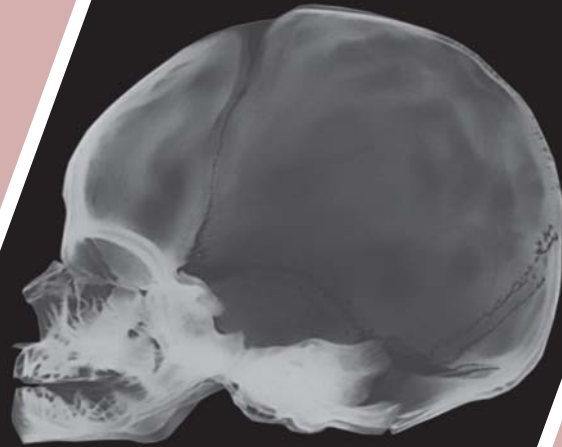


Bab 3



Sumber: *Human Body*, 2002

Tulang-tulang penyusun tengkorak pada bayi yang baru lahir.

Sistem Gerak pada Manusia

Hasil yang harus Anda capai:

menjelaskan struktur dan fungsi organ manusia dan hewan tertentu, kelainan/penyakit yang mungkin terjadi serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan/penyakit yang dapat terjadi pada sistem gerak pada manusia.

Pada bab sebelumnya, Anda telah mempelajari materi mengenai jaringan. Salah satu jaringan penyusun tubuh manusia adalah jaringan tulang. Jaringan tulang tersusun atas sel-sel tulang (osteon). Sel-sel tulang tersebut berkumpul di dalam matriks. Berdasarkan jaringan penyusunnya, tulang dibedakan menjadi tulang rawan (kartilago) dan tulang keras.

Selama hidupnya, manusia selalu melakukan gerak. Gerakan tersebut dilakukan bahkan dalam keadaan tidak sadar. Misalnya, ketika tidur di dalam tubuh tetap terjadi gerakan. Sistem gerak pada manusia didukung oleh dua komponen utama, yaitu tulang dan otot.

Pada bab ini, Anda akan mempelajari sistem gerak pada manusia. Apa sajakah jenis-jenis tulang dan otot pada manusia? Apakah keduanya bekerja sendiri-sendiri atau bersamaan? Bagaimana mekanisme kerja otot? Semua pertanyaan tersebut dapat Anda jawab setelah mempelajari materi pada bab ini. Oleh karena itu, pelajarilah materi pada bab ini dengan saksama.

A. Tulang dan Rangka B. Otot

Tes Kompetensi Awal

1. Menurut Anda, apakah fungsi tulang bagi tubuh?
2. Pada bab sebelumnya Anda telah mempelajari materi tentang jaringan. Bagaimana struktur jaringan pada tulang?
3. Tuliskan tiga jenis otot yang terdapat di dalam tubuh Anda.

A. Tulang dan Rangka

Seperti telah disebutkan sebelumnya, manusia selalu melakukan gerak. Ketika berjalan, berlari, menulis, bahkan ketika tidur, Anda melakukan gerakan. Gerak dapat diartikan sebagai tanggapan atau reaksi tubuh terhadap rangsangan baik dari dalam maupun dari luar tubuh. Gerak dapat berupa gerakan sebagian anggota tubuh maupun seluruh tubuh.

Gerak merupakan suatu hasil kerja dua komponen, yaitu **tulang** dan **otot**. Tulang disebut sebagai **alat gerak pasif** dan otot disebut **alat gerak aktif**. Tulang merupakan alat gerak pasif karena tulang tidak bisa bergerak sendiri, namun harus digerakkan oleh otot. Otot yang berkontraksi menyebabkan tulang bergerak.

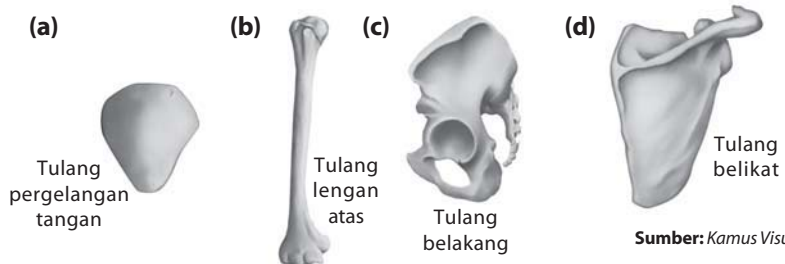
1. Fungsi Tulang

Tuhan memberi tulang dalam tubuh manusia dengan bentuk yang berbeda-beda. Bentuk-bentuk tulang tersebut akan sesuai dengan fungsinya. Berikut adalah beberapa fungsi tulang pada manusia.

- a. Penunjang dan pemberi bentuk tubuh
- b. Pelindung alat-alat vital tubuh
- c. Penyusun rangka tubuh
- d. Tempat melekatnya otot
- e. Tempat pembentukan sel-sel darah
- f. Tempat penyimpanan mineral (kalsium dan fosfor)

2. Jenis-Jenis Tulang

Tulang penyusun tubuh manusia memiliki jenis yang sangat beragam, baik itu bentuk, struktur, maupun fungsinya. Berdasarkan jaringan penyusunnya, tulang dibedakan menjadi **tulang rawan (kartilago)** dan **tulang keras**. Tulang rawan bersifat lentur dan hanya terdapat pada beberapa tempat, seperti cuping hidung dan cuping telinga. Adapun tulang keras bersifat keras dan berfungsi sebagai penyusun sistem rangka tubuh. Pada bab sebelumnya, telah dibahas mengenai tulang rawan dan tulang keras. Berdasarkan bentuk dan ukurannya, tulang dapat dibedakan menjadi empat jenis, yaitu **tulang pendek**, **tulang pipa (panjang)**, **tulang pipih**, dan **tulang ireguler**. Perhatikan Gambar 3.1.



Sekilas Biologi

Claudius Galen
(129–199 SM)



Galen adalah seorang ahli anatomi Romawi. Ia meneliti struktur dan fungsi tubuh manusia. Ajarannya diterapkan selama berabad-abad.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Kata Kunci

- Alat gerak aktif
- Alat gerak pasif

Gambar 3.1

(a) Tulang pendek, (b) tulang pipa, (c) tulang ireguler, dan (d) tulang pipih

Sumber: *Kamus Visual*, 2004

Tulang pipa (panjang) memiliki bentuk seperti tabung yang berongga. Selain itu, pada ujung-ujung tulang pipa terdapat perluasan bentuk sebagai fungsi untuk berhubungan dengan tulang lain. Tulang pipa dapat ditemukan di tulang betis, tulang hasta, tulang kering, dan tulang pengumpil.

Tulang pendek memiliki bentuk seperti kubus. Tulang ini hanya ditemukan di pangkal kaki, pangkal lengan, dan ruas-ruas tulang belakang.

Sesuai dengan namanya, tulang pipih memiliki bentuk pipih atau lempengan. Tulang pipih berfungsi sebagai penyusun dinding rongga atau sebagai pelindung. Contoh tulang pipih adalah tulang rusuk, tulang belikat, dan tulang tengkorak.

Adapun tulang ireguler merupakan tulang yang memiliki bentuk tidak beraturan. Tulang ireguler dapat ditemukan pada tulang-tulang muka dan tulang belakang.

3. Pembentukan Tulang

Manusia memiliki rangka tubuh ketika dalam tahap perkembangan embrio. Rangka tubuh dalam masa embrio masih berupa tulang rawan (kartilago). Kartilago dibentuk oleh **sel-sel mesenkim**. Di dalam kartilago tersebut akan diisi oleh **osteoblas**. Osteoblas merupakan sel-sel pembentuk tulang keras. Osteoblas akan mengisi jaringan sekelilingnya dan membentuk osteosit (sel-sel tulang).

Sel-sel tulang dibentuk secara konsentris (dari arah dalam ke luar). Setiap sel-sel tulang akan mengelilingi pembuluh darah dan serabut saraf, membentuk **sistem Havers**. Selain itu, di sekeliling sel-sel tulang ini terbentuk senyawa protein pembentuk matriks tulang. Matriks tulang akan mengeras karena adanya garam kapur (CaCO_3) dan garam fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$).

