau jenjang pendidikan yang lebih tinggi.

ISBN 978-979-068-831-5 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-836-0

**Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran Yang Memenuhi Syarat Kelayakan Untuk Digunakan Dalam Proses Pembelajaran.**

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp29.242,–