

# **BIOLOGI**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI**

**2022**

**SMA/MA Kelas XI**

**Hak Cipta pada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia  
Dilindungi Undang-Undang**

**Penafian:** Buku ini disiapkan oleh Pemerintah dalam rangka pemenuhan kebutuhan buku pendidikan yang bermutu, murah, dan merata sesuai dengan amanat dalam UU No. 3 Tahun 2017. Buku ini disusun dan ditelaah oleh berbagai pihak di bawah koordinasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi. Buku ini merupakan dokumen hidup yang senantiasa diperbaiki, diperbarui, dan dimutakhirkan sesuai dengan dinamika kebutuhan dan perubahan zaman. Masukan dari berbagai kalangan yang dialamatkan kepada penulis atau melalui alamat surel [buku@kemdikbud.go.id](mailto:buku@kemdikbud.go.id) diharapkan dapat meningkatkan kualitas buku ini.

**Biologi**

untuk SMA/MA Kelas XI

**Penulis**

Rini Solihat  
Eris Rustandi  
Wandi Herpiandi  
Zamzam Nursani

**Penelaah**

Ana Ratna Wulan  
Ayda Trisnawaty Yusuf

**Penyelia/Penyelaras**

Supriyatno  
Lenny Puspita Ekawaty  
Eko Budiono  
Arifah Dinda

**Kontributor**

Dermin Repin Sihombing  
Hikmawati

**Ilustrator**

Aghni Gofarun Auliya

**Editor**

Muhammad Marsidi

**Desainer**

Geofanny Lius

**Penerbit**

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi

**Dikeluarkan oleh**

Pusat Perbukuan  
Kompleks Kemdikbudristek Jalan RS. Fatmawati, Cipete, Jakarta Selatan  
<https://buku.kemdikbud.go.id>

Cetakan pertama, 2022

ISBN 978-602-427-892-2 (no.jil.lengkap)

ISBN 978-602-427-893-9 (jil.1)

Isi buku ini menggunakan huruf Noto Serif 11/16 pt, Steve Matteson.  
xvi, 296 hlm.: 17,6 x 25 cm.

## Kata Pengantar

---

Pusat Perbukuan; Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan; Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi memiliki tugas dan fungsi mengembangkan buku pendidikan pada satuan Pendidikan Anak Usia Dini, Pendidikan Dasar, dan Pendidikan Menengah, termasuk Pendidikan Khusus. Buku yang dikembangkan saat ini mengacu pada Kurikulum Merdeka. Kurikulum ini memberikan keleluasaan bagi satuan/program pendidikan dalam mengimplementasikan kurikulum dengan prinsip diversifikasi sesuai dengan kondisi satuan pendidikan, potensi daerah, dan peserta didik.

Pemerintah dalam hal ini Pusat Perbukuan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di satuan pendidikan dengan mengembangkan buku siswa dan buku panduan guru sebagai buku teks utama. Buku ini dapat menjadi salah satu referensi atau inspirasi sumber belajar yang dapat dimodifikasi, dijadikan contoh, atau rujukan dalam merancang dan mengembangkan pembelajaran sesuai karakteristik, potensi, dan kebutuhan peserta didik.

Adapun acuan penyusunan buku teks utama adalah Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran yang ditetapkan melalui Keputusan Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi No. 262/M/2022 Tentang Perubahan atas Keputusan Mendikbudristek No. 56/M/2022 Tentang Pedoman Penerapan Kurikulum dalam rangka Pemulihan Pembelajaran, serta Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Nomor 033/H/KR/2022 tentang Perubahan Atas Keputusan Kepala Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Nomor 008/H/KR/2022 tentang Capaian Pembelajaran pada Pendidikan Anak Usia Dini, Jenjang Pendidikan Dasar, dan Jenjang Pendidikan Menengah pada Kurikulum Merdeka.

Sebagai dokumen hidup, buku ini tentu dapat diperbaiki dan disesuaikan dengan kebutuhan dan perkembangan keilmuan dan teknologi. Oleh karena itu, saran dan masukan dari para guru, peserta didik, orang tua, dan masyarakat sangat dibutuhkan untuk pengembangan buku ini di masa yang akan datang. Pada kesempatan ini, Pusat Perbukuan menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat dalam penyusunan buku ini, mulai dari penulis, penelaah, editor, ilustrator, desainer, dan kontributor terkait lainnya. Semoga buku ini dapat bermanfaat khususnya bagi peserta didik dan guru dalam meningkatkan mutu pembelajaran.

Jakarta, Desember 2022

Kepala Pusat,

**Supriyatno**

NIP 196804051988121001

## Prakata

---

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas izin dan karunia-Nya buku Biologi untuk SMA Kelas XI Kurikulum Merdeka ini selesai diwujudkan. Buku ini ditujukan untuk peserta didik kelas XI jenjang SMA sebagai buku teks yang menjadi sumber belajar utama.

Terdapat delapan bab materi Biologi yang disusun berdasarkan panduan penerapan dan pengembangan Kurikulum Merdeka. Penerapan ciri khas kurikulum Merdeka terlihat di setiap bab, salah satunya diawali dengan penyajian permasalahan konteks kehidupan sehari-hari yang dipandu melalui pertanyaan pemantik. Peserta didik diajak untuk lebih mengenal dan mendalami fenomena alam terkait dirinya dan lingkungan sekitarnya. Pemunculan fenomena yang dekat dengan kehidupan diharapkan dapat memantik peserta didik untuk belajar lebih bermakna.

Penentuan cakupan materi di setiap bab didasarkan pada pertimbangan efisiensi dan pendalaman materi yang lebih fokus pada hal esensial dengan batasan yang telah ditetapkan dalam Kurikulum Merdeka khususnya fase F. Sajian yang lebih kontekstual, ragam aktivitas belajar dan pendekatan asesmen yang lebih otentik serta tersedianya berbagai tautan sumber belajar virtual juga sejalan dengan transformasi pendidikan di era digital yang terus berkembang. Peserta didik diberi keleluasaan untuk mengeksplorasi materi lebih mendalam melalui fitur pengayaan dan mempelajari materi Biologi dari sumber lain termasuk buku teks Biologi pendamping yang tersedia di sekolah masing-masing.

Pembahasan materi dalam setiap bab juga dikembangkan dengan menghadirkan keragaman aktivitas pembelajaran termasuk alternatif aktivitas pembelajaran yang diperlukan. Setiap aktivitas dirumuskan dengan pertimbangan kesesuaian dengan arahan materi dalam kurikulum, tujuan pembelajaran yang diharapkan dan proses konstruksi materi dalam ranah berpikir peserta didik, keterkaitan dengan materi bahasan sebelumnya serta ketersediaan fasilitas pendukung di tingkat satuan pendidikan.

Ragam aktivitas belajar materi Biologi di Kelas XI secara utuh diharapkan dapat menstimulasi dan memperkuat pencapaian profil Pelajar Pancasila dalam diri setiap peserta didik. Pelajar Pancasila adalah perwujudan pelajar

Indonesia sebagai pelajar sepanjang hayat yang memiliki kompetensi global dan berperilaku sesuai dengan nilai-nilai Pancasila, dengan enam ciri utama: beriman, bertakwa kepada Tuhan YME, dan berakhhlak mulia, berkebhinekaan global, bergotong royong, mandiri, bernalar kritis, dan kreatif. Semoga setiap peserta didik dapat menyadari pentingnya karakter tersebut dan berupaya untuk menanamkannya dalam kehidupan sehari-hari.

Bandung, Desember 2022

**Tim Penulis**

# Daftar Isi

---

<b>Kata Pengantar .....</b>	iii
<b>Prakata .....</b>	iv
<b>Daftar Isi .....</b>	vi
<b>Daftar Gambar .....</b>	viii
<b>Daftar Tabel.....</b>	xi
<b>Peta Pemikiran Buku .....</b>	xii
<b>Petunjuk Penggunaan Buku .....</b>	xiii
 <b>Bab 1 Menjelajah Sel.....</b>	 1
A. Pengamatan Struktur Sel.....	13
B. Keterkaitan antara Struktur dan Fungsi Sel .....	13
C. Komposisi Sel .....	17
 <b>Bab 2 Pergerakan Zat melalui Membran Sel .....</b>	 29
A. Transpor Pasif.....	34
B. Transpor Aktif .....	50
 <b>Bab 3 Proses Pengaturan pada Tumbuhan .....</b>	 57
A. Jaringan, Organ, dan Sistem Organ .....	60
B. Transpor pada Tumbuhan .....	72
C. Reproduksi pada Tumbuhan.....	74
D. Iritabilitas pada Tumbuhan.....	82
 <b>Bab 4 Transpor dan Pertukaran Zat pada Manusia.....</b>	 89
A. Struktur Tubuh untuk Pertukaran dan Transpor Zat.....	95
B. Proses Pertukaran dan Transpor Zat .....	110
C. Kelainan pada Pertukaran dan Transpor Zat .....	118

<b>Bab 5 Sistem Pertahanan Tubuh terhadap Penyakit .....</b>	<b>127</b>
A. Sistem Pertahanan Eksternal dan Internal .....	132
B. Komponen Sistem Pertahanan Tubuh .....	142
C. Imunitas Tubuh dan Kelainannya .....	156
<b>Bab 6 Mobilitas pada Manusia .....</b>	<b>167</b>
A. Struktur dan Fungsi pada Sistem Saraf .....	170
B. Struktur, Fungsi, dan Kelainan serta Gangguan pada Sistem Gerak .....	184
C. Fenomena dan Keterkaitan Sistem Saraf dengan Sistem Gerak Manusia .....	199
<b>Bab 7 Hormon dalam Reproduksi Manusia.....</b>	<b>207</b>
A. Keterkaitan Struktur dan Fungsi Kelenjar Endokrin dan Peran Hormon dalam Reproduksi .....	211
B. Keterkaitan Struktur Organ pada Sistem Reproduksi .....	221
<b>Bab 8 Tumbuh kembang Makhluk Hidup .....</b>	<b>241</b>
A. Fenomena Pertumbuhan dan Perkembangan .....	245
B. Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup .....	253
<b>Glosarium .....</b>	<b>270</b>
<b>Indeks .....</b>	<b>280</b>
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>283</b>
<b>Profil Pelaku Perbukuan .....</b>	<b>287</b>

# Daftar Gambar

---

<b>Gambar 1.1</b>	Sel <i>Streptococcus pyogenes</i> (berwarna kuning) yang berada di permukaan sel darah putih/neutrofil (berwarna biru) .....	4
<b>Gambar 1.2</b>	(a) Ukuran jangkauan objek dan bagaimana mereka terlihat (b) Unit Pengukurannya .....	5
<b>Gambar 1.3</b>	Artikel terkait penelitian di bidang sitologi.....	7
<b>Gambar 1.4</b>	Mikroskop Elektron dan Mikroskop Cahaya .....	9
<b>Gambar 1.5</b>	Otak dan mata mendukung aktivitas membaca.....	13
<b>Gambar 1.6</b>	Struktur retina mata dan sel-sel penyusunnya.....	14
<b>Gambar 1.7</b>	Sel sperma dalam perbesaran 800x.....	17
<b>Gambar 1.8</b>	Model struktur membran plasma.....	18
<b>Gambar 1.9</b>	Diagram ultrastruktural sel hewan (a) dan sel tumbuhan (b) .....	22
<b>Gambar 1.10</b>	Sel epidermis bawang, 100x .....	25
<b>Gambar 1.11</b>	Diagram sel hewan .....	26
<b>Gambar 1.12</b>	Artikel terkait riset tentang pemanfaatan sel dalam pengembangan obat .....	27
<b>Gambar 2.1</b>	Model struktur membran plasma.....	33
<b>Gambar 2.2</b>	Analogi penggunaan energi dalam pergerakan zat ketika melintasi membran plasma.....	34
<b>Gambar 2.3</b>	Representasi proses osmosis.....	38
<b>Gambar 2.4</b>	Representasi diagram sel dalam kondisi yang berbeda: (a) hipertonik, (b) hipotonik, (c) isotonik .....	39
<b>Gambar 2.5</b>	Representasi sel hewan dan sel tumbuhan dalam berbagai konsentrasi larutan yang berbeda. ....	41
<b>Gambar 2.6</b>	Proses penyeduhan teh celup dalam air panas.	
<b>Gambar 2.7</b>	Model diagram difusi. ....	45
<b>Gambar 2.8</b>	Representasi grafik proses difusi sederhana.....	45
<b>Gambar 2.9</b>	Representasi diagram pertukaran oksigen dan karbondioksida melalui difusi Paru paru manusia.....	47
<b>Gambar 2.10</b>	Representasi model difusi terfasilitasi glukosa. ....	48
<b>Gambar 2.11</b>	Representasi perbedaan transpor aktif dan difusi .....	50
<b>Gambar 2.12</b>	Representasi diagram proses transpor aktif zat ion Natrium dan ion Kalium. ....	51
<b>Gambar 2.13</b>	Representasi gambar transpor aktif di sel akar rambut tanaman .....	52
<b>Gambar 3.1</b>	Struktur tumbuhan.....	61
<b>Gambar 3.2</b>	Jaringan tumbuhan .....	72
<b>Gambar 3.3</b>	Sawi berwarna .....	72

<b>Gambar 3.4</b>	Lebah hinggap pada bunga .....	74
<b>Gambar 3.5</b>	Sporofit dan gametofit tumbuhan paku.....	75
<b>Gambar 3.6</b>	Strobilus .....	78
<b>Gambar 3.7</b>	Bagian-bagian tumbuhan (a) biji dandelion dan (b) buah beri.....	81
<b>Gambar 3.8</b>	Artikel terkait manfaat gajah terhadap keberadaan hutan .....	81
<b>Gambar 3.9</b>	Petani sedang melakukan pemupukan.....	82
<b>Gambar 4.1</b>	Jaringan dasar pada usus halus manusia.....	97
<b>Gambar 4.2</b>	Pembuluh darah menghubungkan berbagai organ tubuh.....	99
<b>Gambar 4.3</b>	Struktur pembuluh arteri dan vena.....	101
<b>Gambar 4.4</b>	Komponen darah.....	102
<b>Gambar 4.5</b>	Struktur eritrosit pada manusia .....	103
<b>Gambar 4.6</b>	Struktur jonjot usus .....	105
<b>Gambar 4.7</b>	Struktur lapisan penyusun kantung alveolus .....	106
<b>Gambar 4.8</b>	Struktur ginjal yang mendukung proses pengeluaran zat sisa metabolisme .....	108
<b>Gambar 4.10</b>	Proses pertukaran gas di paru-paru .....	114
<b>Gambar 4.11</b>	Proses pertukaran zat pada pembentukan urin di ginjal .....	117
<b>Gambar 4.12</b>	Mekanisme peradangan (inflamasi) .....	119
<b>Gambar 5.1</b>	Struktur antibodi dan antigen.....	135
<b>Gambar 5.2</b>	Contoh kondisi darah setelah ditetesi serum .....	139
<b>Gambar 5.3</b>	a) sekelompok neutrofil (ditunjuk anak panah); b) basofil; c) sel Mast.....	143
<b>Gambar 5.4</b>	Kerja pertahanan tubuh pada luka .....	144
<b>Gambar 5.5</b>	Tahapan Fagitosis.....	144
<b>Gambar 5.6</b>	Makrofag sebagai sel penyaji antigen .....	146
<b>Gambar 5.7</b>	Sistem Limfa .....	148
<b>Gambar 5.8</b>	Mekanisme kerja limfosit B .....	150
<b>Gambar 5.9</b>	Tahapan tes antigen.....	153
<b>Gambar 5.10</b>	Mekanisme kerja limfosit T .....	155
<b>Gambar 5.11</b>	Virus HIV (warna merah) menginfeksi limfosit .....	159
<b>Gambar 6.1</b>	Bagian-bagian otak .....	172
<b>Gambar 6.2</b>	Lokasi sumsum tulang belakang.....	176
<b>Gambar 6.3</b>	Anatomai dalam sumsum tulang belakang.....	177
<b>Gambar 6.4</b>	Struktur dan lokasi jenis-jenis neuron .....	178
<b>Gambar 6.5</b>	Neuron dan penjalaran impuls .....	180
<b>Gambar 6.6</b>	Potensial aksi pada neuron. ....	182
<b>Gambar 6.7</b>	Struktur tulang pipa .....	185
<b>Gambar 6.8</b>	Rangka Aksial.....	187

<b>Gambar 6.9</b>	Kelainan Tulang Belakang .....	188
<b>Gambar 6.10</b>	Rangka Apendikular.....	188
<b>Gambar 6.11</b>	Hasil pemeriksaan rontgen kaki pasien X.....	189
<b>Gambar 6.12</b>	Sendi/hubungan antar tulang .....	190
<b>Gambar 6.13</b>	Struktur otot rangka.....	193
<b>Gambar 6.14</b>	Letak tendon pada tulang .....	194
<b>Gambar 6.15</b>	Urutan mekanisme gerak otot .....	196
<b>Gambar 7.1</b>	Organ utama sistem endokrin manusia .....	211
<b>Gambar 7.2</b>	Mekanismme kerja hormon.....	212
<b>Gambar 7.3</b>	Organ Reproduksi primer laki-laki dan perempuan .....	215
<b>Gambar 7.4</b>	Pengaturan hormon reproduksi pada perempuan.....	216
<b>Gambar 7.5</b>	Pengaturan hormon reproduksi pada laki-laki .....	218
<b>Gambar 7.6</b>	Sayatan membujur Organ Reproduksi laki-laki .....	222
<b>Gambar 7.7</b>	Sayatan membujur testis.....	223
<b>Gambar 7.8</b>	Diagram Struktur Organ Reproduksi Perempuan .....	225
<b>Gambar 7.9</b>	Fase menstruasi .....	229
<b>Gambar 7.10</b>	Proses fertilisasi.....	231
<b>Gambar 7.11</b>	Plasenta.....	232
<b>Gambar 8.1</b>	Ternak Sapi .....	244
<b>Gambar 8.2</b>	Tanaman tomat .....	244
<b>Gambar 8.3</b>	Perkecambahan kacang .....	245
<b>Gambar 8.5</b>	Dua tipe perkecambahan.....	246
<b>Gambar 8.4</b>	Kecambah kelapa .....	246
<b>Gambar 8.6</b>	Jaringan meristem .....	247
<b>Gambar 8.7</b>	Perkebunan teh.....	248
<b>Gambar 8.8</b>	Potongan kayu yang dijadikan meja.....	249
<b>Gambar 8.9</b>	Ilustrasi pertumbuhan dan perkembangan ikan .....	250
<b>Gambar 8.10</b>	Perkembangan anak 0 – 1 tahun .....	252
<b>Gambar 8.11</b>	Contoh varietas mangga di Indonesia (a) Mangga Harum manis; (b) Mangga Indramayu; (c) Mangga Golek; (d) Mangga Kweni; (e) Mangga Manalagi; (f) Mangga Gedong Gincu .....	254
<b>Gambar 8.12</b>	Buah mangga disimpan dalam beras. ....	255
<b>Gambar 8.13</b>	Daun pisang kipas yang kekurangan Fe (kiri).....	257
<b>Gambar 8.14</b>	Laman situs virtual laboratorium .....	258
<b>Gambar 8.15</b>	Tumbuhan layu kekurangan air .....	259
<b>Gambar 8.16</b>	Contoh beberapa varietas ayam.....	261
<b>Gambar 8.17</b>	Sultan Kosen, manusia tertinggi di dunia pada saat itu.....	262
<b>Gambar 8.18</b>	Faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan Perkembangan manusia.....	263

# Daftar Tabel

---

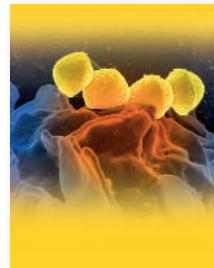
Tabel 1.1	Model Struktur Membran Sel.....	19
Tabel 1.2	Struktur Organel Sel dan Fungsinya.....	23
Tabel 2.1	Rencana Penyelidikan.....	37
Tabel 2.2	Perbandingan Sel Tumbuhan dan Sel Hewan yang Ada dalam Larutan dengan Konsentrasi yang Berbeda.....	42
Tabel 2.3	Rencana Penyelidikan .....	43
Tabel 2.4	Perbedaan Difusi Sederhana dan Difusi Terfasilitasi. ....	50
Tabel 3.1	Organ Tumbuhan dan Fungsi.....	61
Tabel 3.2	Persamaan dan Perbedaan Daun Monokotil dan Dikotil.....	64
Tabel 3.3	Persamaan dan Perbedaan Batang Monokotil dan Dikotil.....	66
Tabel 3.4	Persamaan dan Perbedaan Daun Monokotil dan Dikotil.....	68
Tabel 3.5	Perbandingann Daun Monokotil dan Dikotil.....	69
Tabel 3.6	Perbandingan Batang Monokotil dan Dikotil .....	70
Tabel 3.7	Perbandingan Akar Monokotil dan Dikotil .....	70
Tabel 3.8	Persamaan dan Perbedaan Siklus Hidup Lumut dan Paku.....	77
Tabel 3.9	Identifikasi Keterkaitan antara Kadar Nutrisi di dalam Tanah dengan Respons yang akan Tumbuhan Berikan .....	83
Tabel 3.10	Respons Tumbuhan terhadap Faktor-Faktor Eksternal.....	84
Tabel 4.1	Perbandingan Ragam Aktivitas Tubuh .....	93
Tabel 4.2	Tipe Jaringan Dasar pada Tubuh Manusia.....	96
Tabel 4.3	Perbandingan Ciri Struktur Organ Pernapasan .....	107
Tabel 4.4	Deskripsi Struktur Bagian Ginjal .....	111
Tabel 4.5	Beberapa Jenis Enzim Pencernaan.....	112
Tabel 4.6	Hasil Pengukuran Laju Pernapasan.....	117
Tabel 4.7	Tiga Tahapan Pembentukan Urin di Ginjal.....	116
Tabel 4.8	Contoh Sejumlah Penyakit Peradangan .....	120
Tabel 5.1	Hasil Pengamatan Ciri dan Fungsi Struktur Kulit .....	135
Tabel 5.2	Penggolongan Darah Sistem AB0 .....	137
Tabel 5.3	Hasil Pengamatan Golongan Darah Siswa .....	140
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Golongan Darah .....	142
Tabel 5.5	Perbandingan Perbedaan Neutrofil dan Makrofag .....	147
Tabel 5.6	Hasil Pengukuran Suhu Beberapa Titik Tubuh.....	149
Tabel 5.7	Ragam Tipe <i>Immunoglobulin</i> Beserta Letak dan Fungsinya .....	152
Tabel 5.8	Ciri dan Contoh Tipe Imunitas Tubuh .....	158
Tabel 5.9	Beberapa Contoh Penyakit Autoimun .....	159
Tabel 7.1	Hormon pada Sistem Reproduksi dan Fungsinya .....	220
Tabel 7.2	Fase Menstruasi dan Persiapan Kehamilan.....	230

# Peta Pemikiran Buku

## Buku Biologi Kelas XI

### Bab 1 Menjelajah Sel

Pengamatan Struktur Sel; Keterkaitan antara Struktur dan Fungsi Sel; Komposisi Sel



### Bab 2 Pergerakan Zat melalui Membran Sel

Transpor aktif;  
Transpor Pasif



### Bab 3 Proses Pengaturan pada Tumbuhan

Jaringan, Organ, dan Sistem Organ; Transpor pada Tumbuhan; Reproduksi pada Tumbuhan; Iritabilitas pada Tumbuhan



### Bab 4 Transpor dan Pertukaran Zat pada Tubuh Manusia

Struktur Tubuh untuk Pertukaran dan Transpor Zat; Proses Pertukaran dan Transpor Zat; Kelainan pada Pertukaran dan Transpor Zat.



### Bab 5 Sistem Pertahanan Tubuh Terhadap Penyakit

Sistem Pertahanan Eksternal dan Internal; Komponen Sistem Pertahanan Tubuh; Imunitas Tubuh dan Kelainannya



### Bab 6 Mobilitas pada Manusia

Struktur dan Fungsi pada Sistem Saraf; Struktur, Fungsi, dan Kelainan serta Gangguan pada Sistem Gerak; Fenomena dan Keterkaitan Sistem Saraf dengan Sistem Gerak Manusia



### Bab 7 Hormon dalam Reproduksi Manusia

Keterkaitan Struktur dan Fungsi Kelenjar Hormon dalam Reproduksi; Keterkaitan Struktur Organ pada Sistem Reproduksi



### Bab 8 Tumbuh Kembang Makhluk Hidup

Fenomena Pertumbuhan dan Perkembangan; Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup



# Petunjuk Penggunaan Buku

## Tujuan Pembelajaran

### Tujuan Pembelajaran

Kalian mampu menganalisis hubungan antara struktur dan fungsi organ tumbuhan serta menguraikan sistem regulasi yang dilakukan tumbuhan melalui kegiatan penyelidikan bersama dengan teman Kalian.

Terdapat pada awal bab yang menjadi arahan tercapainya kompetensi setelah mempelajari bab tersebut. Tujuan pembelajaran membantu kalian untuk memonitor perkembangan belajar kalian dalam bab tersebut yang akan dihubungkan dengan refleksi pada akhir pembahasan.

## Kata Kunci

### Kata Kunci

- Jaringan
- Organ
- Regulasi
- Hormon
- Sistem Organ Tumbuhan

Kata atau konsep yang merupakan kunci untuk dihubungkan dengan kata atau konsep lain. Pemahaman terhadap kata kunci menolong kalian untuk mengaitkan konsep yang satu dengan konsep lainnya.

## Peta Konsep

Peta Konsep yang terdapat pada awal bab merupakan diagram yang menunjukkan hubungan antar materi yang terdapat dalam setiap bab. Kalian perlu mencermati bagan materi ini untuk mendapatkan gambaran yang luas tentang isi bab tersebut.



### Ayo Mengingat Kembali

Apa yang telah kalian pelajari di jenjang sebelumnya berhubungan dengan apa yang akan dipelajari di kelas XI. Kalian akan lebih mudah memahami materi pelajaran kelas XI dengan pengetahuan yang telah dipelajari di jenjang sebelumnya.



### Ayo Bereksplorasi

Kalian melakukan kegiatan ini untuk menyelidiki hal-hal yang berkaitan dengan pembahasan materi. Eksplorasi selalu dilakukan sebelum kalian mendalami materi biologi.



### Ayo Berpikir kritis

Kalian berpikir kritis jika dapat menganalisis informasi untuk mengambil kesimpulan atau menilai suatu hal dengan tepat. Keterampilan ini perlu kalian latih terus-menerus karena merupakan salah satu dari keterampilan abad ke-21.



### Ayo Berpikir kreatif

Kalian berpikir kreatif jika dapat membuat ide atau alternatif solusi yang baru yang berbeda dari hal umum. Keterampilan ini termasuk keterampilan abad ke-21 yang juga perlu dilatih.



### Ayo Mencoba

Kalian diharapkan dapat melakukan kegiatan praktikum baik secara langsung maupun virtual.



### Ayo Berkommunikasi

Bertukar pikiran dengan teman-teman dan menyatakan gagasan merupakan kegiatan yang bermanfaat untuk memperdalam pengetahuan sehingga dapat menyelesaikan masalah atau menjawab pertanyaan. Kalian juga menyampaikan ide dan gagasan secara lisan maupun tulisan.



### Ayo Berkerja Sama

Bekerja sama merupakan salah satu bentuk dari bergotong royong. Kalian bekerja sama untuk menyelesaikan masalah atau menjawab pertanyaan sehingga pemahaman kalian terhadap materi pelajaran lebih baik lagi. Selain itu, bekerja sama memerlukan saling memahami dan menghargai satu sama lain.



### Tahukah kalian?

Kalian mendapatkan informasi tambahan yang berkaitan dengan materi yang sedang dipelajari.

## Refleksi

### Refleksi

Setelah mempelajari sel melalui berbagai aktivitas di Bab ini, apa saja hal terkait sel yang sudah Kalian pahami? Keterampilan apa saja yang sudah Kalian kuasai? Apakah masih ada materi yang belum Kalian pahami? Apa yang akan Kalian lakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut?

Pada akhir bab atau subbab, kalian akan diajak memikirkan kembali apa yang sudah dipelajari dan seberapa dalam/tepat pemahaman mereka atas pembelajaran pada bagian tersebut.

## **Uji Kompetensi**

### **Uji Kompetensi**

**A. Tuliskan jawaban yang benar untuk setiap pertanyaan berikut!**

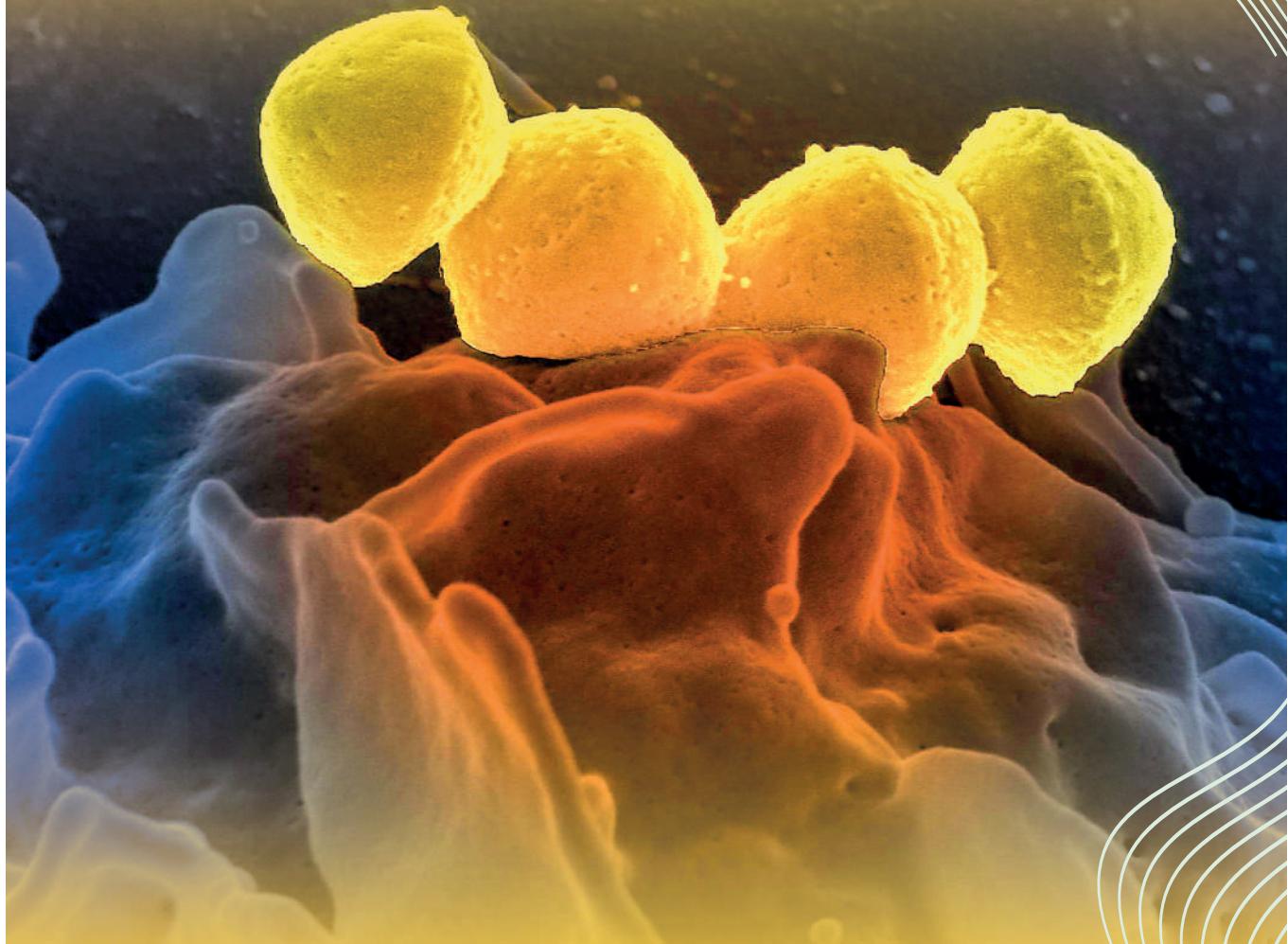
1. Jika gambar yang terlihat saat pengamatan menggunakan mikroskop cahaya masih buram, apakah komponen mikroskop yang harus Kalian atur agar gambar tampak jelas?
2. Apabila bagian sel yang ditunjuk mengalami gangguan atau bahkan menghilang, jelaskan dampaknya!

Terdapat pada akhir bab, merupakan sarana bagi kalian untuk mengukur pencapaian kalian dalam topik bab. Kalian dapat mengerjakan sejumlah soal yang bervariasi dari yang sederhana hingga yang kompleks.

## **Pengayaan**

Kegiatan yang dapat digunakan untuk memperluas atau memperdalam wawasan dan pemahaman atas konsep biologi yang sedang dipelajari. Materi pengayaan dapat bersifat sebagai pendalaman materi, penerapan dalam bidang teknologi/informatika, atau kegiatan eksplorasi/proyek.

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



# Bab 1

## Menjelajah Sel

Tahukah Kalian, apakah persamaan yang dimiliki oleh bakteri dan manusia sebagai sesama organisme? Bagaimana setiap organisme seluler dari yang terkecil hingga terbesar dapat mengatur proses kehidupannya?

*Sumber gambar: CC 01/ US National Institute of Allergy and Infectious Diseases (2022)*

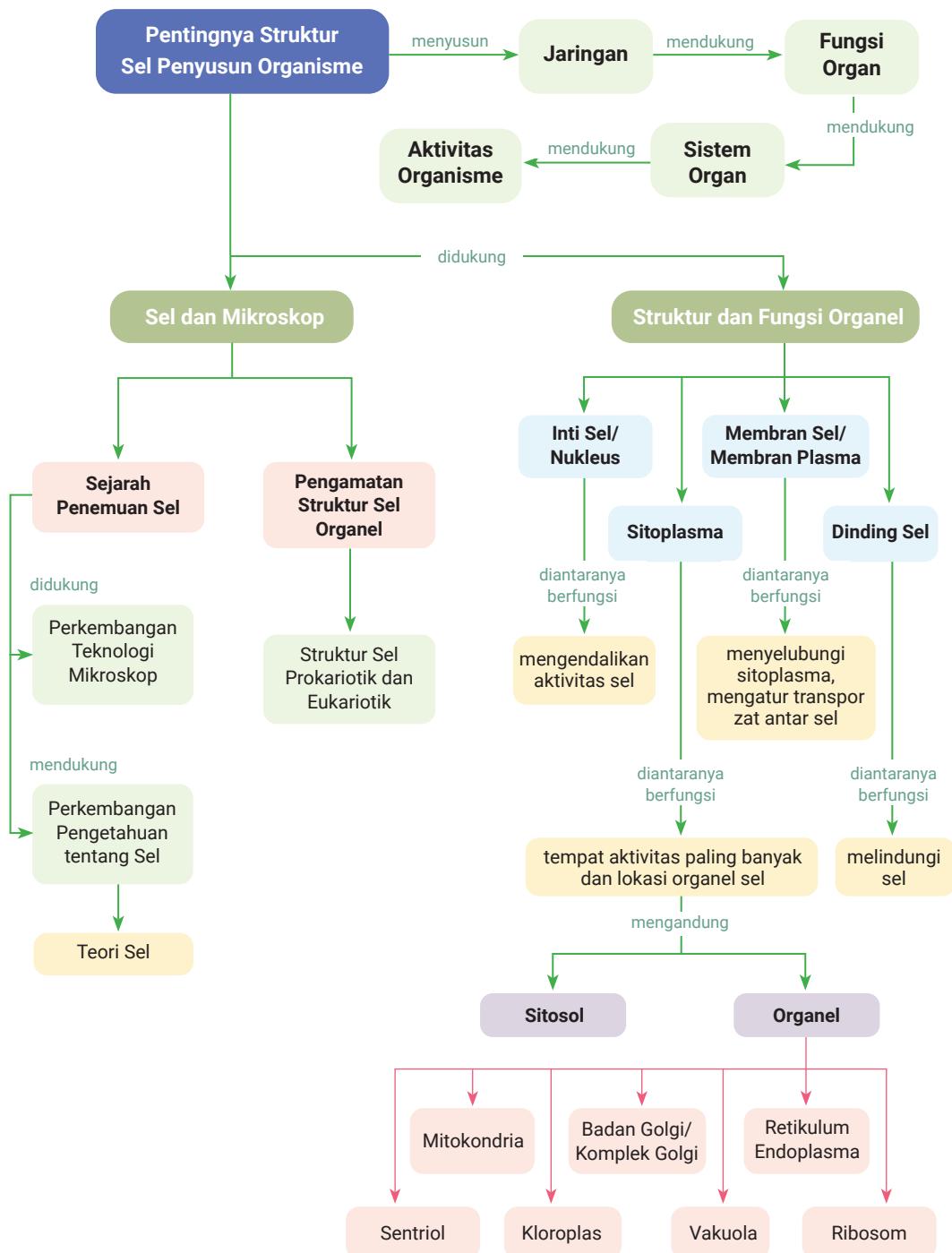
## Tujuan Pembelajaran

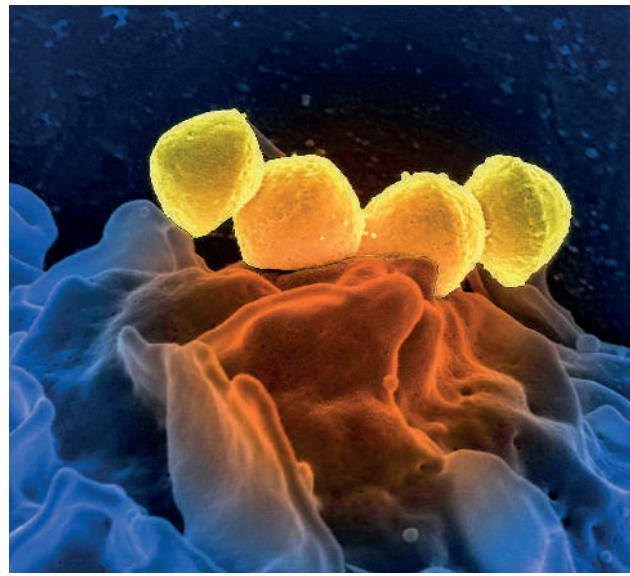
Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu memahami struktur sel melalui penyelidikan dan mengomunikasikan hasilnya.

## Kata Kunci

- Mitokondria
- Inti Sel/Nukleus
- Organisme multiseluler
- Organisme uniseluler
- Plastida
- Sel
- Sitologi

## Peta Konsep





**Gambar 1.1** Sel *Streptococcus pyogenes* (berwarna kuning) yang berada di permukaan sel darah putih/neutrofil (berwarna biru)

Sumber: CC 01 / US National Institute of Allergy and Infectious Diseases (2022)

Tahukah Kalian, Gambar 1.1 itu gambar apa? Gambar 1.1 adalah mikrograf (gambar yang diambil melalui mikroskop) sel *Streptococcus pyogenes* (berwarna kuning) yang berada di permukaan sel darah putih/neutrofil (berwarna biru).

Berdasarkan jumlah sel penyusunnya, apakah *Streptococcus pyogenes* tersebut termasuk organisme uniseluler atau multiseluler? Berdasarkan keberadaan membran inti sel, apakah bakteri termasuk organisme prokariotik atau eukariotik?

Gambar 1.1 merupakan hasil pemindaian mikroskop elektron (*Scanning Electron Microscope/SEM*) (<https://phil.cdc.gov/details.aspx?pid=10068>). Penggunaan SEM untuk mengamati bakteri menjadi pilihan para ilmuwan di laboratorium riset. Dapatkah Kalian memeroleh visualisasi gambar *Streptococcus pyogenes* dengan resolusi gambar seperti Gambar 1.1 jika melakukan pengamatan menggunakan mikroskop cahaya? Mengapa demikian?

Bagaimana jika objek pengamatan Kalian adalah sel hewan dan sel tumbuhan, apakah struktur sel dan organel sel dari sel hewan dan sel tumbuhan dapat Kalian amati dengan jelas menggunakan mikroskop cahaya? Mengapa demikian?

Ingatlah kembali materi sel sewaktu Kalian belajar Ilmu Pengetahuan Alam di Kelas VIII SMP. Pemahaman Kalian tentang materi sel tersebut serta keterampilan menggunakan mikroskop diperlukan sebagai dasar untuk mempelajari materi sel di bab ini. Namun, jika Kalian masih perlu memahami kembali pengantar materi sel dan prosedur pengamatan sel menggunakan mikroskop, ayo lakukan **Aktivitas 1.1**, **1.2**, dan **1.3**!

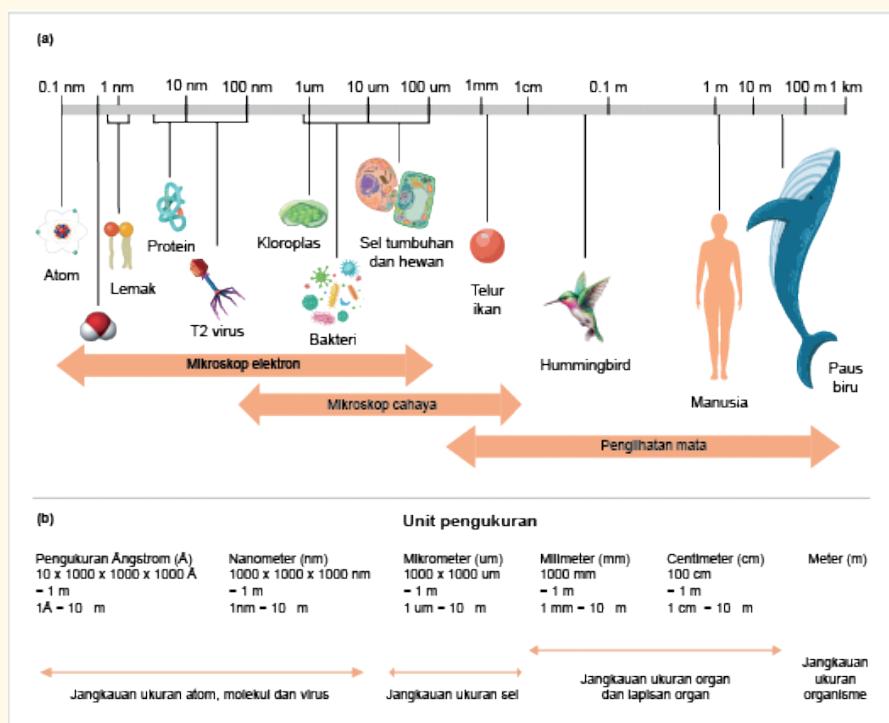
## A. Pengamatan Struktur Sel

Kita tahu bahwa semua organisme terdiri atas sel. Diketahui bahwa ada berbagai jenis organisme, namun demikian komponen dasar sel yang membentuk organisme relatif sama. Apa komponen dasar yang dimiliki sel tersebut? Selain itu, ukuran sel, yang disebut sangat kecil (mikroskopis), adalah karakteristik lain yang umumnya terkait dengan sel. Apakah begitu? Untuk menjawab rasa ingin tahumu, ayo kerjakan Aktivitas 1.1!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.1



**Gambar 1.2** (a) Ukuran jangkauan objek dan bagaimana mereka terlihat  
(b) Unit Pengukurannya

Gambar 1.2 menunjukkan perbandingan kisaran ukuran objek pengamatan (mulai dari atom sampai dengan pohon pinus raksasa), alat untuk mengamati objek yang diamati (mikroskop elektron, mikroskop cahaya, dan mata), serta satuan unit pengukuran. Setelah Kalian mengamati Gambar 1.2, coba diskusikan hal-hal berikut dengan anggota kelompokmu!

2. Objek pengamatan yang tidak dapat diamati menggunakan mikroskop cahaya.
3. Objek pengamatan yang dapat diamati tanpa menggunakan mikroskop.

Jika Kalian telah menemukan jawaban dari masalah tersebut, tuliskan jawabannya pada buku latihan. Kemukakan jawaban kelompok Kalian pada saat diskusi kelas!

Selanjutnya, untuk memastikan pemahaman Kalian tentang kisaran ukuran sel organisme, coba kerjakan Latihan 1.1 secara mandiri!

#### Latihan 1.1

Berilah tanda centang (✓) di kotak jawaban benar atau salah sesuai pernyataan berikut!

Pernyataan	Benar	Salah
Ukuran sel tumbuhan berkisar antara $10 \times 10^{-6}$ m sampai dengan $100 \times 10^{-6}$ m.		
Ukuran sel tumbuhan dan hewan umumnya 100x lebih besar dari ukuran sel bakteri.		
Ukuran sel bakteri 10x lebih besar dibandingkan ukuran virus (pada umumnya).		
Mikroskop elektron lebih baik digunakan jika akan mengamati virus.		

Berdasarkan Aktivitas 1.1, Kalian mengetahui bahwa ukuran sel memang “sangat kecil”, dan tentu saja komponen-komponen penyusun sel tersebut juga berukuran sangat kecil. Ukuran sel yang sangat kecil

merupakan salah satu hal yang menyebabkan peneliti di bidang Sitologi menghadapi berbagai kesulitan ketika meneliti sel.



### Tahukah kalian?

Apakah Kalian tahu apa yang dimaksud dengan sitologi? Sitologi adalah cabang Biologi yang terkait struktur dan fungsi sel (Scott, 2009).