Di dalam tulang terdapat **sel-sel osteoklas**. Sel-sel ini berfungsi menyerap kembali sel tulang yang sudah rusak dan dihancurkan. Adanya aktivitas sel osteoklas, tulang akan berongga. Rongga ini kelak akan berisi sumsum tulang. Osteoklas membentuk rongga sedangkan osteoblas terus membentuk osteosit baru ke arah permukaan luar. Dengan demikian, tulang akan bertambah besar dan berongga.

Proses pembentukan tulang keras disebut **osifikasi**. Proses ini dibedakan menjadi dua, yaitu **osifikasi intramembranosa** dan **osifikasi intrakartilagenosa**. Osifikasi intramembranosa disebut juga penulangan langsung (osifikasi primer). Proses ini terjadi pada tulang pipih, misalnya tulang tengkorak. Penulangan ini terjadi secara langsung dan tidak akan terulang lagi untuk selamanya. Contoh osifikasi intrakartilagenosa adalah pembentukan tulang pipa. Osifikasi ini menyebabkan tulang bertambah panjang. Perhatikan **Gambar 3.2**.

4. Sistem Rangka Manusia

Rangka tubuh manusia tersusun atas 206 tulang. Tulang-tulang tersebut memiliki struktur dan fungsi yang berbeda-beda. Secara garis besar, rangka tubuh manusia dibagi menjadi dua kelompok, yaitu **rangka aksial** dan **rangka apendikular**. Perhatikan **Gambar 3.3**.



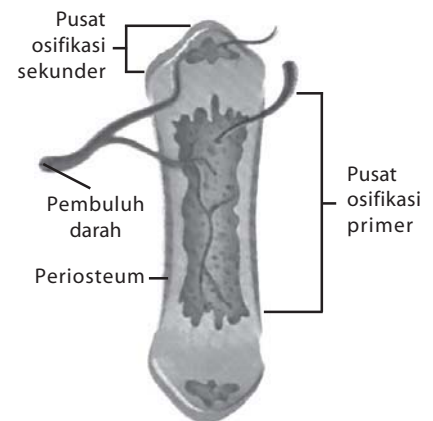
Fakta Biologi

Tulang terpanjang pada tubuh manusia adalah tulang paha (femur). Tulang femur memiliki panjang sekitar seperempat dari tinggi tubuh.

Sumber: Science Library: Human Body, 2004

Kata Kunci

- Osifikasi
- Osteoblas
- Sel osteoklas
- Sistem Havers



Sumber: Atlas Histologi, 2003

Gambar 3.2

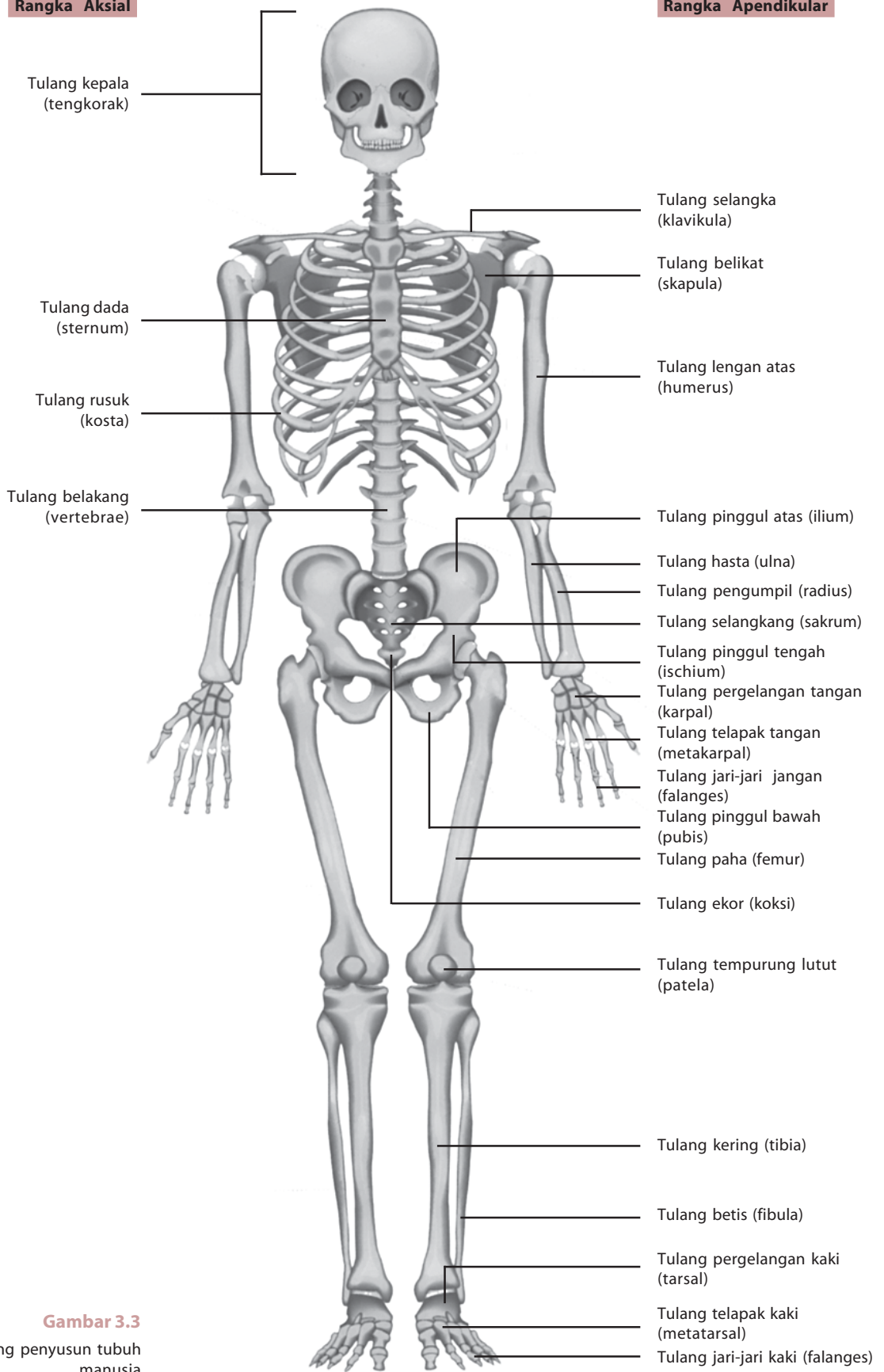
Proses pembentukan tulang

Logika Biologi

Tulang tersusun atas sel-sel hidup. Apakah tulang mengalami pertumbuhan? Tunjukkan buktinya.

Rangka Aksial

Rangka Apendikular



Gambar 3.3
Tulang-tulang penyusun tubuh manusia

Sumber: Kamus Visual, 2004

a. Rangka Aksial

Rangka aksial disebut juga rangka poros atau sumbu tubuh. Disebut demikian, karena hampir semua tulang anggota rangka aksial berada di garis sumbu tubuh. Rangka aksial tersusun atas tulang kepala (tengkorak), tulang belakang (vertebrae), tulang dada, dan tulang rusuk (sternum dan kosta). Perhatikan **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Tulang-Tulang Penyusun Rangka Aksial

Kelompok Tulang	Nama Tulang Penyusun	Jumlah
1. Tengkorak terdiri dari: a. Kranium (tempurung kepala)	Dahi (frontal)	1
	Ubun-ubun (parietal)	2
	Pelipis (temporal)	2
	Kepala belakang (oksipital) Tulang baji (stenoid)	1
	Tapis (etmoid)	1
b. Wajah	Rahang bawah (mandibula)	1
	Hidung (nasal)	2
	Lakrimal	2
	Vomer	1
	Konka inferior	2
	Pipi (zigomatik)	2
	Rahang atas (maksilia)	2
c. Telinga	Martil (maleus)	2
	Paron (inkus)	2
	Stapes	2
2. Tulang belakang (vertebrae)	Servik (leher)	7
	Toraks (punggung)	12
	Lumbar (pinggang)	5
	Koksigea (tulang ekor, 4 ruas berfusi menjadi 1)	1
3. Tulang dada (sternum)	Manubrium (hulu)	1
	Gladiolus (badan)	1
	Xifoid (taju pedang)	1
4. Rusuk (kosta)	Rusuk sejati	7 pasang
	Rusuk palsu	3 pasang
	Rusuk melayang	2 pasang

Kata Kunci

- Rangka aksial
- Rangka apendikular

b. Rangka Apendikular

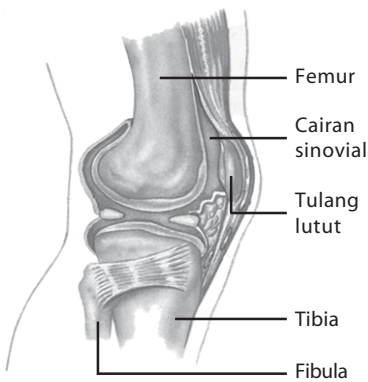
Rangka apendikular disebut juga sebagai rangka tambahan. Secara umum, rangka apendikular adalah tulang-tulang penyusun alat gerak, yaitu tangan dan kaki. Rangka apendikular tersusun atas tulang anggota gerak (tungkai), gelang bahu, dan gelang panggul. Untuk lebih jelasnya, perhatikan **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3.2 Tulang-Tulang Peyusun Rangka Apendikular

Bagian Tulang	Tulang Penyusun	Jumlah
1. Tungkai		
	Lengan atas (humerus)	2
	Pengumpil (radius)	2
a. Tungkai atas	Hasta (ulna)	2
	Pergelangan tangan (karpal)	16
	Telapak tangan (metakarpal)	10
	Jari-jari tangan (falanges)	28
	Paha (femur)	2
	Tempurung kaki (patela)	2
	Kering (tibia)	2
b. Tungkai bawah	Betis (fibula)	2
	Pergelangan kaki (tarsal)	14
	Telapak kaki (metatarsal)	10
	Jari-jari kaki (falanges)	28
2. Gelang bahu	Tulang selangka (klavikula)	2
	Tulang belikat (skapula)	2
3. Gelang panggul	Ilium	} Bersatu
	Ischium	
	Pubis	

5. Hubungan Antartulang

Hubungan antar tulang disebut juga persendian (sendi). Persendian adalah tempat antara tulang-tulang atau antara tulang dan tulang rawan. Untuk memungkinkan adanya pergerakan, diperlukan adanya sendi. Sendi dibentuk pada kartilago di daerah sendi. Pada persendian terdapat cairan pelumas yang disebut **cairan sinovial**. Tulang-tulang disatukan dengan jaringan ikat yang lentur dengan adanya sendi, sehingga terbentuklah rangka dan gerakan-gerakan tulang. Secara fungsional, persendian dibagi menjadi tiga, yaitu **sinartrosis**, **amfiartrosis**, dan **diartrosis**. Perhatikan **Gambar 3.4**.



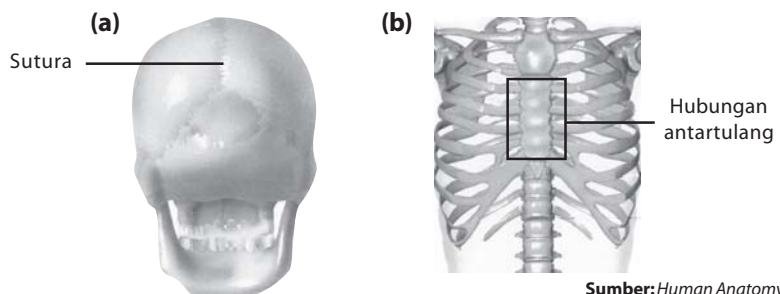
Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 3.4
Struktur persendian

a. Sinartrosis

Persendian sinartrosis sama sekali tidak dapat digerakkan. Hal ini disebabkan tidak adanya celah sendi. Berdasarkan jaringan yang menghubungkannya, sinartrosis dibedakan menjadi **sinartrosis sinfibrosis** dan **sinartrosis sinkondrosis**.

Sinartrosis sinfibrosis dihubungkan oleh jaringan ikat fibrosa. Persendian ini terdapat pada tulang tengkorak. Lekukan pada tulang tengkorak disebut **sutura**. Adapun sinartrosis sinkondrosis dihubungkan oleh tulang rawan, misalnya hubungan tulang rusuk dan tulang dada. Perhatikan **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5
(a) Sinartosis sinfibrosis pada tengkorak dan (b) sinartosis sinkondrosis pada hubungan tulang rusuk dan tulang dada

Sumber: *Human Anatomy*, 1996

b. Amfiartrosis

Amfiartrosis merupakan persendian dengan gerakan terbatas. Amfiartrosis dibagi menjadi dua, yaitu **simfisis** dan **sindesmosis**, perhatikan **Gambar 3.6**. Simfisis merupakan persendian yang dihubungkan oleh jaringan tulang rawan yang tipis. Contoh simfisis adalah sendi antartulang belakang dan pada tulang kemaluan. Adapun sindesmosis merupakan persendian yang dihubungkan oleh banyak jaringan ikat. Contoh sindesmosis adalah sendi antara tibia dan fibula.

c. Diartrosis

Diartrosis merupakan persendian dengan gerakan paling bebas atau leluasa. Pada diartrosis terdapat cairan sinovial. Berdasarkan tulang pembentuk sendi dan gerakannya, diartrosis dikelompokkan menjadi sendi peluru, sendi engsel, sendi putar, dan sendi pelana.

1) Sendi peluru

Sendi peluru merupakan sendi yang dapat digerakkan ke atas, ke bawah, dan ke samping. Pergerakan yang bebas ini dikarenakan bentuk ujung tulang berupa bongkol dan mangkuk. Contoh sendi peluru adalah pada gelang bahu.

2) Sendi engsel

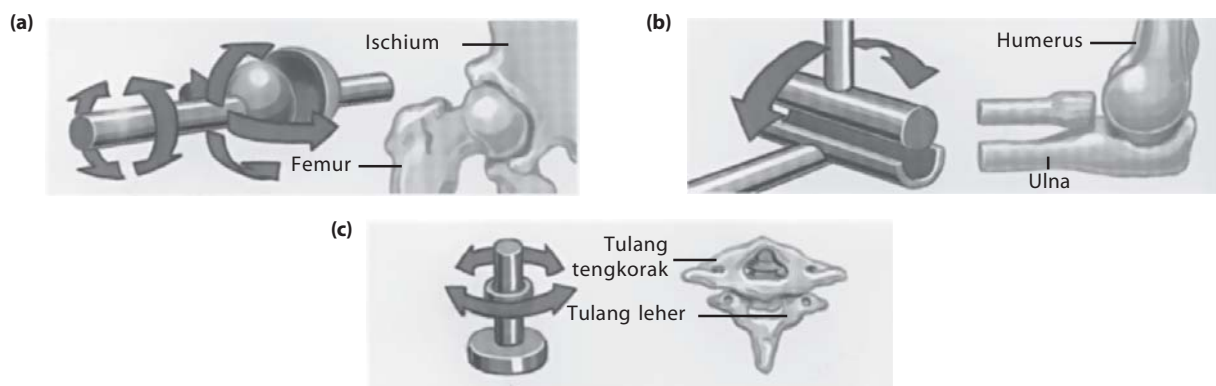
Pergerakan pada sendi engsel hanya satu arah. Contoh sendi engsel adalah siku dan lutut. Dapatkah Anda memberikan contoh sendi engsel yang lainnya?

3) Sendi putar

Gerakan pada sendi putar berupa gerakan rotasi dengan satu poros. Contoh sendi putar adalah gerakan memutar kepala (tulang leher dan tulang tengkorak) dan antara tulang hasta dan tulang pengumpil.

4) Sendi pelana

Pada sendi pelana, kedua ujung tulang membentuk sendi menyerupai pelana. Contoh sendi pelana adalah gerakan ibu jari dan hubungan tulang belakang dengan tulang rusuk.