Sebuah sel perlu diamati strukturnya, sel juga perlu diketahui komposisi molekulnya. Diperlukan berbagai metode untuk memahami sel dengan baik, benarkah demikian? Untuk lebih memahami hal tersebut, mari kita jelajahi Aktivitas 1.2!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.2

#### **Kerjakan tugas berikut dengan bekerja sama bersama kelompok belajarmu!**

Sitologi menjadi salah satu ilmu yang semakin penting di abad ke-21. Mengapa sitologi menjadi salah satu cabang ilmu biologi yang semakin penting? Untuk mengetahuinya, Kalian dapat membaca artikel terkait hasil penelitian di bidang sitologi. Salah satu contoh artikelnnya yang tampak di Gambar 1.3. Untuk membaca detail artikel ini silahkan Kalian mengakses tautan: <http://ringkas.kemdikbud.go.id/PemeriksaanSitologi>. Artikel tersebut menginformasikan bahwa beberapa peneliti di Indonesia mengaplikasikan konsep di bidang sitologi untuk mendeteksi kanker secara dini.



**Gambar 1.3** Artikel terkait penelitian di bidang sitologi  
Sumber: brin.go.id (2022)

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan tepat berdasarkan artikel tersebut!

1. Tuliskan judul artikel yang Kalian baca dan sumber artikelnya!
2. Setelah membaca artikel tersebut, menurut Kalian apakah para peneliti menggunakan satu metode atau beragam metode ketika melakukan penelitian di bidang sitologi?.
3. Lakukan aktivitas ini dengan teman-teman dalam kelompok Kalian. Kemukakan jawaban kelompok Kalian pada saat diskusi kelas!

Beberapa metode yang digunakan peneliti untuk mengkaji sel. Metode-metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing. Beberapa metode yang digunakan peneliti di bidang sitologi untuk mempelajari sel adalah 1) metode mikroskopi, 2) metode biakan sel, 3) metode fraksinasi sel dan isinya, 4) teknik DNA Rekombinan, dan 5) metode pelacakan molekuler seluler dengan radio-isotop dan antibodi (Subowo, 2006).

Metode pengamatan menggunakan mikroskop, atau dikenal dengan istilah metode mikroskopi adalah salah satu metode yang dapat digunakan oleh Kalian untuk memahami sel. Menurut Kalian, apakah kesulitan yang dihadapi ketika menggunakan mikroskop untuk mengamati sel? Apakah Kalian dapat mengamati struktur sel menggunakan mikroskop yang ada di laboratorium sekolah? Apakah struktur sel yang Kalian amati menggunakan mikroskop tersebut terlihat sama jelasnya seperti Gambar 1.1? Mengapa demikian?



#### Tahukah kalian?

Mikroskop yang digunakan peneliti di bidang sitologi umumnya adalah mikroskop elektron. Sebelumnya ada dua jenis mikroskop elektron yang umum digunakan, yaitu *Transmission Electron Microscope* (TEM) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Sekarang ini dikenal *Scanning Probe Microscopes* (SPM). SPM ini diketahui memberikan visualisasi gambar dengan resolusi yang lebih baik dibanding mikroskop elektron dan perbesaran sampai 100.000.000x (Bruslind, 2019).



### Ayo Mengingat Kembali

Perhatikan Gambar 1.4 dengan saksama, masih ingatkah Kalian dengan ragam jenis mikroskop tersebut? Berdasarkan Gambar 1.4 adakah jenis mikroskop yang digunakan oleh Kalian di laboratorium sekolah? Masih ingatkah Kalian bagaimana menggunakan mikroskop dengan benar? Jika Kalian masih ingat Kalian dapat langsung melakukan Aktivitas 1.5. Namun, jika Kalian masih perlu memperkuat keterampilan menggunakan mikroskop, lanjutkan dengan Aktivitas 1.3 dan Aktivitas 1.4.



(a) Mikroskop Elektron



(b) Mikroskop cahaya  
(sumber cahaya:  
cahaya ruang)



(c) Mikroskop Cahaya  
(sumber cahaya: lampu  
berenergi listrik)

**Gambar 1.4** Mikroskop Elektron dan Mikroskop Cahaya

Sumber: (a) commons.wikimedia.org/ Pavlina Jachimova (2017); (b) commons.wikimedia.org/Les Chatfield (2014); (c) commons.wikimedia.org/Blythwood (2016)



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.3

Carilah informasi tentang perbesaran dan resolusi gambar yang dihasilkan oleh jenis mikroskop pada Gambar 1.4! Gunakan literatur yang dapat Kalian baca melalui internet atau di perpustakaan, jangan lupa catat sumber literurnya! Adapun salah satu contoh tautan literatur yang dapat digunakan oleh Kalian untuk mengetahui ragam jenis mikroskop yang digunakan sekarang ini pada tautan <https://open.oregonstate.education/generalmicrobiology/chapter/microscopes/>



## Mengenal Bagian dan Fungsi Mikroskop Cahaya di Laboratorium Sekolah

### Judul Kegiatan:

Mengenal bagian dan fungsi mikroskop cahaya di laboratorium sekolah.

### Tujuan:

1. Mengidentifikasi berbagai bagian mikroskop cahaya.
2. Menggunakan mikroskop cahaya untuk mengamati struktur sel pada preparat awetan yang tersedia di laboratorium sekolah.

### Alat dan Bahan:

- Mikroskop
- Preparat awetan sel (contoh: preparat awetan jaringan epitel)
- Alat tulis dan buku gambar

### Prosedur:

1. Perhatikan demonstrasi penggunaan mikroskop yang akan dilakukan oleh bapak/ibu guru!
2. Tuliskan pertanyaan yang ingin Kalian tanyakan terkait penggunaan mikroskop dan sampaikan kepada ibu/bapak guru!
3. Catatlah nama bagian-bagian mikroskop dan fungsinya sesuai dengan penjelasan yang diberikan!
4. Selanjutnya, Kalian harus mempraktikkan cara membawa, menyimpan dan menggunakan mikroskop dengan benar. Ingat kembali hal yang ditunjukkan bapak/ibu guru pada saat demonstrasi di awal (No.1)!
5. Kalian dapat mengunjungi tautan berikut untuk menguatkan pengetahuan prosedural Kalian dalam menggunakan mikroskop: <https://virtuallabs.nmsu.edu/>

Sewaktu di SMP Kalian sudah dilatih menggunakan mikroskop cahaya. Gunakan pengetahuan dan keterampilan Kalian dalam menggunakan mikroskop di Aktivitas 1.5 dan 1.6.



### Ayo Mencoba



### Ayo Berkomunikasi

### Aktivitas 1.5

#### Membuat Rancangan Kegiatan Praktikum untuk Membandingkan Struktur Sel Organisme yang Berbeda

Lakukan Aktivitas 1.5 bersama teman-teman dalam satu kelompok. Diskusikan rancangan praktikum untuk Aktivitas 1.5 ini. Selanjutnya, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut untuk memandu Kalian membuat rancangan praktikum!

1. Identifikasi dan rumuskan pertanyaan terkait struktur sel yang dapat Kalian jawab melalui penyelidikan.
2. Identifikasi alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan penyelidikan.
3. Tuliskan secara rinci tahap penyediaan bahan (spesimen sel) yang akan diamati serta penggunaan alat yang dibutuhkan.
4. Buatlah diagram alur tahapan penyelidikan yang akan dilakukan.
5. Konsultasikan rancangan praktikum Kalian kepada Bapak/Ibu Guru!

Jika sudah mendapat masukan dan persetujuan dari Bapak/Ibu Guru, mari lakukan percobaan tersebut di laboratorium seperti yang tersaji dalam Aktivitas 1.6.



### Ayo Mencoba



### Ayo Berkomunikasi

### Aktivitas 1.6

#### Melaksanakan dan Melaporkan Kegiatan Praktikum Pengamatan Struktur Sel

Setelah alat dan bahan siap, diagram alur tahapan penyelidikan dipahami, maka lakukanlah kegiatan penyelidikan struktur sel. Sajikan hasilnya dalam bentuk laporan praktikum.

1. Lakukan penyelidikan dengan cermat.
2. Buatlah tabel hasil pengamatan yang diperlukan
3. Selanjutnya, siapkan dokumentasi dari hasil pengamatan (gambar/foto/rekaman video).
4. Diskusikan hasil penyelidikan yang dilakukan dengan gurumu, termasuk kesulitan yang dihadapi pada saat melakukan kegiatan penyelidikan.
5. Interpretasi data yang diperoleh dan komunikasikan hasilnya dalam diskusi kelas.
6. Buatlah laporan praktikum secara berkelompok.

Struktur sel yang Kalian amati melalui Aktivitas 1.4, 1.5, dan 1.6 menggunakan mikroskop cahaya, sebenarnya baru sebagian dari keseluruhan struktur sel. Mengapa demikian? karena terbatasnya perbesaran dan resolusi gambar yang dihasilkan mikroskop cahaya.

Unit/komponen struktur sel organisme yang mudah teridentifikasi ketika pengamatan dilakukan menggunakan mikroskop cahaya adalah membran plasma/membran permukaan sel, sitoplasma, dan inti sel. Membran plasma, sitoplasma dan inti sel diketahui merupakan tiga unit utama dari struktur sel setiap organisme (Thibodeau & Patton, 2000).



#### Ayo Mengingat Kembali

Masih ingatkah Kalian tentang membran sel, sitoplasma, dan inti sel? Coba ingat kembali materi Pengantar Sel di buku IPA SMP Kelas VIII. Bagaimanakah struktur dan fungsi dari unit/komponen sel tersebut?

## B. Keterkaitan antara Struktur dan Fungsi Sel



**Gambar 1.5** Otak dan mata mendukung aktivitas membaca

Sumber: Pexels/Min An (2018)

Perhatikan Gambar 1.5 dengan saksama. Ketika Kalian melakukan aktivitas serupa dengan Gambar 1.5, yaitu membaca, apakah Kalian menyadari bahwa mata sedang berfungsi? Otak sedang digunakan untuk berpikir dan memahami kalimat demi kalimat yang Kalian baca?

Umumnya Kalian sadar bahwa ada organ tubuh, yaitu mata dan otak sedang berfungsi mendukung aktivitas membaca. Namun, sadarkah Kalian bahwa aktivitas mata dan otak tersebut terjadi atas dukungan berbagai jenis sel yang ada di setiap organ tersebut. Benarkah aktivitas suatu organ didukung oleh beragam sel dengan struktur yang berbeda? Apakah setiap sel tersebut memiliki fungsi yang sama? Untuk mengetahui jawabannya, mari lakukan Aktivitas 1.7 berikut.

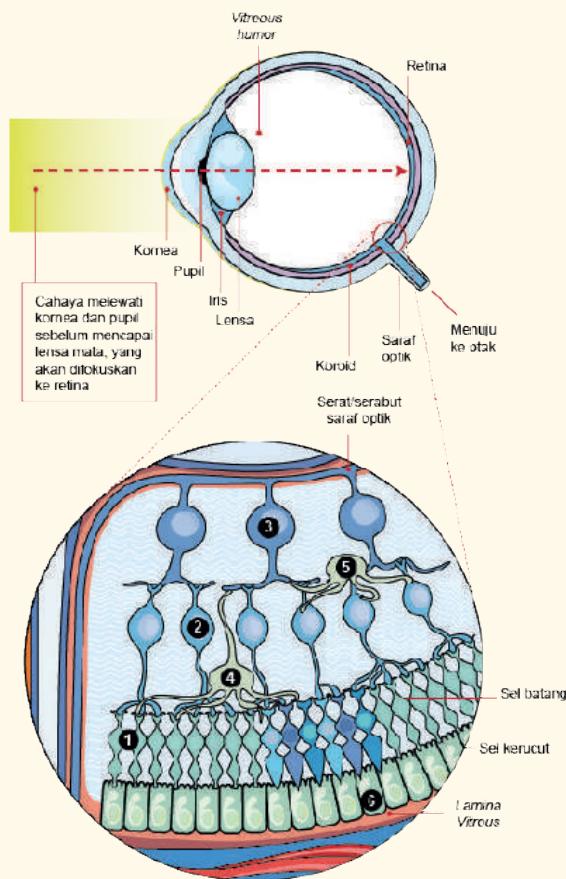


Ayo Bereksplorasi

Aktivitas 1.7

### Memahami Keterkaitan antara Struktur dan Fungsi Sel

Coba perhatikan Gambar 1.6 dengan saksama. Pahami juga informasi di bagian keterangan gambarnya. Apakah Kalian ingat bagian mata yang disebut retina? Terdiri dari sel apa retina mata? Apakah fungsi sel penyusun retina mata sama atau berbeda?



**Gambar 1.6** Struktur retina mata dan sel-sel penyusunnya.

Keterangan:

1. **Fotoreseptor**, meliputi dua jenis sel: sel batang dan sel kerucut.
2. **Sel bipolar**, bertanggung jawab untuk mentransmisikan sinyal dari fotoreseptor ke sel ganglion retina.
3. **Sel ganglion retina**, menyampaikan sinyal dari sel bipolar dan amakrin ke otak melalui jalur panjang yang disebut akson yang membentuk saraf optik.
4. **Sel horizontal**, mengatur sinyal yang muncul dari beberapa sel batang dan sel kerucut.
5. **Sel amakrin**, mencapai beberapa sel bipolar untuk mengatur sinyal yang diarahkan ke sel ganglion retina.
6. **Epitel pigmen retina**, lapisan epitel yang terletak di bawah fotoreseptor. Lapisan ini membentuk penghalang pembuluh darah di koroid dan membersihkan zat berbahaya yang dilepaskan oleh fotoreseptor sebagai respons terhadap cahaya.

(Holmes, 2018)

Setelah Kalian mempelajari Gambar 1.6, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Ada berapa jenis sel yang mendukung retina mata? Sebutkan!
2. Apakah fungsi dari setiap sel tersebut sama atau berbeda?

Sel-sel yang membentuk retina mata pada Gambar 1.6 bekerja terus-menerus sesuai dengan fungsinya. Keberadaan sel-sel ini merupakan salah satu nikmat besar dari Tuhan Sang Pencipta. Hal ini tentunya harus disyukuri oleh setiap makhluk yang diciptakannya, termasuk Kalian tentunya.



#### Ayo Mengingat Kembali

Masih ingatkah Kalian tentang spesialisasi sel, khususnya sel-sel penyusun organisme multiseluler? Kalian mempelajari tentang spesialisasi sel di SMP Kelas VIII. Sel yang mengalami spesialisasi memiliki struktur yang khas untuk menunjang fungsinya. Coba Kalian ingat kembali sel saraf, sel darah merah, sel stomata, dan sel akar rambut, apakah struktur sel-sel tersebut sama atau berbeda? Apakah fungsi dari setiap sel tersebut sama atau berbeda? Adakah keterkaitan antara struktur dan fungsi sel?

Setiap sel penyusun organisme memiliki fungsi tertentu. Beberapa sel bertanggung jawab terhadap kelangsungan fungsi tubuh organisme. Spesialisasi fungsi tersebut biasanya didukung oleh struktur sel penyusunnya, benarkah demikian? Sebagai contoh, sel-sel penyusun jaringan otot organ jantung diketahui merupakan sel-sel yang memiliki organel mitokondria dalam jumlah yang banyak (Thibodeau & Patton, 2000). Adakah hubungan antara spesialisasi struktur sel tersebut dengan fungsi sel nya? Untuk mengetahui hubungan antara struktur dan fungsi sel lakukan Aktivitas 1.8!



**Baca dan pelajari intisari penelitian yang dilakukan peneliti berikut!**

### Intisari

Jantung sebagai bagian dari sistem peredaran darah berperan penting dalam menjaga homeostasis. Peran tersebut didukung oleh sel-sel otot jantung penyusunnya. Fokus penelitian ini adalah mempelajari peran spesifik salah satu organel sel otot jantung yaitu mirokondria. Mitokondria merupakan organel penghasil energi dalam bentuk *Adenosin Trifosfat* (ATP). Energi tersebut dihasilkan melalui proses respirasi aerobik (memerlukan oksigen), lebih tepatnya pada tahap fosforilasi oksidatif atau transpor membran. Gangguan yang terjadi pada mitokondria dapat mengganggu tahap tersebut sehingga menghasilkan *reactive oxygen species* (ROS) yang berlebihan, berkurangnya produksi energi, dan terjadinya penyakit kardiovaskular. Oleh karena itu, biogenesis mitokondria yang kualitasnya terkontrol sangat penting untuk kesehatan jantung.

Mitokondria menghasilkan lebih dari 90% ATP yang dibutuhkan jaringan jantung. Meningkatnya jumlah mitokondria yang memiliki fungsi abnormal teridentifikasi pada berbagai penderita penyakit jantung.

### Referensi

Tahrir, F.G., Langford, D., Amini, S., Ahooyi, T.M., and Kamel, K. (2019). *Mitochondrial Quality Control in Cardiac Cells: Mechanisms and Role in Cardiac Cell Injury and Disease*. *J.Cell Physiol.* 234(6): 8122–8133. doi:10.1002/jcp.27597

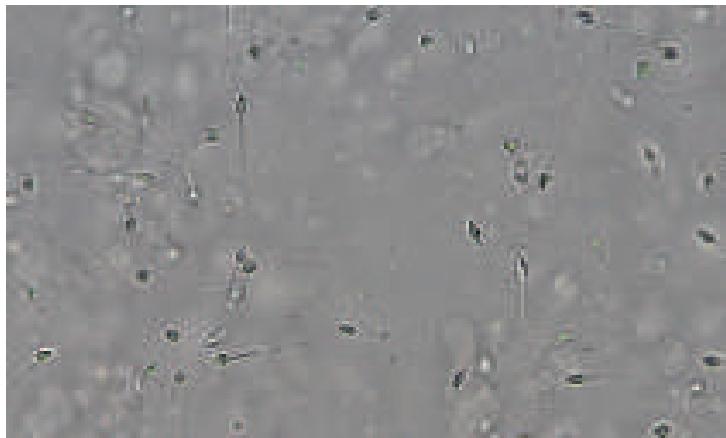
**Tautan artikel asli dapat ditelusuri di tautan berikut:**

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6395499/>

Setelah Kalian membaca dan mempelajari intisari artikel penelitian tersebut, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Apakah mitokondria dalam sel-sel otot jantung sangat penting untuk mendukung fungsi organ jantung? Jelaskan!
2. Sebutkan informasi apakah yang memperkuat dugaan bahwa mitokondria yang terkandung dalam sel-sel jantung memiliki fungsi yang sangat penting!

Berdasarkan intisari penelitian tersebut diketahui bahwa jumlah mitokondria yang banyak di dalam sel-sel jantung berperan penting dalam menyuplai energi yang diperlukan oleh organ jantung. Adakah contoh lain yang dapat menjelaskan hubungan antara struktur sel dengan fungsinya? Perhatikan Gambar 1.7, bagaimanakah hubungan antara struktur sel sperma dengan fungsinya?



**Gambar 1.7** Sel sperma dalam perbesaran 800x.

Sumber: commons.m.wikimedia.org/Ajay Kumar Chaurasiya (2021)

Setiap spesies memiliki struktur sel sperma yang hampir sama namun ukurannya cenderung berbeda (Garner & Hafez dalam Susilawati, 2011). Lebih lanjut dikemukakan bahwa struktur sel sperma memanjang, terdiri dari bagian kepala sel sperma yang di dalamnya terdapat inti sel, bagian leher dan ekor. Inti bagian tengah ekor bersama dengan seluruh bagian ekor sperma membentuk aksonema. Aksonema tersebut dikelilingi oleh mitokondria-mitokondria penghasil energi. Energi tersebut yang digunakan untuk mendukung pergerakan sel sperma.

### C. Komposisi Sel

Semua sel penyusun organisme memiliki membran plasma, sitoplasma dan inti sel (Thibodeau & Patton, 2000). Sebelumnya, masih ingatkah Kalian struktur dan fungsi dari tiga unit/komponen dasar struktur sel tersebut? Untuk mengingat lagi struktur dan fungsi membran plasma, sitoplasma, dan inti sel, coba pelajari kembali melalui Aktivitas 1.9!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.9

Coba pelajari struktur sel melalui di video Youtube, coba dengan kata pencarian **struktur dan organel sel**. Berdasarkan video yang kamu dapatkan coba telusuri:

Berdasarkan video tersebut, coba telusuri:

1. Benarkah semua sel memiliki membran plasma, sitoplasma, dan inti sel?
2. Apakah fungsi dari membran plasma, sitoplasma, dan inti sel?
3. Apakah struktur membran plasma, sitoplasma, dan inti sel sama di setiap sel organisme?

## 1. Membran Plasma

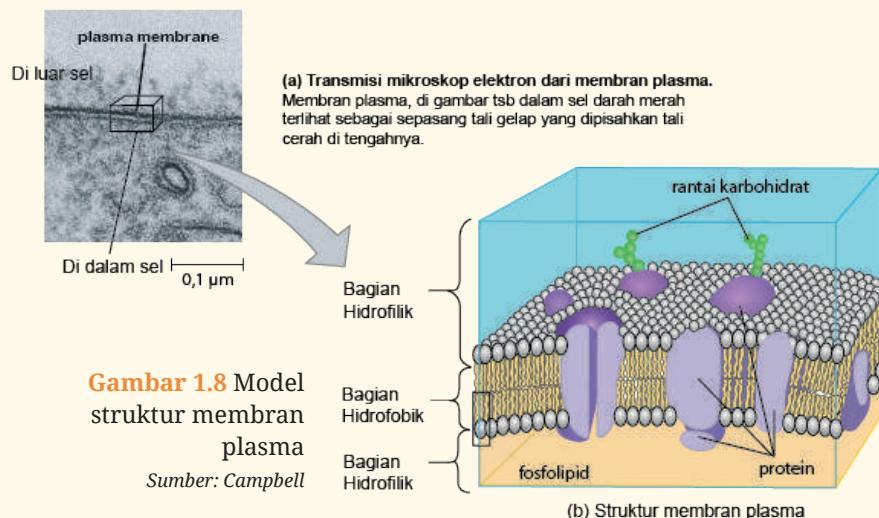
Seperti sudah Kalian ketahui bahwa membran plasma merupakan salah satu struktur yang penting untuk sel. Bagaimanakah struktur membran plasma? Apa sajakah komponen penyusun membran plasma?



### Ayo Berkommunikasi

### Aktivitas 1.10

Berdasarkan model ilustrasi membran plasma pada Gambar 1.8, sajikan informasi tentang struktur membran plasma dalam bentuk Tabel 1.1.



**Tabel 1.1. Model Struktur Membran Sel**

No.	Zona/Bagian	Komponen
1.	Hidrofilik	
2.	Hidrofobik	

Berdasarkan Gambar 1.8 diketahui bahwa membran plasma atau membran sel merupakan struktur pembatas antara sitoplasma dan permukaan luar sel. Sampai saat ini, teori dari Singer dan Nicolson yang menjelaskan membran sel berdasarkan model mosaik cair (*Fluid mosaic model*) yang diterima (Subowo, 2006). Teori tersebut menjelaskan bahwa membran sel terdiri atas protein yang tersusun seperti mozaik (tersebar) dan masing-masing tersisip di antara dua lapis fosfolipid.. Sebagai tambahan referensi untuk memahami tentang membran plasma, Kalian dapat mendengarkan penjelasannya secara rinci di tautan berikut ini: <https://www.genome.gov/genetics-glossary/Plasma-Membrane>

## 2. Sitoplasma

Hampir semua aktivitas sel terjadi di dalam sitoplasma. Apa sajakah aktivitas sel yang terjadi di dalam sitoplasma? Apakah sitoplasma sama di setiap sel organisme?



### Ayo Mengingat Kembali

Masih ingatkah Kalian tentang sitoplasma? Kalian mempelajari tentang sitoplasma pada materi pengantar sel di SMP Kelas VIII. Apa sajakah komponen yang terkandung dalam sitoplasma?

Jika Kalian lupa tentang struktur dan fungsi sitoplasma, coba lakukan Aktivitas 1.11.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.11

Coba pelajari Sitoplasma melalui di video Youtube, coba dengan kata pencarian ***virtual plant cell***. Berdasarkan video yang kamu dapatkan coba telusuri:

1. Apa saja kandungan sitoplasma sel tumbuhan?
2. Apakah fungsi sitoplasma sel tumbuhan?
3. Apakah kandungan sitoplasma sama di setiap sel organisme?

Bagaimana dengan sitoplasma sel hewan? Apakah kandungan dan fungsi sitoplasma sel hewan sama dengan sel tumbuhan?

Sitoplasma merupakan organisasi kompleks senyawa organik dan anorganik bagian eksternal membran inti sel. Sitoplasma ini adalah bagian dari protoplasma yang berada diantara membran plasma dan membran inti sel, meliputi sitosol dan organel organel yang terikat membran. seperti mitokondria dan kloroplas. Apakah yang dimaksud dengan sitosol? berikut adalah penjelasannya.

#### a. Sitosol

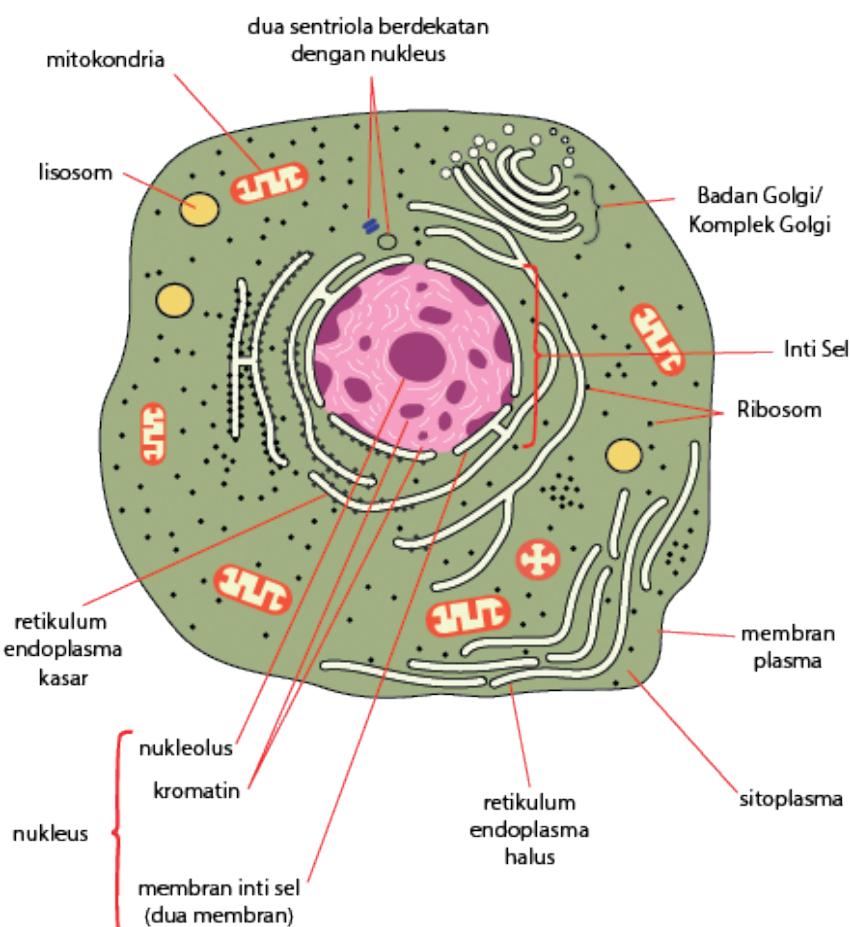
Bagian yang berupa cairan dari sitoplasma dikenal dengan istilah sitosol. Sitosol ini adalah matriks cair yang mengelilingi organel-organel yang berada di dalam sel. Seringkali sitosol ini dikatakan sebagai matriks sel, *cytomatrix*, atau *cytoplasmic matrix*.

Terdapat karakteristik yang khas dari sitosol atau matriks sel ini. Sitosol digambarkan sebagai struktur yang dinamis. Struktur ini dapat berubah dari cair menjadi gel dan kemudian berubah kembali menjadi cair. Bagaimana hal tersebut dapat terjadi? Apakah sebenarnya fungsi dari sitosol? Bacalah beberapa literatur untuk menjawab pertanyaan tersebut,jangan lupa catat sumber bacaan kalian dan sampaikan kepada guru.

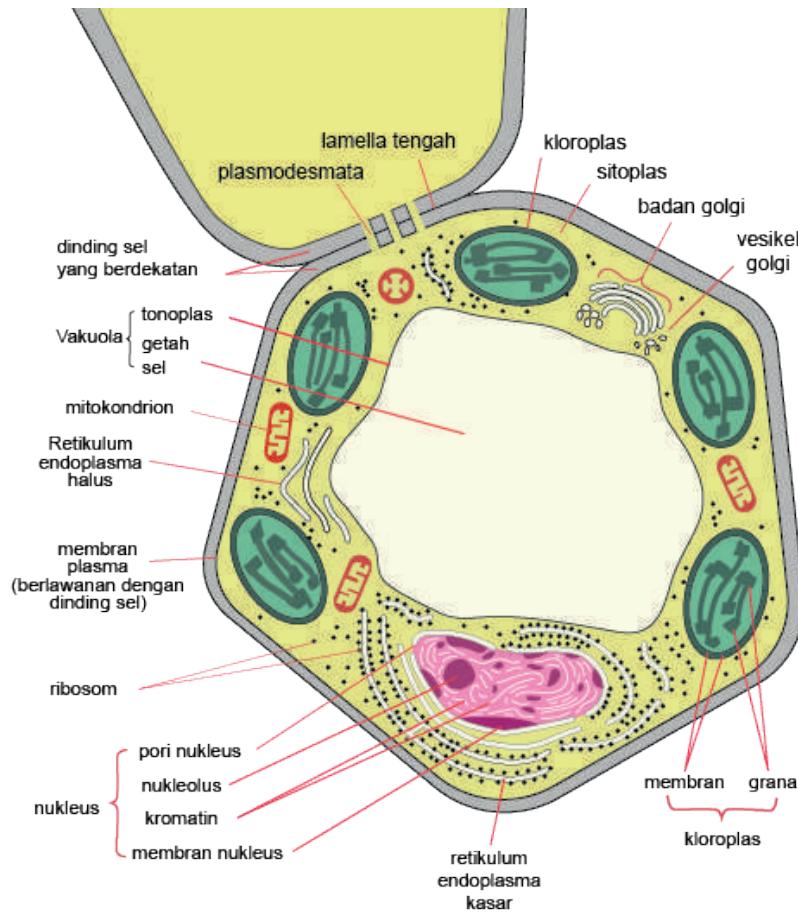
## b. Organel

Sebagian besar organel sel tidak dapat kita amati menggunakan mikroskop cahaya. Untuk mengetahui struktur sel secara mendetail, para peneliti menggunakan mikroskop elektron. Unit struktur sel yang dapat diamati menggunakan mikroskop elektron disebut dengan istilah *ultrastruktur* (Jones dkk., 2008).

Untuk memperkuat pemahaman Kalian sebelumnya tentang organel pelajari Gambar 1.9.



(a) Diagram ultrastruktur sel hewan yang dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron



(b) Diagram ultrastruktur sel tumbuhan yang dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron

**Gambar 1.9** Diagram ultrastruktur sel hewan (a) dan sel tumbuhan (b)

Berdasarkan Gambar 1.9 Kalian dapat melihat terdapat organel yang sama sama dimiliki oleh sel tumbuhan dan sel hewan. Namun ada juga organel yang dimiliki hanya oleh salah satu sel tersebut.

### Latihan 1.2

Telusuri organel apa saja yang dimiliki oleh sel prokariot dan eukariot? Organel apa saja yang dimiliki sel hewan dan tumbuhan? Lalu, tuliskan jawabannya pada buku catatan Kalian! Untuk mengetahuinya, cermati Tabel 1.2 tentang struktur organel sel dan fungsinya berikut!

**Tabel 1.2 Struktur Organel Sel dan Fungsinya**  
 (1. Sel prokariot; 2. Sel Palisade, 3. Sel Epitel)

Struktur organel	Fungsi Organel (sebagian dari banyak fungsi yang dimiliki organel)	Sel		
		1	2	3
Dinding sel	Perlindungan	√	√	-
Inti sel/nukleus	Mengendalikan aktivitas sel	√	√	√
Membran plasma	Mengatur pergerakan zat, memungkinkan komunikasi antar sel	√	√	√
Kloroplas	Melakukan fotosintesis	-	√	-
Kompleks Golgi	Mensintesis karbohidrat	-	√	√
Lisosom	Menguraikan struktur sel yang sudah tua/rusak di dalam sel	-	√	√
Membran inti	Mengatur pergerakan zat dari dan ke dalam inti sel	-	√	√
Mitokondria	Menghasilkan energi melalui respirasi sel	-	√	√
Nukleolus	Mensintesis ribosom	-	√	√
Plastida	Menyimpan zat makanan dan pigmen	-	√	-
Retikulum endoplasma	Mensintesis lipid	-	√	√
Ribosom	Mensintesis protein	√	√	√
Sentriol	Mensintesis mikrotubul yang akan digunakan untuk menghasilkan gelendong saat pembelahan sel	-	-*	√
Silia dan Flagela	Alat gerak sel	-	-*	√
Sitoskeleteon	Mendukung struktur sel	-	√	√
Vakuola	Menyimpan air dan sisa metabolisme	-	Besar	Kecil
Vesikel	Mengandung produk yang akan dibuang	-	√*	√

Keterangan:

-\*: Umumnya tidak ada

√\*: Ada (beberapa)

Apa sebenarnya arti organel? seperti halnya organisme yang memiliki organ-organ tubuh dan memiliki fungsi tertentu, sel pun memiliki “organ kecil” yang disebut organel (Kennedy, 2009). Organel memiliki fungsi tertentu. Setiap organel memiliki struktur spesifik yang mendukung fungsinya masing-masing.

Sebagian besar organel sel tidak dapat kita amati menggunakan mikroskop cahaya. Untuk mengetahui struktur sel secara mendetail, para peneliti menggunakan mikroskop elektron. Untuk mengetahuinya, mari Kalian lakukan Aktivitas 1.12.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 1.12

Untuk mengidentifikasi ultrastruktur sel, Kalian dapat mempelajarinya di beberapa situs yang menyediakan layanan mikrograf elektron. Jika akses internet tersedia, Kalian dapat mencermati mikrograf elektron organel sel melalui tautan: <https://ringkas.kemdikbud.go.id/mikrograf>

1. Gambarlah setiap organel yang dapat Kalian lihat dari mikrograf elektron yang tersedia!
2. Tuliskan nama dan fungsi dari organel yang telah Kalian amati!
3. Siapkan tabel hasil pengamatan dan literatur pendukung untuk mengetahui fungsi setiap organel!

## 3. Inti Sel

Masih ingatkah Kalian tentang inti sel? apakah yang dimaksud dengan inti sel? apakah fungsi dari inti sel tersebut? Inti sel atau nukleus pertama kali ditemukan dalam sel tumbuhan oleh Robert Brown tahun 1831 (Subowo, 2006). Sel yang tergolong dalam sel eukariotik, mempunyai inti sel yang jelas, karena materi genetik/materi inti diselubungi oleh membran inti. Jika Kalian mengamati inti sel melalui mikroskop maka inti sel biasanya ada di tengah-tengah sel dan dikelilingi oleh sitoplasma. Inti sel memiliki anak inti/nukleolus dan membran inti (untuk sel eukariotik).

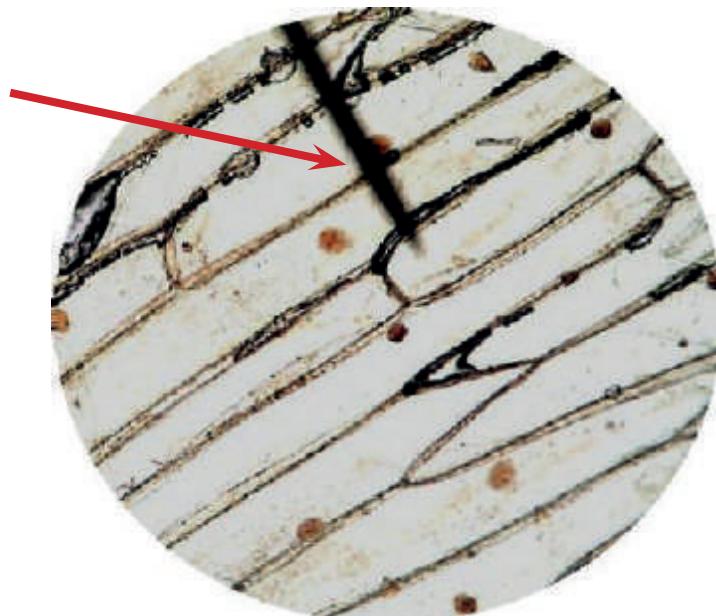
## Refleksi

Setelah mempelajari sel melalui berbagai aktivitas di Bab ini, apa saja hal terkait sel yang sudah Kalian pahami? Keterampilan apa saja yang sudah Kalian kuasai? Apakah masih ada materi yang belum Kalian pahami? Apa yang akan Kalian lakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut?

## Uji Kompetensi

### A. Tuliskan jawaban yang benar untuk setiap pertanyaan berikut!

1. Jika gambar yang terlihat saat pengamatan menggunakan mikroskop cahaya masih buram, apakah komponen mikroskop yang harus Kalian atur agar gambar tampak jelas?
2. Apabila bagian sel yang ditunjuk mengalami gangguan atau bahkan menghilang, jelaskan dampaknya!

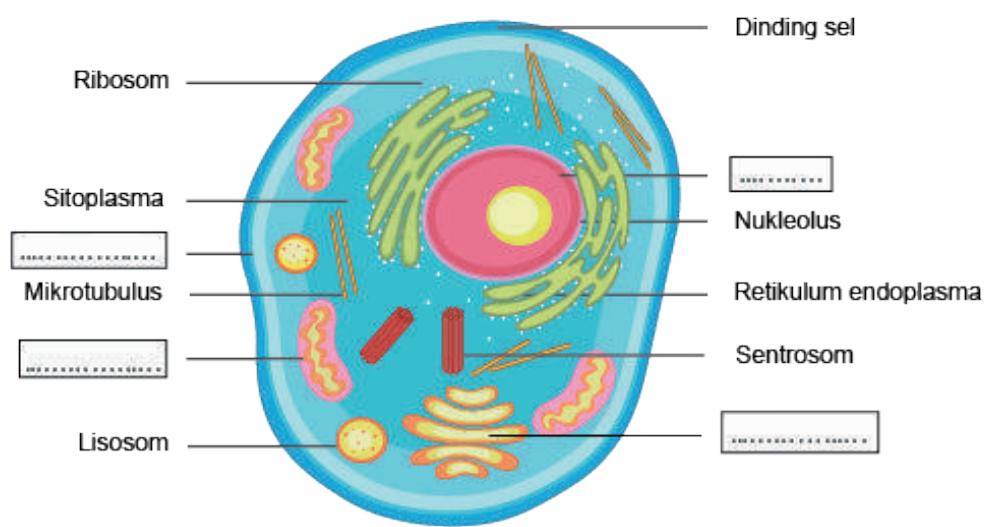


**Gambar 1.10** Sel epidermis bawang, 100x

Sumber: biologycorner/flickr.com (2009)

3. Jaringan sklerenkim merupakan jaringan yang berfungsi menopang dan memberikan bentuk pada tumbuhan. Uraikan organel-organel sel apa saja yang berperan terhadap fungsi sklerenkim tersebut!

**B. Lengkapi label keterangan struktur sel berikut ini di kotak yang sudah disediakan!**



**Gambar 1.11** Diagram sel hewan

## Pengayaan

Sekarang ini perkembangan ilmu sangat pesat. Perkembangan ilmu didukung oleh perkembangan penelitian yang mendasarinya, termasuk sitologi yaitu ilmu tentang struktur dan fungsi sel. Berdasarkan berita yang dilansir dari laman Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang dapat kamu akses melalui tautan: <http://ringkas.kemdikbud.go.id/BRINTanamanObat> diketahui bahwa saat ini teknologi terbaru dalam penelitian sel sangat penting, terutama terkait proses penemuan obat (Gambar 1.12).

The screenshot shows a news article from the BRIN website. The header includes the BRIN logo and navigation links: Beranda, Tentang, PPID, JDIH, Siaran Pers, Ulasan, Galeri, Deputi. The article title is "Pengujian Berbasis Sel, Tahapan Penting Penemuan dan Pengembangan Obat". It was published on May 24, 2022. Below the title is a diagram illustrating various cell culture methods for drug screening, including monolayer, 3D spheroid, and organoid models. To the right of the diagram are two video frames showing a woman and a man speaking during a Q&A session.

Gambar 1.12 Artikel terkait riset tentang pemanfaatan sel dalam pengembangan obat

Berdasarkan artikel tersebut diketahui bahwa ada penggunaan sel khususnya sel punca kanker untuk skrining obat kanker. Diketahui bahwa secara genetik sel punca maupun sel progenitor muncul dari transformasi onkogenik. Menurut Kalian bagaimana potensi riset ini di Indonesia? Apakah ada bidang lain yang dapat juga dikembangkan berdasarkan potensi sel? Apa tantangan yang dihadapi para peneliti di Indonesia ketika menggunakan sel dalam kajiannya?

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 2

# Pergerakan Zat melalui Membran Sel

Tahukah Kalian, bagaimana manusia dapat menambahkan rasa pada makanan yang berasal dari hewan maupun tumbuhan? Bagaimana zat perasa dan zat lainnya dapat masuk maupun keluar dari dan ke dalam sel penyusun jaringan organisme?

Sumber gambar: [kawalingpinoy.com/lalaine manalo](http://kawalingpinoy.com/lalaine-manalo) (2018)

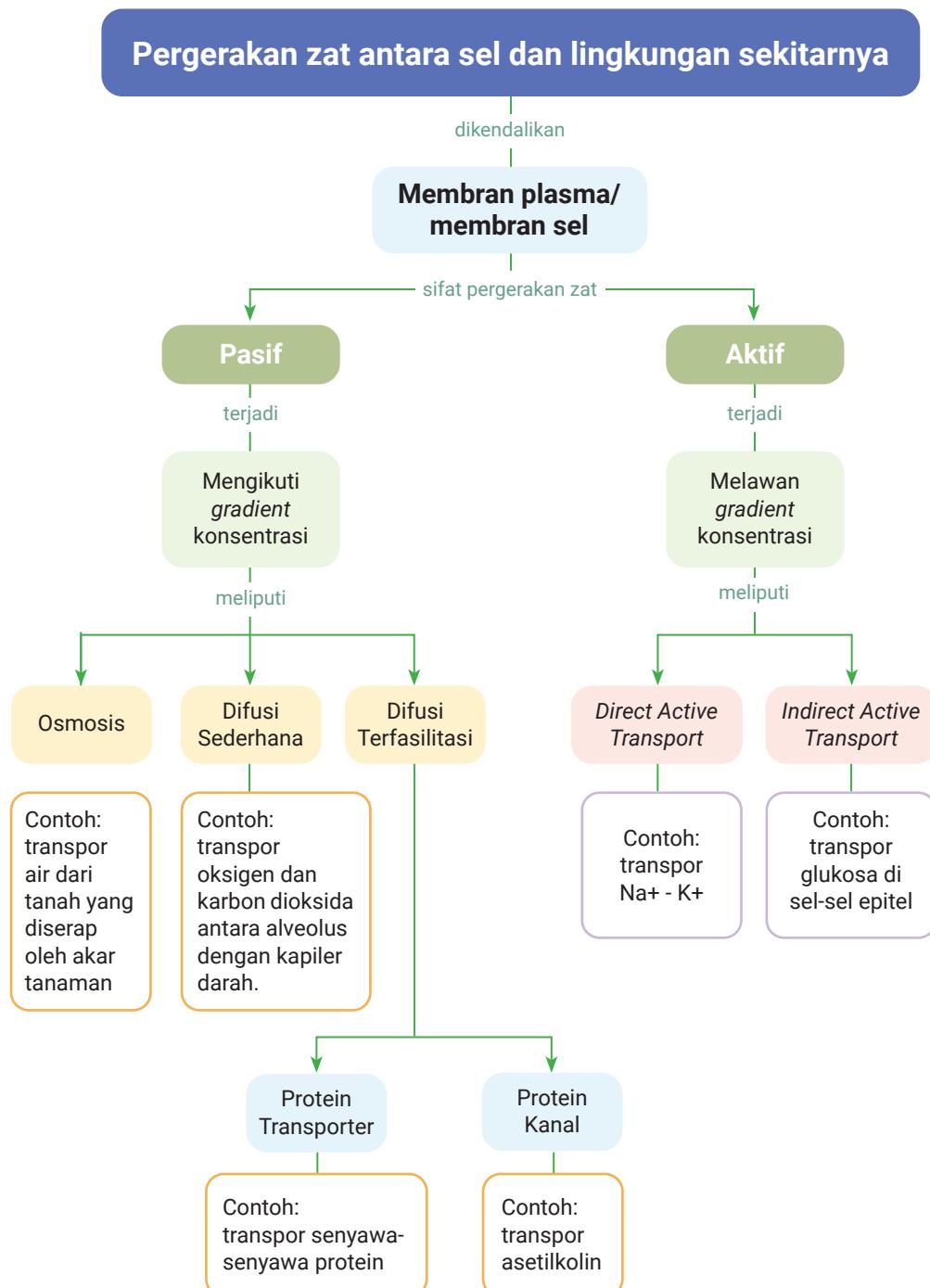
## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu menjelaskan pergerakan zat melalui membran plasma/membran sel melalui kegiatan penyelidikan.