Sumber: *Jendela Iptek: Tubuh Manusia*, 1997

Gambar 3.6
Amfiartrosis pada tulang belakang

Logika Biologi

Sendi yang menghubungkan antartulang belakang merupakan sendi amfiartrosis. Sendi ini hanya memungkinkan sedikit gerakan. Namun pada kenyataannya, badan kita dapat digerakan cukup leluasa. Mengapa hal ini dapat terjadi?

Kata Kunci

- Amfiartrosis
- Diartrosis
- Sinartrosis

6. Kelainan dan Gangguan pada Tulang

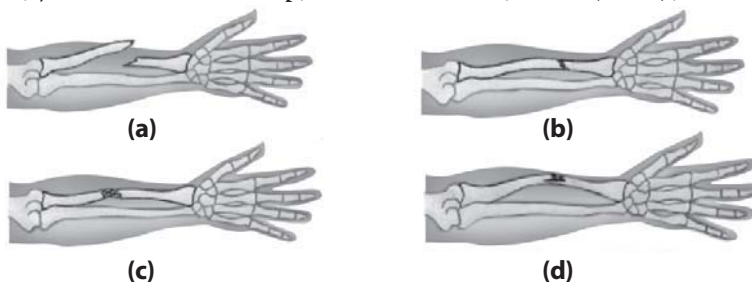
Tulang dapat mengalami kelainan dan gangguan. Kelainan dan gangguan dapat disebabkan oleh aktivitas, infeksi kuman, kekurangan vitamin, maupun kecelakaan.

Gambar 3.7

Jenis persendian diartrosis pada manusia, yaitu (a) sendi peluru, (b) sendi engsel, dan (c) sendi putar.

a. Fraktura

Fraktura merupakan patahnya tulang. Fraktura dibedakan menjadi empat, yaitu fraktura tertutup, fraktura terbuka, fisura (retak), dan remuk.



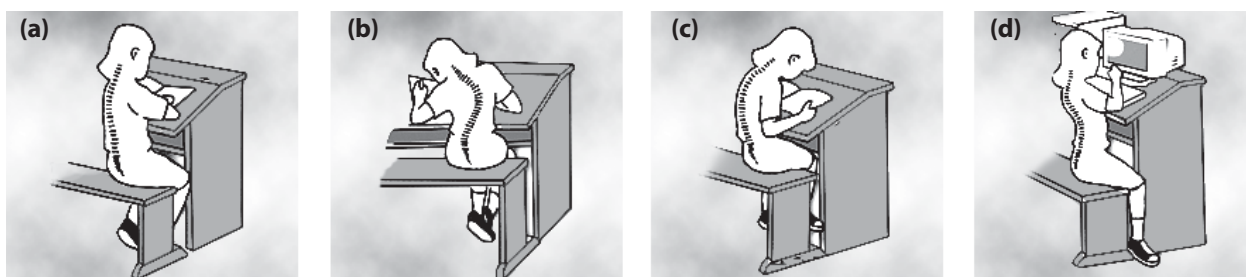
Gambar 3.8

Beberapa jenis fraktura, yaitu (a) fraktura terbuka, (b) fraktura tertutup, (c) remuk, dan (d) retak

Sumber: *Human Body*, 2002

b. Gangguan pada Tulang Belakang

Tulang belakang dapat mengalami berbagai gangguan. Pada umumnya, gangguan tersebut disebabkan oleh sikap tubuh yang salah. Gangguan tersebut adalah **skoliosis**, **kifosis**, dan **lordosis**. Perhatikan **Gambar 3.9**. Skoliosis merupakan kelainan berupa melengkungnya tulang belakang ke arah samping. Kifosis adalah jika tulang belakang terlalu membungkuk. Kifosis dapat terjadi karena kebiasaan menulis yang terlalu membungkuk. Adapun lordosis terjadi jika lengkung lumbar melekok ke dalam.



Gambar 3.9

Tulang belakang (a) normal, (b) skoliosis, (c) kifosis, (d) lordosis

c. Gangguan Persendian

Persendian dapat mengalami gangguan, seperti artritis, dislokasi, dan ankilosis.

1) Artritis

Artritis adalah peradangan sendi dengan ciri-ciri bengkak, dan gangguan fungsi sendi tersebut. Artritis dibedakan menjadi **artritis gout**, **osteoartritis**, dan **artritis eskudatif**. Artritis gout terjadi karena kegagalan metabolisme asam urat. Osteoartritis disebabkan menipisnya tulang rawan pelindung sendi. Adapun artritis eskudatif disebabkan terisinya rongga sendi oleh getah radang.

2) Dislokasi

Dislokasi terjadi jika sendi terlepas dari tempatnya dan disertai sobeknya ligamen. Dislokasi dapat pula berupa pergeseran sendi.

3) Ankilosis

Gangguan ini menyebabkan sendi tidak dapat digerakkan, disebabkan karena tulang rahang melebur dengan tulang tengkorak.

d. Rheumatism (*Rheumatic*)

Rheumatism merupakan gangguan berupa segala rasa sakit pada semua alat gerak, seperti tulang, otot, ligamen, dan sendi.

Tes Kompetensi Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Tuliskan fungsi tulang.
2. Tuliskan bagian-bagian dari tulang belakang manusia.
3. Apakah perbedaan amfiartrosis dan diartrosis?
4. Tuliskan beberapa gangguan pada ruas-ruas tulang belakang.

B. Otot

Pernahkah Anda melihat seorang atlet binaragawan? Jika Anda perhatikan, atlet binaragawan memiliki otot-otot yang besar. Apakah otot besar memiliki kekuatan besar pula?

Otot merupakan alat gerak aktif karena kontraksinya dapat menggerakkan tulang sehingga muncul gerak. Otot akan memendek apabila berkontraksi dan akan memanjang apabila berelaksasi.

1. Jenis-Jenis Otot

Pada bab sebelumnya, telah dipelajari mengenai jenis-jenis otot secara ringkas. Pada subbab ini, Anda akan mempelajari jenis-jenis otot secara lebih mendalam. Berdasarkan struktur dan fungsinya, otot dibedakan menjadi **otot lurik**, **otot polos**, dan **otot jantung**.

a. Otot Lurik

Otot lurik disebut juga otot rangka karena otot ini melekat pada rangka. Gerak atau aktivitas otot lurik dipengaruhi oleh saraf sadar. Artinya, otot ini akan bergerak jika ada perintah dari otak. Gerak tersebut disebut gerak **volunter**. Otot ini berperan dalam banyak gerak tubuh yang dikehendaki.

Sel-sel otot lurik berbentuk silinder yang sangat panjang. Otot lurik memiliki inti di bagian tepi sel. Sekumpulan otot, misalnya otot biceps, ujung-ujungnya berupa tendon untuk melekat pada tulang. Keseluruhan kumpulan otot dibungkus oleh seludang jaringan ikat yang disebut **fasia superfasialis**.

Kumpulan otot ini terdiri atas kumpulan yang lebih kecil lagi yang diseludangi oleh **fasia propia**. Kumpulan kecil terdiri atas serabut-serabut otot. Serabut otot secara fungsional merupakan satu sel otot. Jadi, boleh dikatakan satu serabut otot sama dengan satu sel otot saja.

Satu sel otot dibungkus oleh membran sel (**sarkolema**). Sel otot terdiri atas miofibril-miofibril. Setiap miofibril terdiri atas dua macam miofilamen, yaitu filamen tipis dan filamen tebal. **Filamen tipis** terdiri atas 3 macam molekul protein, yaitu **aktin**, **troponin**, dan **tropomiosin**. Adapun **filamen tebal** terdiri dari satu macam filamen protein, yaitu **miosin**.

Filamen tipis dan filamen tebal membentuk satu kesatuan disebut **sarkomer**. Kedua macam filamen ini bergabung secara berselang-seling dan tumpang tindih (*overlap*) dengan posisi filamen tipis lebih ke pinggir dan filamen tebal di tengah-tengah. Apabila otot dilihat dengan mikroskop berkekuatan tinggi, posisi tersebut memberi kesan gelap terang atau berlurik-lurik.

Sarkomer yang satu bergabung dengan sarkomer sebelahnya pada bagian filamen tipis. Daerah ini disebut **garis Z**. Garis Z dengan filamen tipis yang memberi kesan terang disebut **pita I**.



Fakta Biologi

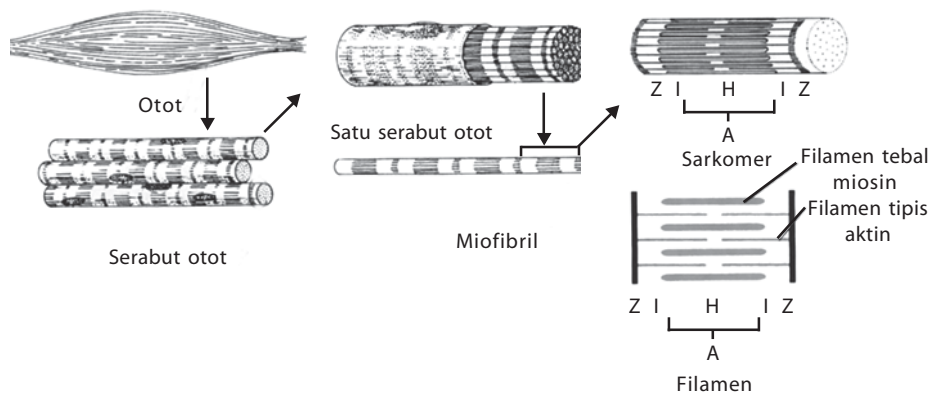
Otot menyusun sekitar 45 persen berat tubuh pria dan 40 persen berat tubuh wanita.

Sumber: Science Library: Human Body, 2004

Kata Kunci

- Miofibril
- Miofilamen
- Sarkolema

Sarkomer bagian tengah disebut **garis M**. Sebelah kiri dan kanan garis M, tepatnya yang terdiri atas filamen tebal yang tidak tumpang-tindih oleh filamen tipis pada saat otot kontraksi, disebut **zona H**. Pita A, daerah gelap, adalah sarkomer yang mengandung filamen tebal dan ditumpang tindih oleh sebagian filamen tipis.



Gambar 3.10
Struktur otot rangka

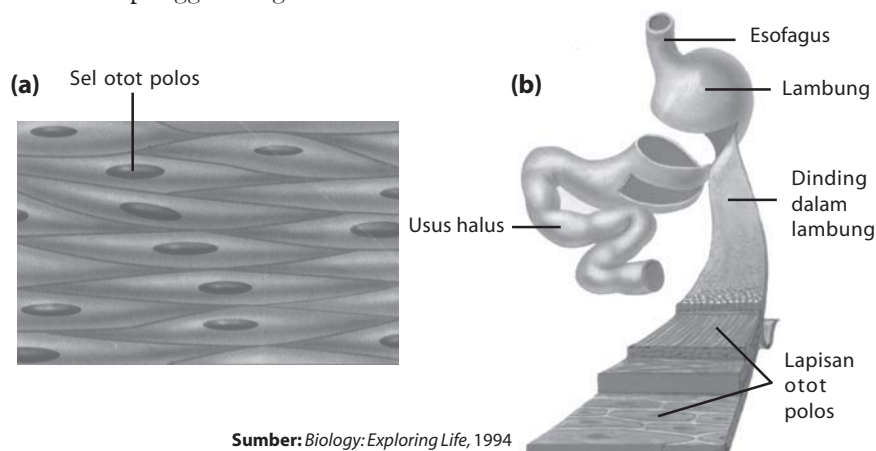
Sumber: *Biological Science*, 1986

Logika Biologi

Apakah jumlah dan jenis otot yang dimiliki oleh seorang binaragawan dan Anda sama? Mengapa demikian?

b. Otot Polos

Sel otot berbentuk seperti kumparan dengan sitoplasma yang tampak bening, disebabkan miofibril atau miofilamennya homogen. Dengan demikian, otot ini tampak polos, dan tidak berlurik. Apabila terkena rangsang, reaksi otot polos lambat, tetapi dapat bekerja dalam jangka waktu lama. Gerakannya tanpa kita sadari (otonom) atau bergerak secara **involunter**. Sifat seperti ini cocok untuk menjalankan alat-alat dalam yang bergerak terus-menerus atau menuntut gerakan yang tidak perlu disadari. Jaringan otot polos terdapat pada saluran pencernaan (yang membuat gerak peristaltik), pembuluh darah, dinding uterus, dan otot penggantung lensa mata.



Gambar 3.11

(a) Struktur jaringan otot polos.
(b) Jaringan otot polos biasanya merupakan penyusun organ dalam tubuh, misalnya pada lambung.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

c. Otot Jantung

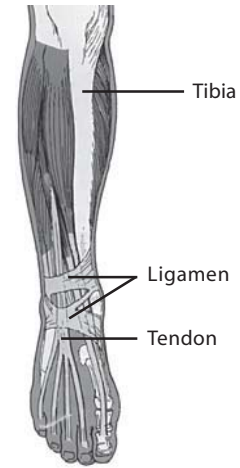
Sesuai dengan namanya, otot ini adalah otot yang membentuk organ jantung. Sel otot jantung berbentuk silindris dengan sebuah inti di tengahnya. Sel-sel otot jantung memiliki cabang. Sel satu dengan sel lain yang bersebelahan pada sisi pendeknya, memiliki sarkolema yang cukup tebal. Sarkolema yang tebal tersebut dinamakan **keping interkalar** atau **sinsitium**. Keping ini berfungsi sebagai penguat otot jantung dan membantu menghantarkan rangsang/impuls. Perhatikan **Gambar 3.11**.

Sel otot jantung dapat berkontraksi sendiri secara beraturan sekitar 72 kali per menit tanpa rangsang saraf karena memiliki sumber rangsang di dalam otot jantung tersebut. Rangsang yang datang dari saraf hanya mempercepat atau memperlambat denyut atau kontraksi otot jantung. Kontraksi otot jantung bekerja di bawah kontrol saraf otonom. Kerja otot jantung teratur dan cukup kuat.

2. Gerak pada Otot

Otot melekat pada tulang dengan jaringan ikat kuat yang disebut **tendon**. Tendon yang melekat pada tulang yang relatif diam pada saat otot berkontraksi disebut **origo**. Adapun tendon yang melekat pada tulang yang bergerak disebut **insersi**. Pada persendian terdapat jaringan ikat yang membungkus sendi agar sendi itu tidak terurai. Jaringan tersebut adalah **ligamen**.

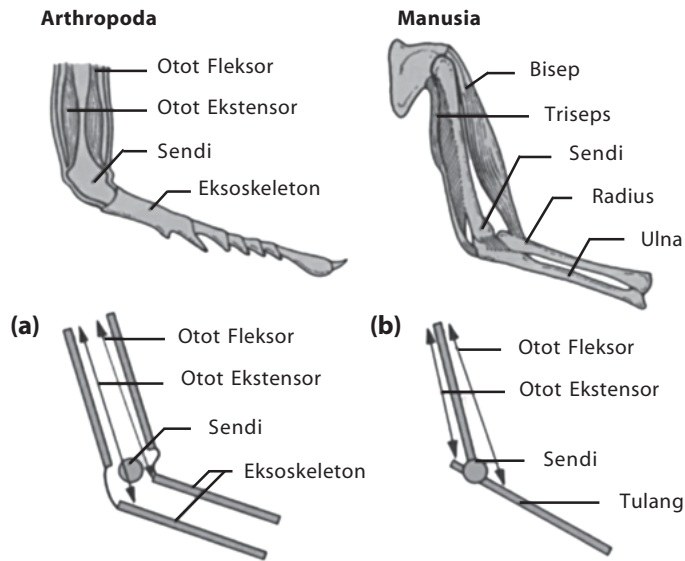
Otot, sendi, dan tulang bekerja sama membentuk suatu gerak. Anda dapat perhatikan **Gambar 3.13**. Dalam lengan terdapat beberapa jenis otot, tulang, dan sendi. Ketika Anda mengangkat lengan bawah, misalnya, akan terjadi kerja sama antara otot, tulang dan sendi.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 3.12

Ligamen yang membungkus sendi



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 3.13

Hubungan antartulang dan sendi pada (a) Arthropoda dan (b) manusia

Gerak yang dihasilkan dari kerja sama otot, tulang, dan sendi dapat dikelompokkan menjadi gerak berlawanan (**antagonis**) dan gerak bersamaan (**sinergid**).

a. Gerak Antagonis

Gerakan ini terjadi jika sebagian atau sebuah otot yang melekat pada tulang yang sama berkontraksi, sementara sebagian atau sebuah otot pasangannya berelaksasi. Contoh gerak antagonis adalah lutut dan siku. Pada lengan terdapat otot biseps dan trisep, yang menyebabkan gerakan pada siku. Oleh karena kerja otot berlawanan, terdapat beberapa jenis gerakan tulang yang berlawanan, yaitu:

- 1) otot fleksor (menekukkan) dan ekstensor (meluruskan);
- 2) otot abduktor (menjauhkan) dan adduktor (mendekatkan);
- 3) otot depresor (menurunkan) dan elevator (menaikkan);
- 4) otot supinator (menengadahkan) dan pronator (menelungkupkan).