## Kata Kunci

- Difusi
- Difusi terfasilitasi
- Gradien konsentrasi
- Membran plasma/membran sel
- Osmosis
- Pergerakan zat
- Transpor pasif
- Transpor aktif

## Peta Konsep



Pernahkah Kalian makan manisan mangga? Apakah ada produk makanan olahan serupa dengan manisan buah mangga seperti Gambar pengantar Bab 2? Apakah Kalian tahu bagaimana cara membuatnya?

Manisan mangga terbuat dari mangga mentah, namun ketika sudah menjadi manisan, daging buahnya menjadi lebih lunak. Menurut Kalian mengapa demikian? Telusuri literatur tentang cara pembuatan manisan buah atau tanyakan cara membuat manisan tersebut kepada keluarga di rumah. Apa saja tahapan untuk membuat manisan mangga basah? Tahapan manakah yang menyebabkan manisan mangga lebih lunak dan lebih manis? Apakah yang sebenarnya terjadi ketika tahap tersebut dilakukan?



#### Ayo Mengingat Kembali

Di Bab I Kalian mengetahui bahwa setiap unit sel organisme diselubungi oleh membran plasma. Salah satu fungsi membran plasma adalah mengendalikan pergerakan zat yang masuk dan keluar sel. Fungsi tersebut didukung oleh struktur membran plasma, benarkah demikian?

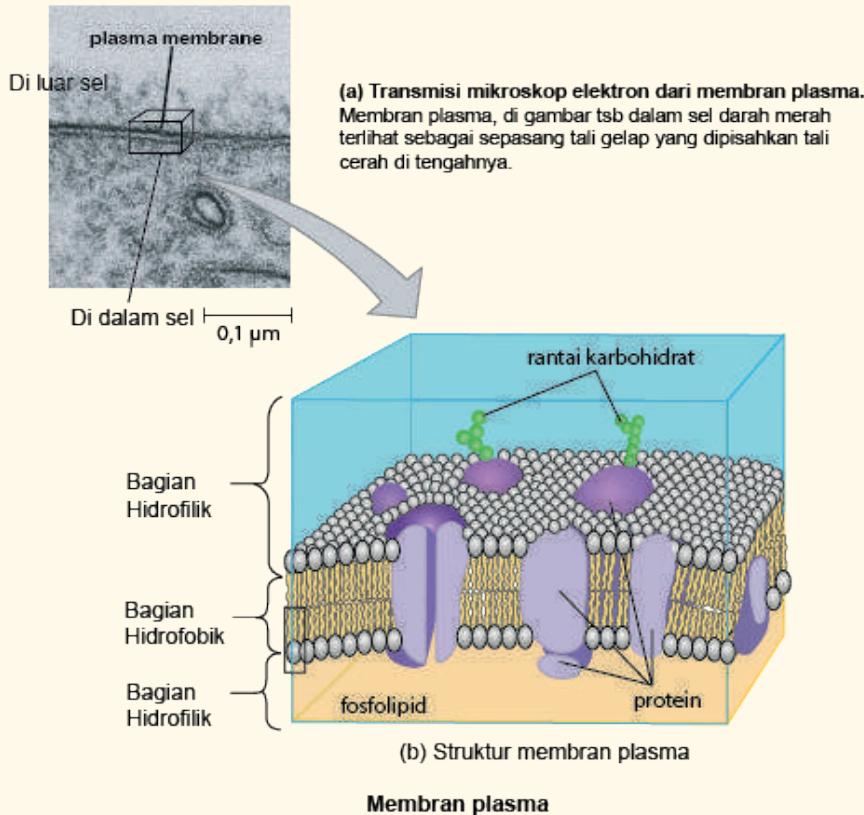
Pergerakan zat yang berupa molekul kecil dan ion dari dalam sel ke luar sel atau sebaliknya terjadi melalui membran plasma. Bagaimanakah keterkaitan antara struktur membran plasma dengan proses pergerakan zat? Mengapa pertukaran zat melalui membran plasma penting untuk organisme?



#### Ayo Bereksplorasi

#### Aktivitas 2.1

Jika Kalian lupa hubungan antara struktur dan fungsi membran plasma, pelajari kembali model struktur membran plasma pada Gambar 2.1 berikut!



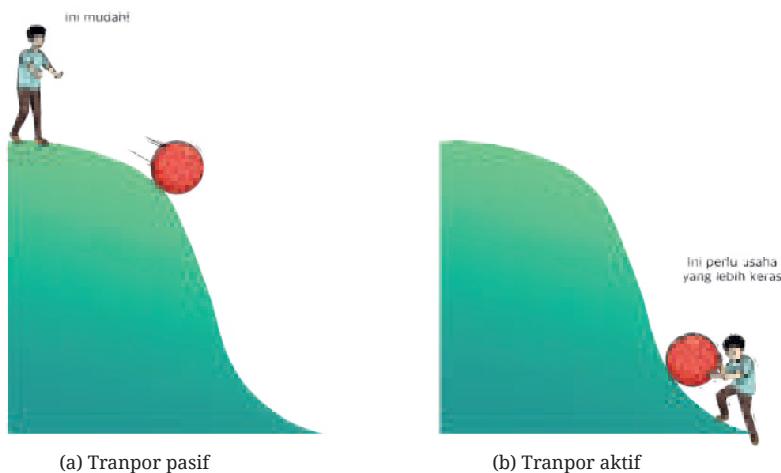
**Gambar 2.1** Model struktur membran plasma.

Berdasarkan Gambar 2.1, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Berdasarkan kemampuannya dalam berikatan dengan zat tertentu, ada dua bagian di struktur membran plasma. Bagian apakah yang dimaksud?
2. Apa sajakah komponen struktur membran plasma yang dapat Kalian identifikasi di kedua bagian struktur membran?
3. Apakah Kalian mengetahui fungsi spesifik dari setiap komponen struktur membran plasma tersebut? Jika belum tahu, Kalian dapat membaca referensi dari sumber pustaka yang lain dan jangan lupa untuk mencatat sumber pustaka tersebut.

Setelah melaksanakan Aktivitas 2.2, Kalian sudah mengetahui bahwa setiap komponen struktur membran plasma diketahui memiliki fungsi yang spesifik. Selain dukungan fungsi spesifik komponen struktur membran tersebut, adakah faktor lain yang memengaruhi proses transpor zat melintasi membran plasma?

Terdapat dua cara utama agar zat dapat bergerak melintasi membran plasma. Sifat pergerakan zat tersebut dibedakan berdasarkan penggunaan energi sel (Jones *et al.*, 2007; Kennedy *et al.*, 2009; Thibodeau & Patton, 2000; Morgan & Carter, 2005). Cermati diagram analogi penggunaan energi sel dalam pergerakan zat berikut ini, apakah persamaan dan perbedaan dari Gambar 2.2 (a) dan 2.1(b)?



**Gambar 2.2** Analogi penggunaan energi dalam pergerakan zat ketika melintasi membran plasma

Apakah yang menentukan digunakan atau tidaknya energi sel dalam peristiwa transpor zat melintasi membran plasma/membran sel? Apakah ada hubungannya dengan struktur membran plasma yang dilintasi zat? Apakah ada hubungan dengan jenis dan konsentrasi zat yang melintasi membran plasma?

## A. Transpor Pasif

### 1. Osmosis

Tahukah Kalian bahwa manisan mangga dibuat dari mangga muda yang daging buahnya masih keras lalu direndam di dalam air gula? Setelah beberapa saat direndam dalam larutan gula, daging buah

mangga menjadi agak lunak. Apakah lunaknya daging buah mangga yang diolah menjadi manisan terjadi karena perendaman dalam larutan gula? Mengapa demikian? Apakah terjadi perubahan struktur sel penyusun daging buah mangga tersebut sebelum dan sesudah direndam larutan gula?

Untuk mengetahui jawaban dari pertanyaan-pertanyaan tersebut, Kalian dapat merencanakan penyelidikan bersama anggota kelompokmu. Lakukan Aktivitas 2.4, jika Kalian sudah memiliki dugaan sementara terhadap jawaban pertanyaan-pertanyaan tersebut. Namun, jika masih belum yakin terhadap dugaan sementara yang Kalian rumuskan, lakukan Aktivitas 2.3 terlebih dahulu.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 2.2

Bacalah literatur pendukung tentang proses pembuatan manisan dari bahan buah-buahan dan penelitian-penelitian yang dilakukan terkait pembuatan manisan tersebut. Kalian dapat menggunakan bahan bacaan yang ada di perpustakaan atau menelusuri bahan bacaan melalui mesin pencari di website yang terpercaya melalui internet.

Berikut adalah tautan contoh sumber bahan bacaan yang dapat Kalian telusuri melalui tautan: <http://ringkas.kemdikbud.go.id/TeknologiPengolahan>

The screenshot shows a search result for a thesis titled "Mempelajari Teknologi Pengolahan Manisan Semi Basah Buah Tropis". The thesis is from the Faculty of Agricultural Technology, UT - Food Science and Technology. It includes details such as "No Thumbnail", "View/Open", "Fulltext (779.0KB)", "Date 2010", and "Author". The right sidebar lists browse categories like All of IPB Repository, Collections, By Issue Date, Authors, Titles, Subjects, This Collection, By Issue Date, and Authors.

Sumber: [repository.ipb.ac.id](http://repository.ipb.ac.id) (2022)

Untuk tautan lain dapat Kalian lihat melalui tautan berikut ini:  
<http://repository.pertanian.go.id/>  
<https://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/JPPKK/article/view/22155>

Berdasarkan penelusuran Kalian terhadap literatur yang ada, tahapan apa sajakah yang harus dilakukan saat pembuatan manisan buah? Apakah yang menyebabkan buah yang muda menjadi lebih lunak dan lebih manis ketika diolah menjadi manisan?

Berdasarkan penelusuran literatur yang sudah dilakukan, selanjutnya kalian merencanakan kegiatan penyelidikan tentang proses yang terjadi ketika pengolahan manisan buah dilakukan. Kalian sudah mengetahui ada faktor-faktor yang memengaruhi proses pengolahan manisan buah tersebut. Apa sajakah faktor-faktor yang memengaruhi proses pengolahan manisan buah tersebut? Benarkah terdapat pergerakan zat dari dan keluar dari sel sel penyusun daging buah tersebut ketika pengolahan manisan buah dilakukan?



### Ayo Mencoba



### Ayo Berkommunikasi

### Aktivitas 2.4

Sewaktu di SMP Kalian telah mengetahui bahwa jika ingin melakukan aktivitas penyelidikan terdapat tahapan yang harus dipersiapkan. Jika kalian akan melakukan penyelidikan terkait pengolahan manisan buah basah, apa sajakah persiapan yang harus disiapkan? Variabel apa sajakah yang harus Kalian amati? Bagaimana Kalian akan menyelidikinya?

1. Rancanglah penyelidikan bersama dengan teman dalam satu kelompok Kalian di kelas.
2. Diskusikan dan konsultasikan rencana penyelidikan yang akan Kalian lakukan dengan Bapak/Ibu Guru di kelas.

Berikut contoh tabel rencana penyelidikan yang dapat Kalian gunakan!

**Tabel 2.1 Rencana Penyelidikan**

<b>Judul</b>	
<b>Rumusan Masalah</b>	
<b>Tujuan</b>	
<b>Alat dan Bahan</b>	
<b>Waktu penyelidikan</b>	
<b>Prosedur penyelidikan</b>	
<b>Rencana penyajian data</b>	



**Ayo Mencoba**

**Aktivitas 2.5**

Setelah Kalian menyusun rancangan penyelidikan dan mendapat masukan dari guru Kalian, lakukan penyelidikan Kalian. Penyelidikan dapat Kalian lakukan di laboratorium sekolah dengan bimbingan guru. Bagaimana hasil penyelidikan Kalian? Apakah yang Kalian pahami dari hasil penyelidikan Kalian terkait konsep transpor zat? Apakah benar transpor zat melintasi membran plasma/membran sel penting untuk organisme?

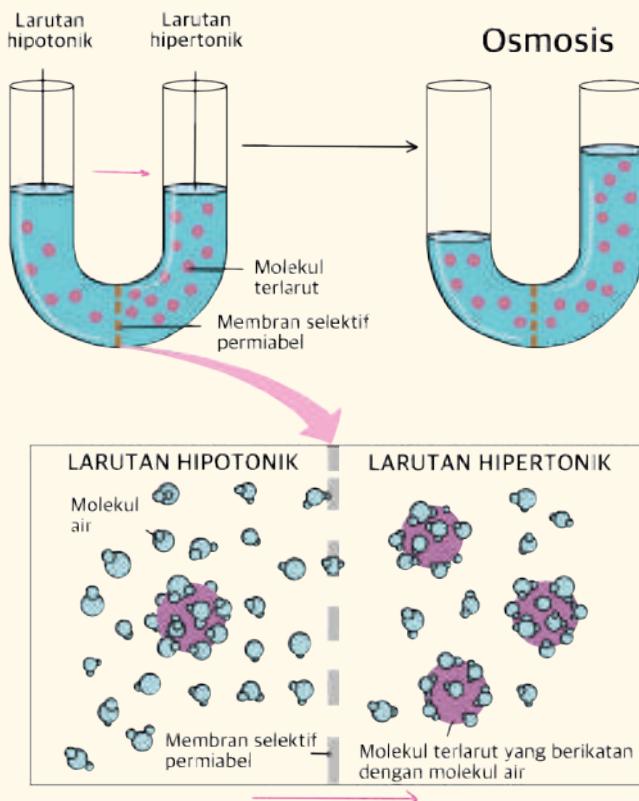
1. Sampaikan temuan Kalian dalam diskusi kelas!
2. Buatlah laporan hasil penyelidikan kelompok Kalian secara tertulis!

Setelah Kalian melakukan penyelidikan tentang proses osmosis, pelajari dengan cermat Gambar 2.6 untuk memperkuat pemahaman Kalian!



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 2.6



**Gambar 2.3** Representasi proses osmosis

Berdasarkan Gambar 2.3 jawab pertanyaan berikut ini!

1. Bandingkan konsentrasi molekul air dalam tabung U yang terpisah oleh membran semi permiable. Apakah sama atau berbeda?
2. Bagaimana kecenderungan air akan berpindah tempat (potensial air) dalam tabung U tersebut menurut Kalian?
3. Sebutkan arah perpindahan molekul air yang terlihat ketika osmosis terjadi!
4. Apakah yang terjadi dengan molekul zat terlarut yang ada di dalam tabung U tersebut?

Diskusikan jawaban Kalian tentang proses osmosis ini dengan teman dalam satu kelompok di kelas. Sampaikan hasil diskusi Kalian kepada bapak/ibu guru.

Berdasarkan Gambar 2.3 Kalian dapat melihat bahwa ada pergerakan molekul air. Pergerakan molekul air terjadi karena gerak acak molekul serta kondisi larutan yang konsentrasi larutannya lebih encer menuju larutan yang konsentrasinya lebih pekat. Pergerakan molekul air melalui membran semi permabel itulah yang kita kenal sebagai proses osmosis.

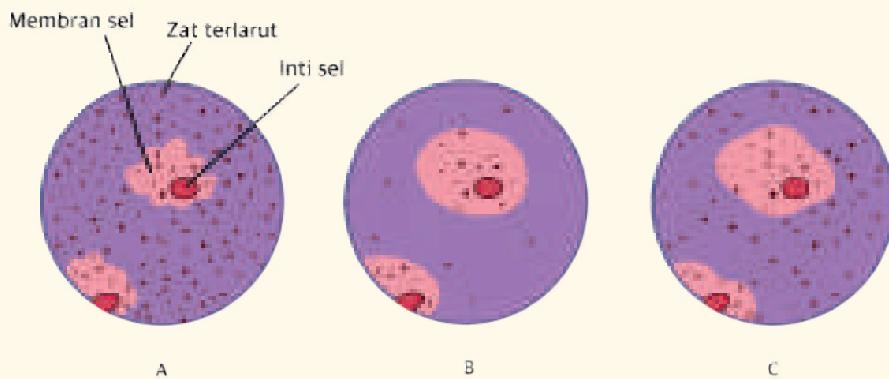
Osmosis dikenal sebagai proses yang terjadi di tingkat seluler dalam organisasi makhluk hidup. Bagaimanakah osmosis terjadi dalam sel hewan dan tumbuhan? Apakah ada perbedaan respons sel hewan dan sel tumbuhan terhadap perbedaan konsentrasi zat terlarut di lingkungan sekitarnya?



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 2.7

Berdasarkan Gambar 2.4, bagaimana perbandingan antara konsentrasi zat terlarut di luar membran sel dan zat terlarut di dalam sel? Mengapa hal tersebut dapat terjadi?



**Gambar 2.4** Representasi diagram sel dalam kondisi yang berbeda:  
(a) hipertonik, (b) hipotonik, (c) isotonik

Perbedaan konsentrasi zat terlarut di dalam dan di luar sel menyebabkan perbedaan osmolaritas. Osmolaritas menggambarkan konsentrasi total zat terlarut dalam suatu larutan. Tiga istilah yang digunakan untuk menjelaskan osmolaritas relatif antar larutan adalah hipertonik, hipotonik dan isotonik. (Morgan & Carter, 2005; Kennedy *et al.*, 2009).

Isotonik terjadi jika konsentrasi zat terlarut di lingkungan luar sel sama dengan konsentrasi zat terlarut dalam sel (Kennedy *et al.*, 2009). Lebih lanjut dikemukakan bahwa hipotonik terjadi jika konsentrasi zat terlarut dalam sel lebih rendah dibandingkan konsentrasi zat terlarut di lingkungan luar sel. Bagaimana dengan hipertonik? Hipertonik terjadi jika konsentrasi zat terlarut di dalam sel lebih tinggi dibandingkan konsentrasi zat terlarut di lingkungan luar sel.

Kalian sudah tahu bahwa osmosis terjadi dalam sel organisme hidup. Untuk mengetahui perbedaan respons sel hewan dan sel tumbuhan terhadap perbedaan konsentrasi zat terlarut di lingkungan sekitarnya, ayo lakukan Aktivitas 2.8!

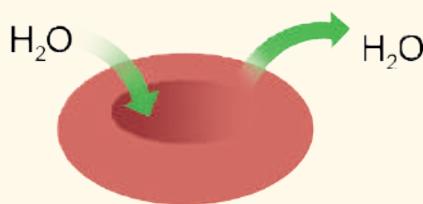


### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 2.8

Bandingkan kondisi sel hewan dan sel tumbuhan dalam kondisi konsentrasi larutan yang berbeda melalui Gambar 2.5 (a), (b), dan (c). Cermati arah pergerakan  $H_2O$  dan kondisi struktur sel ketika osmosis terjadi.

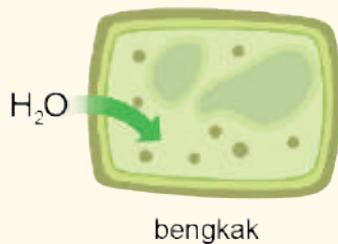
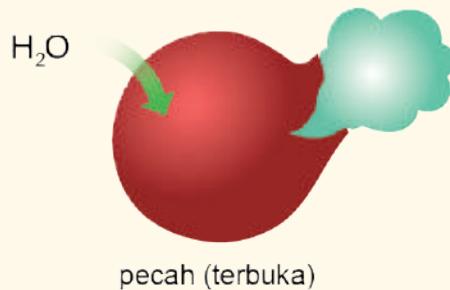
#### Sel hewan



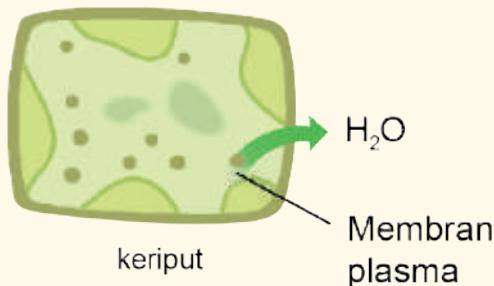
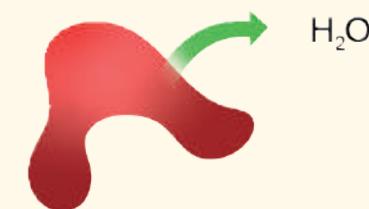
#### Sel tumbuhan <sup>normal</sup>



(a) Sel hewan dan sel tumbuhan dalam larutan isotonik.



(b) Sel hewan dan sel tumbuhan dalam larutan hipotonik.



(c) Sel hewan dan sel tumbuhan dalam larutan hipertonik.

**Gambar 2.5** Representasi sel hewan dan sel tumbuhan dalam berbagai konsentrasi larutan yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 2.5, coba bandingkan kondisi sel tumbuhan dan sel hewan dalam larutan yang memiliki konsentrasi zat terlarut berbeda. Tuliskan jawaban Kalian dalam Tabel 2.2 berikut ini.

**Tabel 2.2 Perbandingan Sel Tumbuhan dan Sel Hewan yang Ada dalam Larutan dengan Konsentrasi yang Berbeda**

Sel	Ukuran sel	Konsentrasi larutan			Arah perpindahan molekul air
		Isotonik	Hipotonik	Hipertonik	



**Ayo Bereksplorasi**



**Ayo Berkommunikasi**

**Aktivitas 2.9**

Untuk memperkuat pemahaman Kalian tentang osmosis, coba cermati penjelasan osmosis di tautan berikut <https://youtu.be/SrONOnEEWmo> tentang *The Naked Egg and Osmosis*. Bagaimana penyelidikan yang Kalian amati? Apakah Kalian tertarik untuk melakukan penyelidikan serupa dengan yang Kalian simak dalam video tersebut?

1. Rumuskan pertanyaan-pertanyaan terkait percobaan osmosis yang ditunjukkan dalam video yang ingin Kalian ketahui jawabannya. Pertanyaan-pertanyaan tersebut dapat terkait dengan faktor-faktor yang memengaruhi osmosis.
2. Apakah pertanyaan Kalian dapat dijawab dengan melakukan penyelidikan? Gunakan penjelasan dari literatur/bahan bacaan terpercaya yang dapat mendukung pendapat Kalian.
3. Pilih satu pertanyaan untuk diselidiki jawabannya, dan konsultasikan kepada bapak/ibu guru di kelas.
4. Setelah pertanyaan Kalian terpilih, buatlah rencana penyelidikan untuk menjawab pertanyaan Kalian.

Berikut contoh tabel rencana penyelidikan yang dapat Kalian gunakan!

**Tabel 2.3 Rencana Penyelidikan**

<b>Judul Penyelidikan</b>	
<b>Rumusan Masalah</b>	
<b>Latar belakang pemilihan masalah</b>	
<b>Alat dan Bahan</b>	
<b>Prosedur penyelidikan</b>	
<b>Rencana penyajian data</b>	
<b>Kemungkinan permasalahan yang dihadapi ketika melaksanakan penyelidikan.</b>	

1. Selanjutnya, diskusikan rencana penyelidikan yang sudah Kalian rancang dengan teman dalam satu kelompok, tuliskan tantangan/permasalahan yang mungkin akan Kalian hadapi untuk melakukan rencana penyelidikan tersebut
2. Konsultasikan rencana penyelidikan hasil diskusi dalam kelompok kepada Bapak atau Ibu guru. Sampaikan alasan Kalian mengapa mengambil keputusan untuk melakukan rencana penyelidikan tersebut.



**Ayo Mencoba**

**Aktivitas 2.10**

1. Lakukanlah penyelidikan secara berkelompok berdasarkan rencana penyelidikan Aktivitas 2.9 yang sudah disetujui oleh guru Kalian.
2. Tuliskan kesulitan yang Kalian hadapi ketika melakukan penyelidikan dan konsultasikan kepada ibu atau bapak guru untuk mencari solusinya.
3. Buatlah laporan tertulis mengikuti panduan penyusunan laporan di sekolah Kalian.
4. Siapkan bahan untuk presentasi laporan dalam diskusi kelas.

## 2. Difusi Sederhana

Berdasarkan materi sebelumnya Kalian sudah mengetahui bahwa zat yang melakukan pergerakan pada osmosis adalah molekul air. Bagaimana dengan transpor zat lainnya? Apakah zat lain selain air dapat melintasi membran plasma? Bagaimana transpor zat tersebut terjadi?



Ayo Berpikir kritis



Ayo Mencoba

Aktivitas 2.11

Siapakah yang suka minum teh panas? Apakah Kalian membuat teh panas Kalian sendiri? Apakah Kalian pernah memikirkan fenomena menarik yang terlihat ketika teh tersebut diseduh dengan air panas? Ayo amati Gambar 2.6 dengan saksama! Kalian dapat berdiskusi dengan teman Kalian untuk melakukan Aktivitas 2.11!



(a)

(b)

(c)

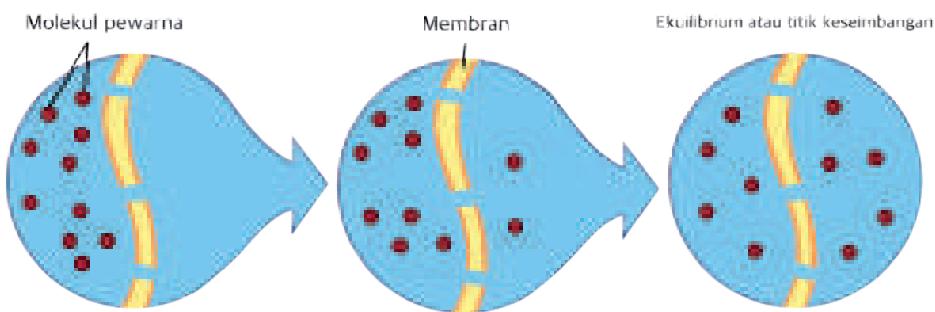
(d)

Gambar 2.6 Proses penyeduhan teh celup dalam air panas.

Sumber: Geofanny Lius (2022)

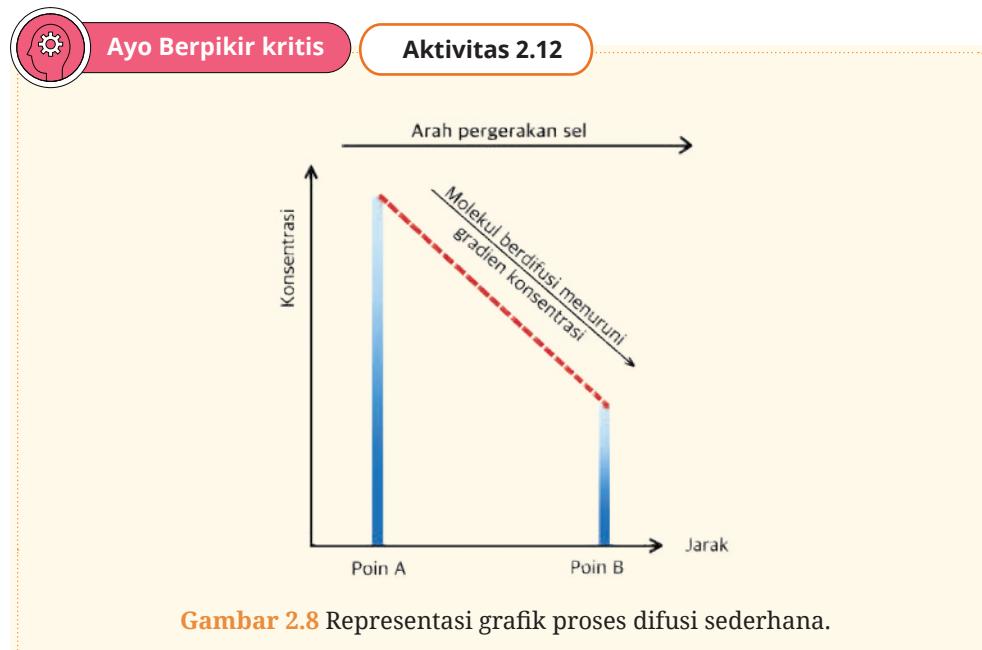
1. Bandingkan Gambar 2.6 a, b, c, dan d.
2. Adakah hal yang ingin Kalian tanyakan terkait Gambar 2.6? tuliskan pertanyaan Kalian dalam buku catatan.
3. Menurut Kalian, apakah yang menyebabkan perubahan warna air mulai dari Gambar 2.6 a sampai terlihat perubahannya seperti di Gambar 2.6 d?
4. Faktor-faktor apakah yang memengaruhi proses tersebut?
5. Untuk meyakinkan Kalian terkait proses ini, Kalian dapat melakukan hal serupa di Gambar 2.6 dan mengamati fenomena yang terjadi.
6. Sampaikan hasil pengamatan serta hasil diskusi Kalian kepada ibu atau bapak guru! Apakah fenomena yang kalian amati sendiri sesuai dengan gambar 2.6?

Pergerakan zat dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah itu dikenal sebagai difusi (Kennedy *et al.*, 2009). Aktivitas 2.11 yang Kalian lakukan merupakan salah satu contoh terjadinya proses difusi. Amati Gambar 2.7 dengan saksama, apakah yang terjadi ketika difusi?



**Gambar 2.7** Model diagram difusi.

Difusi merupakan pergerakan zat (selain air) melintasi membran dari konsentrasi yang tinggi ke konsentrasi yang lebih rendah. Coba amati Gambar 2.8 dengan saksama!



**Gambar 2.8** Representasi grafik proses difusi sederhana.

Berdasarkan Gambar 2.8, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Variabel (keterangan) apakah yang ditunjukkan oleh sumbu x dan sumbu y dalam grafik tersebut?
2. Perhatikan arah pergerakan zat, dari titik mana zat itu mulai bergerak?
3. Perhatikan titik A dan titik B lalu bandingkan konsentrasi zat di kedua titik tersebut! Di titik manakah konsentrasi zat terlihat lebih tinggi? Di titik manakah konsentrasi zat terlihat lebih rendah?
4. Perhatikan garis merah di Gambar 2.8, garis tersebut menunjukkan gradien konsentrasi zat, bagaimana hubungan antara pergerakan zat dan gradien konsentrasi?

#### Latihan 2.1

Setelah Kalian menjawab pertanyaan-pertanyaan pada Aktivitas 2.12, dapatkah Kalian mendeskripsikan dengan kalimat sendiri apa yang dimaksud dengan difusi sederhana?

Difusi adalah ....

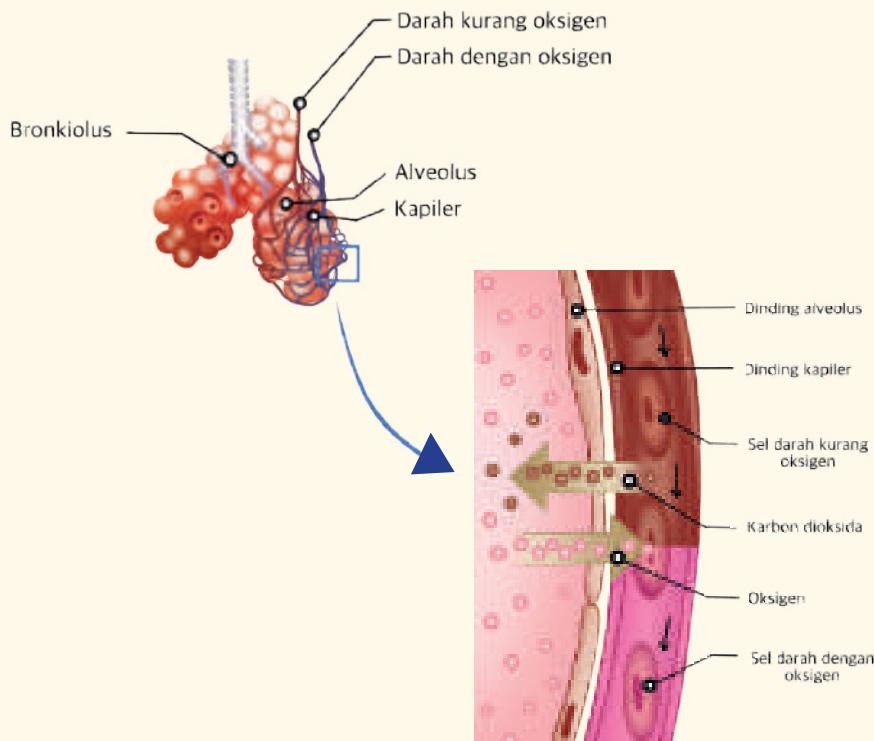
Setelah memahami konsep difusi sederhana, selanjutnya Kalian cari tahu apakah difusi terjadi dalam organisme? Apakah difusi dalam organisme penting? Sebutkan contoh lain difusi dalam organisme!



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 2.13

Amati Gambar 2.9 dengan saksama!



**Gambar 2.9** Representasi diagram pertukaran oksigen dan karbondioksida melalui difusi Paru paru manusia.

Berdasarkan Gambar 2.9 diskusikan dan jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bandingkan konsentrasi oksigen di dalam alveolus dan sel darah merah di dalam pembuluh kapiler, manakah yang konsentrasi oksigennya lebih tinggi?
2. Bandingkan konsentrasi karbon dioksida di alveolus dan dalam sel darah merah dalam pembuluh kapiler, manakah yang konsentrasi karbon dioksidanya lebih tinggi?
3. Bagaimana perpindahan atau pergerakan oksigen dan karbon dioksida?
4. Apakah yang akan terjadi jika pertukaran oksigen dan karbon dioksida di alveolus dan kapiler darah tersebut terganggu?

Faktor apa sajakah yang dapat menyebabkan gangguan pertukaran oksigen dan karbon dioksida? Perkuat pendapat Kalian dengan penjelasan konsep dari literatur/bahan bacaan yang tersedia

Oksigen dan karbon dioksida dalam paru-paru dan pembuluh kapiler manusia merupakan contoh difusi yang terjadi di tingkat organisasi seluler dalam organisme. Dapatkah Kalian menyebutkan fenomena lain difusi sederhana dalam kehidupan sehari-hari?

### 3. Difusi Terfasilitasi

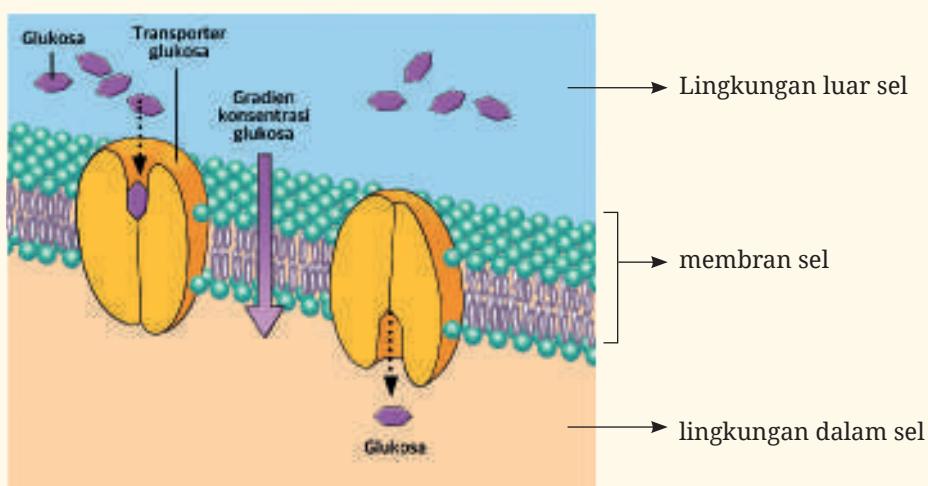
Selain difusi sederhana yang telah dijelaskan sebelumnya, ada difusi lain yaitu difusi terfasilitasi (*facilitated diffusion*). Cermati ada dua kata yang tersusun yaitu difusi dan terfasilitasi. Sebelumnya Kalian telah memahami konsep difusi. Bagaimana dengan terfasilitasi? Apa yang dimaksud dengan difusi terfasilitasi? Zat apa sajakah yang pergerakannya difasilitasi? Mengapa zat tertentu harus “difasilitasi” pergerakannya?



Ayo Berpikir kritis

Aktivitas 2.14

Pelajari Gambar 2.10 berikut ini. Ingat kembali struktur membran plasma yang sudah Kalian pelajari di bab sebelumnya.



Gambar 2.10 Representasi model difusi terfasilitasi glukosa.

Apakah Kalian tahu peran glukosa dalam tubuh? Glukosa berperan sebagai sumber energi sel.

Berdasarkan Gambar 2.10 jawab pertanyaan berikut ini!

1. Bagaimana perbandingan konsentrasi glukosa di luar dan di dalam sel?
2. Perhatikan arah panah pergerakan glukosa, dari mana glukosa bergerak?
3. Komponen apa dari struktur membran plasma yang dilalui glukosa ketika bergerak?
4. Mengapa pergerakan glukosa harus difasilitasi oleh komponen tertentu dari struktur membran plasma?
5. Mungkinkah terjadi gangguan terhadap pergerakan glukosa? Apakah yang terjadi jika terdapat gangguan terhadap proses pergerakan glukosa ketika melintasi membran plasma?

Molekul glukosa diketahui memiliki ukuran “terlalu besar” untuk melalui membran plasma tanpa bantuan. Terdapat komponen khusus dari struktur membran plasma yang membantu pergerakannya.

Difusi terfasilitasi terjadi karena adanya bantuan (difasilitasi oleh) saluran transpor membran Gambar 2.10. Saluran transpor membran ini berupa glikoprotein yang memungkinkan zat tertentu melintasi membran plasma. Saluran ini hampir selalu spesifik untuk molekul tertentu atau jenis molekul tertentu.

Sebagai contoh dikenal transporter glukosa (*Glucose Transporters*/ GLUT). GLUT merupakan suatu protein yang dapat mengangkut glukosa dari luar sel masuk ke dalam sel dan berperan penting dalam menjaga homeostatis glukosa tubuh. Glukosa transporter-2 (GLUT-2) terdapat pada pankreas, hati dan ginjal (Teodhora *et al.*, 2021). Apakah konsentrasi glukosa di aliran darah terus menerus lebih tinggi dibandingkan konsentrasi glukosa dalam sel?

### Latihan 2.1

Berdasarkan jawaban Kalian terhadap pertanyaan-pertanyaan tersebut, dapatkah Kalian menjelaskan perbedaan antara difusi sederhana dan difusi terfasilitasi?

Tabel 2.4 Perbedaan Difusi Sederhana dan Difusi Terfasilitasi.

Hal pembeda	Difusi sederhana	Difusi terfasilitasi
1. ....		
2 .....		
dst.		

## B. Transpor Aktif

Setelah sebelumnya Kalian memahami transpor zat yang terjadi secara pasif, berikut ini Kalian akan mempelajari transpor zat yang dilakukan secara aktif, atau dikenal sebagai transpor aktif. Adakah yang sudah tahu apa yang dimaksud dengan transpor aktif? Zat apa saja yang harus menggunakan transpor aktif dalam pergerakannya? Untuk menjawab rasa ingin tahu mu, ayo lakukan Aktivitas 2.15!



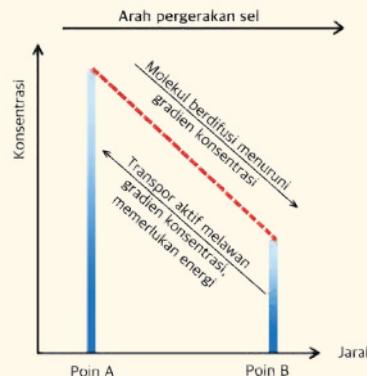
Ayo Berpikir kritis



Ayo Berkerja Sama

Aktivitas 2.15

Perhatikan Gambar 2.11 dengan saksama!

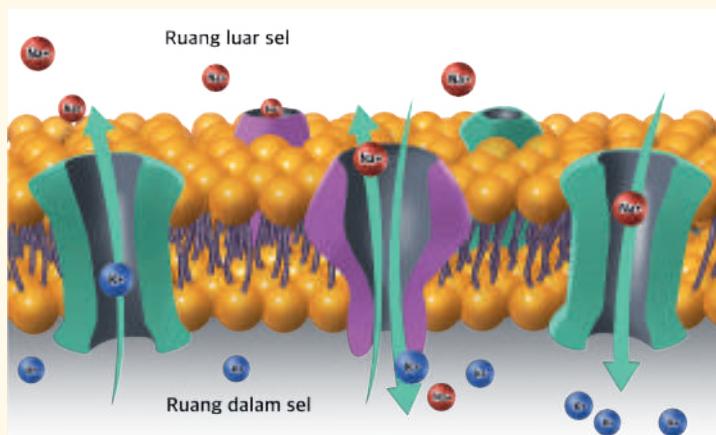


Gambar 2.11 Representasi perbedaan transpor aktif dan difusi

Berdasarkan Gambar 2.11, jawablah dan diskusikan pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Berdasarkan konsentrasi zatnya, darimanakah pergerakan zat yang terjadi secara transpor aktif?
2. Perhatikan gradien konsentrasinya, ketika transpor aktif terjadi apakah zat bergerak searah dengan penurunan gradien konsentrasi atau “melawan” gradien konsentrasi?
3. Faktor apakah yang menyebabkan perpindahan zat secara transpor aktif?
4. Zat apa sajakah yang perpindahannya dilakukan dengan cara transpor aktif?
5. Apakah transpor aktif terjadi dalam sel? Di bagian manakah dari organ tubuh transpor aktif zat terjadi?

**Perhatikan Gambar 2.12 dengan saksama!**



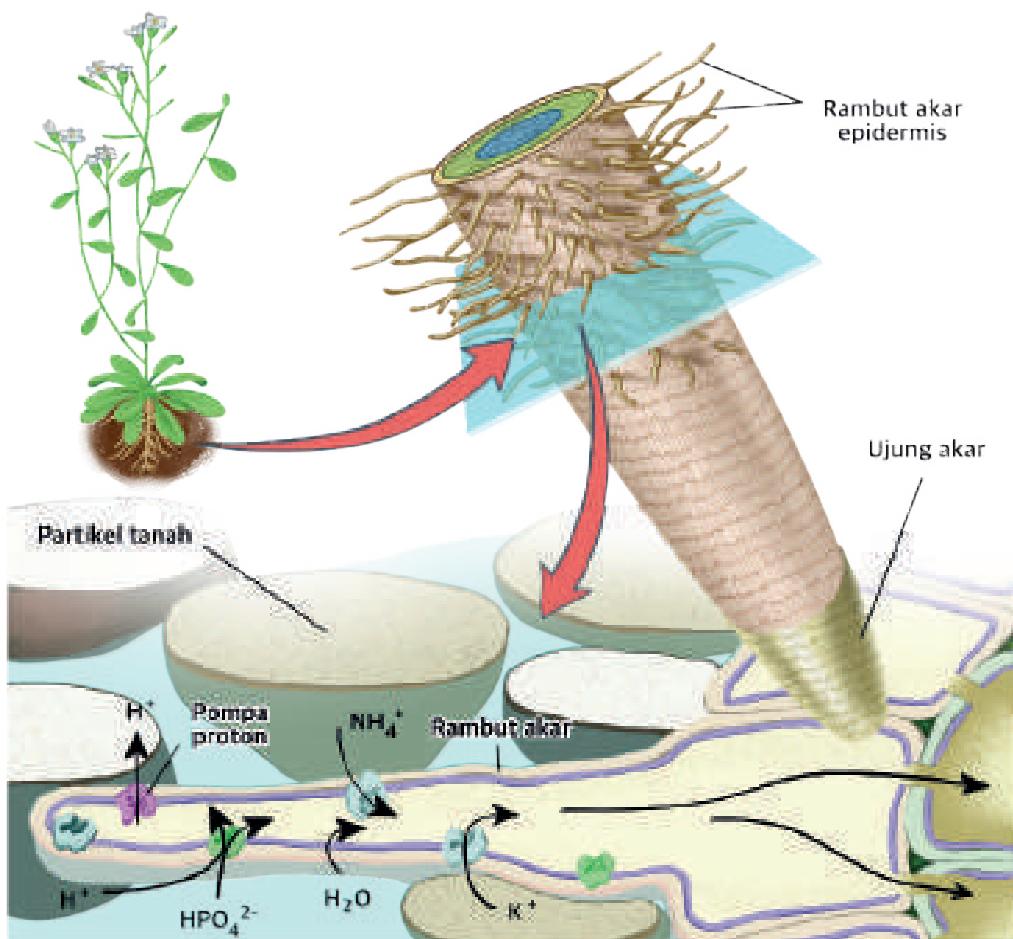
**Gambar 2.12** Representasi diagram proses transpor aktif zat ion Natrium dan ion Kalium.

Berdasarkan Gambar 2.12, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Bagaimana konsentrasi molekul zat Natrium di dalam sel?
2. Bagaimana arah perpindahan molekul zat Natrium tersebut?
3. Bagaimana konsentrasi molekul zat kalium di dalam sel?
4. Bagaimana arah perpindahan molekul zat kalium tersebut?
5. Apakah struktur yang membantu molekul zat Natrium dan kalium berpindah melintasi membran sel?

Diketahui bahwa terdapat saluran transmembran yang berupa protein yang membantu perpindahan ion Natrium dan ion Kalium. Saluran ini menggunakan energi yang dilepaskan dari hidrolisis ATP (adenosin trifosfat) untuk memompa tiga ion natrium keluar dan dua ion kalium ke dalam sel. ATP adalah molekul energi, dan ketika hidrolisis terjadi, ATP dipecah untuk melepaskan energi yang disimpan dalam ikatan kimianya. Transpor yang secara langsung menggunakan ATP untuk energi dikenal sebagai transpor aktif primer. Dapatkan Kalian menyebutkan contoh lain transportasi aktif yang terjadi dalam sel makhluk hidup?

Untuk memperkuat pemahaman Kalian tentang transpor aktif, coba cermati Gambar 2.13!