Kata Kunci

- Gerak antagonis
- Gerak sinergid

b. Gerak Sinergid

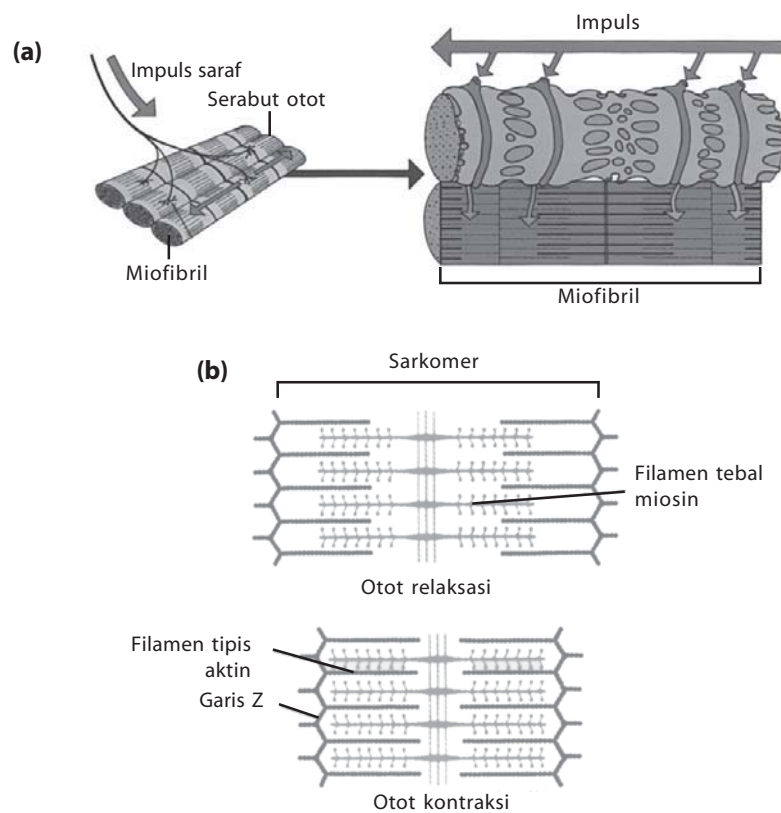
Gerakan ini terjadi jika sekelompok atau pasangan otot berkontraksi atau berelaksasi dalam waktu yang bersamaan dan mengakibatkan satu gerak bagian tubuh. Contoh gerak sinergid, yaitu pada otot-otot punggung dan otot-otot leher.

3. Kontraksi Otot

Otot memiliki mekanisme khusus untuk berkontraksi. Kontraksi pada otot akan memunculkan gerakan. Bagaimanakah mekanismenya? Apakah otot memerlukan energi? Simaklah uraian berikut.

a. Mekanisme Kontraksi Otot

Otot mulai berkontraksi apabila terkena rangsang. Kontraksi otot dikenal dengan nama “model pergeseran filamen” (*sliding filament mode*), seperti terlihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14

(a) Kontraksi otot dipicu oleh impuls saraf.

(b) Struktur miosin dan aktin pada saat kontraksi dan relaksasi otot

Sumber: *Biology Discovering Life*, 1991; *Human Body*, 2002

Kontraksi otot diawali oleh datangnya impuls saraf. Pada saat datang impuls, sinapsis atau daerah hubungan antara saraf dan serabut otot dipenuhi oleh asetil-kolin. Asetil-kolin ini akan merembeskan ion-ion kalsium (Ca^{2+}) ke serabut otot. Ion kalsium akan bersenyawa dengan molekul, troponin, dan tropomiosin yang menyebabkan adanya sisi aktif pada filamen tipis (aktin). Kepala miosin (filamen tebal), segera bergabung dengan filamen tipis tepat pada sisi aktif. Gabungan sisi aktif dengan kepala miosin disebut jembatan penyeberangan (*cross bridges*).

Segera setelah terbentuk, jembatan penyeberangan tersebut membebaskan sejumlah energi dan menyampaikan energi tersebut ke arah filamen tipis. Proses ini menyebabkan filamen tipis mengerut. Secara keseluruhan sarkomer ikut mengerut yang mengakibatkan otot pun berkerut. Kepala miosin akan lepas dari filamen tipis. Proses ini memerlukan ATP yang diambil dari sekitarnya. Dengan peristiwa ini, maka filamen tipis akan lepas dari filamen tebal. Secara keseluruhan otot akan relaksasi kembali.

Proses ini berulang sampai 5 kali dalam jangka waktu satu detik. Jadi, kontraksi otot akan berlangsung selama ada rangsangan. Apabila tidak ada rangsangan maka ion kalsium akan direabsorpsi. Pada saat itu pun troponin dan tropomiosin tidak memiliki sisi aktif lagi dan sarkomer dalam keadaan istirahat memanjang berelaksasi.

b. Energi untuk Kontraksi Otot

ATP (adenosin trifosfat) merupakan sumber energi bagi otot. Akan tetapi, jumlah yang tersedia hanya dapat digunakan untuk kontraksi dalam waktu beberapa detik saja. Otot vertebrata mengandung lebih banyak cadangan energi fosfat yang tinggi berupa **kreatin fosfat** sehingga akan dibebaskan sejumlah energi yang segera dipakai untuk membentuk ATP dari ADP.

Persediaan kreatin fosfat di otot sangat sedikit. Persediaan ini harus segera dipenuhi lagi dengan cara oksidasi karbohidrat. Cadangan karbohidrat di dalam otot adalah glikogen. Glikogen dapat diubah dengan segera menjadi glukosa-6-fosfat. Perubahan tersebut merupakan tahapan pertama dari proses respirasi sel yang berlangsung dalam mitokondria yang menghasilkan ATP.

Apabila kontraksi otot tidak terlalu intensif atau tidak terus-menerus, glukosa dapat dioksidasi sempurna menghasilkan CO₂ dan H₂O dengan **respirasi aerob**. Apabila kontraksi otot cukup intensif dan terus-menerus maka suplai oksigen oleh darah ke dalam otot tersebut tidak cepat dan banyak untuk mengoksidasikan glukosa. Oleh karena itu, penyediaan energi bagi kontraksi otot didapatkan dari proses **respirasi anaerob**, suatu proses yang tidak memerlukan oksigen. Keuntungan proses ini dapat menyediakan energi bagi kontraksi otot dengan segera, walaupun jumlah energi yang diberikan relatif sedikit dibandingkan proses aerob.

Pada respirasi anaerob, glukosa diubah menjadi asam laktat dengan sejumlah energi. Energi ini digunakan untuk membentuk kembali kreatin fosfat, yang nantinya dapat menghasilkan energi untuk membentuk ATP dari ADP.

Asam laktat yang tertimbun di dalam otot akan segera berdifusi pada sistem peredaran darah. Apabila penggunaan otot terus-menerus, pembentukan asam laktat yang banyak akan menghambat kerja enzim dan menyebabkan **kelelahan (fatigue)**.

4. Gangguan dan Kelainan pada Otot

Seperti halnya tulang, otot dapat mengalami gangguan dan penyakit. Gangguan pada otot dan tulang dapat mengganggu pergerakan dari manusia. Gangguan dan penyakit pada otot disebabkan oleh beberapa faktor, seperti infeksi virus, infeksi bakteri, maupun aktivitas. Simaklah penjelasan berikut ini.

Kata Kunci

- Respirasi aerob
- Respirasi anaerob



Sekilas Biologi

Postur tubuh yang baik sangat penting karena akan membantu tubuh bekerja maksimal. Jika posturnya jelek, selain tulang-tulang menjadi tidak lurus, otot-otot, ruas, dan ligamen (jaringan ikat sendi) pun akan tertarik lebih keras. Kebiasaan duduk malas dan menggunakan hak tinggi dapat memengaruhi postur tubuh. Postur tubuh yang buruk dapat memicu cepat lelah, ketegangan otot, dan akhirnya rasa sakit.

Sumber: www.kompas.com,
27 Oktober 2005

- a. **Atropi**, merupakan keadaan otot yang lisut atau kumpulan otot menjadi kecil. Hal ini terjadi antara lain karena serangan penyakit yang disebabkan oleh virus (virus polio). Selain itu, otot yang jarang digunakan pun kemungkinan akan terserang atropi.
- b. **Tetanus**, merupakan gangguan berupa otot yang terus-menerus berkontraksi. Sehari-hari dikenal dengan kejang otot atau kram. Hal ini dapat disebabkan oleh aktivitas otot yang terlalu tinggi. Tetanus yang lain disebabkan oleh kuman penyakit (bakteri *Clostridium tetani*).
- c. **Hernia**, merupakan suatu tonjolan dari organ-organ dalam, misalnya usus, melalui tempat-tempat yang lemah pada dinding perut. Hernia dapat disebabkan oleh faktor usia maupun tekanan yang tinggi di daerah perut.
- d. **Myesthenia gravis**, merupakan melemahnya otot-otot muka akibat serangan autoimunitas. Autoimunitas adalah tubuh menghasilkan antibodi yang menyerang jaringan-jaringan tubuh sendiri. Penyakit ini memiliki gejala turunnya kelopak mata, sulit menelan, dan gangguan pernapasan.

Tugas Anda 3.1

Olahraga dapat menimbulkan cedera pada tulang, sendi, dan otot. Tuliskan beberapa macam olahraga yang dapat menimbulkan cedera, serta pada bagian apa olahraga tersebut sering menimbulkan cedera. Jelaskan pula cara penanganan atau pengobatan ketika cedera tersebut terjadi.

Tes Kompetensi Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

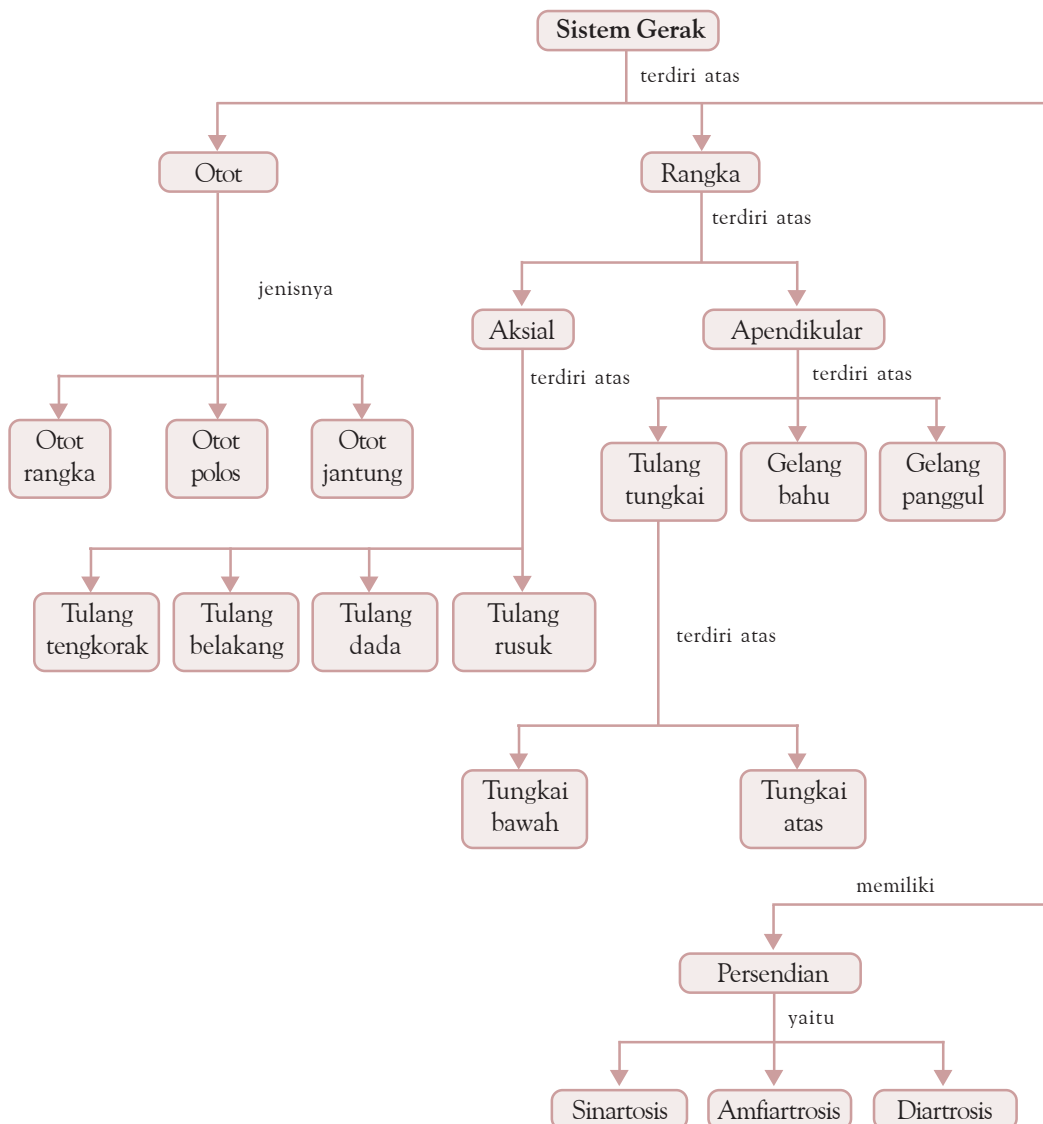
1. Tuliskanlah perbedaan otot lurik dan otot polos.
2. Apakah yang dimaksud dengan gerak antagonis?
3. Jelaskan mekanisme kontraksi otot.
4. Tuliskan gangguan-gangguan yang dapat terjadi pada otot.

Rangkuman

1. Tubuh manusia tersusun atas tulang-tulang. Tulang-tulang tersebut membentuk suatu rangka tubuh. Berdasarkan jaringan penyusunnya, tulang dibedakan menjadi tulang rawan (kartilago) dan tulang keras.
2. Berdasarkan bentuknya, tulang dibedakan menjadi tulang pipa (panjang), tulang pendek, tulang pipih, dan tulang ireguler.
3. Manusia memiliki rangka tubuh ketika dalam tahap perkembangan embrio. Proses pembentukan tulang disebut dengan osifikasi. Osifikasi dibagi menjadi dua, yaitu osifikasi intramembranosa dan osifikasi intrakartilagenosa.
4. Tulang memiliki beberapa fungsi, seperti penunjang dan pemberi bentuk tubuh; pelindung alat-alat vital tubuh; penyusun rangka tubuh; tempat melekatnya otot; tempat pembentukan sel-sel darah; tempat penyimpanan mineral.
5. Secara garis besar, rangka tubuh manusia dibagi menjadi dua kelompok, yaitu rangka aksial dan rangka apendikular. Rangka aksial merupakan rangka poros atau sumbu tubuh. Adapun rangka apendikular adalah rangka tambahan (alat gerak).