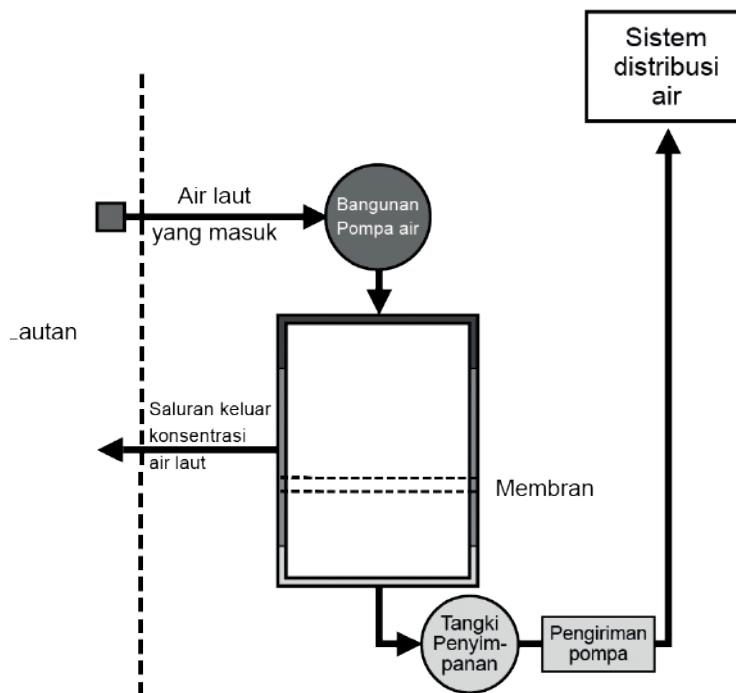
**Gambar 2.13** Representasi gambar transpor aktif di sel akar rambut tanaman.

## Refleksi

Setelah mempelajari materi transpor zat melalui membran sel/membran plasma melalui berbagai aktivitas di Bab ini, hal penting apa yang telah Kalian pahami? Keterampilan apa saja yang sudah Kalian kuasai? Apakah masih ada materi yang belum Kalian pahami? Apa yang akan Kalian lakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut?

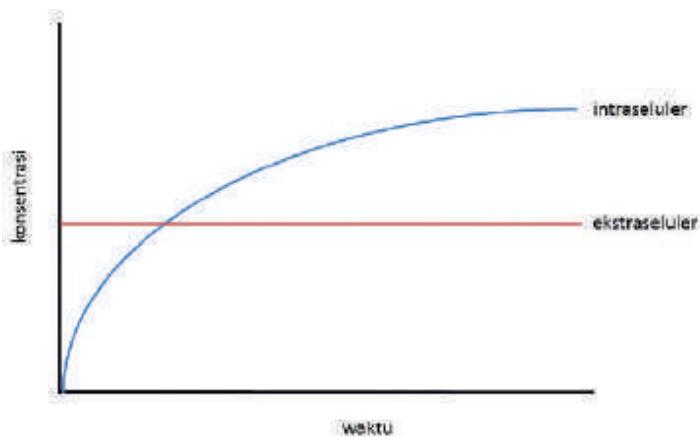
## Uji Kompetensi

Perhatikan gambar berikut untuk menjawab pertanyaan 1-3!



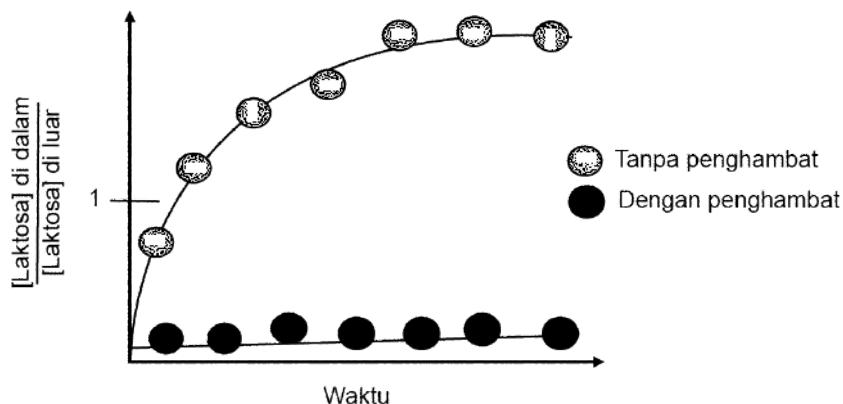
Perhatikan gambar di atas! Salah satu cara untuk memproduksi air minum dari air laut adalah dengan cara menerapkan prinsip osmosis terbalik. Osmosis terbalik merupakan salah satu tipe filtrasi. Air laut didorong masuk melalui membran semipermeabel dengan pemberian tekanan oleh alat pemompa (*pumping station*).

1. Berdasarkan analisismu mengenai proses filtrasi yang tertera pada gambar di atas, di bagian mana terdapat garam dengan konsentrasi tertinggi? Jelaskan mengapa hal tersebut dapat terjadi!
2. Mengapa proses pembuatan air minum yang berasal dari air laut menggunakan prinsip osmosis terbalik, bukan dengan menggunakan jenis transportasi lainnya (osmosis biasa, difusi, dan transpor aktif)?
3. Bagaimana peran alat pompa pada proses tersebut?
4. Sudah 2 hari suhu tubuh Andi meningkat hingga Suhu tubuhnya mencapai  $39^{\circ}\text{C}$ . Andi juga sering memuntahkan makanan yang ia makan dan buang air besar secara terus-menerus. Hal ini berdampak pada tubuh Andi yang terasa lemas. Oleh karena itu, Ibu Andi membawa Andi ke rumah sakit. Setibanya di rumah sakit, Andi langsung diinfus agar tubuh Andi tidak kekurangan cairan dan zat-zat yang dibutuhkan. Menurutmu, seperti apa kondisi cairan yang dimasukkan ke dalam tubuh Andi (hipotonis/ isotonis/ hipertonis) terhadap darah Andi? Jelaskan mengapa demikian?
5. Perhatikan gambar di bawah ini!



Seorang siswa melakukan penelitian untuk mengukur konsentrasi suatu zat terlarut di bagian intraseluler dan ekstraseluler selama beberapa waktu. Datanya ditampilkan dalam gambar di atas. Menurut siswa tersebut, gambar itu merupakan hasil aktivitas transpor aktif. Menurut kalian, apakah pendapat siswa tersebut benar? Jelaskan alasannya!

6. Perhatikan gambar di bawah ini!



Kalian melakukan eksperimen di laboratorium untuk menentukan apakah sel bakteri mengambil laktosa menggunakan transpor aktif, difusi terfasilitasi, atau keduanya. Kalian menambahkan penghambat ATP ke dalam kultur dan mengukur rasio laktosa di dalam sel vs di luar sel dari waktu ke waktu. Bacalah pernyataan-pernyataan berikut ini dan tentukan apakah pernyataan tersebut benar atau salah dengan memberi tanda centang (✓) pada kolom!

Pernyataan	Benar	Salah
Jenis transportasi yang digambarkan grafik adalah traspor aktif dan difusi terfasilitasi.		
Pada awal reaksi, konsentrasi laktosa di dalam sel lebih rendah dibandingkan di luar sel.		
Inhibitor tidak memberikan pengaruh apapun terhadap laju transpor.		
Seiring berjalannya waktu, konsentrasi laktosa di dalam sel lebih tinggi dibandingkan di luar sel.		
Laju transpor lebih cepat saat tidak ada inhibitor.		

## Pengayaan

Pernahkah Kalian sakit? Pernahkah Kalian diberikan antibiotik oleh dokter? Menurut Kalian bagaimana antibiotik yang Kalian minum dapat mencapai targetnya di dalam tubuh?



Sumber: pexels/Artem Podrez

Pelajari bagaimana “nasib” obat di dalam tubuh manusia melalui video dan juga artikel berikut ini: [s.id/1rowZ](https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Pharmacokinetics.aspx#:~:text=Pharmacokinetics%20is%20) (tautan lengkap: <https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Pharmacokinetics.aspx#:~:text=Pharmacokinetics%20is%20>)

Berdasarkan sumber yang sudah Kalian baca dan sumber tayangan videonya diketahui ternyata ada hubungan antara membran plasma dengan “perjalanan” obat di dalam tubuh manusia.

Terdapat beberapa tahapan yang dilalui obat termasuk dari jenis antibiotik di dalam tubuh di antaranya absorpsi, distribusi, metabolisme, dan ekskresinya. Tahap absorpsi obat di tingkat seluler terjadi melalui beragam cara, di antaranya transpor aktif dan transpor pasif. Ternyata transpor membran merupakan salah satu proses penting dalam Farmakokinetik.

Penelitian tentang membran plasma khususnya untuk meningkatkan efektivitas pengujian obat, menangani resistensi obat, termasuk resistensi bakteri terhadap antibiotik dan resistensi sel kanker terhadap kemoterapi menjadi sangat penting. Organisasi Kesehatan Dunia telah menyatakan resistensi antibiotik sebagai salah satu dari sepuluh besar ancaman kesehatan masyarakat global yang dihadapi umat manusia (Organisasi Kesehatan Dunia, 2019).

Apakah para peneliti di Indonesia telah melakukan penelitian di bidang Farmakokinetik ini? Apakah penelitian tersebut penting dilakukan di Indonesia? Apakah kalian ada yang tertarik untuk menjadi peneliti di bidang tersebut?

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 3

# Proses Pengaturan pada Tumbuhan

Pernahkah Kalian memerhatikan adanya perubahan pada tumbuhan seiring perubahan musim? Bagaimana tumbuhan dapat mengatur proses hidupnya menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan?

Sumber gambar: Wikimedia.org/Amelia (2007)

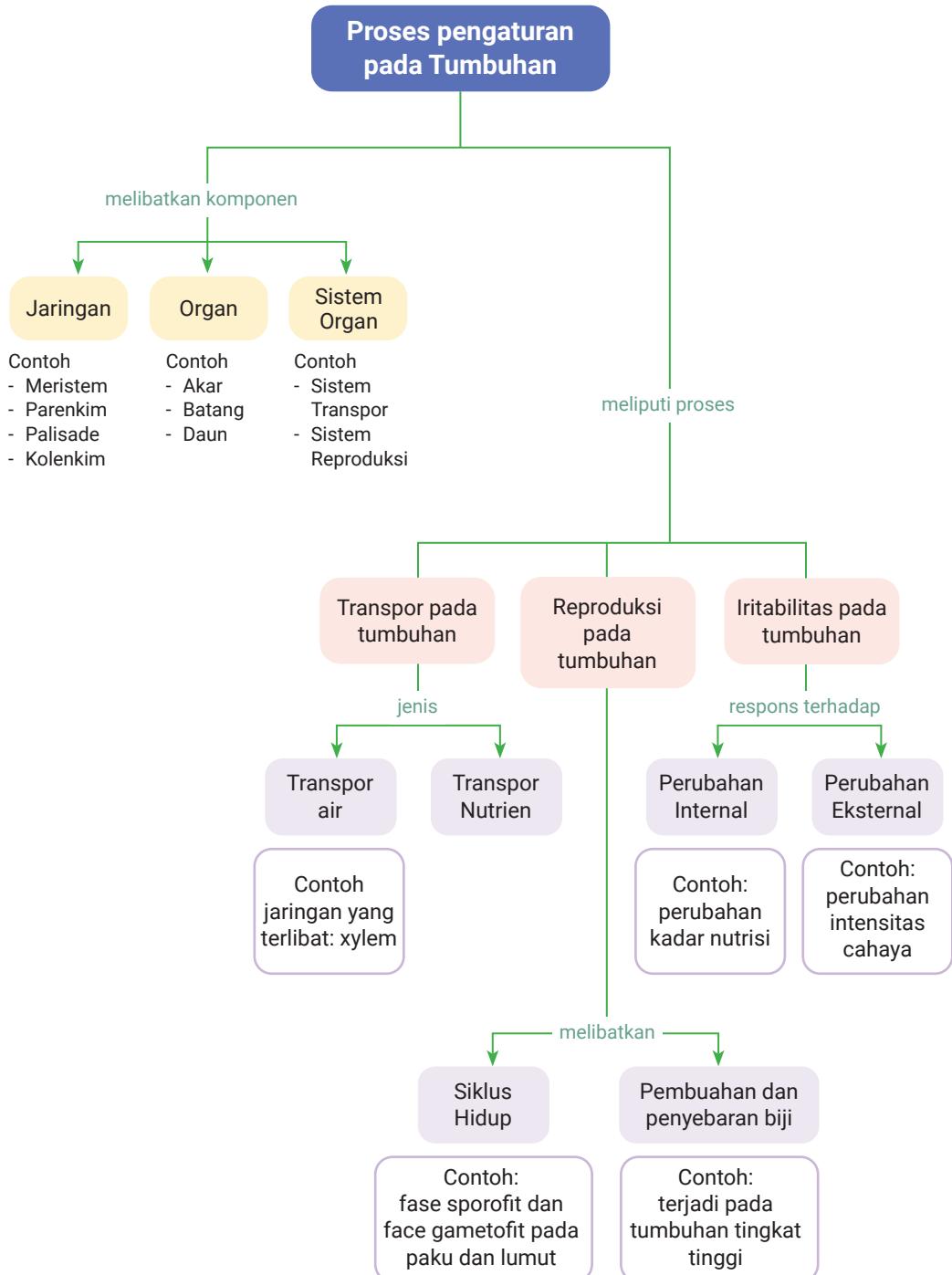
## Tujuan Pembelajaran

Kalian mampu menganalisis hubungan antara struktur dan fungsi organ tumbuhan serta menguraikan sistem regulasi yang dilakukan tumbuhan melalui kegiatan penyelidikan bersama dengan teman Kalian.

## Kata Kunci

- Jaringan
- Organ
- Regulasi
- Hormon
- Sistem Organ Tumbuhan

## Peta Konsep



Pohon *Eucalyptus*, atau yang biasa kita sebut sebagai pohon kayu putih, adalah spesies yang dapat tumbuh di hutan hujan tropis Indonesia. Apakah Kalian pernah melihat pohon *Eucalyptus* di daerah tempat tinggal Kalian?

Ketika musim berganti, kulit pohon *Eucalyptus* mengalami pengelupasan pada bagian kulitnya. Warna kulit yang awalnya hijau segar akan menjadi warna jingga, ungu, dan biru dengan garis-garis vertikal warna merah dan jingga. Mengapa pohon tersebut melakukannya? Apakah hal yang serupa dapat terjadi pada pohon jenis lain? Bagaimana tumbuhan dapat melakukan itu semua? Apakah didukung oleh struktur tumbuhan yang dimilikinya?

Agar tumbuhan dapat bertahan hidup, dibutuhkan pengaturan yang dapat mengelola fungsi setiap struktur tumbuhan. Pengaturan ini dikenal sebagai sistem regulasi. Apakah sistem regulasi tersebut bekerja pada pohon *Eucalyptus*? Apakah sistem regulasi tersebut yang juga mengatur waktu pengelupasan kulit pohon *Eucalyptus*?

Menurut Kalian, apa saja struktur tumbuhan yang terlibat dalam sistem regulasi tumbuhan? Bagaimana proses yang terjadi pada sistem regulasi sehingga tumbuhan dapat melakukan itu semua?

## A. Jaringan, Organ, dan Sistem Organ

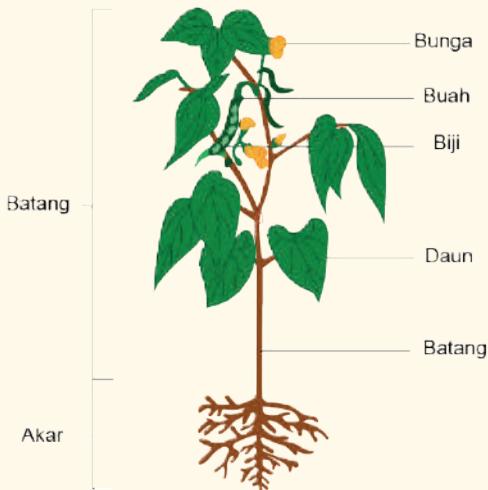


### Ayo Mengingat Kembali

Masih ingatkah Kalian apa saja sistem organ tumbuhan yang telah Kalian pelajari saat SMP? Organ-organ apa saja yang membentuk sistem organ? Jaringan apa saja yang membentuk organ tersebut?

Untuk mengenal struktur tumbuhan, kita harus mempelajari dan mengenal susunan anatominya. Struktur tubuh tumbuhan tersusun atas sel yang telah mengalami diferensiasi membentuk kelompok-kelompok sel yang dikenal dengan jaringan. Jaringan-jaringan pada tumbuhan akan bergabung menjadi beberapa kelompok untuk menjalankan fungsi khusus yang kita kenal sebagai organ. Organ pada tumbuhan meliputi akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji.

## Struktur Tumbuhan



Gambar 3.1 Struktur tumbuhan



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.1

Perhatikan tumbuhan yang ada di sekitar Kalian! Perhatikan apa saja organ-organ yang ada pada tumbuhan tersebut! Lalu, bandingkan bentuk antar organ-organ tersebut! Apakah semua organ bentuknya sama? Kaitkan hubungan antara bentuk organ tumbuhan dan fungsinya! Untuk menjawab hal tersebut, Kalian dapat mencari informasi tambahan melalui berbagai sumber, misalnya artikel dari internet atau buku diperpustakaan. Selanjutnya, tuliskan jawaban Kalian dalam Tabel 3.1 berikut!

Tabel 3.1 Organ Tumbuhan dan Fungsi

Organ dan Gambar Organ	Fungsi Organ	Kaitan antara Bentuk dan Fungsi

Tahukah Kalian bahwa organ-organ tumbuhan tersusun oleh jaringan-jaringan yang berbeda? Misalnya, daun tersusun oleh jaringan mesofil, spons, dan pengangkut. Ketiga jaringan tersebut tersusun oleh sel-sel yang memiliki bentuk yang berbeda antara satu dengan yang lain sesuai dengan fungsinya. Mengapa jaringan penyusun pada tumbuhan berbeda-beda? Apakah masing-masing organ tumbuhan memiliki jaringan yang sama? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, lakukan Aktivitas 3.2!



### Ayo Berekspolorasi



### Ayo Berkerja Sama

### Aktivitas 3.2

Kalian akan mengamati jaringan penyusun daun pada tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya bersama dengan teman dalam satu kelompok kecil.

**Tujuan:**

Melakukan pengamatan jaringan penyusun daun pada tumbuhan monokotil dan dikotil menggunakan mikroskop cahaya.

**Alat dan Bahan:**

No.	Alat	Bahan
1.	Mikroskop cahaya	Daun <i>Rhoeodiscolor</i>
2.	Kaca objek/kaca preparat	( <i>Tradescantia spathacea</i> )
3.	Preparat daun monokotil dan dikotil	Daun tumbuhan monokotil lainnya yang ada di sekitar kalian
4.	Kaca penutup	Daun tumbuhan dikotil lainnya yang ada di sekitar kalian
5.	Pipet tetes	Air
6.	Kertas saring	
7.	Silet	

**Prosedur:**

- Siapkan mikroskop yang akan digunakan untuk kegiatan praktikum. Pastikan kelengkapan komponen mikroskopnya.
- Buatlah sayatan paradermal dan melintang pada daun tumbuhan yang tersedia.

3. Kemudian, letakkan sayatan yang telah dibuat di atas kaca preparat. Masih ingatkan bagaimana membuat preparat basah untuk diamati? Kalau Kalian lupa ikuti langkah berikutnya.
4. Untuk menghilangkan kelebihan air atau gelembung udara yang terperangkap di bawah kaca penutup, letakkan kertas saring di salah satu sisi kaca penutup. Kertas tersebut akan menyerap kelebihan larutan yang ada. Hati-hati jangan sampai terlalu banyak larutan yang diserap kertas saring!
5. Amati secara cermat objek pengamatan Kalian menggunakan lensa objektif yang ukurannya paling kecil. Dapatkan Kalian melihat objek pengamatan dengan jelas? Lanjutkan pengamatan lebih cermat lagi menggunakan lensa objektif dengan kekuatan yang lebih besar.
6. Gambarlah objek pengamatan di buku gambar dan jangan lupa catat ukuran lensa objektif dan lensa okuler yang digunakan. Tuliskan label keterangan komponen jaringan dan sel penyusunnya yang Kalian amati.
7. Bandingkan bentuk dan pola jaringan yang Kalian amati pada tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil.
8. Buatlah laporan hasil pengamatan yang sudah dilakukan secara berkelompok.

**Pertanyaan:**

Jaringan apa saja yang Kalian amati sebagai penyusun daun monokotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian amati sebagai penyusun daun dikotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan penyusun daun monokotil dan dikotil sama?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Bandingkan pola jaringan tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

**Tabel 3.2 Persamaan dan Perbedaan Daun Monokotil dan Dikotil**

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Daun Monokotil	Daun Dikotil	Aspek	Daun Monokotil	Daun Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan mengenai jaringan penyusun daun monokotil dan dikotil berdasarkan hasil penyelidikan kalian!

**Jawaban:** \_\_\_\_\_



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.3

Kalian akan mengamati jaringan penyusun batang pada tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya bersama dengan teman dalam satu kelompok kecil.

#### Tujuan:

Melakukan pengamatan sel tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya.

#### Alat dan Bahan:

No.	Alat	Bahan
1.	Mikroskop cahaya	Batang bayam ( <i>Amaranthus sp</i> )
2.	Kaca objek/kaca preparat	Batang tumbuhan yang ada di sekitar Kalian
3.	Preparat batang monokotil dan dikotil	Batang tumbuhan dikotil yang ada di sekitar lingkungan kalian
4.	Kaca penutup	Air
5.	Pipet tetes	
6.	Kertas saring	
7.	Silet	

**Prosedur:**

1. Siapkan mikroskop yang akan digunakan untuk kegiatan praktikum. Pastikan kelengkapan komponen mikroskopnya.
2. Buatlah sayatan melintang dari batang batang tumbuhan yang tersedia. Berhati-hatilah pada saat menggunakan silet. Letakkan kembali silet yang telah digunakan di tempat yang aman agar tidak melukai kalian.
3. Kemudian, letakkan sayatan yang telah dibuat di atas kaca preparat.
4. Untuk menghilangkan kelebihan larutan atau gelembung udara yang terperangkap di bawah kaca penutup, letakkan kertas saring di salah satu sisi kaca penutup. Kertas tersebut akan menyerap kelebihan larutan yang ada. Hati-hati jangan sampai terlalu banyak larutan yang diserap kertas saring!
5. Amati secara cermat objek pengamatan Kalian menggunakan lensa objektif yang ukurannya paling kecil. Dapatkah Kalian melihat objek pengamatan dengan jelas? Lanjutkan pengamatan lebih cermat lagi menggunakan lensa objektif dengan kekuatan yang lebih besar.
6. Gambarlah objek pengamatan di buku gambar dan jangan lupa catat ukuran lensa objektif dan lensa okuler yang digunakan. Tuliskan label keterangan komponen jaringan dan sel penyusunnya yang Kalian amati.
7. Bandingkan bentuk dan pola jaringan yang Kalian amati pada tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil bersama dengan teman satu kelompok.
8. Buatlah laporan hasil pengamatan yang sudah dilakukan secara berkelompok.

**Pertanyaan:**

Jaringan apa saja yang Kalian amati sebagai penyusun batang monokotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian amati sebagai penyusun batang dikotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan batang tumbuhan monokotil dan dikotil yang Kalian amati sama?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Bandingkan jaringan pada tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

Tabel 3.3 Persamaan dan Perbedaan Batang Monokotil dan Dikotil

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Batang Monokotil	Batang Dikotil	Aspek	Batang Monokotil	Batang Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan mengenai jaringan penyusun batang monokotil dan dikotil berdasarkan hasil penyelidikan kalian!

Jawaban: \_\_\_\_\_



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.4

Kalian akan mengamati jaringan penyusun akar tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya bersama dengan teman dalam satu kelompok kecil.

#### Tujuan:

Melakukan pengamatan jaringan akar tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya.

#### Alat dan Bahan:

No.	Alat	Bahan
1.	Mikroskop cahaya	Akar bayam ( <i>Amaranthus sp</i> )
2.	Kaca objek/kaca preparat	Akar tumbuhan monokotil lainnya
3.	Preparat akar monokotil dan dikotil	Akar tumbuhan dikotil lainnya
4.	Kaca penutup	Air
5.	Pipet tetes	
6.	Kertas saring	
7.	Silet	

**Prosedur:**

1. Siapkan mikroskop yang akan digunakan untuk kegiatan praktikum. Pastikan kelengkapan komponen mikroskopnya.
2. Buatlah sayatan melintang dari akar tumbuhan yang tersedia (contoh tumbuhan dikotil dan monokotil).
3. Kemudian, letakkan sayatan yang telah dibuat di atas kaca preparat.
4. Untuk menghilangkan kelebihan larutan atau gelembung udara yang terperangkap di bawah kaca penutup, letakkan kertas saring di salah satu sisi kaca penutup. Kertas tersebut akan menyerap kelebihan larutan yang ada. Hati-hati jangan sampai terlalu banyak larutan yang diserap kertas saring!
5. Amati secara cermat objek pengamatan Kalian menggunakan lensa objektif yang ukurannya paling kecil. Dapatkah Kalian melihat objek pengamatan dengan jelas? Lanjutkan pengamatan lebih cermat lagi menggunakan lensa objektif dengan kekuatan yang lebih besar.
6. Gambarlah objek pengamatan di buku gambar dan jangan lupa catat ukuran lensa objektif dan lensa okuler yang digunakan. Tuliskan label keterangan komponen jaringan dan sel penyusun yang Kalian amati.
7. Bandingkan bentuk dan pola jaringan yang Kalian amati pada tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil bersama dengan teman satu kelompok.
8. Buatlah laporan hasil pengamatan yang sudah dilakukan secara berkelompok!

**Pertanyaan:**

Jaringan apa saja yang Kalian amati pada akar monokotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian amati pada akar dikotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan akar pada kedua tumbuhan yang Kalian amati sama?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Bandingkan jaringan pada tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

Tabel 3.4 Persamaan dan Perbedaan Daun Monokotil dan Dikotil

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Akar Monokotil	Akar Dikotil	Aspek	Akar Monokotil	Akar Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan mengenai jaringan pada akar monokotil dan dikotil!

Jawaban: \_\_\_\_\_



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas Alternatif

Kalian akan mengamati jaringan penyusun daun, batang, dan akar pada tumbuhan menggunakan preparat awetan bersama dengan teman dalam satu kelompok kecil.

#### Tujuan:

Melakukan Pengamatan jaringan penyusun daun, Jaringan penyusun batang, jaringan penyusun akar tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil menggunakan preparat awetan.

#### Prosedur:

1. Amati dan gambar jaringan-jaringan penyusun daun, batang, dan akar tumbuhan monokotil dan dikotil.
2. Bandingkan bentuk dan pola jaringan tumbuhan monokotil dan tumbuhan dikotil.
3. Kemudian, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut.

**Pertanyaan:**

Jaringan Penyusun Daun

Jaringan apa saja yang Kalian temukan pada daun monokotil?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian temukan pada daun dikotil?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan tersebut sama?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Bandingkan jaringan daun pada tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

**Tabel 3.5 Perbandingan Daun Monokotil dan Dikotil**

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Daun Monokotil	Daun Dikotil	Aspek	Daun Monokotil	Daun Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan Kalian mengenai jaringan pada daun monokotil dan dikotil!

Jawaban: \_\_\_\_\_

**Jaringan Penyusun Batang**

Jaringan apa saja yang amati pada batang monokotil?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian amati pada batang dikotil?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan tersebut sama?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Bandingkan jaringan batang pada tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

**Tabel 3.6 Perbandingan Batang Monokotil dan Dikotil**

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Batang Monokotil	Batang Dikotil	Aspek	Batang Monokotil	Batang Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan Kalian mengenai jaringan pada batang monokotil dan dikotil!

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

#### **Jaringan Penyusun Akar**

Jaringan apa saja yang Kalian temukan pada akar monokotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Jaringan apa yang Kalian temukan pada akar dikotil?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Apakah pola jaringan akar pada kedua tumbuhan yang Kalian amati sama?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Bandingkan jaringan akar pada tumbuhan monokotil dan dikotil yang telah Kalian amati!

**Tabel 3.7 Perbandingan Akar Monokotil dan Dikotil**

Persamaan			Perbedaan		
Aspek	Akar Monokotil	Akar Dikotil	Aspek	Akar Monokotil	Akar Dikotil
1.					
2.					
dst.					

Buatlah kesimpulan mengenai jaringan pada akar monokotil dan dikotil!

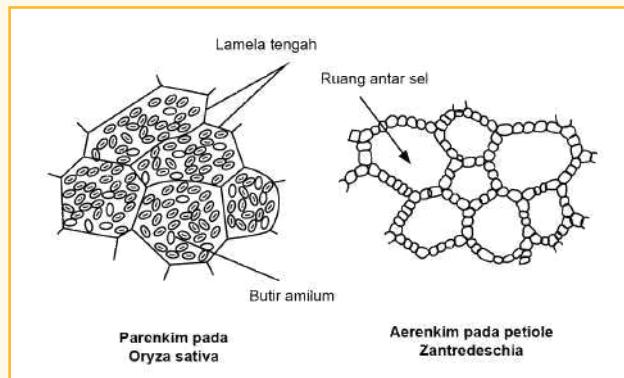
**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Berdasarkan hasil eksplorasi yang telah Kalian lakukan, dapatkah Kalian menyebutkan jaringan apa saja yang menyusun organ-organ tumbuhan? Jaringan tumbuhan terdiri atas jaringan meristem, epidermis, parenkim, xilem, floem, kolenkim, dan sklerenkim.

1. Jaringan meristem adalah kumpulan-kumpulan sel muda yang selalu melaksanakan pembelahan atau bersifat embrional (meristematis). Sel-sel tersebut membelah secara tidak terbatas untuk menambah jumlahnya. Pembentukan sel-sel baru dari permulaan diferensiasi pada tumbuhan terjadi di jaringan meristem. Jaringan meristem hanya terdapat di bagian-bagian tertentu dari tubuh tumbuhan.
2. Epidermis adalah lapisan sel terluar yang menutupi permukaan organ tubuh tumbuhan baik pada akar, batang, maupun daun. Bentuk dan fungsinya pada setiap organ berbeda. Epidermis pada batang dan akar berbeda, untuk akar disebut epiblem/rhizoderm.
3. Jaringan parenkim terbentuk dari jaringan meristem dasar. Jaringan parenkim terdiri atas sel-sel hidup yang tidak cukup terspesialisasi, jadi dapat berubah lagi menjadi sel meristem. Dengan demikian, jaringan parenkim masih dapat membelah. Kondisi demikian menjadi penting karena dapat memperbaiki bagian-bagian tumbuhan yang rusak.
4. Kolenkim adalah jaringan hidup yang memiliki banyak sifat parenkim, berfungsi sebagai penguat pada organ muda maupun tua. Kolenkim terdapat pada bagian batang, bagian bunga, daun, buah, dan akar. Pada monokotil tidak terdapat kolenkim.
5. Sklerenkim berperan sebagai jaringan penunjang yang tumbuh aktif pada bagian tumbuhan yang dewasa. Bentuk sel jaringannya bermacam-macam disebabkan oleh perkembangannya yang berbeda-beda. Sklerenkim dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu serabut dan sel batu (sklereid).
6. Setiap tumbuhan yang mempunyai jaringan pengangkut disebut tumbuhan vaskuler. Jaringan pengangkut terdiri atas xilem dan floem dan bersama-sama disebut sebagai barkas vaskuler (berkas pembuluh pengangkut). Xilem dan floem merupakan jaringan yang kompleks dengan ciri-ciri khusus.



### Tahukah kalian?



Gambar 3.2 Jaringan tumbuhan

Jaringan yang sama pada tumbuhan yang berbeda dapat memiliki perbedaan bentuk sesuai dengan tempat hidupnya. Misalnya, jaringan parenkim tumbuhan darat dan tumbuhan air ada yang memiliki bentuk berbeda. Jaringan parenkim tumbuhan air mengalami modifikasi yang dikenal sebagai jaringan perenkim sehingga jaringan tersebut dapat menyimpan udara.

## B. Transpor pada Tumbuhan



Ayo Berpikir kritis

Aktivitas 3.5

Pernahkah Kalian melihat tanaman yang direndam dengan menggunakan air berwarna? Kemudian, warna pada air tersebut berpindah ke dalam batang ataupun daun tanaman? Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Bagaimana proses tersebut dapat terjadi?

Jika mau, Kalian juga dapat menghasilkan tanaman yang bewarna-warni seperti itu dengan mengikuti langkah-langkah yang



Gambar 3.3 Sawi berwarna  
Sumber: flickr.com/Laura Hamilton (2009)

ada pada video di tautan berikut <https://youtu.be/akt8mjmOalI>. Kalian dapat mengganti tanaman sawi dengan berbagai jenis bunga. Sebaiknya Kalian gunakan bunga yang bewarna putih.

Ketika mentransportasikan zat makanan yang dihasilkan di daun menuju sel-sel tumbuhan lainnya melalui floem. Sel-sel floem akan saling berkomunikasi. Begitu juga saat proses pengangkutan air dari sel-sel di akar menuju sel-sel tumbuhan lainnya. Menurut Kalian, apakah sel-sel penyusun floem dan xilem sama? Bagaimana bentuk sel-sel penyusun floem? Bagaimana bentuk sel-sel penyusun xilem? Mengapa bentuk sel-sel penyusun floem dan xilem demikian? Untuk menjawab hal tersebut, ayo lakukan Aktivitas 3.6.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.6

Kalian akan mengamati jaringan floem dan xilem tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya bersama dengan teman dalam satu kelompok kecil.

#### Tujuan:

Melakukan pengamatan jaringan pengangkut tumbuhan menggunakan mikroskop cahaya.

#### Alat dan Bahan:

- |                     |                                    |
|---------------------|------------------------------------|
| 1. Mikroskop cahaya | 5. Preparat awetan floem dan xilem |
| 2. Kertas saring    | 6. Kaca preparat                   |
| 3. Silet            | 7. Air                             |
| 4. Batang bayam     |                                    |

#### Prosedur:

Lakukan pengamatan terhadap preparat awetan floem dan xilem yang tersedia di laboratorium dengan bantuan mikroskop.

#### Pertanyaan:

Sel apa saja yang Kalian temukan pada jaringan floem?

Jawaban: \_\_\_\_\_

Bagaimana kondisi sel-sel tersebut? Apakah hidup atau mati?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Mengapa sel-sel jaringan floem harus demikian kondisinya?

Hubungkan dengan fungsi dari floem!

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Sel apa saja yang Kalian amati menyusun jaringan xilem? Apakah terdapat perbedaan antara sel-sel yang Kalian amati pada floem dan xilem?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Bagaimana kondisi sel-sel tersebut? Apakah hidup atau mati?

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Mengapa sel-sel penyusun jaringan xilem harus demikian kondisinya? Hubungkan dengan fungsi dari xilem!

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

Buatlah kesimpulan mengenai jaringan floem dan xilem hasil penyelidikan Kalian!

**Jawaban:** \_\_\_\_\_

## C. Reproduksi pada Tumbuhan



**Gambar 3.4** Lebah hinggap pada bunga

Sumber: [www.peakpx.com/CC0 1.0 Universal \(CC0 1.0\)](http://www.peakpx.com/CC0 1.0 Universal (CC0 1.0))

Apakah Kalian ingat bahwa lebah dan bunga dikenal memiliki hubungan simbiosis mutualisme? Pernahkah Kalian melihat lebah secara langsung hinggap di bunga? Mengapa lebah tersebut hinggap di bunga? Apakah keuntungan yang bunga dapatkan ketika dihinggapi lebah?

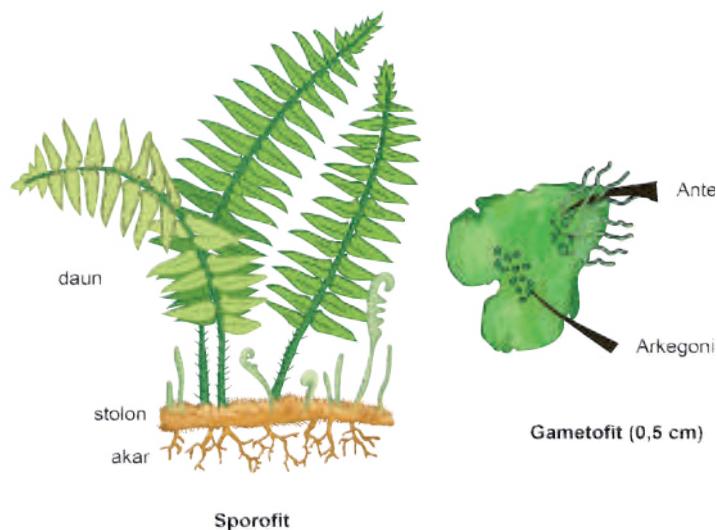
Interaksi antara lebah dan bunga ini merupakan salah satu fenomena awal yang akan mengantarkan struktur bunga menjalankan fungsinya dalam proses reproduksi tumbuhan. Apakah proses reproduksi tumbuhan selalu diawali dengan fenomena hinggapnya lebah pada bunga? Apakah semua jenis tumbuhan memiliki sistem regulasi yang sama untuk bereproduksi?

## 1. Siklus Hidup Tumbuhan



### Ayo Mengingat Kembali

Di SMP, Kalian telah mempelajari metagenesis atau siklus hidup pada lumut dan paku. Apakah Kalian masih ingat apa itu fase sporofit dan fase gametofit tumbuhan? Bagaimana perbedaan siklus hidup antara tumbuhan lumut, paku, dan tanaman lainnya?



Gambar 3.5 Sporofit dan gametofit tumbuhan paku

Pada siklus hidupnya, ada dua fase yang selalu dialami tumbuhan secara bergantian, fase sporofit yang bersifat diploid dan fase gametofit yang bersifat haploid. Pergiliran siklus ini memberikan tanaman untuk kesempatan beradaptasi dengan lingkungan yang berubah. Spora berkembang menjadi gametofit haploid. Gametofit memiliki organ reproduksi jantan atau betina yang mengalami mitosis untuk membentuk gamet haploid (sperma atau telur). Fertilisasi gamet menghasilkan zigot diploid. Zigot kemudian tumbuh dan berkembang menjadi sporofit dewasa. Siklus tersebut kemudian akan berulang.

Lumut dan paku menggunakan spora untuk berkembang biak. Namun, paku lebih mudah ditemukan di tempat kering dibandingkan lumut. Lumut lebih identik dengan tempat lembab. Mengapa demikian? Generasi dominan pada tumbuhan nonvaskuler adalah gametofit, sedangkan pada tumbuhan vaskuler adalah sporofit. Mengapa generasi sporofit dominan menguntungkan di darat? Untuk menjawab rasa ingin tahumu, ayo lakukan Aktivitas 3.7 dan 3.8.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.7

Sebelum Kalian membaca penjelasan lebih lanjut mengenai siklus hidup tumbuhan, cermati informasi tentang metagenesis lumut melalui aktivitas berikut.

Agar dapat memahami mengenai siklus hidup atau metagenensis lumut, bersama dengan teman kelompok, cermati informasi dari video yang dapat Kalian akses melalui Youtube dengan kata pencarian "Metagenesis Lumut/Mosses *Bryophyte life cycle*"

Diskusikan dengan teman satu kelompok informasi penting tentang siklus hidup lumut tersebut. Gambarkan siklusnya di buku catatan Kalian!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.8

Sebelum Kalian membaca penjelasan lebih lanjut mengenai siklus hidup tumbuhan, cermati informasi tentang metagenesis tumbuhan paku melalui aktivitas berikut.

Agar dapat memahami mengenai siklus hidup atau metagenesis paku, bersama dengan teman kelompok, cermati informasi dari video yang dapat Kalian akses melalui Youtube dengan kata pencarian "Metagenesis Tumbuhan Paku/*Ferns Pteridophyte Life Cycle*"

Diskusikan dengan teman satu kelompok informasi penting tentang siklus hidup paku tersebut. Gambarkan siklusnya di buku catatan Kalian.

Setelah melakukan Aktivitas 3.7 dan 3.8, dapatkah Kalian menemukan persamaan dan perbedaan metagenesis atau siklus hidup lumut dan paku? Diskusikan dengan teman satu kelompok dan sajikan hasilnya seperti Tabel 3.8.



### Ayo Berkommunikasi

### Aktivitas 3.9

Tabel 3.8 Persamaan dan Perbedaan Siklus Hidup Lumut dan Paku

Persamaan	Perbedaan	
	Lumut	Paku



**Gambar 3.6** Strobilus

Sumber: commons.wikimedia.org/Rayhannisa binti Rawan (2016)

Gambar 3.6 menunjukkan Strobilus yang ada pada gambar berasal dari dua tumbuhan berbeda. Strobilus pohon pinus (*Pinus merkusii*) yang berwarna cokelat dan strobilus pohon melinjo (*Gnetum gnemon L.*) yang berwarna kuning kehijauan.

Pinus dan berbagai tanaman dari kelompok Gymnospermae tidak menghasilkan bunga. Sebagai gantinya, Gymnospermae memiliki struktur yang bernama strobilus. Bagaimana strobilus berperan dalam siklus hidup tanaman Gymnospermae?

Secara umum, siklus hidup Gymnospermae memiliki beberapa kemiripan dengan siklus hidup tanaman secara umum. Strobilus dihasilkan oleh sporofit pinus. Ada dua jenis strobilus pada pinus, yaitu strobilus jantan yang menghasilkan sel polen dan strobilus betina yang menghasilkan sel ovum.

Proses ovulasi terjadi ketika polen berpindah dari strobilus jantan ke strobilus betina. Proses tersebut akan menghasilkan zigot diploid. Zigot kemudian akan berkembang menjadi embrio dengan biji di dalam strobilus betina.

### Latihan 3.1

Berilah tanda centang (✓) di kotak jawaban yang benar!

No.	Pernyataan	Benar	Salah
1.	Fase tumbuhan yang berasal dari zigot disebut sporofit.		
2.	Tumbuhan dengan fase dominan sporofit dapat tumbuh tinggi.		
3.	Tumbuhan selalu mengalami fase sporofit dan gametofit secara bergiliran dan terus-menerus.		
4.	Fase gametofit pada lumut dapat melakukan fotosintesis.		

Setelah Kalian mengerjakan Latihan 3.1, Kalian dapat mengetahui bahwa terdapat karakteristik yang khas pada setiap fase hidup tumbuhan. Karakteristik tersebut harus dipahami oleh Kalian agar dapat menganalisis contoh hubungan antara struktur yang dimiliki tumbuhan dengan fungsi struktur tersebut.

## 2. Pembuahan dan Penyebaran Biji

Berbeda dengan hewan dan manusia, tumbuhan tidak dapat bergerak aktif untuk memindahkan tubuhnya. Oleh karena itu, kemampuan tumbuhan untuk menyebarluaskan bijinya berperan penting dalam menjaga kelestariannya. Bagaimana cara tumbuhan menyebarluaskan bijinya? Bagaimana kesesuaian antara struktur dan fungsinya dalam membantu penyebaran biji?



### Ayo Mengingat Kembali

Proses pembuahan pada tanaman diawali dengan penyerbukan bunga. Masih ingatkah Kalian mengenai bagian-bagian bunga dan fungsinya? Jika Kalian lupa atau belum mengetahui bagian-bagian bunga, lakukan Aktivitas 3.10. Namun, jika Kalian masih ingat lanjutkan mengerjakan Aktivitas 3.11.



### Ayo Mencoba

### Aktivitas 3.10

Aktivitas ini dapat dilakukan dengan dua cara berikut.

1. Melakukan pengamatan struktur bunga secara langsung yang sudah Kalian peroleh. Selain cara pertama ini, Kalian dapat juga menggunakan cara kedua berikut.
2. Pengamatan struktur bunga dilakukan melalui model 3D yang dapat diakses melalui tautan: [s.id/1rp5W](https://www.inspiritvr.com/biology/3d-models/%20monocotyledon-flower-spiderwort/6296395c42c3f2d63d769131%20?isAnimated=true) (tautan lengkap: <https://www.inspiritvr.com/biology/3d-models/%20monocotyledon-flower-spiderwort/6296395c42c3f2d63d769131%20?isAnimated=true>)

Identifikasi bagian-bagian bunga beserta fungsinya, kemudian sajikan hasilnya dalam bentuk tabel!

Proses penyerbukan diawali dengan berpindahnya polen dari benang sari ke putik. Pada tanaman Angiospermae, proses ini disebut juga fertilisasi ganda karena adanya peleburan dua gamet jantan. Agar Kalian dapat lebih memahami proses fertilisasi ganda, lakukan Aktivitas 3.11.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.11

Sebelum Kalian membaca penjelasan lebih lanjut mengenai siklus hidup tumbuhan, Kalian dapat mencermati informasi tentang fertilisasi ganda dari video berikut.

[https://youtu.be/2\\_bLHzIbl6c](https://youtu.be/2_bLHzIbl6c)

Setelah menyaksikan video, diskusikan dengan teman satu kelompok informasi penting tentang bagian-bagian yang terlibat pada fertilisasi ganda dan hasilnya. Gambarkan prosesnya di buku catatan Kalian.

Setelah melalui proses fertilisasi, zigot kemudian akan berkembang menjadi biji. Pada beberapa tanaman, biji dapat ditutupi oleh daging buah. Sebagian tanaman lainnya hanya menutupi biji dengan selaput atau kulit.