6. Tulang-tulang pada tubuh manusia akan saling berhubungan membentuk persendian. Secara fungsional, persendian dibagi menjadi tiga, yaitu sinartrosis, amfiartrosis, dan diartrosis.
7. Selain tulang, penyusun sistem gerak pada manusia adalah otot. Otot disebut alat gerak aktif karena kontraksinya dapat menggerakkan tulang sehingga muncul gerak.
8. Berdasarkan struktur dan fungsinya otot dibedakan menjadi otot lurik, otot polos, dan otot jantung. Contoh otot lurik terdapat pada biceps (otot lengan). Otot polos terdapat antara lain pada saluran pencernaan, pembuluh darah, dan dinding rahim. Adapun otot jantung terdapat pada organ jantung.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi **Sistem Gerak pada Manusia** ini? Menarik, bukan? Banyak hal yang bisa Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini. Misalnya, Anda dapat menjaga kesehatan tulang dan duduk dengan posisi yang benar agar terhindar dari kelainan tulang.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu menjelaskan keterkaitan antara struktur, fungsi, dan proses serta kelainan pada sistem gerak. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan permasalahan-permasalahan berkenaan dengan materi pada bab ini. Agar Anda mampu memahami materi pada bab ini dengan lebih baik, pastikanlah Anda menguasai materi bab ini dengan belajar lebih giat.

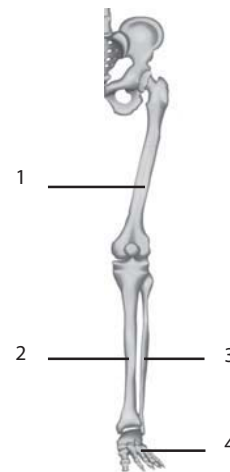
Evaluasi Kompetensi Bab 3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

- Tulang dapat mengeras karena adanya
 - NaHCO_3
 - FeCO_3
 - MgCO_3
 - CaCl
 - CaCO_3 dan $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
 - Proses pembentukan tulang disebut
 - kalsifikasi
 - osteoklas
 - osifikasi
 - osteoblas
 - osteosit
 - Hubungan tulang yang sangat rapat pada tengkorak disebut
 - sutura
 - sendi
 - osifikasi
 - apendikular
 - aksial
 - Tulang yang berfungsi melindungi organ dalam adalah
 - tulang dada dan tengkorak
 - tulang dada dan tulang rusuk
 - tulang rusuk dan tengkorak
 - tengkorak dan tulang belakang
 - tulang belakang dan tulang rusuk
 - Berikut adalah beberapa jenis tulang
 - humerus
 - radius
 - ulna
 - karpal
 - metakarpal
- Tulang-tulang tersebut merupakan penyusun
- tungkai atas
 - tungkai bawah
 - gelang bahu
 - gelang panggul
 - tengkorak
- Persendian yang sama sekali *tidak* dapat digerakkan adalah
 - diartrosis
 - sinartrosis
 - amfiartrosis
 - lordosis
 - lifosis
 - Hubungan antartulang belakang termasuk ke dalam
 - diartrosis
 - sinartrosis
 - amfiartrosis
 - kifosis
 - lordosis

Untuk soal nomor 8 dan 9, perhatikan gambar berikut.



8. Tulang yang ditunjukkan oleh nomor 1 sampai dengan 4 adalah

	Femur	Tibia	Fibula	Falanges
a.	1	2	3	4
b.	4	3	2	1
c.	3	4	2	1
d.	3	2	4	1
e.	1	2	4	3

9. Tulang-tulang tersebut merupakan tulang penyusun

- a. tungkai atas
- b. tungkai bawah
- c. gelang bahu
- d. gelang panggul
- e. rangka aksial

10. Gelang bahu merupakan salah satu contoh dari sendi

- a. engsel
- b. putar
- c. pelana
- d. mati
- e. peluru

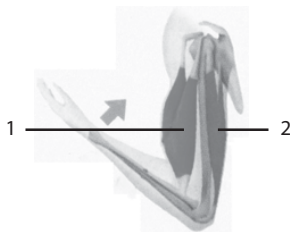
11. Sendi yang dapat melakukan gerakan paling bebas adalah sendi

- a. peluru
- b. engsel
- c. putar
- d. pelana
- e. mati

12. Peradangan pada sendi disebut

- a. fraktura
- b. fisura
- c. artritis
- d. dislokasi
- e. ankilosis

13. Perhatikan gambar berikut.



Aksi yang terjadi pada otot 1 dan 2 adalah

- a. 1 kontraksi dan 2 kontraksi
- b. 1 kontraksi dan 2 relaksasi
- c. 1 relaksasi dan 2 kontraksi
- d. 1 relaksasi dan 2 relaksasi
- e. tidak terjadi aksi

14. Berikut adalah ciri-ciri otot.

1. Bentuk silindris
2. Terdapat keping interkalar
3. Melekat pada rangka
4. Bekerja di bawah kontrol saraf otonom

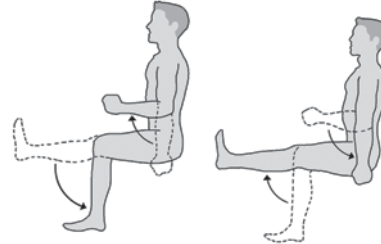
Di antara ciri-ciri tersebut, yang termasuk ciri-ciri otot jantung adalah

- a. 1, 2, 3, dan 4
- b. 1, 2, dan 3
- c. 1, 2, dan 4
- d. 1, 3, dan 4
- e. 1 dan 4

15. Otot yang melekat pada tulang yang *tidak* bergerak ketika otot berkontraksi adalah

- a. origo
- b. insersi
- c. tendon
- d. otot polos
- e. ligamen

16. Perhatikan gambar berikut.



Gerakan tersebut merupakan kerja dari otot

- a. fleksor dan ekstensor
- b. abduktor dan adduktor
- c. depresor dan pronator
- d. supinator dan pronator
- e. entensor dan elevator

17. Berikut adalah ciri-ciri otot.

1. Letak inti sel di tengah
2. Penampakan lurik di bawah mikroskop
3. Gerakannya di luar perintah otak

Pernyataan tersebut merupakan ciri-ciri dari otot

- a. lurik
- b. polos
- c. jantung
- d. polos dan otot jantung
- e. terdon

18. Protein, troponin, tropomiosin, dan aktin terdapat di dalam

- a. sarkolema
- b. miofibril
- c. sarkomer
- d. nukleus
- e. plasmolema

19. Sendi dibungkus oleh suatu jaringan ikat yang disebut

- a. origo
- b. insersi
- c. tendon
- d. sinsitium
- e. ligamen

20. Kelelahan otot disebabkan karena banyaknya

- a. asam piruvat
- b. asam laktat
- c. ATP
- d. ADP
- e. gulkosa

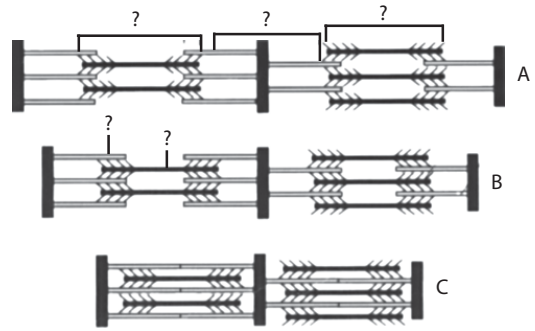
B. Soal Uraian

1. Tuliskan lima fungsi tulang.
2. Jelaskan secara singkat mengenai proses pembentukan tulang.
3. Apakah perbedaan antara otot polos, otot lurik, dan otot jantung?
4. Jelaskan mekanisme kontraksi otot.
5. Tuliskan 3 gangguan dan penyakit yang dapat terjadi pada tulang dan otot manusia?

C. Soal Tantangan

1. Pada saat mencapai usia sekitar 20 tahun, tulang akan berhenti tumbuh. Akan tetapi, tulang masih memerlukan kalsium dan vitamin D selama seumur hidup. Mengapa demikian?

2. Perhatikan gambar miofibril berikut.



Sumber: *Biology*, 1999

- a. Berilah keterangan lengkap dari gambar tersebut.
- b. Manakah yang menunjukkan sel sedang berkontraksi?
- c. Bagaimanakah pengaruh kontraksi sel terhadap bagian-bagian miofibril?