**Perhatikan gambar berikut dengan saksama!**



(a)



(b)

**Gambar 3.7** Bagian-bagian tumbuhan (a) biji dandelion dan (b) buah beri

Sumber: (a) Unsplash/Goetsch (2018) (b) Unsplash/Nguyen (2022)

Gambar 3.7 menunjukkan biji dandelion dan buah beri yang berasal dari tanaman Angiospermae. Bagaimana bentuk buah dan biji seperti itu memberikan keuntungan untuk tanamannya? Diskusikan pertanyaan tersebut dengan kelompokmu dan tampilkan hasilnya dalam bentuk tabel.



### Tahukah kalian?

Bagaimana burung, gajah, dan fauna hutan lainnya dapat membantu penyebaran biji? Untuk mengetahui lebih lengkap informasinya, Kalian dapat membaca salah satu artikel terkait manfaat gajah terhadap keberadaan hutan di tautan berikut.

HOME / ALAM

#### Peran Penting Tubuh Gajah yang Besar Bagi Alam

Jumat, 12 Agustus 2016 | 21:00 WIB



**Gambar 3.8** Artikel terkait manfaat gajah terhadap keberadaan hutan

Sumber: asset-a.grid.id (2014)

## D. Iritabilitas pada Tumbuhan

Pernahkah Kalian dikilik-kilik oleh temanmu? Saat dikilik-kilik, biasanya Kalian akan merasa kegelian sehingga tertawa. Kilik-kilik yang diberikan oleh temanmu merupakan stimulus/rangsang yang direspon oleh Kalian dengan tertawa. Bagaimana dengan tumbuhan? Apakah tumbuhan dapat mengenali stimulus tersebut? Faktor apakah yang dapat menjadi stimulus untuk tumbuhan memberikan respons?

Saat diberikan rangsangan (baik secara internal maupun eksternal), tumbuhan akan memberikan respons. Kemampuan tumbuhan untuk memberikan respons dikenal sebagai kemampuan iritabilitas. Respons yang diberikan oleh tumbuhan bergantung kepada jenis rangsangannya. Apa sajakah bentuk respons yang akan diberikan oleh tumbuhan? Mengapa hal tersebut dapat terjadi?

### 1. Respons Tumbuhan terhadap Perubahan Internal



**Gambar 3.9** Petani sedang melakukan pemupukan

*Sumber: Shutterstock/Encierro (2022)*

Pernahkah Kalian melihat para petani memberi pupuk terhadap tanamannya? Kira-kira, mengapa para petani melakukan hal tersebut?

Ternyata selain memberikan respons terhadap perubahan musim, tumbuhan juga memberikan respons terhadap perubahan jumlah nutrisi di tanah. Seiring berjalannya waktu, jumlah nutrisi di tanah akan berkurang sehingga nutrisi yang ada di tanah harus ditambahkan. Salah satu caranya adalah dengan memberikan pupuk pada tanah.

Akan tetapi, jumlah pupuk yang terlalu banyak akan memberikan pengaruh buruk pada tanaman. Salah satu bentuk respons yang diberikan oleh tanaman apabila kekurangan atau kelebihan pupuk adalah daun yang menguning dan tanaman yang mati. Menurutmu mengapa hal tersebut dapat terjadi? Untuk menjawab hal tersebut lakukan aktivitas berikut!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 3.13

Kalian harus melakukan diskusi dengan teman dalam satu kelompok tentang keterkaitan antara kadar nutrisi di dalam tanah dengan respons yang akan tumbuhan berikan. Gunakan literatur yang relevan (judul buku) untuk membantu Kalian saat berdiskusi dan melengkapi Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Identifikasi Keterkaitan antara Kadar Nutrisi di dalam Tanah dengan Respons yang akan Tumbuhan Berikan

No.	Jenis Nutrisi	Respons Tumbuhan
1.		
2.		
dst.		

## 2. Respons Tumbuhan terhadap Perubahan Eksternal



### Ayo Mengingat Kembali

Saat SMP, Kalian telah mempelajari mengenai faktor luar (eksternal) yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan. Masih ingatkah Kalian apa saja faktor-faktor tersebut? Mengapa faktor-faktor tersebut memengaruhi tumbuhan? Bagaimana respons tumbuhan terhadap hal tersebut? Untuk menjawab hal itu, coba lengkapi Tabel 3.10 dan studi literatur berdasarkan sumber yang relevan! Salin jawabanmu di buku tugasmu!

Tabel 3.10 Respons Tumbuhan terhadap Faktor-Faktor Eksternal

No.	Faktor-Faktor	Deskripsi Respons Tumbuhan
1.	Untuk melihat respons tanaman dewasa terhadap cahaya kunjungi tautan berikut ini. Deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respons Tumbuhan <b><i><a href="http://ringkas.kemdikbud.go.id/ResponTumbuhan1">http://ringkas.kemdikbud.go.id/ ResponTumbuhan1</a></i></b>	
2.	Untuk melihat respons bibit tanaman terhadap cahaya kunjungi tautan berikut ini. Deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respons Tumbuhan <b><i><a href="http://ringkas.kemdikbud.go.id/ResponTumbuhan2">http://ringkas.kemdikbud.go.id/ ResponTumbuhan2</a></i></b>	
3.	Untuk melihat respons tumbuhan terhadap sentuhan kunjungi link berikut ini. Deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respon Tumbuhan. <b><i><a href="https://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/MovieFiles/VFlytrap.m4v">https://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/MovieFiles/ VFlytrap.m4v</a></i></b>	
4.	Untuk melihat respons tumbuhan mencari tiang untuk sulur tumbuh kunjungi tautan berikut ini. Deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respons Tumbuhan. <b><i><a href="https://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/MovieFiles/morningglorygroup.m4v">https://plantsinmotion.bio.indiana.edu/plantmotion/MovieFiles/ morningglorygroup.m4v.</a></i></b>	

No.	Faktor-Faktor	Deskripsi Respons Tumbuhan
5.	Untuk melihat respons tumbuhan terhadap suhu, carilah informasi secara mandiri. Kemudian, deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respons Tumbuhan.	
6.	Untuk melihat respons tumbuhan terhadap panjang siang-malam, carilah informasi secara mandiri. Kemudian, deskripsikan responsnya pada bagian Deskripsi Respons Tumbuhan.	

## Refleksi

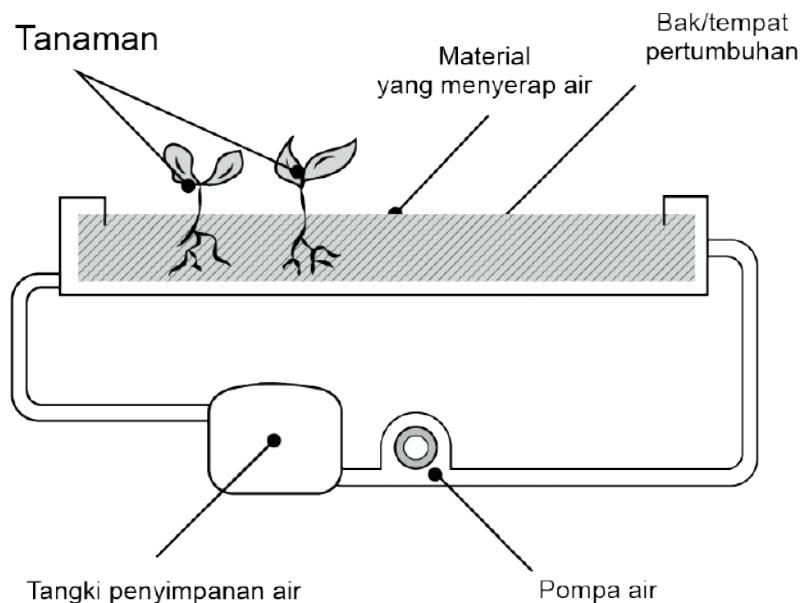
Pada akhir bab ini, Kalian akan diajak memikirkan kembali hal-hal berikut.

1. Apa yang sudah dipelajari dan seberapa dalam pemahaman Kalian atas pembelajaran pada bab ini?
2. Bagian mana materi yang belum Kalian pahami?
3. Apa yang akan Kalian lakukan untuk meningkatkan pemahaman Kalian tentang materi ini?

## Uji Kompetensi

Bacalah wacana berikut, lalu jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawahnya!

Hidroponik adalah salah satu cara untuk menumbuhkan tanaman tanpa menggunakan tanah. Tanaman akan ditanam pada material yang memiliki pori-pori besar, dan pori-pori itu akan terisi oleh air. Berikut adalah gambar sistem hidroponik sederhana.



**Sistem Hidroponik Sederhana**

Air akan dipompa melewati sistem 4 hingga 6 kali sehari, tergantung dengan jenis tanamannya. Pada saat pompa berhenti, kelebihan air akan mengalir dan terkumpul di tangki penyimpanan air.

Penelitian menemukan bahwa tanaman yang ditanam dalam sistem hidroponik menggunakan lebih sedikit air dibandingkan tanaman yang ditanam di atas tanah. Kunci dari alasan ini terletak dalam desain sistem hidroponiknya.

Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Apa yang menyebabkan tanaman yang ditanam dalam sistem hidroponik menggunakan air lebih sedikit dibandingkan tanaman yang ditanam di atas tanah?
2. Fitur sistem hidroponik apa yang menyebabkan hal tersebut terjadi?

No.	Pernyataan	Benar	Salah
1.	Organ tumbuhan yang berperan paling penting dalam kelangsungan hidup tumbuhan pada sistem hidroponik tersebut adalah daun karena fotosintesis terjadi di daun.		
2.	Air yang dipompa oleh pemompa air akan terkumpul di dalam pori-pori material. Pemompaan yang terlalu sering akan menyebabkan akar menjadi busuk akibat kandungan air yang terlalu banyak di pori-pori material.		
3.	Material padat seperti tanah liat dapat digunakan pada sistem hidroponik karena dapat mendukung pertumbuhan akar dan penyerapan air yang maksimal.		

## Pengayaan

Tidak hanya di Indonesia, di beberapa negara lain di dunia, padi masih menjadi salah satu fokus riset para peneliti. Berbagai tantangan terkait produksi padi dicoba untuk dicari solusi dan penjelasannya. Berita terbaru dari dampak permasalahan kekeringan terhadap tanaman padi diangkat oleh media di Eropa dan Amerika.

1. <http://ringkas.kemdikbud.go.id/kekeringan1>
2. <http://ringkas.kemdikbud.go.id/kekeringan2>

Salah satu artikel penelitian terkait padi yang dipublikasikan oleh peneliti dari Balai Besar Penelitian Tanaman Padi Indonesia memuat penjelasan tentang mekanisme respons tanaman padi terhadap cekaman kekeringan dapat diakses di tautan berikut: <http://ringkas.kemdikbud.go.id/kekeringan3>

Berikut adalah abstrak penelitian dari artikel yang dimaksud.

## **Mekanisme Respon Tanaman Padi terhadap Cekaman Kekeringan dan Varietas Toleran**

### ***Mechanism Response of Rice Under Drought Stress and Tolerant Varieties***

**Sujinah dan Ali Jamil**

Balai Besar Penelitian Tanaman Padi  
Jl. Raya 9 Sukamandi, Subang, Jawa Barat, Indonesia  
E-mail: sujinah.sulaiman@yahoo.com

---

Naskah diterima 19 Juni 2015, direvisi 18 Mei 2016, dan disetujui diterbitkan 23 Mei 2016

---

#### **ABSTRACT**

*Drought has wide impact on agriculture such as reduced rice productivity and production, impacted on food security and economical stability in the region as well as at national level. Drought stress problem would become more frequent in relation with accelerated global climate changes. Response of rice crop to water stress begins with physiological process disturbance in the plant, such as reducing transpiration rate by means of stomata closure and reducing leaf surface area or leaf rolling. Each action may cause reducing CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> gas exchanges to the atmosphere, and reduce solar radiation interception. Both condition may decrease photosynthetic process on the leaves. This physiological responses may affect plant morphology such as reducing canopy size due to decreasing leaf number and leaf area per hill, reducing number of total and productive tillers per hill, delaying flowering and grain maturing. Changes in this crop morphology also have impact on further crop physiological processes. Therefore, there are inter-affects between physiological processes and crop morphology. The changes of the processes and condition cause the changes of crop growth pattern, and finally decrease biomass weight, yield components and grain yield. The degree of declining depending on the drought stress level and also on the rice genotype which have different adaptability and tolerance mechanism to drought stress.*

Berdasarkan artikel penelitian tersebut diketahui bahwa respons padi terhadap kekeringan dimulai dengan respons secara fisiologis yang diikuti oleh perubahan secara morfologis. Respons tersebut merupakan mekanisme ketahanan padi sekaligus dampak akibat cekaman kekeringan.

Telusuri lebih detail tentang dampak cekaman kekeringan terhadap padi menggunakan sumber berita dan artikel penelitian tersebut. Diskusikan dengan teman satu kelompok Kalian, apa contoh respons fisiologis dan respons morfologis tanaman terhadap cekaman kekeringan? Bagaimana dampaknya terhadap pertumbuhan dan produksi padi? Menurut Kalian, upaya apa yang harus dilakukan untuk meminimalkan dampak cekaman kekeringan terhadap tanaman padi?

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 4

# Transpor dan Pertukaran Zat pada Manusia

Tahukah Kalian, bahwa berbagai sistem organ dalam tubuh manusia bekerjasama saat Kalian melakukan suatu aktivitas fisik seperti berolahraga dan lainnya? Bagaimana proses transpor dan pertukaran zat antara tubuh dan lingkungan terjadi sebagai hasil kerjasama antar sistem organ tersebut?

*Sumber gambar: Zamzam Nursani (2022)*

## Tujuan Pembelajaran

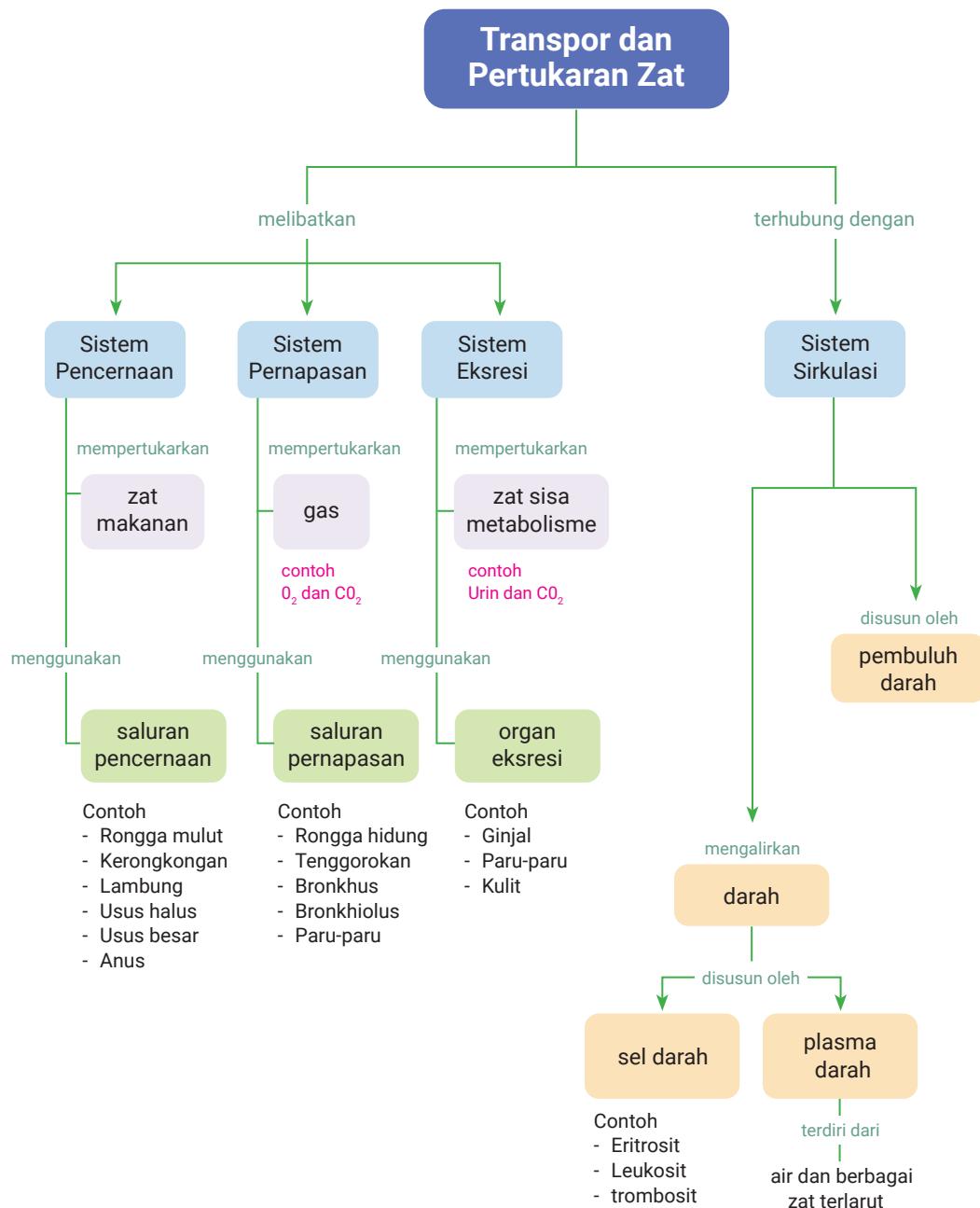
Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu:

1. Menganalisis keterkaitan peran antar-sistem organ pada proses transpor dan pertukaran zat pada tubuh manusia.
2. Menyelidiki fenomena terkait proses transpor dan pertukaran zat pada tubuh manusia beserta kelainannya.

## Kata Kunci

- Metabolisme
- Sistem ekskresi
- Sistem pencernaan
- Sistem pernapasan
- Sistem sirkulasi
- Transpor

## Peta Konsep



Aktivitas makhluk hidup dapat terjadi sebagai akibat dari proses biologis di dalam tubuh. Sebut saja, saat hewan atau manusia bergerak, proses kontraksi otot memungkinkan terjadinya gerakan di bagian tubuh tertentu. Sebagai seorang remaja, Kalian menggunakan tubuhmu untuk melakukan banyak hal. Di sekolah, untuk mendukung pembelajaran, Kalian memerlukan kerja berbagai bagian tubuh.

Kerja otak diperlukan dalam menjalankan proses berpikir, begitu pula kerja alat gerak digunakan untuk aktivitas fisik, seperti saat bermain dan berolahraga. Pada waktu yang sama, berbagai organ dalam tubuh Kalian mengolah dan mendistribusikan makanan serta gas untuk mengatur produksi dan konsumsi energi tubuh. Dapat dikatakan bahwa secara biologis, berbagai aktivitas yang Kalian lakukan tersebut, terjadi karena adanya struktur dan fungsi dari beragam sistem organ penyusun tubuh Kalian.

Proses fisiologis yang terjadi pada sistem organ saat beraktivitas dapat diukur dari berbagai perubahan kondisi tubuh. Berbagai indikator perubahan pada kondisi tubuh, seperti perubahan pada laju napas, produksi keringat, warna kulit, kecepatan denyut jantung, kondisi otot, dan bahkan sensasi lapar dapat terjadi saat atau setelah tubuh beraktivitas. Sebelum lebih jauh dalam pembahasan bab ini, lakukan Aktivitas 4.1 dan Aktivitas 4.2!



### Ayo Berekspolorasi

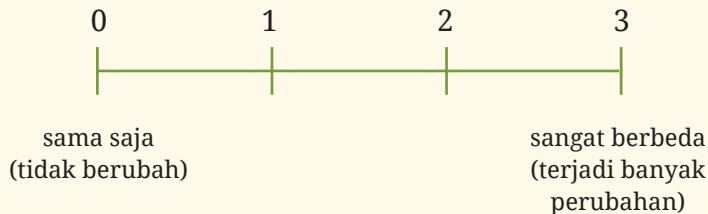
### Aktivitas 4.1

#### Membandingkan Ragam Aktivitas Tubuh

Setiap aktivitas tubuh akan menghasilkan perubahan kondisi tubuh yang dapat diamati dan dibandingkan.

1. Lakukan lima aktivitas tubuh berbeda, seperti membaca buku, lari di tempat, dan lain-lain. Pilihlah aktivitas yang dapat dilakukan sendiri.
2. Bandingkan perubahan kondisi tubuh Kalian sebelum dan setelah melakukan setiap aktivitas. Perubahan pada kondisi tubuh tersebut, seperti perubahan pada laju napas, produksi keringat, warna kulit, kecepatan denyut jantung, kondisi otot, dan sensasi lapar.

3. Gunakan skala (0–3) di bawah ini untuk membandingkan tingkat perubahan kondisi tubuh yang ditimbulkan oleh setiap aktivitas. Skor 0 jika sama sekali tidak ada beda antara sebelum dan setelah aktivitas. Sebaliknya, skor 3 jika sangat berbeda.



### Ayo Berkomunikasi

### Aktivitas 4.2

#### Membandingkan Ragam Aktivitas Tubuh

Berdasarkan Aktivitas 4.1, tuliskan hasil perbandinganmu seperti pada Tabel 4.1! Tuliskan jenis aktivitas yang dilakukan berdasarkan urutan dari yang paling banyak menyebabkan perubahan kondisi tubuh (nomor 1) hingga yang paling sedikit (nomor 5)!

Tabel 4.1 Perbandingan Ragam Aktivitas Tubuh

No	Aktivitas	Skor
1.	Membaca buku	
2.	Lari di tempat	
3.	... dan seterusnya	
4.		
5.		

Bandingkan hasil pengamatan Kalian dengan sesama teman sekelas! Selanjutnya, diskusikan hal-hal berikut!

1. Aktivitas apa yang paling banyak menyebabkan perubahan kondisi tubuh?

2. Perubahan kondisi tubuh apa yang paling banyak teramati pada berbagai aktivitas?
3. Adakah perbedaan hasil pengamatan Kalian? Jika ada, mengapa hal tersebut terjadi?

Kemukakan jawaban Kalian di depan kelas dalam diskusi yang dibimbing oleh guru! Jangan lupa untuk saling menghormati dan menghargai perbedaan pendapat yang dapat saja terjadi dalam diskusi!

Perubahan-perubahan kondisi tubuh yang terjadi saat dan setelah melakukan aktivitas melibatkan peningkatan dan penurunan kerja berbagai organ tubuh. Perubahan pada laju napas, produksi keringat, warna kulit, kecepatan denyut jantung, kondisi otot, dan bahkan sensasi lapar pada dasarnya adalah perubahan dari beberapa sistem organ terkait, sebut saja sistem sirkulasi, sistem pernapasan, sistem pencernaan, dan sistem ekskresi.



#### Ayo Mengingat Kembali

Pada pembelajaran Biologi di tingkat SMP, Kalian telah mempelajari berbagai struktur dan fungsi sistem organ tubuh manusia. Bagaimana peran masing-masing sistem organ tersebut dalam mendukung aktivitas tubuh? Tuliskan jawaban pada buku catatan masing-masing untuk memudahkan Kalian dalam memahami kembali materi pada bab ini!

Keempat sistem organ memang memiliki fungsi yang berbeda, tetapi keempatnya juga memiliki persamaan, yaitu melibatkan mekanisme transpor dan pertukaran zat pada proses fisiologisnya. Sel penyusun jaringan pada setiap sistem organ melakukan pertukaran zat melalui membran sel, baik secara aktif maupun pasif (lihat kembali Bab 1). Sistem pernapasan mempertukarkan gas, sistem pencernaan menyerap zat makanan, dan sistem ekskresi membuang sisa metabolisme. Proses fisiologis pada ketiga sistem organ tersebut melibatkan proses

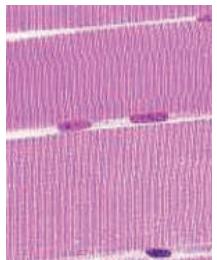
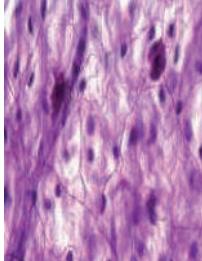
pertukaran zat dengan lingkungan luar tubuh dimana zat yang dipertukarkan tersebut juga mengalami pengangkutan ke seluruh tubuh oleh sistem sirkulasi khususnya sistem peredaran darah.

Pada bab ini, Kalian akan mempelajari lebih jauh tentang bagaimana mekanisme transpor dan pertukaran zat yang melibatkan empat sistem organ (sirkulasi, pernapasan, pencernaan dan ekskresi) pada tubuh manusia. Sebelum pembahasan lebih lanjut, perlu dipahami bahwa makna tranpor zat pada bab ini adalah pengangkutan zat pada tingkat sistem organ, yaitu sistem sirkulasi. Sementara pertukaran zat yang dimaksud adalah pertukaran zat adalah perpindahan zat baik keluar maupun masuk kedalam tubuh, khususnya pada organ-organ tertentu yang menjadi bagian dari keempat sistem organ yang dibahas dalam bab ini. Pertukaran zat dapat berlangsung dua arah, seperti pertukaran oksigen dan karbondioksida, maupun satu arah seperti penyerapan sari-sari makanan di usus dan pengeluaran sisa metabolisme di ginjal. Dengan demikian, Kalian diharapkan dapat memahami mekanisme kerja beragam sistem organ tubuh tidak secara terpisah, melainkan sebagaimana kerja alaminya yang saling terkait dan bersinergi satu dengan yang lain.

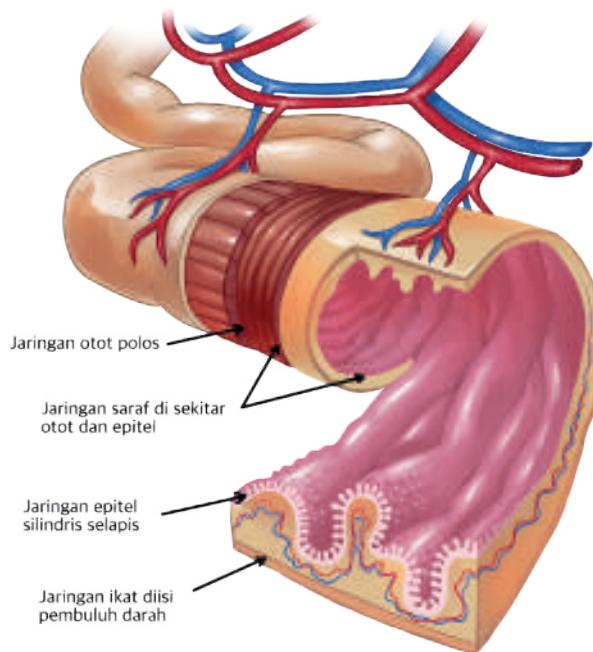
## A. Struktur Tubuh untuk Pertukaran dan Transpor Zat

Setiap sistem organ disusun oleh organ-organ spesifik yang memiliki fungsinya tertentu. Meskipun demikian, secara struktur setiap organ tubuh disusun oleh jaringan dasar yang sama. Jaringan dasar tersebut, yakni jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan saraf. Perhatikan penjelasan tipe dan fungsi jaringan dasar tersebut pada Tabel 4.2!

Tabel 4.2 Tipe Jaringan Dasar pada Tubuh Manusia

Tipe Jaringan	Ciri Umum	Tipe Jaringan	Ciri Umum
<b>Jaringan Epitel</b> 	Terletak di permukaan organ, tersusun atas selapis atau berlapis sel yang tersusun rapat. <b>Fungsi:</b> Melindungi jaringan di bawahnya dan mengatur pertukaran zat.	<b>Jaringan Otot</b> 	Sel banyak mengandung filamen aktin dan miosin, saling melekat kuat satu dengan yang lain. <b>Fungsi:</b> Memungkinkan pergerakan (dapat berkontraksi dan berrelaksasi).
<b>Jaringan Ikat</b> 	Mengisi bagian diantara jaringan-jaringan dasar lainnya, komponen jaringan terdiri dari sel, serabut protein dan matriks (cairan) ekstraseluler. <b>Fungsi:</b> Penguat dan penghubung antarjaringan, penyimpan cadangan makanan.	<b>Jaringan Saraf</b> 	Sitoplasma sel membentuk penjuluran seperti serabut (axon dan dendrit), sebagian besar menyusun sistem saraf. <b>Fungsi:</b> Mentransmisikan impuls saraf untuk mengordinasi kerja antarorgan tubuh.

Sebagai contoh, pada usus (Gambar 4.1), Kalian akan temukan keempat jaringan dasar yang mendukung fungsi usus sebagai salah satu organ pencernaan. Gerakan usus lebih lambat yang ditujukan untuk memaksimalkan penyerapan makanan, dapat terjadi karena keberadaan otot polos sebagai salah satu komponen yang menyusun dindingnya. Otot ini berbeda dengan otot penyusun jantung yang bergerak lebih cepat, ritmik, dan nonstop.



**Gambar 4.1** Jaringan dasar pada usus halus manusia

Selain jaringan otot, jaringan dasar lainnya seperti jaringan epitel tipe selapis silindris, jaringan ikat submukosa, dan juga ujung-ujung reseptor jaringan saraf diketahui menyusun organ usus. Kehadiran empat tipe jaringan dasar ini juga dapat Kalian temukan pada organ tubuh lainnya. Walaupun berbeda tipe masing-masing jaringan, namun sifat umumnya sama. Kesamaan ini yang memungkinkan kerjasama antar sistem organ dapat terjadi disamping adanya fungsi koordinasi oleh sistem saraf. Untuk lebih jauh memahami struktur jaringan pada tubuh, lakukan Latihan 4.1!

#### Latihan 4.1

Kalian telah mengingat kembali tentang jaringan dasar pada tubuh manusia. Berdasarkan topik bahasan pada bab ini, jaringan dasar manakah yang paling berperan dalam pertukaran dan transpor zat pada tubuh? Jelaskan! alasan jawaban Kalian!

## 1. Peran Sistem Sirkulasi dalam Transpor dan Pertukaran Zat

Pada bahasan ini, Kalian akan mengidentifikasi ciri-ciri struktur organ sistem sirkulasi yang terkait langsung dengan pertukaran dan transpor zat. Untuk memastikan pemahaman awal Kalian, lakukan Aktivitas 4.3!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 4.3

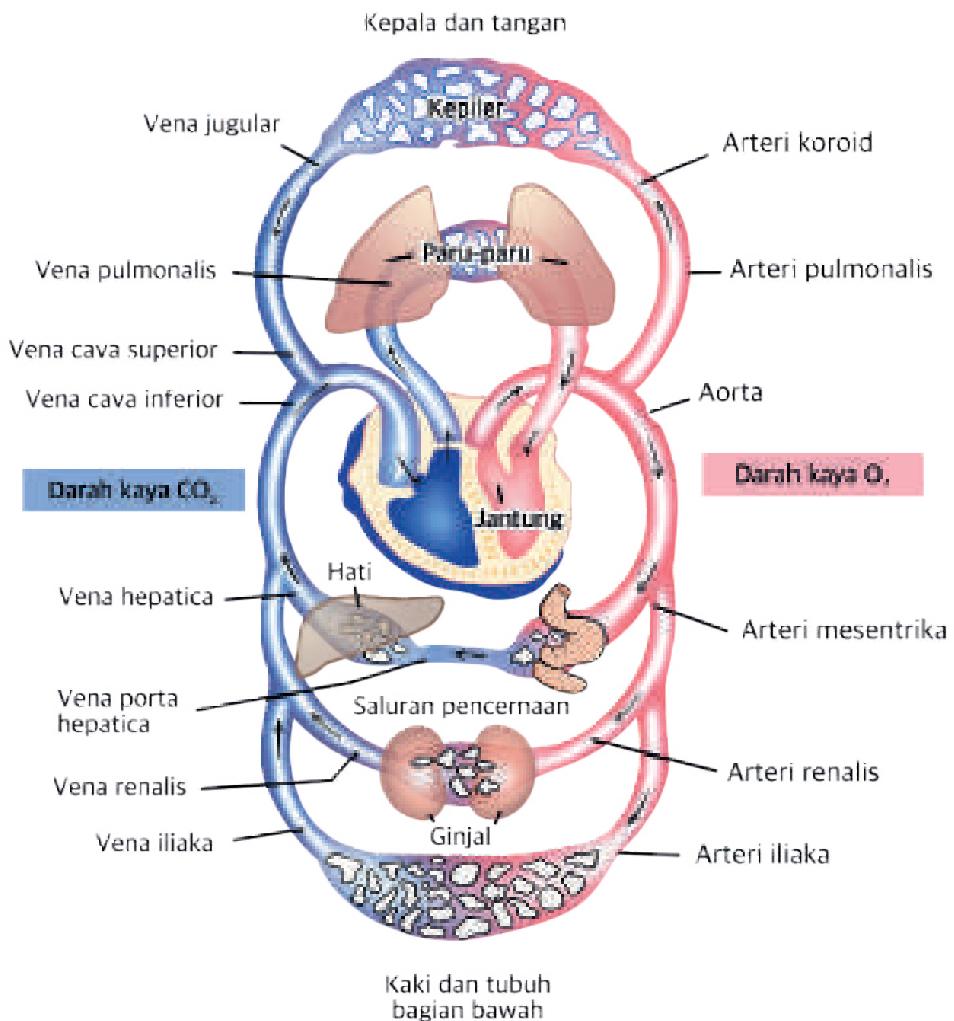
Pada pembelajaran Biologi di tingkat SMP, Kalian telah mempelajari organ penyusun sistem sirkulasi dan komponen penyusun darah. Untuk membantu Kalian dalam mengingat kembali, tentukan benar atau salah pernyataan-pernyataan berikut!

		Benar	Salah
1	Jantung manusia memiliki empat ruang yang terpisah.		
2	Pada sistem peredaran darah tertutup, darah dapat keluar dari pembuluh darah		
3	Lapisan otot pembuluh arteri lebih tebal dibanding vena		
4	Pembuluh dengan total permukaan terluas adalah kapiler		
5	Sel darah merah berfungsi mengangkut zat makanan		

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada appendix buku atau lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali buku teks SMP kelas VIII tentang sistem sirkulasi.

#### a. Struktur pembuluh darah

Pembuluh darah adalah saluran khusus yang mengangkut berbagai zat ke seluruh tubuh manusia. Organ-organ tempat terjadinya pertukaran zat, seperti usus halus, paru-paru, dan ginjal memiliki jumlah pembuluh darah yang lebih banyak.



**Gambar 4.2** Pembuluh darah menghubungkan berbagai organ tubuh

Pada organ-organ pertukaran zat, terdapat lebih banyak pembuluh kapiler untuk mendukung pertukaran zat. Pada usus halus terdapat banyak pembuluh kapiler dan pembuluh lakteal (limfa) untuk penyerapan zat makanan. Sementara itu, alveolus di dalam paru-paru berlekatan langsung dengan banyak pembuluh kapiler untuk pertukaran gas. Begitu pula di ginjal sebagai salah satu organ ekskresi, zat sisa metabolisme yang diangkut aliran darah akan dipertukarkan dengan dikeluarkan dari kapiler menuju nefron ginjal hingga akhirnya dikeluarkan dari tubuh bersama urin. Untuk mengembangkan pemahaman Kalian, lakukan Aktivitas 4.4!



## Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 4.4

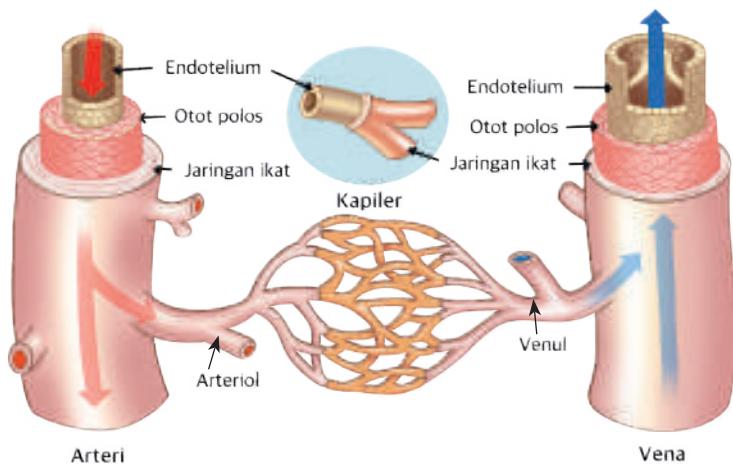
Pada pembelajaran Biologi di tingkat SMP, Kalian telah mempelajari tipe pembuluh darah dalam sistem sirkulasi manusia, yaitu arteri, vena, dan kapiler. Berdasarkan pengetahuan Kalian, lakukan langkah observasi berikut!



1. Amati pergelangan tangan Kalian, tepatnya pada bagian yang sejajar dengan telapak tangan! Perhatikan dan temukan posisi pembuluh darah pada pergelangan tangan Kalian!
2. Gunakan lup (kaca pembesar) untuk mengamati perbedaan warna pada bagian pembuluh darah pada pergelangan tangan Kalian!
3. Gunakan tiga ujung jari Kalian untuk mendeteksi ada tidaknya denyutan!
4. Setelah Kalian melakukan observasi pada telapak tangan, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut!
  - Adakah pembuluh darah yang teramat pada pergelangan tangan Kalian? Jika ada, jelaskan bagaimana ciri dari pembuluh tersebut?
  - Jenis pembuluh darah apakah yang dapat diamati pada pergelangan tangan?

Kemukakan jawaban Kalian di depan kelas dalam diskusi singkat yang dipandu oleh guru! Jangan lupa untuk saling menghormati dan menghargai perbedaan pendapat yang dapat saja terjadi dalam diskusi!

Jaringan penyusun dinding pembuluh darah disusun oleh setidaknya tiga lapisan jaringan dasar, yaitu lapisan jaringan epitel (pada pembuluh darah disebut endotelium); lapisan otot polos; dan lapisan jaringan ikat. Ketiga lapisan jaringan secara lengkap menyusun pembuluh arteri dan vena, sedangkan kapiler hanya disusun satu lapisan saja, yaitu satu lapis sel endotelium. Tipisnya dinding kapiler memudahkan proses pertukaran zat yang terjadi pada pembuluh ini karena setidaknya zat hanya perlu melintasi satu lapis sel saja.



**Gambar 4.3** Struktur pembuluh arteri dan vena

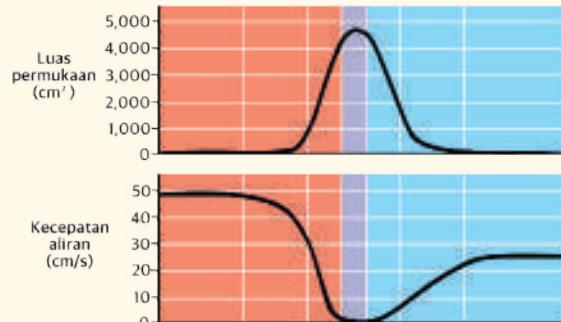
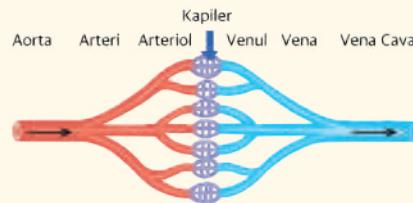


### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 4.5

Berdasarkan informasi pada gambar, jawablah pertanyaan berikut!

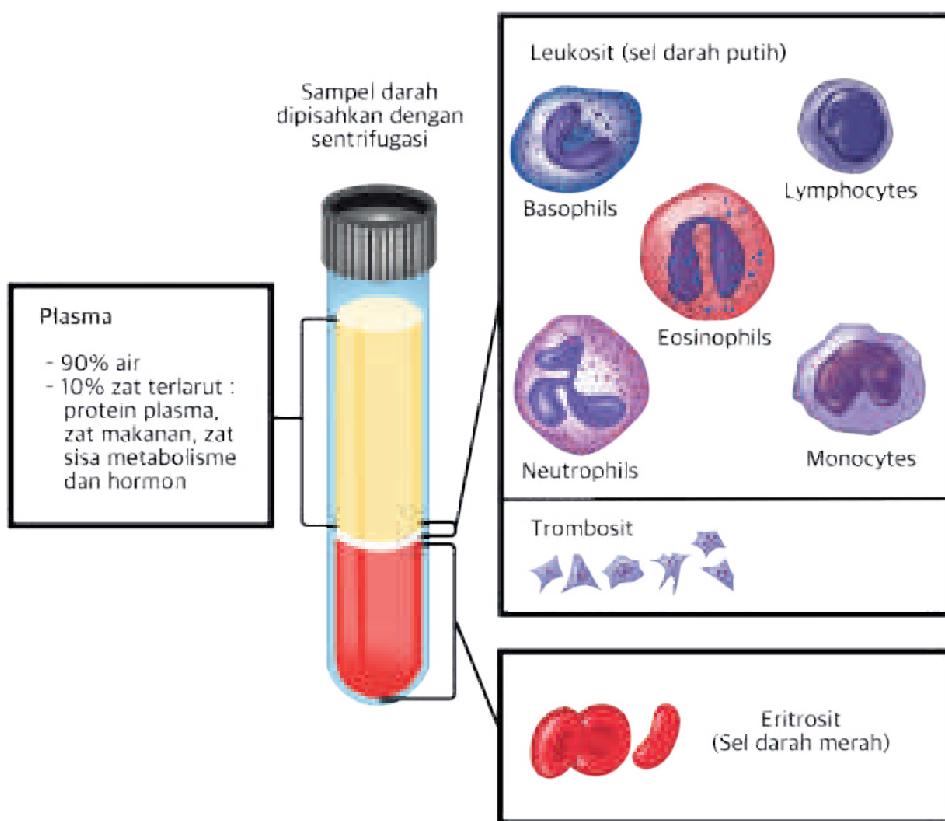
1. Mengapa kapiler memiliki luas permukaan terbesar di antara tipe pembuluh lainnya?
2. Mengapa data luas permukaan pembuluh kapiler berbanding terbalik dengan kecepatan aliran?
3. Dengan kecepatan aliran yang lebih lambat, apakah hal tersebut menguntungkan proses pertukaran zat di kapiler? Jelaskan!



Kemukakan jawaban Kalian di depan kelas dalam diskusi singkat yang dipandu oleh guru! Jangan lupa untuk saling menghormati dan menghargai perbedaan pendapat yang dapat saja terjadi dalam diskusi!

## b. Komponen darah dalam mengangkut zat

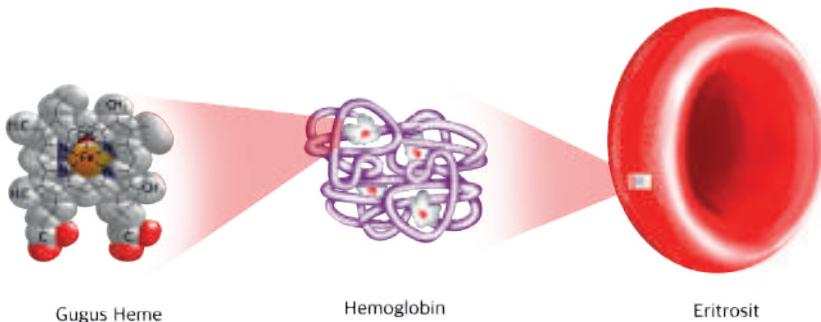
Darah sebagai bagian dari sistem sirkulasi merupakan jaringan ikat khusus berwujud cairan dengan beragam komponen terlarutnya. Komponen darah terdiri dari plasma dan sel darah. Darah menjadi media utama pengangkut berbagai zat di dalam tubuh, disamping fungsi fisologis lainnya seperti pengaturan suhu tubuh dan sistem pertahanan tubuh. Baik komponen sel darah maupun plasma, keduanya menjadi media pengangkut zat ke seluruh tubuh.



Gambar 4.4 Komponen darah

### Latihan 4.2

Jelaskan komponen mana yang berperan dalam pengangkutan zat! Zat apa saja yang dapat diangkut oleh darah?



**Gambar 4.5** Struktur eritrosit pada manusia

Di antara tipe sel penyusun darah, sel darah merah (eritrosit) paling berperan dalam pengangkutan dan pertukaran zat khususnya gas, baik oksigen maupun karbon dioksida. Gugus heme dari protein hemoglobin penyusun sel darah merah merupakan gugus aktif yang dapat berikatan dengan partikel gas. Untuk mengikat gas, heme memerlukan zat besi. Oleh karena itu, kekurangan zat besi dapat menyebabkan menurunnya fungsi pengangkutan gas oleh darah. Kondisi ini dikenal sebagai anemia.

Plasma darah adalah komponen lainnya yang berperan dalam pengangkutan zat, khususnya zat makanan, hormon, dan sampah sisa metabolisme. Sebagian besar komponen plasma darah adalah air. Oleh karena itu, zat yang diangkut plasma hanya yang terlarut air. Sebagai contoh, untuk memasukkan obat, makanan, dan cairan tambahan ke tubuh pasien perawatan intensif dilakukan melalui cairan infus. Cairan infus memiliki komposisi air dan garam yang sama dengan plasma darah sehingga obat dan zat makanan yang larut air dapat dengan mudah masuk ke tubuh dengan dilarutkan pada cairan infus.



### Ayo Berpikir kritis

## Aktivitas 4.6

Diketahui bahwa penduduk di kawasan dataran tinggi memiliki ciri fisiologis yang berbeda dengan yang tinggal di dataran rendah. Salah satunya terlihat dari kulit mereka cenderung lebih kemerahan.

Sejumlah temuan penelitian menunjukkan adanya keterkaitan antara fenomena ini dengan profil komponen darah. Dapatkah Kalian menganalisis bagaimana keterkaitan tersebut? Gunakan berbagai referensi untuk memperkuat analisis Kalian!

Tuliskan jawaban Kalian dalam pembahasan singkat (maksimal 1 halaman A4) dengan menyertakan sumber referensi yang digunakan!



Sumber: [Atlasofhumanity.com/](http://Atlasofhumanity.com/)  
Eric Lafforgue

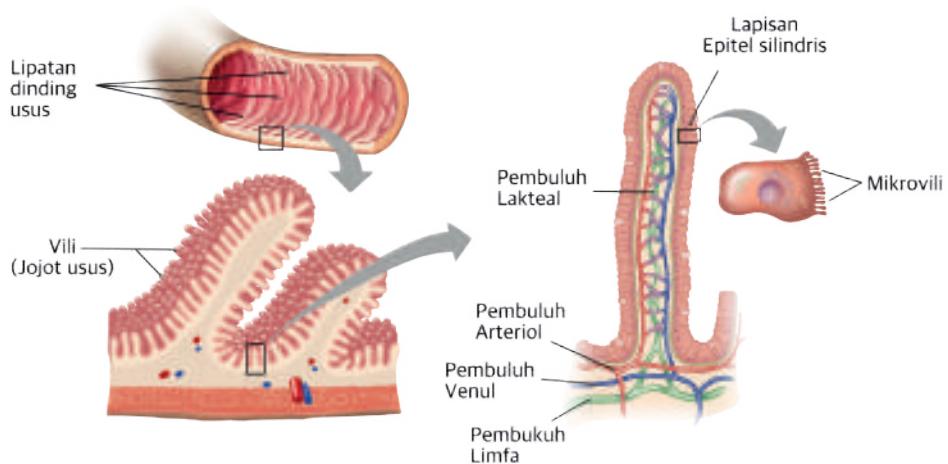
## 2. Struktur Pendukung Penyerapan Zat Makanan

Zat makanan merupakan molekul penting yang diperlukan hampir setiap sel tubuh sebagai bahan baku metabolisme. Sebagai makhluk hidup heterotrof, manusia memperoleh zat makanan lewat proses pencernaan makanan di dalam saluran pencernaan. Dengan demikian, mekanisme pertukaran zat makanan terjadi antara saluran pencernaan dengan sistem sirkulasi dan sel-sel seluruh tubuh.

### Latihan 4.3

Berdasarkan pemahaman Kalian, tuliskan organ mana yang memiliki peran penyerapan zat makanan! Tuliskan jawaban pada catatan masing-masing untuk memudahkan Kalian dalam memahami kembali materi pada bab ini!

Saluran pencernaan mengalami penyesuaian struktur untuk mendukung pertukaran zat. Untuk memperluas bidang pertukaran zat, dinding bagian dalam usus halus berlipat-lipat membentuk jonjot (villi). Selain itu, permukaan sel epitel dinding usus juga membentuk lipatan mikroskopik yang disebut mikrovilli. Setelah diserap sel epitel, zat makanan kemudian akan diangkut oleh sistem sirkulasi. Oleh karena itu, pada setiap jonjot usus, tepatnya di lapisan jaringan ikat, Kalian dapat menemukan banyak pembuluh darah dan limfa.



**Gambar 4.6** Struktur jonjot usus

### 3. Struktur Pendukung Pertukaran Gas

Selain memerlukan zat makanan sebagai bahan baku, metabolisme sel mengonsumsi oksigen dan memproduksi gas karbondioksida. Oksigen diperlukan dalam metabolisme sel sehingga ditranspor ke dalam tubuh, sedangkan karbon dioksida sebagai gas sisa metabolisme ditranspor ke luar tubuh. Proses pertukaran kedua gas ini melibatkan sistem sirkulasi dan sistem pernapasan. Untuk memastikan pemahaman Kalian terhadap struktur sistem perpasan, lakukan Aktivitas 4.7!



#### Ayo Bereksplorasi

#### Aktivitas 4.7

Pada pembelajaran Biologi di tingkat SMP, Kalian telah mempelajari struktur organ sistem pernapasan pada manusia. Tentukan diantara organ pernapasan yang Kalian telah ketahui, organ-organ manakah yang sesuai dengan ciri organ 1 sampai 4?

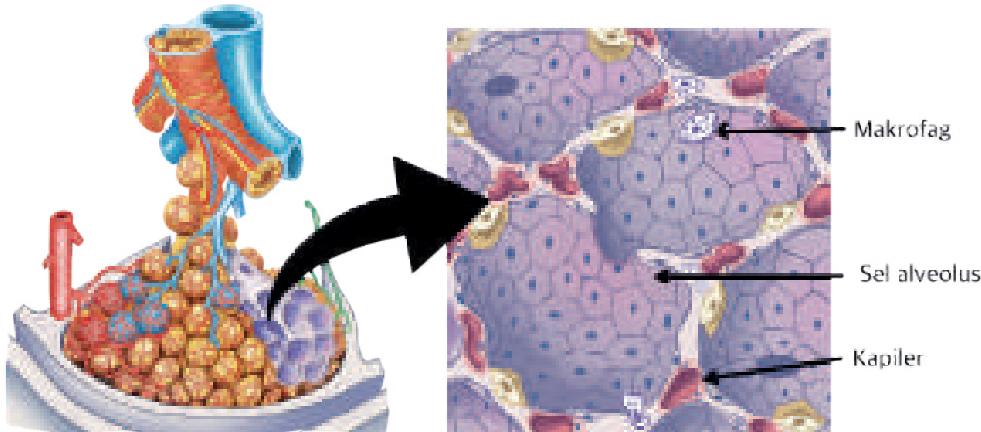
**Tabel 4.3 Perbandingan Ciri Struktur Organ Pernapasan**

Ciri Struktur	Organ 1	Organ 2	Organ 3	Organ 4
Rambut	√	✗	✗	✗
Epitel bersillia	✗	√	✗	√
Epitel pipih selapis	✗	✗	√	✗
Kartilago	✗	√	✗	✗
Kelenjar lendir	√	√	✗	√

Keterangan:  
√ = ada  
✗ = tidak ada

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku atau lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali buku teks SMP kelas VIII tentang sistem pencernaan!

Pertukaran gas pada saluran pernapasan manusia terjadi pada alveolus paru-paru. Alveolus berbentuk kantung berlipat yang tersusun atas selapis sel epitel berbentuk pipih. Struktur alveolus tersebut membuat permukaan jaringan menjadi lebih tipi dan luas. Difusi gas juga makin dimudahkan dengan diproduksinya cairan surfaktan. Cairan ini akan melapisi permukaan alveolus sehingga tetap lembap dan memudahkan proses difusi. Sementara itu, untuk mencegah terjadinya infeksi dan gangguan lainnya akibat kuman dan kotoran yang terbawa bersama udara pernapasan, sel darah putih dari jenis makrofag banyak tersebar di alveolus. Makrofag bersifat amoeboid, artinya sel ini dapat membentuk banyak penjeluruan sitoplasma (kaki semu) guna menangkap kuman dan kotoran yang masuk ke alveolus, untuk kemudian dihancurnannya.



Gambar 4.7 Struktur lapisan penyusun kantung alveolus

Pertukaran gas sebagai proses penting dalam tubuh manusia sangat bergantung pada optimalnya fungsi struktur saluran pernapasan dan pembuluh darah. Oleh karena itu, penting untuk menjaga agar saluran pernapasan dan kondisi sistem sirkulasi Kalian tetap sehat,

di antaranya dengan menghindari gaya hidup yang merusak kondisi saluran pernapasan, seperti merokok. Untuk lebih memahami bahaya rokok bagi kesehatan, ayo kerjakan Aktivitas 4.8!



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 4.8

#### Bacalah dengan saksama potongan artikel berikut!

Salah satu organ terpenting dalam tubuh manusia yang dapat dirusak oleh kebiasaan merokok adalah paru-paru. Kebiasaan merokok akan mengganggu fungsi silia, yaitu pembersih saluran napas. Terganggunya fungsi silia menempatkan paru-paru pada risiko infeksi yang tinggi.

Silia atau bulu getar berfungsi menangkal benda asing yang masuk ke saluran napas agar tidak masuk ke organ tubuh yang lebih dalam. Nah, asap rokok yang mengandung ribuan bahan kimia membuat silia harus bekerja keras menyaring benda asing. Hingga akhirnya, fungsi silia menurun atau tidak berfungsi sama sekali. Pergerakan silia menurun sampai 50% hanya dengan dua atau tiga kali isapan asap rokok. Karena itu, terjadinya infeksi akan lebih tinggi. Perokok akan mudah batuk-batuk dan produksi dahak berlebihan. Akibat tidak berfungsinya silia, perokok aktif lebih berisiko tinggi terkena bronkitis kronis atau infeksi pada paru-paru yang berlangsung lama.

Setelah membaca dengan saksama potongan artikel di atas, tentukan sesuai atau tidaknya pernyataan di bawah ini dengan informasi yang terkandung dalam artikel.

sesuai      tidak sesuai

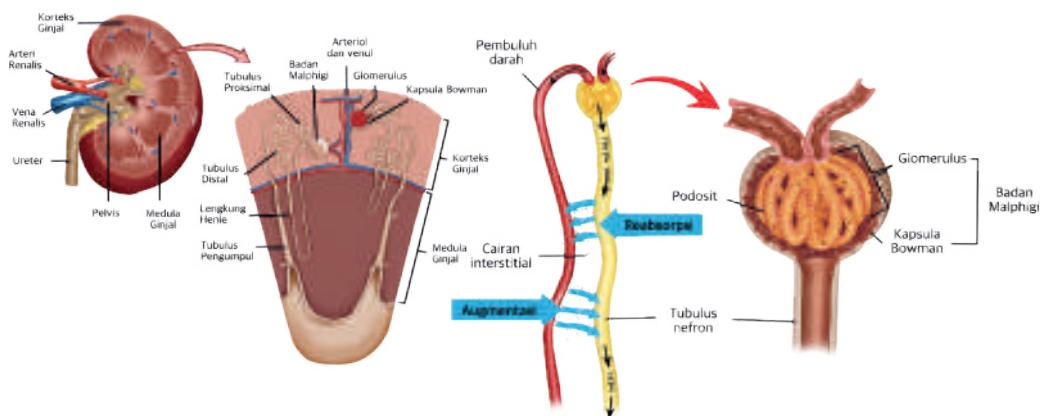
1. Efek buruk asap rokok terhadap kesehatan berlaku sama, baik pada perokok aktif maupun pasif.
2. Silia pada saluran pernapasan akan menjalankan fungsinya dengan baik pada lingkungan yang bebas asap rokok.
3. Merokok dengan frekuensi yang rendah tidak berdampak buruk pada kesehatan karena adanya silia.
4. Dengan adanya silia pada saluran pernapasan, dampak buruk asap rokok dapat diminimalisasi.
5. Perokok memiliki saluran pernapasan yang lebih rentan terhadap penyakit.

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku/lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali informasi artikel pada tautan berikut: [https://health.kompas.com/read/2016/05/28/132610423/\\_begini.cara.rokok.merusak.paru-paru.anda](https://health.kompas.com/read/2016/05/28/132610423/_begini.cara.rokok.merusak.paru-paru.anda)

#### 4. Struktur Pendukung Pembuangan Sisa Metabolisme

Proses metabolisme tubuh memerlukan zat makanan dan oksigen sebagai komponen bahan bakunya. Zat makanan berupa senyawa organik, yaitu karbohidrat, protein, lemak, dan lainnya. Reaksi metabolisme juga menghasilkan zat sisa yang harus dibuang karena dapat berbahaya bagi kesehatan jika terakumulasi dalam tubuh. Zat sisa metabolisme berupa gas karbon dioksida dikeluarkan melalui paru-paru, sedangkan sisa metabolisme berupa amonia akan diubah menjadi urea di hati, diangkut dalam plasma darah, hingga dikeluarkan bersama urin di ginjal.

Ginjal sebagai organ utama sistem ekskresi terhubung dengan saluran pembuluh darah. Nefron yang merupakan unit dasar ekskresi pada ginjal tediri atas glomerulus dan tubulus (saluran) yang bersinggungan secara langsung dengan pembuluh darah.



**Gambar 4.8** Struktur ginjal yang mendukung proses pengeluaran zat sisa metabolisme

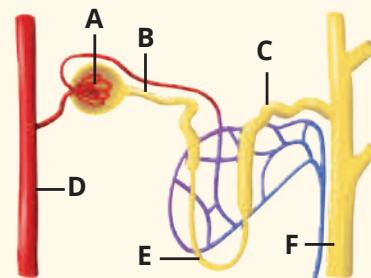
Proses pengeluaran zat sisa metabolisme merupakan salah satu bentuk proses pertukaran zat, khususnya antara tubulus ginjal dan pembuluh darah pada pembentukan urin. Untuk memastikan pemahaman Kalian terhadap struktur ginjal, ayo lakukan Aktivitas 4.9!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 4.9

Pada pembelajaran Biologi di tingkat SMP, Kalian telah mempelajari struktur organ ekskresi khususnya ginjal. Pasangkan deskripsi struktur bagian ginjal ini dengan bagian yang ditunjuk oleh huruf A sampai F pada gambar struktur nefron ginjal di samping dengan tepat! Salinlah jawaban Tabel 4.4 pada buku tugasmu!



Tabel 4.4 Deskripsi Struktur Bagian Ginjal

No.	Deskripsi	Huruf
1.	Saluran sempit terdiri atas bagian menaik dan menurun	
2.	Persinggungan pembuluh darah dengan tubulus ginjal	
3.	Struktur ppenampung tubulus-tubulus nefron	
4.	Dindingnya dilapisi jaringan endotelium	
5.	Tempat pertama terbentuknya urin	

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku/lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali buku teks SMP kelas VIII tentang sistem ekskresi!

Pertukaran zat di ginjal dalam proses pembentukan urin juga merupakan proses pengaturan cairan tubuh yang adaptif. Banyak sedikitnya urin yang terbentuk menyesuaikan dengan kondisi tubuh. Sebagai contoh, saat udara dingin, tubuh akan memproduksi banyak urin. Kondisi ini terjadi karena minimnya pengeluaran air melalui keringat sehingga untuk menjaga keseimbangan cairan tubuh, kelebihan air dibuang melalui urin. Sebaliknya, jika tidak ada kondisi yang mendorong pengeluaran air dari tubuh, urin dikeluarkan dalam jumlah sedikit.

## B. Proses Pertukaran dan Transpor Zat

Meningkatnya aktivitas fisik, seperti saat berolahraga, berarti meningkat pula laju metabolisme sel-sel tubuh. Oleh karena itu, proses pertukaran zat untuk memenuhi kebutuhan tubuh terhadap zat makanan, gas, dan pengeluaran sisa metabolisme juga turut meningkat. Pemenuhan kebutuhan akan makanan, oksigen, dan pengaturan pengeluaran sisa metabolisme secara terus-menerus dilakukan oleh tubuh.

Pada pembahasan sebelumnya, Kalian telah mempelajari bagaimana dukungan struktur organ, khususnya usus halus, paru-paru, dan ginjal, dalam memastikan proses pertukaran zat di masing-masing organ dapat berjalan dengan baik. Selanjutnya, Kalian akan mempelajari bagaimana proses pertukaran zat tersebut terjadi pada masing-masing organ terkait.

### 1. Proses Penyerapan Zat Makanan

Proses penyerapan zat makanan di usus halus bukanlah proses yang berdiri sendiri. Sebelum dapat diserap, makanan yang umumnya berupa molekul besar, seperti karbohidrat, protein, dan lemak akan dipecah secara mekanik (dengan dikunyah) dan kimiawi (dihidrolisis oleh enzim). Pemecahan ini disebut proses pencernaan. Adapun bahan makanan yang lebih kecil partikelnya (mineral dan air) dapat langsung diserap tanpa melalui proses pencernaan.

Reaksi oleh enzim merupakan tahap akhir dalam pemecahan makanan sebelum diserap. Oleh karena itu, penting sekali peran enzim pencernaan dalam menyiapkan penyerapan makanan. Terdapat banyak jenis enzim pemecah makanan khususnya di lambung dan usus halus, sebagian disajikan pada Tabel 4.5!

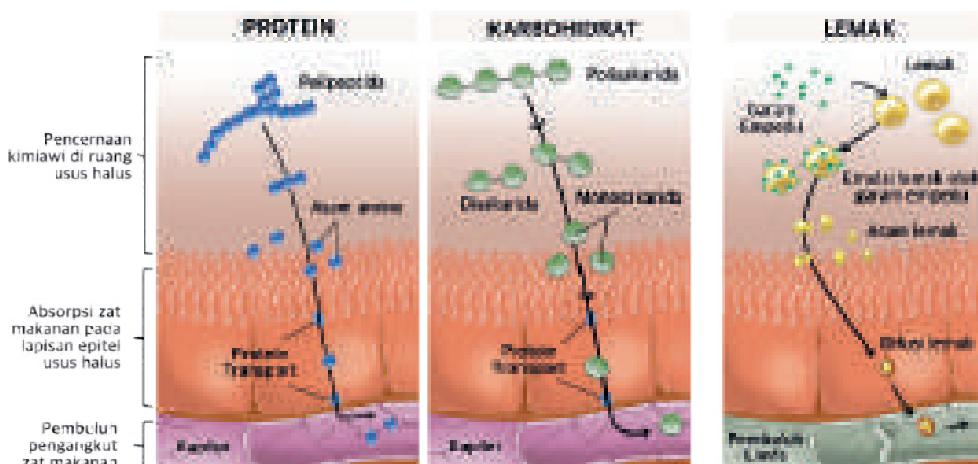
Tabel 4.5 Beberapa Jenis Enzim Pencernaan

Organ	Enzim	Pencernaan Kimia
Mulut	Ptrialin (amilase)	Amilum → maltosa
Lambung	Pepsin	Protein → pepton

Organ	Enzim	Pencernaan Kimiawi
Usus halus	Amilase	Amilum → glukosa
	Maltase	Malotosa → glukosa
	Sukrase	Sukrosa → glukosa
	Tripsin	Protein → asam amino
	Lipase	Lemak → asam lemak + gliserol

Setelah menjadi partikel yang lebih kecil, zat makanan akan diserap di sepanjang dinding usus halus. Metode penyerapan ini berbeda-beda sesuai dengan jenis molekul makanannya. Zat makanan yang bersifat larut air (hidrofilik), seperti glukosa dan asam amino akan diserap oleh sel epitel baik secara pasif (difusi berfasilitas) maupun aktif (ko-transport menggunakan energi). Zat makanan yang bersifat hidrofilik ini kemudian ditransfer ke pembuluh darah untuk diedarkan ke seluruh tubuh.

Sementara itu, zat makanan yang bersifat tidak larut air (hidrofobik), khususnya lipid dan turunannya, akan dapat dengan mudah diserap oleh sel epitel usus. Hal ini mengingat membran sel sebagian besar disusun oleh molekul lipid tepatnya fosfolipid. Asam lemak dan gliserol yang hidrofobik akan diserap secara difusi ke dalam sel epitel usus untuk kemudian ditransfer ke pembuluh limfa.



Gambar 4.9 Penyerapan zat makanan pada lapisan epitel usus

Untuk membentuk tubuh yang sehat, Kalian memerlukan makanan dengan zat gizi yang lengkap dan seimbang, baik kandungan karbohidrat, protein, lemak, vitamin, maupun mineral. Memilih dan mengonsumsi makanan berdasarkan kandungan gizi yang diperlukan tubuh merupakan gaya hidup yang baik. Terlebih di usia remaja seperti Kalian, kebutuhan akan makanan bergizi dan berimbang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Untuk perbedaan kandungan karbohidrat pada sejumlah bahan makanan, ayo lakukan Aktivitas 4.10.



### Menyelidiki Makanan Berkarbohidrat

**Tujuan:**

1. Mengidentifikasi perbedaan kandungan karbohidrat pada sejumlah bahan makanan.
2. Menerapkan metode pengujian makanan secara kimiawi.

**Landasan Teori:**

Karbohidrat merupakan zat makanan sumber energi utama tubuh. Mendeteksi kandungan karbohidrat dalam makanan dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, salah satunya uji iodine. Larutan iodine yang berwarna jingga kecokelatan akan berubah menjadi biru gelap kehitaman saat beraksi dengan amilum atau zat tepung.

**Alat dan Bahan:**

- |                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| 1) Lumpang      | 6) Spidol                     |
| 2) Alu          | 7) Lima jenis bahan makanan   |
| 3) Plat tetes   | 8) Pereaksi iodine (betadine) |
| 4) Pipet        | 9) Air                        |
| 5) Kertas label |                               |

**Langkah Kegiatan:**

1. Haluskan bahan makanan dengan lumping dan alu, sesekali tambahkan sedikit air pada bahan yang dihaluskan.
2. Tandai setiap ceruk pada plat tetes dengan kode bahan makanan yang diuji. Sediakan satu ceruk untuk sampel warna larutan iodine sebagai pembanding.

3. Tempatkan satu tetes ekstrak bahan makanan pada ceruk plat tetes sesuai kode yang ditentukan.
4. Tambahkan satu tetes larutan iodine pada masing-masing ekstrak bahan makanan pada plat tetes.
5. Amati dan bandingkan perubahan warna yang terjadi. Bandingkan perubahan warna larutan iodine pembanding dengan campuran iodine + bahan makanan.
6. Tuliskan hasil pengamatan Kalian dalam bentuk tabel!

**Pertanyaan:**

*Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!*

1. Dari lima bahan makanan yang telah diuji, bahan manakah yang mengandung karbohidrat?
2. Bagaimana kesimpulan dari praktikum ini? Tulisan kesimpulan pada buku catatan Kalian!

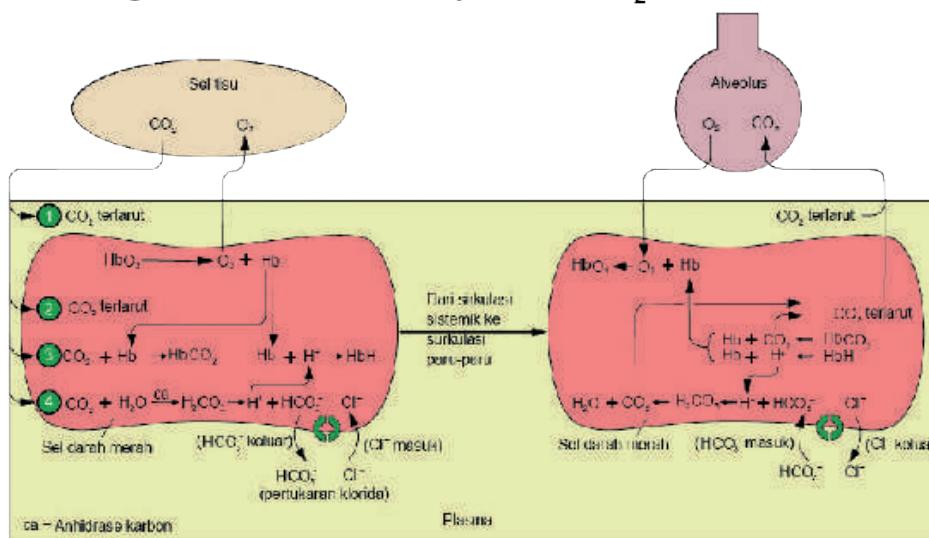
## 2. Proses Pertukaran Gas di Paru-Paru

Pertukaran gas di dalam paru-paru terjadi secara difusi sebagai akibat adanya perbedaan konsentrasi gas. Dalam kondisi normal, ruang alveolus paru-paru berisi udara dengan konsentrasi oksigen yang lebih tinggi dari kadar gas tersebut di pembuluh darah, maka oksigen berdifusi masuk ke darah. Sementara karbon dioksida berada dalam kondisi yang sebaliknya.

Pertukaran gas di paru-paru tidak akan terjadi tanpa adanya pengangkutan gas oleh darah. Sebagian besar gas oksigen diangkut di dalam darah dengan diikat oleh hemoglobin, membentuk oksihemoglobin( $\text{HbO}_2$ ). Saat berada di jaringan yang memiliki kadar oksigen rendah, oksihemoglobin akan melepaskan oksigennya sehingga oksigen dapat berdifusi ke dalam sel-sel yang membutuhkan. Sementara itu, hemoglobin hanya mengikat sedikit karbon dioksida membentuk karbominohemoglobin ( $\text{HbCO}_2$ ).

Sebagian besar karbon dioksida diangkut sebagai asam karbonat sebagai hasil reaksi dengan air. Reaksi ini dikatalis oleh enzim karbonat anhidrase yang ada dalam sel darah merah. Sebagian kecil karbon dioksida juga diangkut sebagai gas terlarut di plasma darah. (Lihat Gambar 4.10).

## Ringkasan Proses Transportasi $\text{CO}_2$ dalam Darah



Gambar 4.10 Proses pertukaran gas di paru-paru

Konsentrasi gas, baik oksigen maupun karbon dioksida sangat dipengaruhi oleh laju metabolisme tubuh dan berbagai faktor lainnya. Untuk membuktikan hal tersebut, lakukan Aktivitas 4.11 secara berkelompok!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 4.11

#### Mengukur Laju Pernapasan

##### Tujuan:

1. Mengobservasi perubahan laju pernapasan.
2. Menganalisis pengaruh aktivitas dan jenis kelamin pada perubahan laju pernapasan.



##### Landasan Teori:

Laju pernapasan dipengaruhi oleh laju metabolisme tubuh. Aktivitas fisik dan perbedaan massa otot serta hormonal pada laki-laki dan perempuan menghasilkan perbedaan laju pernapasan. Laju pernapasan diukur dengan menghitung jumlah frekuensi bernapas (menarik dan mengembuskan udara) dalam satu kurun waktu tertentu (umumnya menit).

### **Alat dan Bahan:**

1. Jam
2. Alat tulis
3. Buku tulis

### **Langkah Kegiatan:**

1. Bentuklah kelompok berdasarkan arahan dari guru.
2. Ukur jumlah napas setiap anggota kelompok sebelum aktivitas fisik, masing-masing selama dalam 3 periode.
  - Periode 1 (P-1): menit pertama
  - Periode 2 (P-2): menit kedua
  - Periode 3 (P-3): menit ketigaLalu tentukan laju pernapasan per menitnya.
3. Lakukan aktivitas fisik yang aman dan dapat dilakukan di dalam kelas atau di lingkungan sekolah (misalnya, naik turun tangga sekolah, lari di lapangan, lari di tempat, dan lain-lain). Satu kelas dapat melakukan aktivitas fisik yang sama maupun berbeda-beda sesuai arahan guru.
4. Sesaat setelah aktivitas fisik, langsung lakukan pengukuran seperti pada langkah nomor 2 kembali.
5. Tuliskan hasil pengukuran seperti Tabel 4.6 pada buku catatanmu!

**Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Laju Pernapasan**

No.	Nama	L/P	Jumlah Napas			Laju Pernapasan (Jumlah Napas/Menit)
			P-1	P-2	P-3	
1.						
2.						
3.						
4.						

6. Lakukan semua tahapan dengan saling bekerja sama dan bergotong royong.

### Diskusi Hasil Pengukuran:

Setelah melakukan pengukuran laju pernapasan secara berkelompok pada Aktivitas 4.11, lakukan pengumpulan data kelas. Kalian harus berbagi data dengan kelompok lain! Ubahlah data pada tabel dari seluruh kelompok di kelas Kalian menjadi satu tampilan grafik. Kalian dapat melakukan reorganisasi data berdasarkan aktivitas maupun jenis kelamin teman-teman Kalian. Setelah grafik disusun, gunakan data pada grafik untuk mendiskusikan jawaban pertanyaan-pertanyaan berikut!

1. Adakah perbedaan laju pernapasan pada sumber data dengan perbedaan jenis kelamin dan aktivitas fisik? Jelaskan mana faktor yang paling terlihat berbeda!
2. Mengapa faktor-faktor tersebut dapat memengaruhi laju pernapasan?

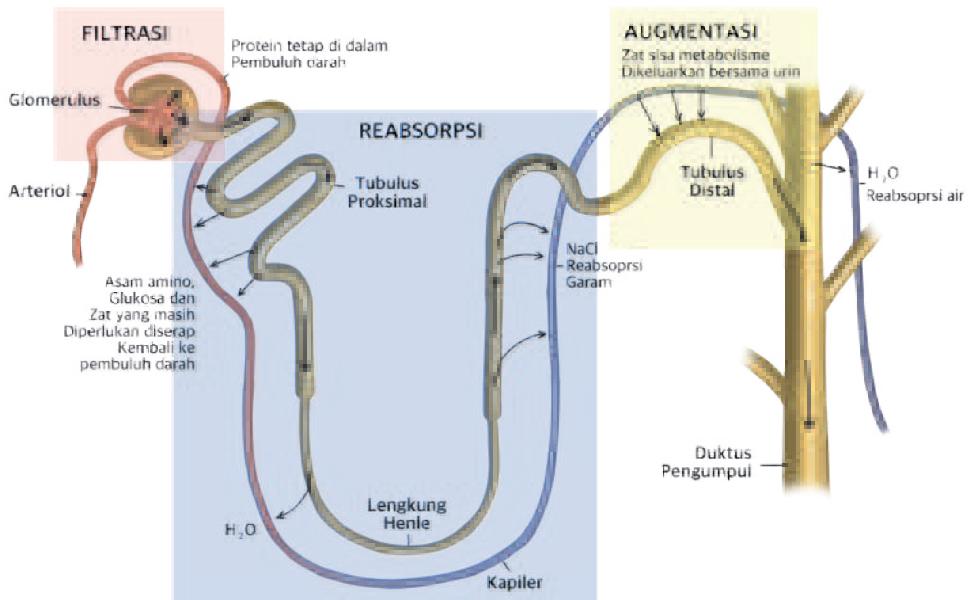
### 3. Proses Pembentukan Urin di Ginjal

Proses pertukaran zat di ginjal dapat kita temukan pada tahapan pembentukan urin. Pertukaran zat secara bertahap dalam pembentukan urin secara efektif dapat membuang sampah metabolisme sekaligus mengembalikan zat-zat yang masih diperlukan tubuh. Kedua proses tersebut dapat berlangsung bersamaan karena proses pertukaran zat di ginjal yang adaptif, menyesuaikan dengan perubahan kondisi tubuh terutama kadar air dan zat sisa metabolisme. Secara umum proses ini meliputi tiga tahap utama yang tersaji pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Tiga Tahapan Pembentukan Urin di Ginjal

Tahapan	Tempat	Proses
Filtrasi	Glomerulus	Penyaringan partikel besar, seperti protein dan sel darah agar tetap berada di pembuluh darah, tidak terbawa ke urin

Tahapan	Tempat	Proses
Reabsorpsi	Tubulus proksimal	Penyerapan kembali zat yang tidak terfiltrasi dan masih diperlukan tubuh, seperti glukosa dan asam amino, kembali ke pembuluh darah
	Lengkung henle dan duktus pengumpul	Penyerapan kembali air sesuai dengan perubahan kondisi cairan tubuh. Reabsorpsi air di duktus pengumpul disebut juga proses sekresi karena diregulasi oleh sekresi hormon
Augmentasi	Tubulus distal dan duktus pengumpul	Penambahan zat sisa metabolisme, ion berlebih, dan zat tidak diperlukan lainnya untuk dikeluarkan bersama urin



Gambar 4.11 Proses pertukaran zat pada pembentukan urin di ginjal

Adanya perpindahan zat antara tubulus dan pembuluh darah pada setiap tahapan pembentukan urin menunjukkan proses pertukaran zat sebagai proses penting yang menopang fungsi organ. Kelainan pada proses pertukaran zat akan mengurangi keberfungsian organ tersebut.

### C. Kelainan pada Pertukaran dan Transpor Zat

Kondisi tubuh yang sehat hasil dari proses fisiologi yang berjalan baik. Namun demikian, kondisi sehat tidak selalu terjadi. Gangguan dan kelainan dapat terjadi baik karena faktor internal (contohnya, penyakit genetik atau keturunan) maupun eksternal (contohnya, infeksi mikroorganisme). Sejumlah masalah kesehatan berkaitan langsung dengan terganggunya proses pertukaran dan transpor zat di dalam tubuh. Oleh karena itu, penting untuk selalu melakukan pengukuran indikator-indikator kondisi tubuh, baik dengan pendekatan teknologi manual maupun digital.



#### Ayo Bereksplorasi

#### Aktivitas 4.12

##### Aplikasi Pengukur Tubuh

Berkembangnya berbagai “*startup*” akhir-akhir ini telah menghadirkan berbagai layanan kesehatan digital berbasis internet yang dapat diakses melalui gawai. Salah satu di antaranya adalah aplikasi-aplikasi pengukur kondisi tubuh.



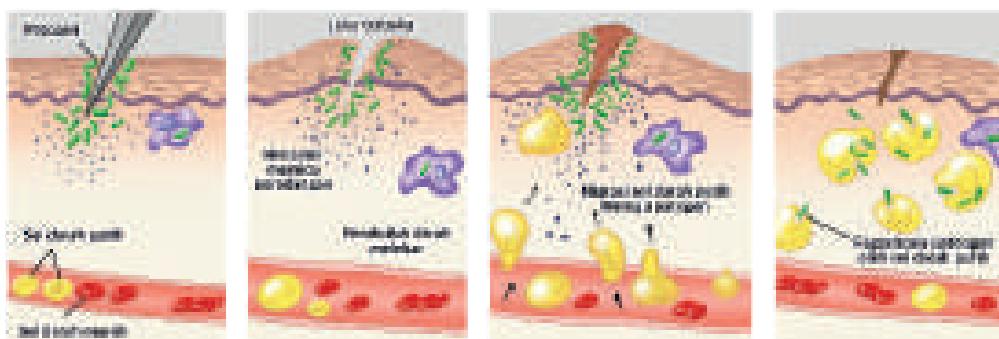
Dengan melakukan interaksi lewat sentuhan atau pemanfaatan kamera, aplikasi dapat mengubah gawai Kalian menjadi alat pengukur suhu tubuh, denyut jantung, kadar gula darah, dan lain-lain. Tentu hasil pengukurannya tidak dapat digunakan sebagai data medis, tetapi secara umum dapat menggambarkan perubahan pada kondisi tubuh pada tingkat akurasi yang dasar.

Untuk mencobanya, akseslah *Google Play* untuk gawai berbasis *Android* atau *App Store* untuk yang berbasis *iOS*. Temukan aplikasi pengukur kondisi tubuh yang tersedia pada masing-

masing *platform*. Kalian dapat memasukkan kata kunci alat ukur atau indikator yang ingin dicari, seperti termometer atau tekanan darah.

Lakukan kegiatan secara berkelompok lalu bagikan pengalaman Kalian dengan kelompok lainnya dalam menggunakan aplikasi tersebut!

Peradangan (inflamasi) merupakan gejala kelainan jaringan yang sering terjadi pada organ tubuh, termasuk organ pertukaran zat. Peradangan terjadi akibat respons imun untuk memperlancar mobilitas sel darah putih pada jaringan yang terinfeksi. Peradangan ditandai dengan pembengkakan (tumor), memerah (rubor), timbul nyeri (dolor), dan peningkatan suhu (kalor) pada jaringan. Kondisi ini menyebabkan fungsi jaringan yang mengalami peradangan akan terganggu, termasuk fungsi dalam mengatur pertukaran zat.



Gambar 4.12 Mekanisme peradangan (inflamasi)

Sejumlah penyakit peradangan dapat terjadi pada organ-organ yang secara aktif melakukan pertukaran zat, seperti pada usus, paru-paru, dan juga ginjal. Kondisi peradangan menyebabkan pertukaran zat tidak maksimal bahkan terhambat. Beberapa contoh penyakit peradangan pada organ-organ yang menimbulkan gangguan pertukaran zat disajikan pada Tabel 4.8!

Tabel 4.8 Contoh Sejumlah Penyakit Peradangan

No.	Penyakit	Penyebab Umum	Akibat pada Pertukaran Zat
1.	Gastritis	Peningkatan asam lambung, infeksi bakteri <i>Helicobacter pylori</i>	Pencernaan makanan tidak sempurna, menghambat penyerapan zat makanan
2.	Pankreatitis	Batu empedu, konsumsi alkohol berlebih, cedera	Penurunan jumlah enzim dan hormon pencernaan, partikel makanan tidak siap diserap
3.	Colitis	Peradangan dinding usus	Penyerapan makanan dan air terhambat
4.	Bronkhitis	Infeksi virus (akut) dan kebiasaan merokok, alkohol (kronis)	Penyaringan udara terhambat, volume udara napas menurun karena penyempitan saluran
5.	Tuberkulosis	Infeksi bakteri <i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Pertukaran gas terganggu karena batuk yang terus-menerus
6.	Pneumonia	Infeksi berbagai jenis mikroba (bakteri, virus, atau jamur)	Lapisan alveolus tertutup cairan paru-paru
7.	Nefritis	Cedera, infeksi, hipersensitif imun	Setiap bagian nefron ginjal dapat terhambat proses fisiologisnya

Gangguan pada organ tubuh dapat terjadi pada berbagai kondisi dengan berbagai latar belakang penyebab. Tentu untuk memastikan tubuh kita tetap sehat, perlu penerapan gaya hidup yang mendukung. Tidak hanya tentang memulai kebiasaan baru yang baik, tetapi gaya hidup sehat juga tentang menghindari sejumlah kebiasaan buruk. Makan tidak teratur, kurang konsumsi air putih, merokok, serta sering menahan buang air kecil atau urinasi adalah kebiasaan buruk yang dapat memicu gangguan kesehatan pada organ tubuh, khususnya organ-organ pertukaran zat.



### Ayo Berkommunikasi

### Aktivitas 4.13

Masyarakat yang menerapkan gaya hidup sehat tidak akan terwujud tanpa tersedianya informasi yang benar terkait penyakit, risiko, dan cara pencegahannya. Untuk mempromosikan gaya hidup sehat, lakukan Aktivitas 4.13!

Pilihlah satu tipe gangguan/penyakit yang terkait dengan gangguan pada pertukaran zat di dalam tubuh! Rumuskan dalam kelompok bagaimana langkah untuk mencegah timbulnya penyakit tersebut yang berkaitan dengan gaya hidup sehat! Sajikan hasil diskusi Kalian dalam bentuk poster virtual!



Sumber: KOMPAS.com/Tomtom (2022)

1. Transpor dan pertukaran zat merupakan proses penting dalam fungsi tubuh manusia yang melibatkan beberapa sistem organ, seperti sistem sirkulasi, sistem pernapasan, sistem pencernaan dan sistem ekskresi.
2. Struktur dan fungsi komponen sistem sirkulasi, khususnya darah dan pembuluh darah, memastikan berlangsungnya pengangkutan berbagai jenis zat di dalam tubuh manusia.
3. Pertukaran gas berlangsung secara difusi, dengan pengangkutan oleh sel darah merah dan plasma untuk mengangkut oksigen dan karbondioksida.
4. Kelainan/gangguan pada proses transpor dan pertukaran zat pada tubuh manusia dapat berwujud berbagai jenis penyakit yang ditandai dengan terhambat atau bahkan rusaknya struktur dan proses pertukaran zat pada berbagai sistem organ di dalam tubuh manusia.

## Refleksi

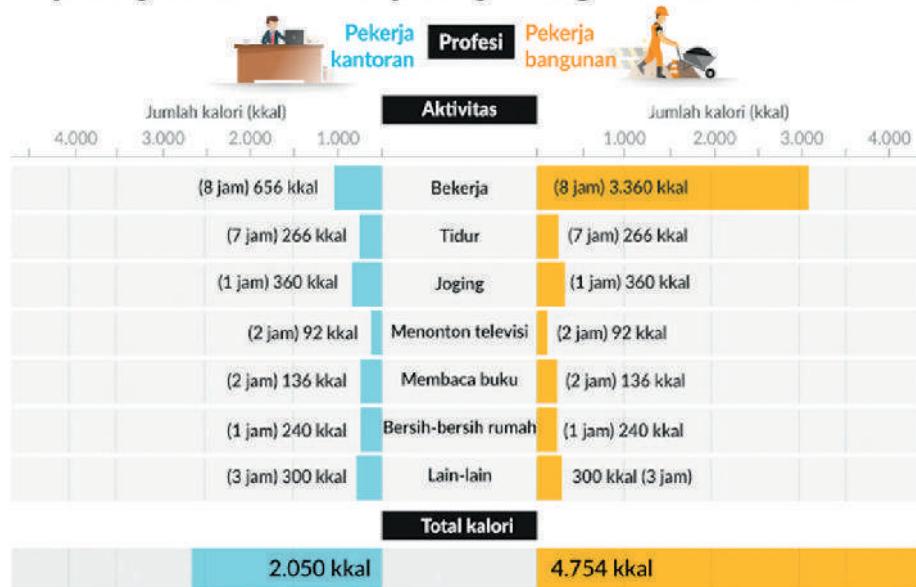
Hingga sejauh ini, Kalian telah mempelajari berbagai hal tentang pertukaran dan transpor zat dalam tubuh manusia. Sebagai bentuk refleksi dari pembelajaran bab ini, jawablah secara individu pertanyaan reflektif berikut!

1. Pemahaman apa saja yang telah Kalian peroleh dari pembelajaran bab ini?
2. Bagaimana pemahaman tersebut dapat berguna bagi kehidupan Kalian?

## Uji Kompetensi

Lakukan penelaahan dengan saksama terhadap informasi pada gambar di bawah ini untuk menjawab soal nomor 1–3!

### Komparasi pembakaran/pengeluaran kalori pekerja kantoran dan pekerja bangunan dalam sehari



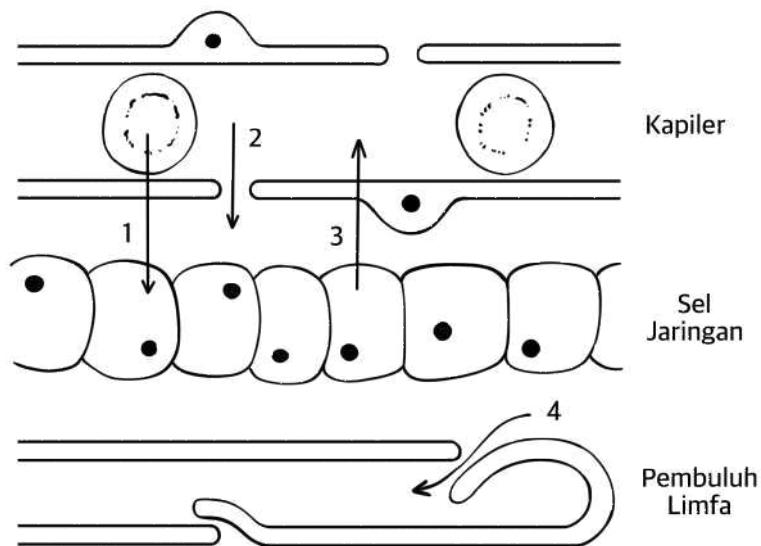
• Data yang digunakan dengan standar berat badan 56 kilogram.  
Sumber: Harvard Heart Letter (diolah), elemen visual: Flaticon

lokadata  
Oleh Beritagar.id

Berdasarkan hasil telaah Kalian, tentukan pernyataan manakah yang sesuai (S) dan tidak sesuai (TS) dengan kesimpulan dari informasi pada gambar! Beri tanda centang (✓) pada pilihan jawaban!

No.	Pernyataan	S	TS
1.	Joging akan lebih menguras energi jika dilakukan oleh pekerja bangunan dibandingkan pekerja kantoran.		
2.	Pada dasarnya, setiap aktivitas akan memerlukan besaran energi yang berbeda-beda.		
3.	Pekerja kantoran akan lebih sering mengalami perubahan kondisi tubuh jika dibandingkan dengan pekerja bangunan.		

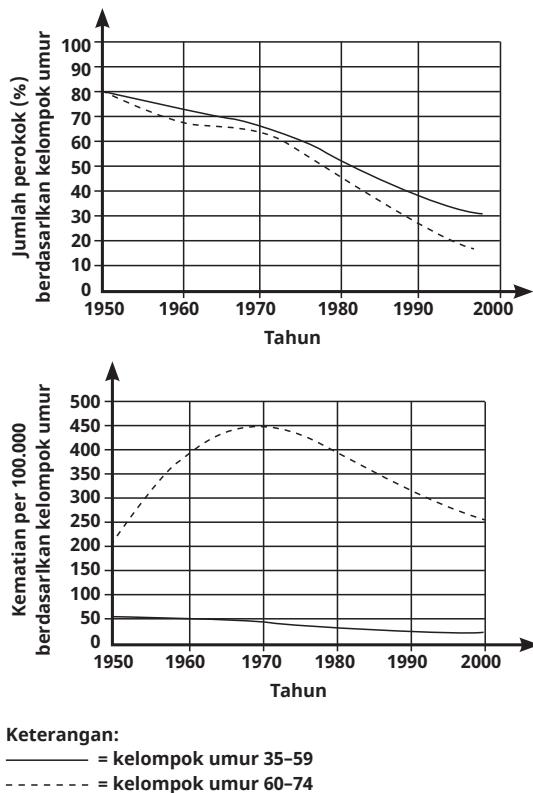
4. Diagram di bawah ini menunjukkan struktur pembuluh kapiler, beberapa sel jaringan dan pembuluh getah bening (limfa).



Baris manakah yang mengidentifikasi bagian 1, 2, 3, dan 4 dengan benar?

	1	2	3	4
A	Difusi glukosa	Aliran air dan zat terlarut berukuran kecil	Difusi karbon dioksida	Aliran cairan jaringan
B	Difusi glukosa	Aliran air dan zat protein plasma	Osmosis air	Difusi oksigen
C	Difusi oksigen	Aliran air dan zat terlarut berukuran kecil	Difusi karbon dioksida	Aliran cairan jaringan
D	Difusi oksigen	Aliran air dan zat protein plasma	Osmosis air	Difusi karbon dioksida
E	Difusi karbon dioksida	Aliran air dan zat terlarut berukuran kecil	Difusi oksigen	Osmosis air

5. Sebuah lembaga penelitian kesehatan masyarakat melakukan identifikasi jumlah perokok dan kasus kematian dari tahun 1950 hingga tahun 2000. Penelitian dilakukan pada dua kelompok umur, yaitu 35–59 tahun dan 60–74 tahun. Data hasil penelitian tersebut disajikan seperti gambar di bawah!



Berdasarkan informasi di atas, manakah pernyataan yang benar?

- Peningkatan jumlah perokok pada tiap kelompok umur selalu berbanding lurus dengan perubahan sejumlah kematian.
- Tingginya kematian kelompok umur 60–74 di tahun 1970 disebabkan peningkatan jumlah perokok pada kelompok tersebut.
- Walau jumlah perokok cenderung menurun, tidak memengaruhi tingkat kematian pada kedua kelompok umur.
- Kelompok umur 35–59 memiliki proporsi jumlah perokok yang lebih tinggi pada setiap tahunnya dibandingkan kelompok lainnya.
- Sejak tahun 1980, penurunan jumlah perokok pada kedua kelompok usia berdampak pada penurunan tingkat kematian.

## Pengayaan

---

### Covid-19 dan Infeksi Multiorgan

Gejala infeksi virus SARS-CoV-2 penyebab Covid-19 tidak hanya terdeteksi pada organ pernapasan saja. Sejumlah pasien Covid-19 diketahui mengalami berbagai gejala yang disebabkan gangguan pada berbagai organ.

Pada pengayaan ini, Kalian dapat menyimak informasi yang disajikan dalam video kanal YouTube <https://youtu.be/eHBGjPKZcN0>. Setelah menyimak informasi dari video, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan tepat!

1. Selain paru-paru, organ apa saja yang memiliki fungsi pertukaran zat yang juga dapat terinfeksi virus Covid-19? Jelaskan!
2. Bagaimana pengaruh infeksi pada proses pertukaran zat di organ-organ tersebut? Jelaskan!

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 5

# Sistem Pertahanan Tubuh terhadap Penyakit

Pernahkah Kalian memerhatikan bagaimana perubahan kondisi tubuh saat sakit? Bagaimana sistem pertahanan dapat mengenali, merespon dan mengatasi berbagai ancaman terhadap kesehatan tubuh manusia?

*Sumber gambar: Zamzam Nursani (2022)*

## Tujuan Pembelajaran

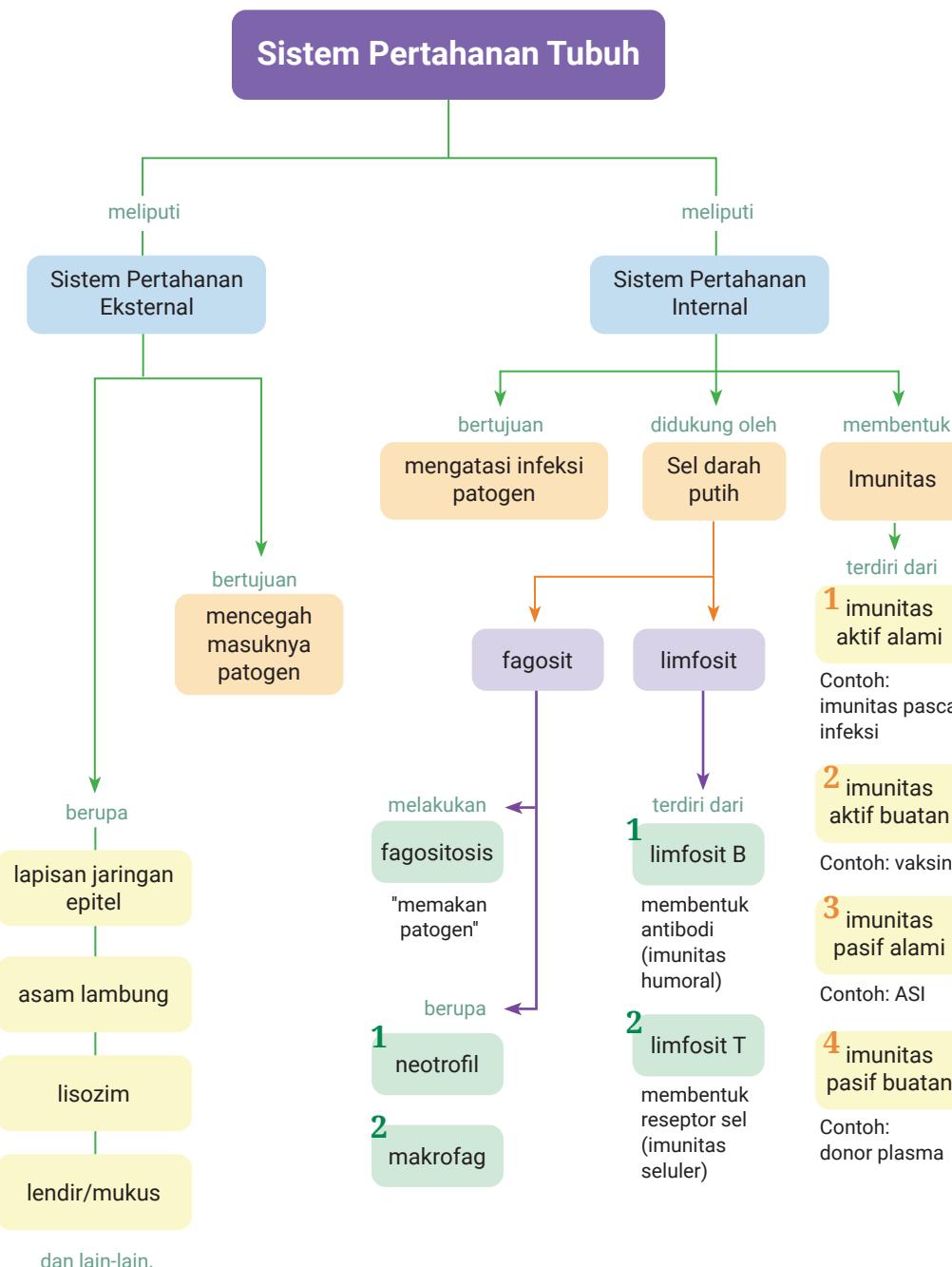
Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu:

1. Menganalisis keterkaitan peran antarkomponen penyusun sistem pertahanan tubuh pada manusia.
2. Menyelidiki gangguan sistem pertahanan tubuh dalam kaitannya dengan terjadinya sejumlah penyakit

## Kata Kunci

- Antibodi
- Antigen
- Imunitas aktif
- Imunitas pasif
- Infeksi
- Patogen
- Sel darah putih
- Sistem imun
- Vaksinasi

## Peta Konsep



Apakah Kalian mengerti apa itu vaksin? Di masa pandemi Covid-19, tentunya Kalian sering mendengar tentang vaksin. Vaksinasi, baik publik maupun swasta, dilakukan di mana-mana. Sudahkah Kalian menerima dosis vaksin Covid-19? Bagaimana dengan keluargamu atau orang-orang di sekitar Kalian, apakah mereka sudah divaksinasi? Vaksin diperlukan untuk melindungi tubuh manusia dari infeksi mikroorganisme, terutama infeksi virus. Tidak hanya vaksin Covid-19, ada banyak jenis vaksin untuk mengobati infeksi berbagai jenis virus. Dapatkah Kalian menyebutkan beberapa di antaranya?

Berbagai jenis penyakit telah berhasil diteliti dan diungkap bagaimana penyebab, gejala bahkan cara mengobatinya. Ada penyakit yang bersifat menular maupun yang tidak menular. Banyak penyakit menular diantaranya disebabkan oleh infeksi mikroorganisme baik virus, bakteri dan lainnya. Dampak penyakit infektif ini sangat dipengaruhi oleh cara hidup mikroorganisme penyebabnya dan respon tubuh manusia terhadap infeksi mikroorganisme tersebut.

Pada pembelajaran Biologi di kelas X, Kalian juga telah mengenal ragam jenis dan cara hidup mikroorganisme dari berbagai kingdom, dari yang hidup bebas hingga yang menggantungkan hidup pada organisme lain (bersifat parasit). Mereka dapat ditemukan dalam berbagai kondisi lingkungan, dari yang menempel pada permukaan benda, terbawa oleh makanan, hingga yang tersebar di udara.

Berbagai faktor baik yang berasal dari dalam maupun luar tubuh dapat menyebabkan tubuh manusia berada dalam kondisi kesehatan yang tidak optimal atau yang lebih kita kenal sebagai kondisi sakit. Infeksi mikroorganisme, paparan zat berbahaya, maupun perubahan kondisi seluler dapat terjadi dan memicu terjadinya penyakit. Untuk mengantisipasi dan mengatasi terjadinya penyakit ini, tubuh manusia dibekali sistem pertahanan yang dikenal dengan sistem imun tubuh. Sebelum belajar lebih lanjut tentang sistem pertahanan tubuh terhadap penyakit, lakukanlah Aktivitas 5.1 berikut.



Untuk memastikan pemahaman Kalian dalam membedakan penyakit infeksi dan penyakit noninfeksi serta risikonya, pelajari infografis dari Litbang Kompas berikut!



sumber: Litbang 'Kompas'/BIP, dari Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan (Balitbangkes) Kementerian Kesehatan

Berdasarkan informasi di atas, tentukan kategori fakta atau opini dari pernyataan berikut! Berilah tanda centang (✓) pada kolom jawaban berikut!

No.	Pernyataan	Fakta	Opini
1.	Laki-laki lebih berisiko terserang Tuberkulosis dibandingkan perempuan.		
2.	Pneumonia lebih banyak menimbulkan kematian pada perempuan dibandingkan pada laki-laki.		
3.	Lima penyebab kematian tertinggi di Indonesia dapat dihindari dengan pola hidup sehat.		
4.	Minimnya jenis penyakit infeksi pada daftar penyebab kematian di Indonesia menunjukkan risiko penularan yang rendah.		
5.	Stroke adalah penyakit noninfeksi yang paling mematikan di Indonesia.		

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku atau lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali buku teks SMP dan SMA Kelas X tentang jenis penyakit infeksi!

## A. Sistem Pertahanan Eksternal dan Internal

Tubuh manusia memiliki berbagai mekanisme pertahanan diri dalam mengatasi potensi penyakit termasuk infeksi mikroorganisme. Mikroorganisme yang dapat menimbulkan penyakit dikenal sebagai patogen. Mekanisme pertahanan tubuh tersebut ada yang ditujukan untuk mencegah masuknya patogen ke dalam jaringan tubuh, disebut sebagai pertahanan eksternal. Selain itu, ada juga mekanisme pertahanan yang ditujukan untuk mengatasi infeksi patogen yang sudah terlanjur masuk ke dalam jaringan tubuh, yang disebut sebagai pertahanan internal. Pertahanan eksternal dan internal tubuh ini dapat bersifat bawaan (*innate*) dan selalu bersiap siaga mengantisipasi munculnya potensi penyakit, bahkan walau tidak terjadi infeksi. Disisi lain, juga terdapat mekanisme pertahanan internal yang bersifat adaptif, yang secara spesifik hanya aktif ketika terjadi infeksi saja.

### 1. Pertahanan Eksternal Nonspesifik

Pertahanan eksternal mencegah patogen masuk ke dalam jaringan tubuh sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya gangguan kesehatan lebih jauh. Walau tidak dapat mencegah paparan patogen secara total, namun adanya pertahanan eksternal sangat penting bagi tubuh manusia. Bentuk pertahanan ini dapat berupa pertahanan fisik, kimiawi, dan pertahanan di tingkat sel.

#### a. Pertahanan fisik

Adanya lapisan pelindung permukaan tubuh yang membatasi dengan lingkungan luar. Jaringan epitel yang melapisi saluran pernafasan, pencernaan dan organ lainnya adalah penghalang fisik yang efektif untuk mencegah atau meminimalisasi masuknya patogen.

### b. Pertahanan kimiawi

Pertahanan kimia berupa sekresi sejumlah senyawa kimia oleh kelenjar tubuh untuk meminimalisir jumlah patogen yang masuk ke dalam tubuh. Sebut saja sekresi Hidrogen Klorida di lambung untuk mengatasi patogen terbawa bersama makanan; sekresi lendir di saluran pernapasan untuk menangkap debu dan patogen; serta sekresi lisozim (enzim perusak dinding sel bakteri) pada komposisi air mata, air liur, dan keringat.

### c. Pertahanan di tingkat sel

Peran sejumlah sel khusus dalam menurunkan risiko pemaparan patogen seperti dalam mekanisme penutupan luka oleh trombosit (keping darah). Mekanisme ini dapat mencegah masuknya patogen melalui jaringan yang terbuka pada area luka.

Untuk memahami lebih dalam peran sistem pertahanan eksternal nonspesifik khususnya pada kulit, ayo lakukanlah Aktivitas 5.2 berikut!



Ayo Bereksplorasi

Aktivitas 5.2

#### Kulit, Benteng Pertahanan Tubuh

Untuk melindungi tubuh dari mikroorganisme, kulit adalah organ pelindung eksternal yang andal. Dengan sifat strukturalnya, kulit dapat melakukan fungsi pelindungnya.

Dalam Aktivitas 5.2 ini, Kalian akan kembali melakukan observasi pada anatomi kulit. Gunakan kaca pembesar (lup) untuk memudahkan observasimu. Tentukan struktur manakah pada kulit yang mendukung fungsi protektifnya! Tuliskan pula ciri dan fungsi struktur tersebut seperti contoh tabel di bawah ini!

**Tabel 5.1** Hasil Pengamatan Ciri dan Fungsi Struktur Kulit

No.	Struktur	Ciri Teramati	Fungsi
1.	Pori-pori	Lubang kecil di sekitar rambut	Pengeluaran keringat yang mengandung lisozim
2.	dst...		

Kemukakan jawaban Kalian di depan kelas dalam diskusi singkat yang dibimbing oleh guru! Jangan lupa untuk selalu menghormati dan menghargai perbedaan pendapat yang dapat saja terjadi dalam diskusi!

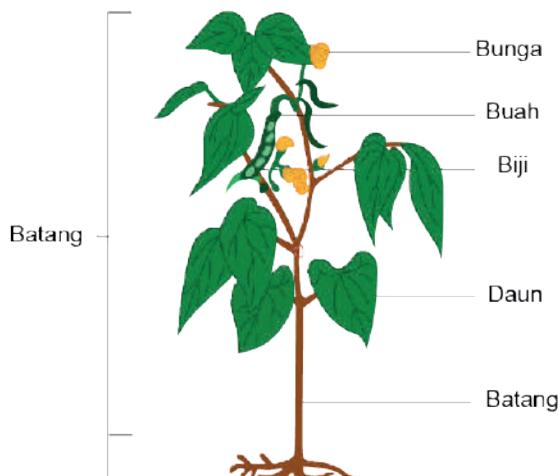
Pertahanan eksternal adalah mekanisme pertahanan umum yang tidak secara khusus membedakan jenis patogen. Dengan kata lain, pertahanan ini tidak spesifik. Kurangnya pengenalan patogen berarti bahwa efektivitas pertahanan eksternal terbatas. Misalnya, efek HCl lambung akan sama untuk semua patogen yang terbawa bersama makanan. Meskipun kondisi asam umumnya dapat menghambat atau bahkan menghentikan aktivitas sel, namun jika ada patogen yang dapat beradaptasi dengan kondisi asam, HCl tentu tidak akan efektif dalam menghentikan patogen tersebut. Oleh karena itu, tubuh memerlukan mekanisme pertahanan lanjutan yang dapat mengantisipasi masuknya patogen ke dalam jaringan tubuh dan mencegah dampak buruk selanjutnya.

## 2. Pertahanan Internal Spesifik (Antigen-Antibodi)

Sistem pertahanan internal spesifik ditandai dengan pengenalan terhadap patogen spesifik oleh sejumlah tipe sel darah putih (leukosit). Tipe leukosit tertentu akan membedakan mana komponen yang “aman” untuk tubuh, serta mana komponen “asing” yang berpotensi membahayakan tubuh hingga perlu dihancurkan.

Leukosit akan mengenali partikel khas dari patogen yang disebut **antigen**. Antigen dapat berupa protein, glikoprotein, lipid, polisakarida, dan berbagai zat yang dihasilkan oleh patogen tersebut. Antigen ditemukan sebagai bagian struktur sel patogen maupun partikel yang terpisah dari selnya. Saat suatu antigen terdeteksi atau bahkan dikenali keberadaanya di dalam jaringan tubuh, maka tubuh akan menciptakan respon imun. Respon imun yang bersifat bawaan (*innate*) akan berlaku umum untuk semua tipe antigen, misal respon demam dan peradangan. Beragam jenis infeksi virus dapat memicu terjadinya demam dan peradangan. Sementara itu respon imun yang adaptif akan

memberikan respon yang lebih spesifik dengan pembentukan antibodi untuk setiap antigen yang dikenali.



Gambar 5.1 Struktur antibodi dan antigen

Respon imun yang spesifik ditandai dengan pembentukan antibodi oleh leukosit, khususnya dari tipe limfosit. **Antibodi** adalah molekul glikoprotein yang berfungsi menandai dan melawan antigen spesifik. Bagaimana bentuk perlawanan antibodi terhadap antigen? Untuk memahami lebih dalam tentang antibodi, ayo lakukanlah Aktivitas 5.3!

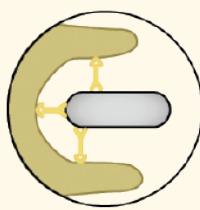


Ayo Bereksplorasi

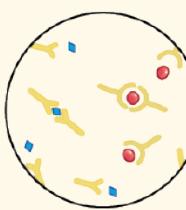
### Aktivitas 5.3

#### Bagaimana Antibodi Bekerja?

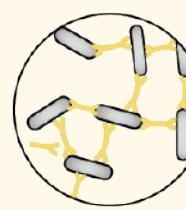
Respon antibodi terhadap antigen sangat beragam. Respon-respon ini umumnya merupakan upaya molekuler dan seluler dalam mengurangi atau bahkan menghilangkan patogen atau efek infeksinya. Berikut terdapat empat gambar ilustrasi yang menunjukkan reaksi antibodi (berbentuk seperti huruf Y) saat mengenali antigen.



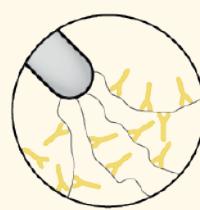
Gambar A



Gambar B



Gambar C



Gambar D

*Pasangkanlah deskripsi reaksi dengan gambar dengan melengkapi kolom berikut dengan benar!*

Deskripsi Reaksi Antibodi	Nomor Gambar
Antibodi bergabung dengan virus dan racun bakteri yang mencegahnya memasuki atau merusak sel	
Antibodi menempel pada flagela bakteri membuatnya kurang aktif dan lebih mudah ditelan oleh fagosit	
Antibodi melapisi bakteri, membuatnya lebih muda bagi fagosit untuk menelaninya	
Antibodi dengan beberapa situs pengikatan antigen menyebabkan aglutinasi (penggumpalan) bakteri yang mengurangi kemungkinan penyebaran keseluruhan tubuh	

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku atau lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali mengenai respon antigen-antibodi pada bab ini!

Respon imun dalam pertahanan internal tubuh tidak hanya dipicu oleh pengenalan patogen. Pada kasus alergi atau imunitas yang terlalu sensitif, respon imun dapat dipicu oleh hadirnya molekul-molekul non patogen (contoh: zat kitin, debu, serbuk sari, dan lain-lain) ke dalam tubuh, atau bahkan perubahan kondisi tubuh yang umum (contoh: kedinginan). Dengan demikian antigen juga diartikan sebagai molekul apa pun yang dapat memicu respon imun, baik yang berasal dari patogen maupun non-patogen. Jika kehadiran suatu molekul memicu respon imun, maka molekul tersebut dianggap asing dan perlu direspon lebih lanjut oleh tubuh.

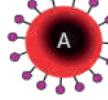
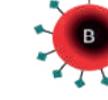
### 3. Respon Imun dan Pengenalan Tubuh

Setiap sel manusia memiliki molekul pengenal di permukaan membrannya. Molekul ini sering disebut sebagai **antigen permukaan sel**. Mengapa disebut antigen? Walaupun tidak menstimulasi antibodi dalam tubuh sendiri, molekul ini akan melakukannya jika memasuki tubuh orang lain. Artinya, respon imun tidak terjadi tubuh mengenali

antigen permukaan selnya. Respon imun akan muncul dengan hadirnya sel dengan antigen permukaan yang asing. Mekanisme ini dapat dijelaskan pada proses transfusi darah serta donor organ antar manusia.

Pada penggolongan darah dengan sistem AB0, antigen permukaan sel berupa glikolipid pada membran sel darah merah (eritrosit) yang disebut **aglutinogen**. Jika Kalian bergolongan darah A, maka eritrosit Kalian memiliki aglutinogen tipe A di permukaannya. Tubuh Kalian hanya akan mengenali darah dengan aglutinogen A sebagai “darah sendiri”. Jika darah bergolongan A diberikan pada orang bergolongan darah B pada proses transfusi, penerima akan mengenali eritrosit tersebut sebagai benda asing dan segera membentuk antibodi di plasma darah. Antibodi ini disebut **aglutinin**. Pengenalan antibodi terhadap antigen eritrosit ini menyebabkan penggumpalan darah (**aglutinasi**). Aglutinasi darah tentu akan sangat berbahaya karena dapat menghambat bahkan merusak sistem sirkulasi tubuh. (*lihat kembali bab sebelumnya tentang peran sistem sirkulasi pada tubuh manusia*). Lalu, bagaimana dengan jenis golongan darah AB dan 0 (nol)? Pola dari antigen dan antibodi pada masing-masing golongan darah disajikan pada **Tabel 5.2** di bawah ini!

**Tabel 5.2 Penggolongan Darah Sistem AB0**

Golongan Darah	Golongan Darah A	Golongan Darah B	Golongan Darah AB	Golongan Darah 0 (Nol)
Tipe Sel Darah Merah				
Antigen di Permukaan Sel Darah Merah	 Antigen A atau Aglutinogen A	 Antigen B atau Aglutinogen B	 Antigen atau Aglutinogen A dan B	Tidak ada Antigen/ Aglutinogen
Antibodi di Plasma Darah	 Anti B atau Aglutinin B	 Anti A atau Aglutinin A	Tidak ada Antibodi / Aglutinin	 Anti A dan B atau Aglutinin A dan B

Untuk lebih memahami mekanisme pengenalan antigen permukaan sel pada sistem penggolongan darah AB0, ayo lakukanlah Aktivitas 5.4 berikut!



## Apa Golongan Darahmu?

### Tujuan:

1. Menjelaskan metode pengujian golongan darah dalam sistem AB0.
2. Menganalisis reaksi antigen-antibodi dalam proses pengujian golongan darah sistem AB0.

### Landasan Teori:

Sistem golongan darah AB0 ditentukan oleh ada atau tidak adanya antigen A dan B yang terekspresikan pada sel darah merah, serta ada atau tidak adanya antibodi A dan B pada plasma atau serum (serum anti-A dan anti-B). Reaksi penggumpalan akan terjadi jika darah diberi serum yang mengandung antibodi yang mengenali antigen darah.

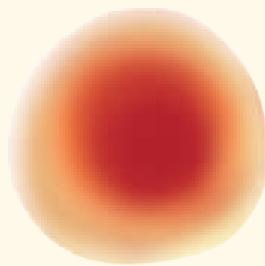
### Alat dan Bahan:

- |               |                            |
|---------------|----------------------------|
| 1. Kartu tes  | 6. Spidol                  |
| 2. Lanset     | 7. Tisu                    |
| 3. Kapas      | 8. Serum anti-A dan anti-B |
| 4. Pipet      | 9. Alkohol 70%             |
| 5. Tusuk gigi |                            |

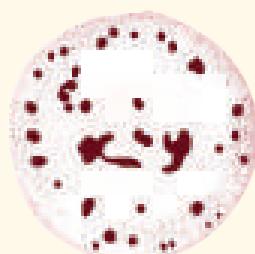
### Langkah Praktikum:

1. Tentukan siswa atau siswi sukarelawan yang bersedia memberikan sampel darahnya. Pastikan tidak ada paksaan dalam prosesnya, hormati jika teman Kalian tidak bersedia memberikan sampel.

2. Tuliskan nama siswa sukarelawan pada kartu tes. Satu orang untuk satu kartu tes.
3. Untuk Kalian yang bersedia memberikan sampel, cucilah tangan dengan sabun dan air mengalir, khususnya pada bagian jari-jemari. Keringkan dengan tisu.
4. Pilihlah salah satu jari (biasanya telunjuk), bersihkan ujung telapaknya dengan kapas beralkohol.
5. Gunakan lanset untuk mengambil sampel darah dari ujung. Pastikan tahapan ini dilakukan dalam pengawasan guru.
6. Selanjutnya, oleskan sampel darah pada 4 kolom pada kartu tes.
7. Tambahkan satu tetes anti serum pada sampel darah di kolom yang sesuai dengan keterangannya.
8. Aduk sampel darah dan serum pada masing-masing kolom dengan menggunakan ujung tusuk gigi yang berbeda.
9. Amati ada tidaknya penggumpalan pada setiap kolom sampel. (Lihat contoh pada Gambar 5.2)
10. Lalu, catatlah hasil pengamatan seperti pada contoh Tabel 5.3!



Tidak terjadi Penggumpalan



Terjadi Penggumpalan

**Gambar 5.2** Contoh kondisi darah setelah ditetes serum

### Hasil Pengamatan:

Tuliskan hasil pengujian dan pengamatamu seperti tabel berikut!

Tabel 5.3 Hasil Pengamatan Golongan Darah Siswa

No.	Nama	Penggumpalan		Golongan Darah
		Sampel + Serum Anti A	Sampel + Serum Anti B	

Keterangan:

✓ = menggumpal ✗ = tidak menggumpal

Jika Kalian menemukan kesulitan dalam menyimpulkan tipe golongan darah, pelajari kembali pada bahasan sebelumnya pada Tabel 5.2

Selain tipe AB0, terdapat ratusan sistem penentuan golongan darah lainnya. Tipe AB0 lebih banyak digunakan karena risiko ketidakcocokan yang berdampak fatal bagi tubuh, yakni terjadinya penggumpalan darah. Selain sistem AB0, tipe golongan darah yang berisiko penggumpalan saat tidak cocok adalah *sistem rhesus*.

Darah memiliki tipe rhesus positif jika terdapat antigen rhesus pada membran sel eritrositnya. Orang dengan darah rhesus positif tidak memproduksi antibodi rhesus, sehingga tidak terjadi reaksi penggumpalan. Sebaliknya pada tipe rhesus negatif, eritrosit tidak memiliki antigen pada membrannya, sementara sel-sel limfosit dapat memproduksi antibodi rhesus jika terjadi paparan antigen. Oleh karenanya dalam metode transfusi darah, jenis rhesus pendonor

maupun penerima darah haruslah sama agar tidak memicu penggumpalan. Kalian sudah mendapat penjelasan mengenai sistem penentuan golongan darah. Cobalah lakukan Aktivitas 5.5 agar Kalian dapat memahaminya lebih lanjut!



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 5.5

#### Mencari Pendonor

Tuan Potter mengalami kecelakaan mobil yang cukup parah. Akibat kecelakaan itu dia mengalami luka-luka dan perdarahan. Untuk dilakukan tindakan operasi, Tuan Potter memerlukan transfusi darah. Diketahui golongan darah Tuan Potter adalah A+. Empat orang kawan Tuan Potter mengajukan diri untuk mendonorkan darahnya. Mereka adalah Nona Brown, Tuan Green, Tuan Jones, dan Tuan Smith. Tenaga medis kemudian akan melakukan pengecekan tipe golongan darah pada para calon pendonor.

Dalam aktivitas ini, Kalian akan membantu tenaga medis dengan simulasi virtual. Kalian akan membantu dalam menentukan siapakah diantara keempat kawan Tuan Potter yang dapat mendonorkan darahnya.

Tautan tautan simulasi virtual berikut:

<https://www.sciencefromscientists.org/game/bloodtype.html>

#### Langkah-Langkah Simulasi Virtual:

1. Akses tautan simulasi di atas.
2. Pilih nama calon pendonor yang akan Kalian cek dengan mengklik tautan di atas (klik pada salah satu foto).
3. Untuk setiap pendonor akan tersedia perangkat uji secara virtual.
4. Selanjutnya, tuliskan hasil pengujian seperti tabel berikut pada buku tugasmu!

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Golongan Darah**

No.	Nama	Hasil Reaksi			Golongan Darah
		Antigen A	Antigen B	Antigen Rhesus	
1.	Nona Brown				
2.	Tuan Green				
3.	Tuan Jones				
4.	Tuan Smith				

*Keterangan:*

✓ = menggumpal ✗ = tidak menggumpal

**Pertanyaan:**

1. Siapa yang dapat mendonorkan darahnya untuk Tuan Potter?
2. Dapatkah kawan Tuan Potter mendapatkan donor dari kawan yang tipe rhesusnya sama walau tipe AB0 nya berbeda? Jelaskan jawaban Kalian!

Diskusikanlah hasil temuan Kalian bersama teman sekelas dengan bimbingan guru. Pastikan Kalian telah memahami materi dalam aktivitas ini!

## B. Komponen Sistem Pertahanan Tubuh

Pada pembahasan sebelumnya telah diperlihatkan bahwa sel darah putih (leukosit) merupakan komponen seluler utama dari sistem imun tubuh. Leukosit memiliki berbagai jenis dan peran dalam sistem kekebalan tubuh. Namun, secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu fagosit dan limfosit.

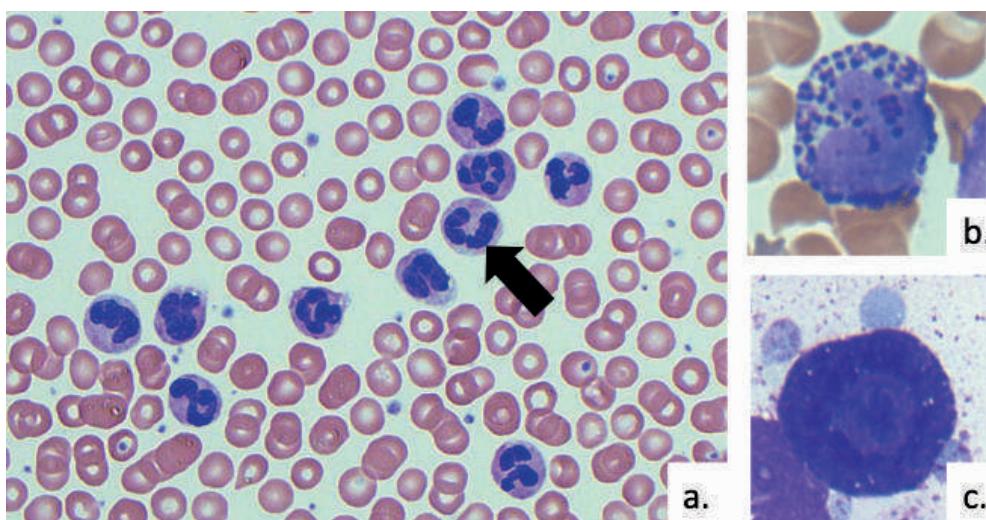
## 1. Fagosit

Fagosit secara harfiah berarti “sel pemakan”, secara fungsional sel ini akan menghancurkan patogen dengan cara mencernanya di dalam sel. Sel-sel fagosit dibentuk di dalam sumsum tulang, khususnya tulang pipa. Mereka disimpan dalam sumsum tulang sebelum didistribusikan sebelum beredar bersama aliran darah dan cairan limfa ke seluruh bagian tubuh.

Dalam proses perkembangannya, fagosit merupakan hasil diferensiasi dari beberapa tipe sel, namun secara umum terdapat dua tipe fagosit yang sering ditemukan dalam respon imun tubuh, yaitu neutrofil dan makrofag.

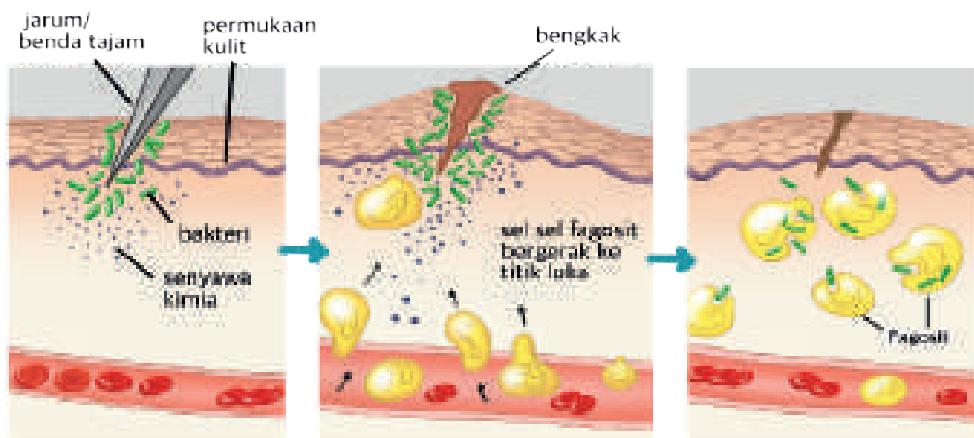
### a. Neutrofil

Neutrofil adalah jenis fagosit yang paling banyak ditemukan dan 60% komposisi leukosit dalam darah. Mereka dapat berpindah tempat ke seluruh bagian tubuh melalui pembuluh darah. Pada kondisi tertentu, seringkali neutrofil meninggalkan pembuluh darah dengan cara menyusup melalui dinding kapiler untuk ‘berpatroli’ di jaringan ikat. Kemampuan “menembus” pembuluh darah ini disebut ***diapedesis***.



Gambar 5.3 a) sekelompok neutrofil (ditunjuk anak panah); b) basofil; c) sel Mast

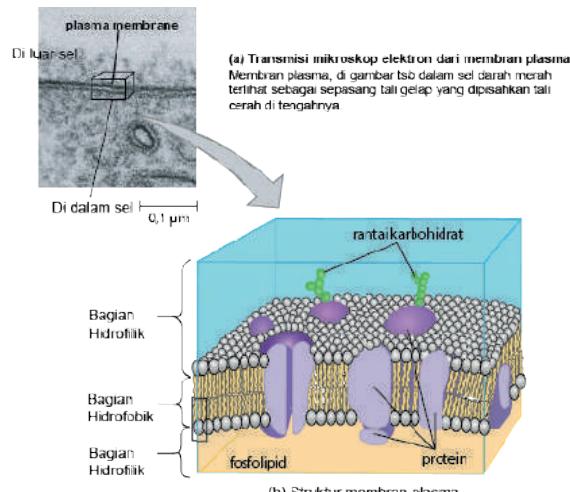
Sumber: McKinley (2013)



1. Luka akibat benda tajam menjadi celah masuknya kuman sekaligus memicu pelepasan senyawa kimia seperti histamin
2. Histamin memicu pelebaran pembuluh darah dan menarik kedatangan sel fagosit menembus pembuluh darah ke titik luka
3. Fagosit kemudian dapat "makan" kuman dengan maksimal

**Gambar 5.4** Kerja pertahanan tubuh pada luka

Neutrofil memulai peran fagositiknya dengan menempel pada patogen. Membran permukaan sel neutrofil akan membentuk kantung vesikula yang membawa patogen (fagosom) masuk ke dalam sel secara endositosis. Enzim pencernaan akan disekresikan oleh Badan Golgi ke dalam lisosom. Lisosom kemudian bergabung dengan fagosom membentuk struktur vakuola fagositik atau vakuola makanan dan menghancurkan patogen. Secara keseluruhan, proses ini dikenal sebagai **fagositosis**.



**Gambar 5.5** Tahapan Fagitosis

Meskipun dihasilkan dalam jumlah yang banyak, namun neutrofil memiliki masa hidup yang singkat. Setelah melawan patogen, sel ini akan mati. Neutrofil yang telah mati biasanya dikumpulkan pada sebuah lokasi infeksi untuk membentuk nanah.

Ketika terjadi infeksi pada jaringan, neutrofil akan dilepaskan dalam jumlah besar dari tempat penyimpanannya di sumsum tulang. Tipe sel lainnya, yaitu basofil dan sel *Mast* dari jaringan ikat turut merespon dengan memproduksi histamin. Histamin akan memicu pelebaran pembuluh darah dan pembengkakan jaringan dimana kondisi tersebut akan mempermudah pergerakan neutrofil. Histamin dan juga zat kimia yang dilepaskan oleh patogen itu sendiri akan menarik respon neutrofil yang lewat ke lokasi infeksi. Jika infeksi bukan yang pertama kali atau disebabkan oleh patogen yang telah dikenali, ada kemungkinan sejumlah antibodi akan mengenali antigen dan terkonsentrasi di area infeksi. Kehadiran antibodi ini juga dapat “mengundang” neutrofil. Gerakan neutrofil yang dipicu oleh rangsangan kimia ini disebut **kemotaksis**.



#### Tahukah kalian?

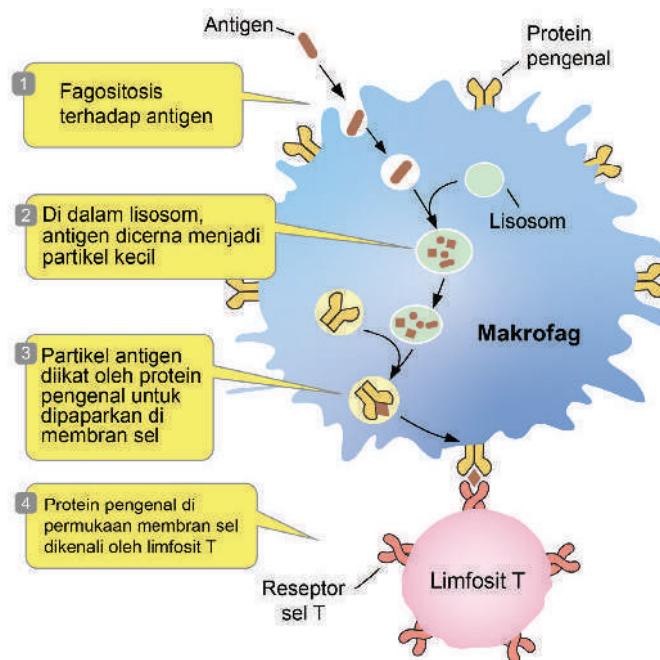
Memencet nanah pada jerawat dapat menyebabkan infeksi. Munculnya jerawat bernanah menunjukkan aktifnya sistem imun dalam mencegah infeksi lebih lanjut. Pastikan untuk selalu mencuci muka dengan produk pembersih yang sesuai dengan kulit Kalian!

## b. Makrofag

Jenis sel fagosit berikutnya adalah makrofag. Makrofag memiliki ukuran lebih besar dibanding neutrofil. Daripada beredar di pembuluh darah, makrofag lebih sering menetap pada organ-organ tertentu seperti paru-paru, hati, limpa, ginjal, dan nodus limfa. Setelah dibentuk di dalam sumsum tulang, makrofag akan beredar dalam darah sebagai **monosit**, yang berkembang menjadi makrofag ketika meninggalkan darah dan menetap dalam organ.

Berbeda dengan neutrofil, makrofag adalah sel yang masa hidupnya cukup panjang dan memiliki peran penting dalam menginisiasi respons imun spesifik lainnya. Makrofag tidak menghancurkan patogen sepenuhnya, tapi memecahnya menjadi partikel kecil yang dijadikan sampel antigen. Partikel sampel tersebut akan menjadi bagian struktur luar dari membran sel makrofag untuk kemudian dikenali oleh limfosit.

Dengan demikian antigen dapat terus dikenali sekaligus menjadi sinyal ‘membutuhkan bantuan’ yang dapat menstimulasi respon imun spesifik lainnya. Karena kemampuannya dalam menampilkan antigen di bagian permukaan sel ini makrofag disebut juga sebagai **sel penyaji antigen** (*Antigen-Presenting Cells/APCs*).



Gambar 5.6 Makrofag sebagai sel penyaji antigen

Untuk memastikan pemahaman Kalian dalam mengenali peran sel sel fagosit dari jenis neutrofil dan makrofag, lakukanlah Aktivitas 5.6!



### Ayo Mengingat Kembali

### Aktivitas 5.6

Untuk memudahkan Kalian mempelajari kembali perbedaan neutrofil dan makrofag dalam sistem pertahanan tubuh manusia, lengkapilah Tabel 5.5 berikut!

Tabel 5.5 Perbandingan Perbedaan Neutrofil dan Makrofag

No.	Faktor Pembeda	Neutrofil	Makrofag
1.	Jumlah		
2.	Durasi hidup		
3.	Tempat pematangan		
4.	Respon terhadap antigen		
5.	Hasil fagositosis		

Cek sejauh mana penguasaan Kalian terhadap materi aktivitas ini pada *appendix* buku atau lampiran buku. Jika masih terdapat jawaban yang salah, Kalian perlu mempelajari kembali mengenai mekanisme sel darah putih dalam sistem pertahanan tubuh manusia pada bab ini!

## 2. Limfosit dan Respon Imun Spesifik

Limfosit adalah tipe sel darah putih yang berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh khususnya dalam respon imun spesifik adaptif. Terdapat dua jenis limfosit, keduanya telah dibentuk sejak sebelum kelahiran di dalam sumsum tulang janin.

- Limfosit B (sel B) tetap berada dalam sumsum tulang hingga cukup matang kemudian menyebar ke seluruh tubuh, terutama di nodus limfa dan limpa (organ di sisi kiri lambung).
- Limfosit T (sel T) meninggalkan sumsum tulang dan berkumpul serta menjadi matang di timus. Timus adalah sebuah kelenjar yang terdapat di rongga dada, tepat di bawah tulang dada (sternum). Ukurannya menjadi dua kali lebih besar di masa antara kelahiran dan masa pubertas, tetapi setelah pubertas ukuran timus akan tereduksi.

Dalam proses pematangannya, limfosit B dan T berspesialisasi menjadi tipe limfosit dengan beragam fungsi spesifik. Sel B dan T akan bersirkulasi di dalam pembuluh darah dan limfa. Kondisi ini memastikan bahwa limfosit dapat tersebar ke seluruh bagian tubuh dan meningkatkan peluang untuk mendeteksi keberadaan patogen yang menginfeksi tubuh. Sejumlah sel dari kedua tipe limfosit akan bertahan lama dalam sirkulasi darah dan limfa. Sel berumur panjang ini akan “mengingat” antigen yang pernah dikenali sebelumnya, serta respon yang tepat untuk mengatasinya. Sel ini disebut **sel memori**. Sebelum belajar lebih lanjut, ayo lakukan Aktivitas 5.7.



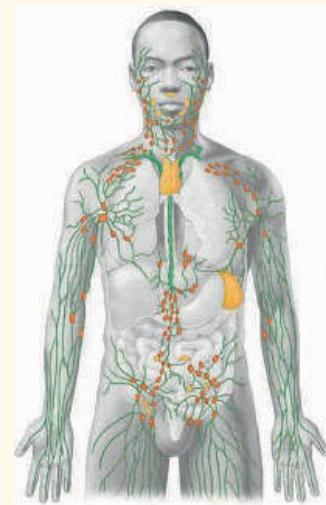
### Ayo Mengingat Kembali

### Aktivitas 5.7

#### Menyelidiki Nodus Limfa

Nodus limfa (kelenjar getah bening) merupakan bagian penting dalam sistem pertahanan tubuh. Kelenjar ini tersebar di bagian tertentu tubuh khususnya pada lipatan-lipatan tubuh. Kelenjar ini terhubung dengan pembuluh limfa yang juga menyebar keseluruh tubuh dan di samping pembuluh darah.

Nodus limfa berperan dalam menyaring cairan limfa, cairan tubuh yang membawa sebagian besar limfosit. Pada nodus limfa, limfosit (umumnya limfosit B) akan "tinggal" sementara di dalam kelenjar limfa. Ketika terjadi infeksi pada bagian tubuh tertentu, aktivitas nodus limfa terdekat dengan titik infeksi akan meningkat. Limfosit pada nodus tersebut akan aktif. Kondisi ini biasanya ditandai dengan peningkatan suhu tubuh pada bagian yang terdapat nodus limfa.



**Gambar 5.7** Sistem Limfa

Sumber: Campbell, dkk (2022)

Pada aktivitas kali ini, Kalian akan melakukan pengamatan suhu pada beberapa titik tubuh yang diduga banyak mengandung kelenjar limfa. Tentukan 3 lokasi pada tubuh Kalian yang dapat diukur suhunya. Lakukan pengamatan dalam kelompok, lalu hasilnya dibuat seperti Tabel 5.6. Gunakan termometer tubuh untuk mengukur suhu pada bagian tubuh yang dipilih. Bandingkan suhu ketiga titik tersebut dengan suhu tubuh Kalian. Apakah sama atau berbeda? Jelaskan jawabanmu pada buku latihan kalian!

**Tabel 5.6** Hasil Pengukuran Suhu Beberapa Titik Tubuh

No.	Nama	Hasil pengukuran suhu (°C)			
		Suhu tubuh	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1.					
2.					

Keterangan :

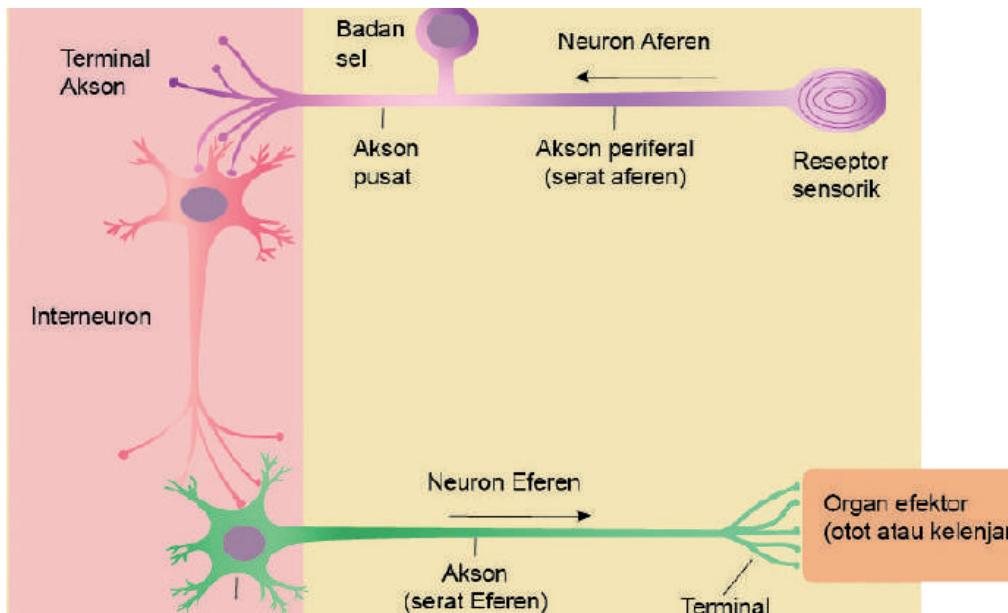
Lokasi titik 1 = ....

Lokasi titik 2 = ....

Diskusikanlah hasil temuan Kalian bersama teman sekelas dengan bimbingan guru. Pastikan Kalian telah memahami materi dalam aktivitas ini!

### a. Limfosit B (Sel B) dan respon imun spesifik humorai

Limfosit B memberikan respon imun dengan membentuk antibodi. Setiap sel B yang telah teraktivasi akan membentuk kelompok kecil (klon) berdasarkan jenis antibodi yang dibuatnya.



**Gambar 5.8** Mekanisme kerja limfosit B

Pada awalnya molekul antibodi hanya menempel di permukaan membran sel B, hingga kemudian dapat dilepas dan beredar di plasma darah dan limfa. Antibodi beredar di plasma darah dan cairan tubuh lainnya untuk mengenali antigen spesifik yang masuk ke dalam tubuh. Atas dasar ini lah respon limfosit B disebut juga **respon imun spesifik humorai** (*humor* = cairan tubuh)

Kehadiran antigen mengaktifasi limfosit B yang berdiferensiasi menjadi dua tipe sel, yaitu sel plasma dan sel B memori. Sel plasma dapat memproduksi molekul antibodi dengan cepat, hingga mencapai jumlah beberapa ribu dalam 1 detik. Pada infeksi pertama (respon primer), sel plasma memulai pengenalan antigen dan membentuk antibodi. Karena memiliki masa hidup yang singkat, respon sel plasma akan dilanjutkan oleh sel memori. Sel ini akan bersirkulasi dalam tubuh dalam waktu lama. Apabila terdapat antigen yang sama dan dikenali

kembali (respon sekunder), sel memori akan membelah secara cepat dan berkembang menjadi sel plasma dan sel memori yang lebih banyak lagi. Hal ini terjadi berulang dalam setiap kehadiran antigen yang sama, yang berarti infeksi dapat ditanggulangi sebelum terus perkembangan.

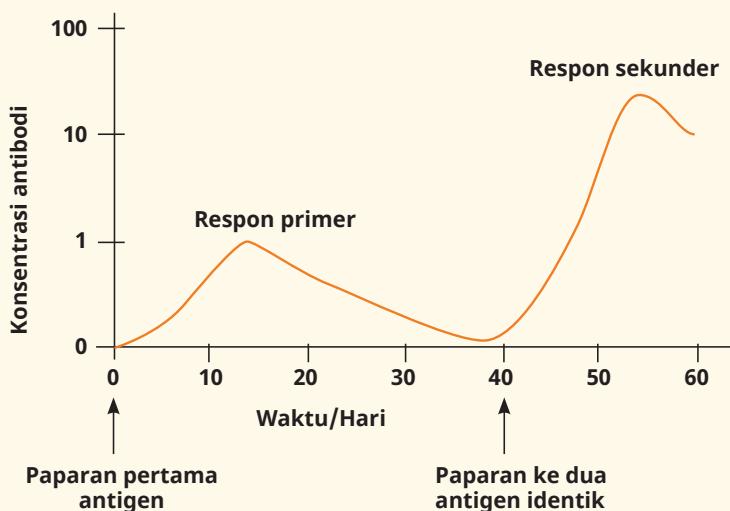


### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 5.8

#### Fluktuasi Jumlah Antibodi

Grafik berikut menunjukkan perubahan jumlah konsentrasi antibodi dalam plasma darah seiring waktu sebagai respon terhadap dua periode infeksi.



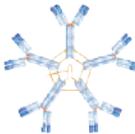
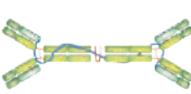
Berdasarkan interpretasi Kalian terhadap informasi dalam grafik di atas, jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Mengapa jumlah antibodi lebih banyak diproduksi setelah paparan patogen yang ke dua?
2. Apa yang akan terjadi jika pada paparan ke dua, patogen telah mengalami perubahan struktur tubuhnya? Apakah akan memicu respon humoral yang sama?

Diskusikanlah hasil temuan Kalian bersama teman sekelas dengan bimbingan guru. Pastikan Kalian telah memahami materi dalam aktivitas ini!

Molekul antibodi yang diproduksi sel B berupa protein yang disebut ***immunoglobulin (Ig)***. Molekul *immunoglobulin* berbentuk seperti huruf Y, dengan dua sisi ujung sebagai situs pengikatan dan pengenal antigen. Untuk memungkinkan sistem imun mengenali jutaan antigen yang berbeda, situs pengikatan antigen di kedua ujung *immunoglobulin* juga memiliki variasi yang sama banyaknya. Terdapat lima tipe antibodi yang banyak ditemukan di dalam tubuh, yaitu IgA, IgD, IgE, IgG, atau IgM. Informasi lebih lanjut tentang ciri dan fungsi masing-masing tipe antibodi disajikan pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.7 Ragam Tipe *Immunoglobulin* Beserta Letak dan Fungsinya**

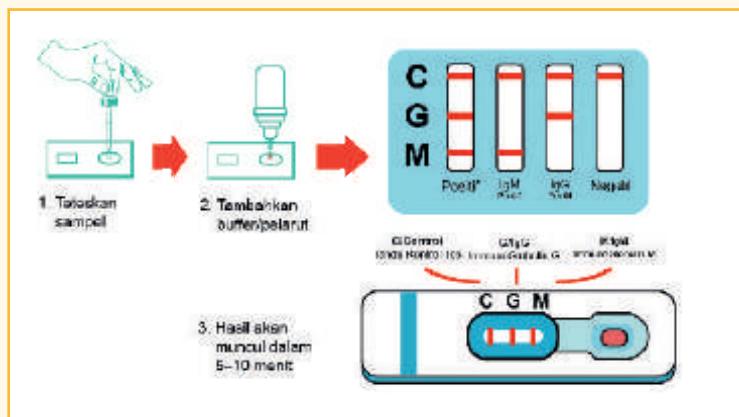
Tipe	Bentuk	Letak	Fungsi
Ig M		Tersebar di seluruh jaringan tubuh	Diproduksi saat terjadi infeksi pertama kali (respon primer).
Ig G		Jaringan tubuh dan darah	Paling banyak diproduksi, terutama saat infeksi sekunder; ditransfer dari ibu hamil ke janin melalui plasenta.
Ig A		ASI, air mata, air liur dan lendir	Mencegah infeksi pada permukaan jaringan epitel.
Ig E		Tersebar di seluruh jaringan tubuh	Memicu pengeluaran histamin oleh basofil dan mastosit untuk menimbulkan respon peradangan jaringan (inflamasi).
Ig D		Permukaan sel B	Sebagai reseptör; menstimulasi pembentukan antibodi lainnya oleh sel plasma.



### Tes Swab Antigen

Di masa pandemi Covid-19, uji antigen merupakan salah satu prosedur medis standar yang banyak dilakukan untuk mendeteksi paparan virus SARS-CoV-2. Walau tingkat akurasinya tidak terlalu tinggi, tapi uji antigen dianggap cukup efektif menjadi langkah awal deteksi.

Berikut adalah langkah yang pengujian antigen dan interpretasi hasilnya:



Gambar 5.9 Tahapan tes antigen

Pada Aktivitas 5.9 ini, Kalian akan melakukan diskusi dalam merumuskan jawaban dari pertanyaan berikut:

1. Mengapa pengujian Covid-19 menggunakan *swab* antigen melibatkan respon antibodi?
2. Dari berbagai tipe imunoglobulin, mengapa imunoglobulin Ig G dan Ig M yang diuji? Apa kaitannya dengan fungsi kedua antibodi tersebut?
3. Mengapa tes *swab* antigen dianggap memiliki tingkat akurasi yang rendah dibanding tes lainnya, seperti tes PCR?

Gunakan referensi yang valid dalam merumuskan jawaban Kalian! Berkommunikasilah dengan baik saat mendiskusikan jawaban dalam kelompok Kalian juga saat mengutarakan pendapat terhadap jawaban kelompok lain!

### b. Limfosit T (Sel T) dan respon imun spesifik seluler

Tipe limfosit kedua adalah limfosit T. Dinamai sel T karena sel ini menjadi matang di timus. Berbeda dengan sel B yang menghasilkan antibodi sebagai respon imun spesifiknya, sel limfosit T memiliki reseptor permukaan sel yang spesifik disebut **reseptor sel T**. Meskipun demikian, reseptor sel T memiliki sifat yang mirip dengan antibodi dalam hal kemampuan mengenali antigen spesifik. Karena respon imun yang diberikan bertumpu pada reseptor permukaan sel, maka respon imun sel T disebut juga **respon imun spesifik seluler**.

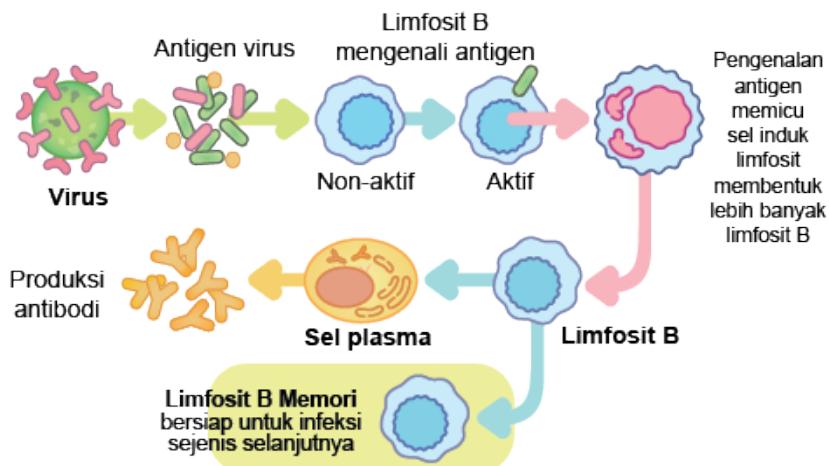
Sel T aktif tidak hanya mengenali antigen, namun juga mengenali sel-sel tubuh yang terinfeksi. Seperti pada infeksi virus, dimana nukleotida dan protein virus berada di dalam sel inangnya, maka sel T juga akan mengenali sel inang sebagai target yang harus dihancurkan. Pada kasus sel-sel tubuh yang berubah menjadi kanker, sel T akan mengenalinya dan mencegah pertumbuhannya lebih lanjut.

Saat terjadi infeksi patogen, sel T yang memiliki reseptor yang mengenali antigen akan merespon dengan memperbanyak diri. Seperti halnya pada sel B, penambahan jumlah sel T akan melalui tahapan pembentukan dan perbanyakannya klon sel. Selain bertambah banyak, sel T juga berdiferensiasi menjadi dua tipe sel, yaitu yaitu sel T pembantu (*helper*) dan sel T pembunuh (Sel T sitotoksik). Selain itu, masing-masing bentuk sel T dapat menjadi sel memori yang bertahan lama untuk diaktivasi kembali saat terjadi infeksi patogen yang sama pada kesempatan berikutnya.

Sel T pembantu dinamai demikian berdasarkan perannya dalam membantu mengaktifkan respon imun lainnya. Ketika sel T pembantu aktif, mereka akan melepaskan kelompok senyawa kimia yang disebut **sitokin**. Sitokin akan menstimulasi sel B untuk melakukan pembelahan, dan berkembang menjadi sel plasma serta mensekresi antibodi. Beberapa sel T pembantu mensekresi sitokin yang menstimulasi makrofag untuk lebih aktif melakukan fagositosis.

Sel T pembunuh mencari sel tubuh yang diserang patogen dan menampilkan antigen asing dari patogen pada membran permukaan selnya. Sel T pembunuh akan mengenali antigen, menempelkan diri

pada permukaan sel yang terinfeksi dan mensekresikan substansi beracun seperti hidrogen peroksida ( $H_2O_2$ ), untuk membunuh sel tubuh dan patogen di dalamnya.



**Gambar 5.10** Mekanisme kerja limfosit T



### Ayo Mengingat Kembali

### Aktivitas 5.10

Kalian telah mempelajari dua tipe limfosit yang sangat berperan penting dalam sistem pertahanan tubuh internal spesifik. Untuk memastikan Kalian dapat memahami dengan baik, tentukan karakteristik pada salah satu atau kedua tipe limfosit dengan melengkapi kolom di bawah ini! Berikan tanda centang (✓) jika cirinya sesuai atau tanda silang (✗) jika ciri tidak sesuai, pada salah satu atau kedua kolom yang tersedia!

Karakteristik	Sel B	Sel T
Membentuk sel sitotoksik		
Membentuk sel memori		
Melakukan fagitosis		
Membentuk antibodi		
Menjadi sel penyaji antigen		
Membentuk sel plasma		

## C. Imunitas Tubuh dan Kelainannya

Hingga bahasan ini Kalian telah banyak mempelajari komponen dan mekanisme pertahanan tubuh dalam mencegah dan mengatasi infeksi patogen. Saat sistem pertahanan tubuh berfungsi dengan baik, maka tubuh akan tetap terlindungi dari infeksi. Kemampuan tubuh untuk mengatasi infeksi patogen ini dikenal sebagai **imunitas**. Upaya menjaga fungsi imunitas tubuh tidak hanya terjadi secara alami tapi juga dapat dilakukan secara buatan melalui tindakan medis atau imunisasi.

### 1. Imunitas Aktif dan Pasif

Saat seseorang dalam kondisi sehat, imunitas tubuhnya dapat dengan optimal merespon setiap paparan patogen dan mencegah terjadinya kondisi sakit. Saat patogen datang, jumlah yang memasuki tubuh akan diminimalisasi oleh pertahanan eksternal tubuh yang nonspesifik. Jika masih terdapat patogen yang berhasil masuk, maka pertahanan internal spesifik diaktifkan. Sel limfosit B dalam tubuh mengenali antigen dan membentuk antibodi. Imunitas yang terbentuk pada proses ini disebut **imunitas aktif alami**. Disebut alami karena respon imun muncul akibat infeksi patogen dan disebut aktif karena antibodi diproduksi oleh tubuh sendiri.

Pada permulaan abad ke-19, seorang dokter asal Inggris bernama Edward Jenner, melakukan penelitian untuk mengamati respon imun tubuh manusia. Jenner menemukan bahwa respon imun dapat muncul tanpa seseorang harus terinfeksi patogen terlebih dahulu. Jenner melakukan penelitiannya pada kasus infeksi virus cacar. Orang yang disuntik komponen virus cacar pada tubuhnya, terbukti lebih “kebal” terhadap infeksi virus tersebut. Inilah pertama kali teknik vaksinasi ditemukan. Temuan Edward Jenner tersebut dapat dijelaskan sebagai sistem imun tubuh yang terstimulasi untuk membentuk antibodi tanpa harus terinfeksi. Maka imunitas yang terbentuk bersifat aktif buatan. Bagaimana dengan vaksin Covid-19? Adakah persamaan prosedur pembuatannya dengan vaksin cacar yang ditemukan Edward Jenner?



### Tahukah kalian?

Vaksin Merah Putih merupakan vaksin Covid-19 yang dikembangkan Indonesia melalui perusahaan negara, PT Bio Farma. Vaksin ini dibuat dari komponen protein virus Covid-19 yang bertransmisi di Indonesia. Vaksin ini diharapkan lebih sesuai dengan kondisi tubuh manusia di wilayah tropis. Tentu kita patut berbangga menjadi negara yang mampu memproduksi vaksin.

Stimulasi respon imun baik secara alami oleh infeksi maupun secara buatan dengan vaksin memerlukan waktu untuk mencapai jumlah antibodi optimal. Pada kondisi yang amat rentan, seperti pada bayi yang sangat mudah terinfeksi patogen atau pada pasien kritis akibat penyakit infeksi, waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi antibodi sendiri tidak sebanding dengan besarnya risiko infeksi yang dihadapi. Oleh karenanya diperlukan masukan antibodi dari luar sesegera mungkin menciptakan imunitas tubuhnya.

Imunitas yang terbentuk karena pemasukan antibodi dari luar tubuh disebut **imunitas pasif**. Imunitas pasif tidak bertahan lama, tergantung dari lama ketersediaan antibodi di dalam tubuh. ASI (air susu ibu) yang diproduksi di awal pasca persalinan (disebut **colostrum**) diketahui banyak mengandung antibodi dari ibu. Dengan demikian secara alami, bayi memperoleh imunitas pasif dengan mendapat suplai antibodi dari ASI. Pada kasus pasien yang kritis atau mengalami penurunan respon imun, suplai antibodi dapat diberikan secara buatan dengan donor plasma. Individu yang sehat dengan produksi antibodi yang melimpah dapat mendonorkan plasma darahnya tersebut pada individu lain.



### Ayo Mengingat Kembali

Untuk memudahkan Kalian dalam mempelajari kembali ciri dan contoh tipe imunitas tubuh. Salinlah Tabel 5.8 pada buku latihan Kalian dan isilah jawabannya.

Tabel 5.8 Ciri dan Contoh Tipe Imunitas Tubuh

Imunitas	Aktif		Pasif	
Alami	Ciri:		Ciri:	
	Contoh:		Contoh:	
Buatan	Ciri:		Ciri:	
	Contoh:		Contoh:	

## 2. Kelainan Sistem Pertahanan dan Indikasinya

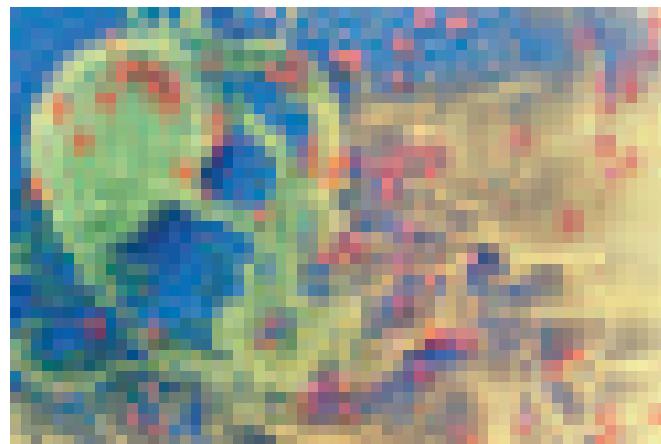
Seperti sistem organ lainnya, sistem imun dapat mengalami berbagai gangguan, baik karena infeksi patogen, faktor genetik, atau kelainan lainnya. Gangguan pada struktur dan fungsi sistem imun tubuh dapat meningkatkan kerentanan tubuh terhadap penyakit. Beberapa jenis kelainan pada sistem kekebalan tubuh adalah sebagai berikut:

### a. Alergi

Alergi adalah muculnya respon imun berlebih terhadap zat atau kondisi tertentu yang normalnya tidak berbahaya bagi tubuh. Respon yang paling umum adalah dibentuknya histamin oleh leukosit meskipun tidak terjadi infeksi. Reaksi tersebut dapat menimbulkan berbagai gejala, seperti pilek, ruam kulit yang gatal, atau bahkan sesak napas. Alergi terjadi karena terlalu sensitifnya sistem imun tubuh. Zat yang dapat memicu respons alergi disebut dengan alergen.

### b. HIV – AIDS

HIV (*Human Immunodeficiency Virus*) virus yang menyerang sistem kekebalan tubuh, khususnya sel limfosit T, sehingga daya tubuh semakin melemah dan rentan diserang berbagai penyakit. Infeksi HIV dapat berkembang menjadi AIDS (*Acquired Immune Deficiency Syndrome*), kondisi dimana tubuh mengalami berbagai gangguan kesehatan akibat penurunan fungsi sistem imun. Penyakit ringan pada orang dengan imunitas normal dapat menjadi mematikan jika terjadi pada penderita AIDS.



**Gambar 5.11** Virus HIV (warna merah) menginfeksi limfosit

Sumber : Jhonson, dkk (2014)

### c. Penyakit Autoimun

Penyakit autoimun adalah kondisi ketika sistem pertahanan tubuh seseorang menyerang tubuhnya sendiri. Umumnya terjadi pada sistem imum spesifik yang kehilangan kemampuan dalam pengenalan sel-sel tubuh. Ada lebih dari 80 penyakit yang digolongkan penyakit autoimun. Beberapa di antaranya memiliki gejala serupa, seperti kelelahan, nyeri otot, dan demam. Beberapa di antaranya disajikan pada Tabel 5.9.

**Tabel 5.9 Beberapa Contoh Penyakit Autoimun**

No.	Penyakit Autoimun	Bagian Tubuh Terdampak	Dampak Utama dari Penyakit
1.	<i>Myastenia gravis</i>	Sambungan neuromuskular	Lemah otot
2.	<i>Multiple sclerosis</i>	Sistem saraf pusat	Kelumpuhan
3.	<i>Rheumatoid arthritis</i>	persendian	Kerusakan sendi secara bertahap
4.	Diabetes melitus tipe 1	Pulau Langerhans pankreas	Kerusakan sel beta penghasil insulin
5.	Lupus	Kulit, ginjal, dan sendi	Penurunan fungsi dan perubahan bentuk tubuh secara bertahap



## Ayo Berkerja Sama

### Aktivitas 5.11

Dalam kegiatan kelompok ini, Kalian akan melakukan aktivitas mengumpulkan data melalui wawancara secara langsung dengan praktisi kesehatan. Kalian dapat menghubungi pusat kesehatan terdekat (misalnya puskesmas atau rumah sakit, tempat vaksinasi atau dokter di daerah tempat tinggal kalian). Pilih salah satu dari tiga topik wawancara berikut!

1. Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya vaksinasi Covid-19 di lingkungan sekitar Kalian.
2. Kondisi terkini gangguan sistem imun tubuh di masyarakat sekitar Kalian.
3. Mitos dan fakta seputar alergi dan langkah efektif mengantisipasinya.

Pastikan Kalian terlebih dahulu menyusun daftar pertanyaan yang akan diajukan. Selain itu, buatlah janji atau izin pada pihak yang akan Kalian kunjungi, pastikan mereka berkenan menerima kunjungan Kalian. Mengingat tidak sedikit yang perlu disiapkan, maka bekerja samalah dengan baik bersama anggota kelompok kalian!



## Ayo Berpikir kreatif

### Aktivitas 5.12

Setelah melakukan wawancara dengan praktisi kesehatan pada Aktivitas 5.11 saatnya Kalian menyajikan hasil penggalian informasi yang telah diperoleh dalam bentuk poster. Poster dibuat untuk menginformasikan hal-hal yang perlu diketahui masyarakat terkait topik wawancara yang kelompok Kalian pilih. Poster dibuat dalam bentuk virtual dengan menuangkan ragam kreasi yang dapat Kalian lakukan. Tentu tidak semua informasi yang Kalian peroleh dalam wawancara dapat Kalian tuangkan dalam poster, maka perlu kreativitas dalam mengemas informasi tersebut. Pastikan poster memuat informasi yang jelas, benar, dan dapat dipahami.



sumber: bnpb (2022)

## Refleksi

Hingga sejauh ini, Kalian telah mempelajari berbagai hal sistem pertahanan dalam tubuh manusia. Sebagai bentuk refleksi dari pembelajaran bab ini, jawablah secara individu pertanyaan reflektif berikut!

1. Pemahaman apa saja yang telah Kalian peroleh dari pembelajaran bab ini?
2. Bagaimana pemahaman tersebut dapat berguna bagi kehidupan Kalian?

## Uji Kompetensi

Bacalah dengan saksama potongan artikel dibawah ini untuk menjawab soal nomor 1-3!

### Sinar Matahari Punya Efek Kompleks Terhadap Kekebalan

Selama beberapa dekade, para ilmuwan telah mengetahui paparan sinar matahari dapat menekan respon sistem kekebalan terhadap infeksi bakteri, virus, dan juga jamur. Menurut artikel di tahun 2010 oleh *Journal of Investigative Dermatology*, paparan sinar matahari dengan dosis 30 hingga 50 UVR dapat menekan sistem kekebalan tubuh menjadi kurang aktif.

Pada saat yang sama sinar matahari juga menyebabkan tubuh memproduksi vitamin D. Hal ini juga dibuktikan dari sebuah studi terbaru di *Nature Immunology* yang menunjukkan sel-T tidak bergerak jika mereka hanya mendeteksi vitamin D dalam jumlah kecil di aliran darah. Selain itu, penelitian lain menunjukkan vitamin D dapat memicu produksi peptida antimikroba di kulit yaitu senyawa yang membantu melindungi tubuh dari infeksi baru.

Sumber : [health.detik.com](http://health.detik.com)

Berdasarkan hasil bacaan Kalian pada potongan artikel di atas, tentukan kesesuaian 3 pernyataan di bawah ini dengan interpretasi informasi dari artikel dengan cara memberi tanda centang (✓) pada kolom yang Kalian pilih!

No.	Pernyataan	S	TS
1.	Perlu dosis paparan yang tepat agar sinar matahari dapat mengoptimalkan fungsi sistem imun tubuh.		
2.	Vitamin D diperlukan tubuh untuk membantu sistem imun dalam mengoptimalkan fungsi pengenalan spesifik terhadap antigen.		
3.	Kebiasaan berjemur di bawah sinar matahari pagi tidak akan efektif jika tubuh dalam kondisi kekurangan vitamin D.		

4. Pelajari dengan saksama informasi pada infografis di bawah ini!

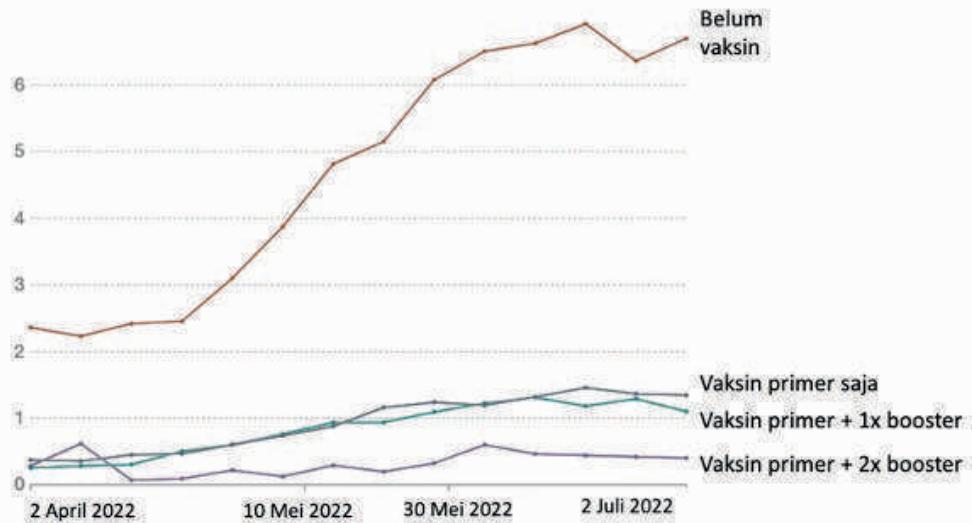


sumber: *The Health Site/ Diolah oleh Esthi Maharani dan mgrol101 (Republika)*

Berdasarkan informasi pada infografis di atas, peran ASI sangat penting bagi pertumbuhan bayi. Peran ini melibatkan manfaat pada proses fisiologis di beberapa sistem organ tubuh. Adapun beberapa sistem organ yang terkait dengan manfaat ASI berdasarkan infografis di atas adalah ...

- a. sistem saraf dan sistem pernapasan
- b. sistem pencernaan dan sistem ekskresi
- c. sistem imun dan sistem saraf
- d. sistem imun dan sistem sirkulasi
- e. sistem sirkulasi dan sistem pernapasan

*Pelajari dengan saksama grafik di bawah ini untuk menjawab soal nomor 5 – 7!*



Grafik di atas menunjukkan perkembangan angka kematian per 10.000 penduduk akibat Covid-19. Data disusun berdasarkan profil tingkat vaksinasi yang telah dilakukan oleh pasien. Berdasarkan hasil penelaah Kalian, tentukanlah pernyataan manakah yang bersifat fakta dan opini terkait informasi yang tergambar pada grafik dengan cara memberi tanda centang pada kolom yang Kalian pilih!

No.	Pernyataan	Fakta	Opini
5.	Semakin banyak dosis vaksin yang diterima seseorang, maka semakin rendah risiko kematianya		
6.	Vaksin <i>booster</i> efektif menurunkan angka kematian akibat Covid-19		
7.	Tingginya angka kematian pada pasien yang belum divaksin menunjukkan rendahnya kesadaran masyarakat pada vaksinasi		

8. Perhatikan informasi di bawah ini!

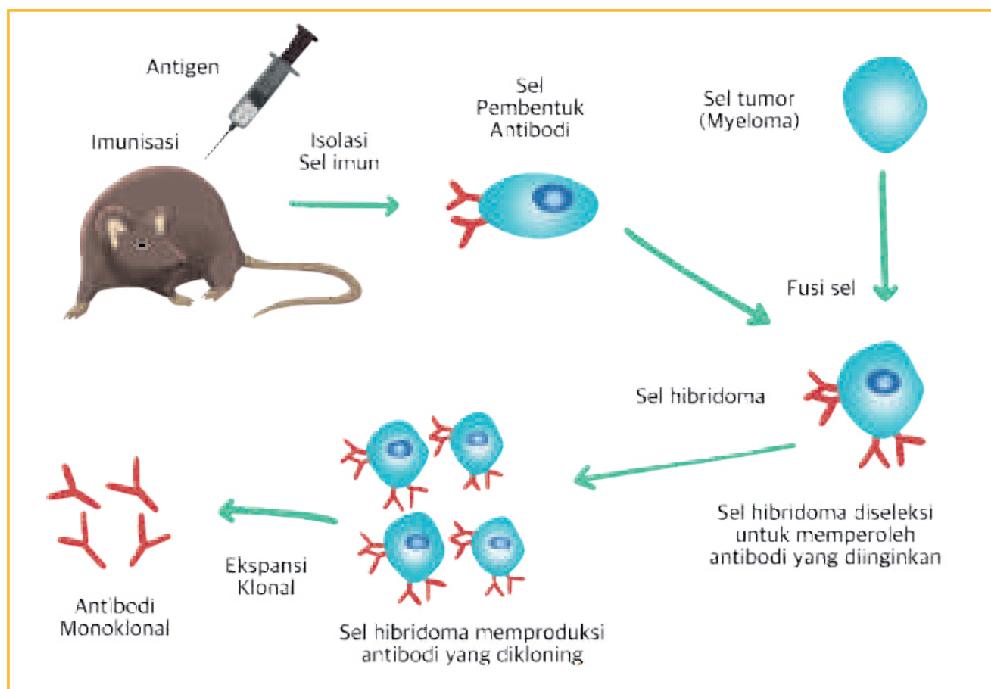
Data World Allergy Organization	Data Klinik Anak RS Cipto Mengkusumo
- 30-40% Penduduk Dunia Mengalami Alergi	- 31% Dari Pasien Anak Alergi Putih Telur
- 500 Juta Orang Didunia Menderita Alergi makanan	- 23,8% Anak Alergi Susu Sapi

Berdasarkan hasil telaah Kalian pada informasi di atas, tentukan manakah fakta numerik yang sesuai dengan informasi tersebut?

- Sebagai tipe kelainan imun yang paling umum, riwayat alergi dimiliki oleh sebagian besar penduduk dunia.
- Lebih dari 20% kasus alergi pada anak terkait dengan konsumsi susu sapi dan olahannya.
- Dibandingkan alergi karena susu, jumlah orang dewasa yang alergi putih telur jauh lebih banyak.
- Dari setiap 10 penduduk dunia, 6-7 orang di antaranya memiliki riwayat alergi.
- Makanan lebih memicu alergi 30% pada anak-anak dibandingkan pada orang dewasa.

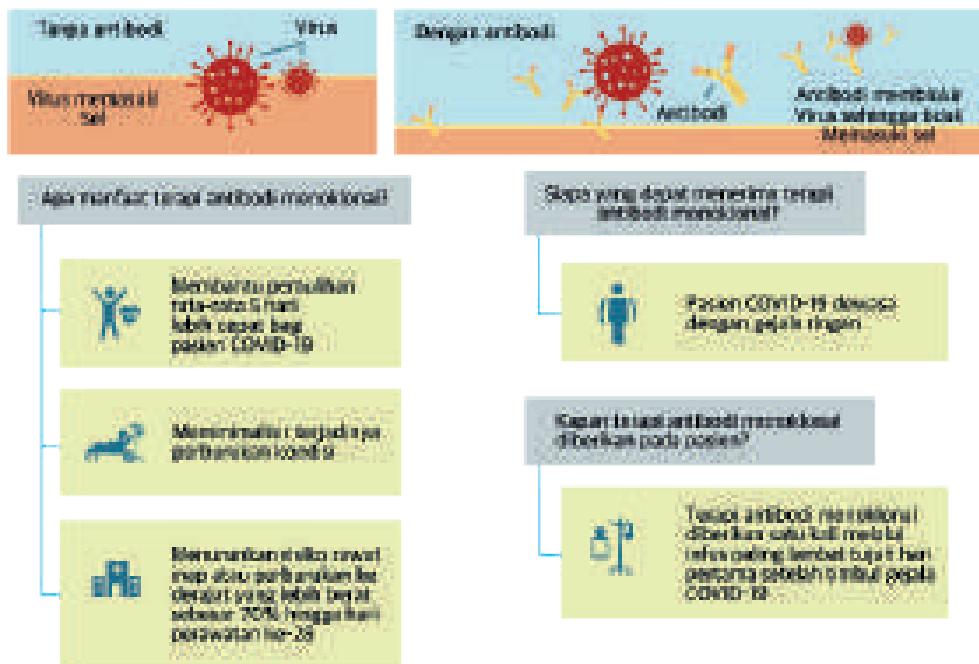
## Pengayaan

Pelajari dengan saksama informasi pada teks dan gambar di bawah ini!



### Antibodi Monoklonal

Penggunaan antibodi monoklonal saat ini sudah digunakan secara luas di banyak negara untuk terapi penyakit maupun deteksi. Banyak aplikasi dari penggunaan antibodi monoklonal, di antaranya sebagai bahan penting dalam penelitian, diagnosis klinis dan pengobatan. Antibodi monoklonal sendiri merupakan antibodi yang spesifik mengenali satu antigen, yang diproduksi dengan menggabungkan sel B (sel imun) yang normal dengan sel *myeloma* (suatu sel kanker) dan selanjutnya dinamakan sel hibridoma. Sel hibridoma memiliki sifat kanker yang aktif membelah sehingga produksi antibodi lebih cepat dan banyak. Sebuah rumah sakit menawarkan terapi antibodi monoklonal untuk mengatasi infeksi Covid-19. Rumah sakit tersebut membuat selebaran tentang layanan mediknya tersebut, seperti gambar pada halaman berikut ini!



Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan tepat!

1. Apa perbedaan antibody biasa dengan antibody monoklonal?
2. Jelaskan bagaimana keterkaitan antara metode pembuatan antibody monoklonal dengan manfaat antibody tersebut dalam tindakan medis?

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 6

# Mobilitas pada Manusia

Tahukah Kalian bagaimana mekanisme tubuh manusia dalam menghasilkan pergerakan tubuh? Bagaimana koordinasi antara alat gerak dan sistem saraf pada tubuh manusia saling bekerjasama dalam menghasilkan pergerakan tubuh?

Sumber gambar: pixabay.com/peexels (2016)

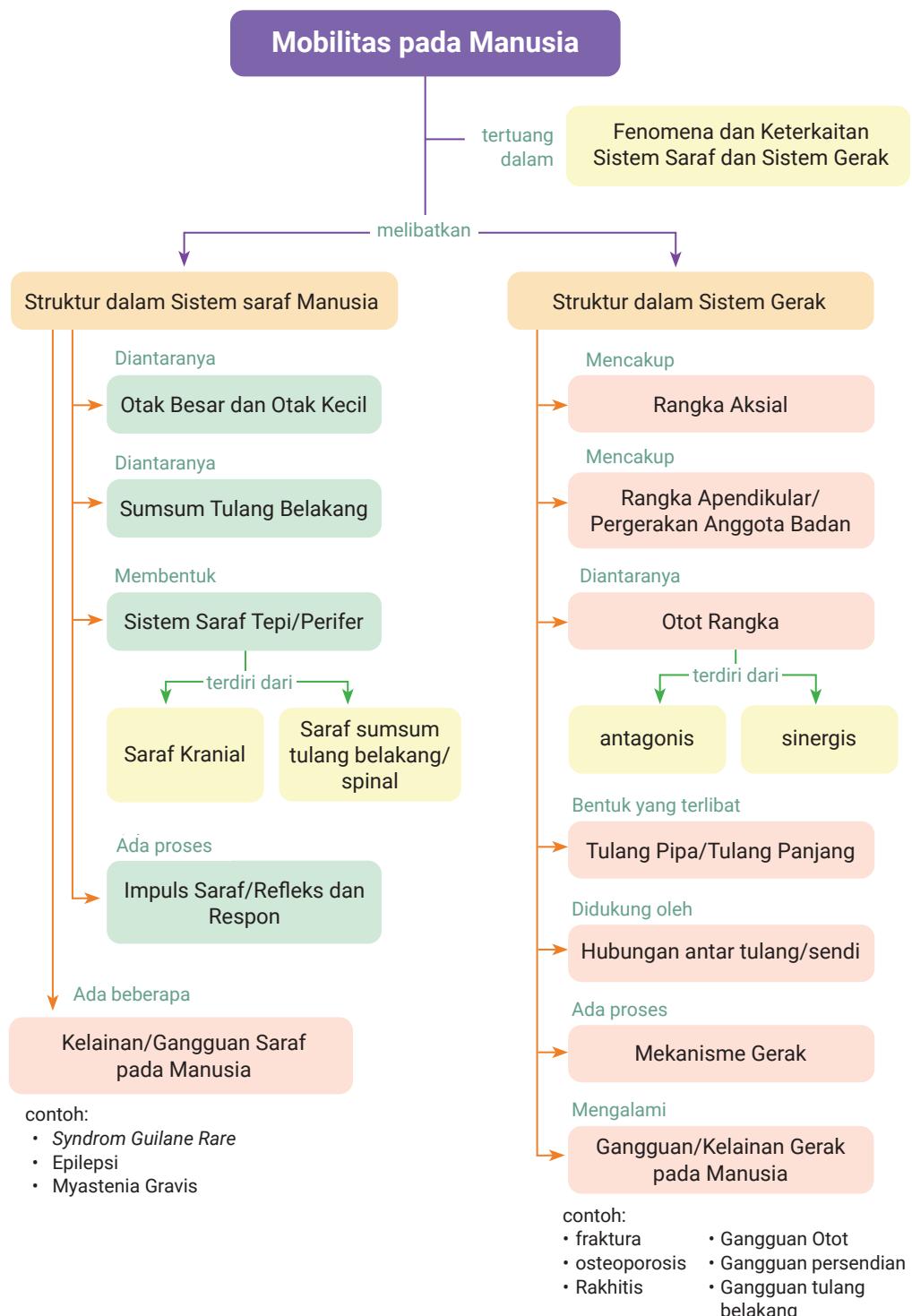
## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu menganalisis keterkaitan peran antar sistem organ dalam proses mobilitas pada tubuh manusia, serta menyelidiki fenomena terkait proses mobilitas pada tubuh manusia beserta kelainannya.

## Kata Kunci

- Apendikular
- Impuls Saraf
- Otak Besar
- Otak Kecil
- Otot Rangka
- Lengkung Refleks
- Saraf Kranial
- Saraf Spinal
- Sendi
- Sumsum Tulang Belakang
- Rangka

## Peta Konsep





### Ayo Mengingat Kembali

Coba Kalian ingat kembali pada materi pertukaran zat, Kalian bereksplorasi melakukan aktivitas fisik untuk mengukur laju pernafasan. Ketika melakukan aktivitas fisik, apakah Kalian melakukan pergerakan cepat atau lembat? Apakah Kalian bergerak di dalam kelas atau berkerak ke luar kelas?

Sekarang Kalian akan membahas proses pergerakan yang melibatkan sistem saraf dan sistem gerak yang terjadi pada organ tubuh manusia yang terkoordinasi dengan sempurna dalam aktivitas sehari-hari, dan kelainan serta gangguannya.

Pernahkah Kalian memperhatikan bahwa makhluk hidup bergerak? Pernahkah Kalian menggerakkan bagian tubuh Kalian, misalnya berolahraga? Tampaknya olahraga banyak berperan dalam tubuh kita, ketika olah raga peran sistem saraf dan sistem gerak bekerja secara harmonis yang merupakan sistem pengatur utama dalam proses pergerakan.

Sekarang Kalian akan belajar bagaimana gerakan bekerja pada manusia, dimana sistem yang terlibat dalam proses gerakan diantaranya peran sistem saraf pusat (SSP) yang secara terus menerus menerima rangsangan dari lingkungan eksternal dan internal melalui neuron yang mengirimkan instruksi ke otot, untuk membangkitkan reaksi sehingga terjadi gerakan.

Seperti yang Kalian ketahui, otot berperan dalam proses pergerakan, misalnya kontraksi otot rangka yang menggerakan tulang. Proses pergerakan otot dalam tubuh dalam melakukan berbagai fungsi motorik yang dikendalikan oleh sistem saraf secara bersamaan dan konsisten.

## A. Struktur dan Fungsi pada Sistem Saraf

Sistem saraf manusia dan hewan memiliki organ dengan bentuk, sifat dan mekanisme yang saling mendukung untuk melakukan tugasnya. Untuk mempelajari lebih dalam, sekarang Kalian akan membahas bentuk dan fungsi organ-organ sistem saraf yang bekerja sama dalam fungsi fisiologis tubuh manusia.

Sekarang akan dibahas beberapa organ yang terdapat dalam sistem saraf manusia satu per satu supaya Kalian mudah melihat bentuk dan fungsi secara nyata dan jelas. Tapi sebelumnya kalian dapat melihat contoh gangguan fungsi organ sistem saraf pada tubuh manusia. Gangguan saraf dan pergerakan yang adakalanya muncul pada orang-orang Indonesia dan dunia. Silahkan Kalian melakukan kegiatan di bawah ini.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 6.1

Sekarang Kalian akan belajar mengenai sistem saraf yang tentunya melibatkan proses pergerakan juga, Kalian pernah mendengar saraf kejepit? Apa itu saraf kejepit dan bagaimana untuk mengantisipasinya supaya Kalian tidak mengalami gangguan saraf kejepit?

Silahkan Kalian mencari referensi dengan menonton Video di Youtube dengan kata pencarian "saraf kejepit / saraf terjepit". Setelah Kalian mendapatkan referensi, tuliskan jawaban dari pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Apa yang menyebabkan saraf kejepit?
2. Bagian apa yang terganggu dalam kondisi saraf kejepit tersebut?

Setelah Kalian melihat fakta di atas, sekarang Kalian akan mencoba mengamati langsung torso organ sistem saraf yang ada di Laboratorium Biologi sekolah Kalian. Silahkan Kalian mencoba dan pikirkan hal yang paling menarik dari proses pengamatan dan diskusikan dengan teman serta gurumu.



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 6.2

Pada kegiatan ini Kalian akan melakukan observasi pada torso otak dan sumsum tulang belakang yang berada di laboratorium biologi sekolah Kalian. Pertanyaan apa yang dapat Kalian ajukan setelah mencermati bentuk otak dan sumsum tulang belakang baik melalui demonstrasi atau pengamatan langsung apabila dikaitkan dengan fungsi organ dalam sistem saraf!

Setelah Kalian mengamati torso sistem saraf, sekarang Kalian akan membahas secara mendalam organ-organ dalam sistem saraf dan kaitannya dengan fungsinya.

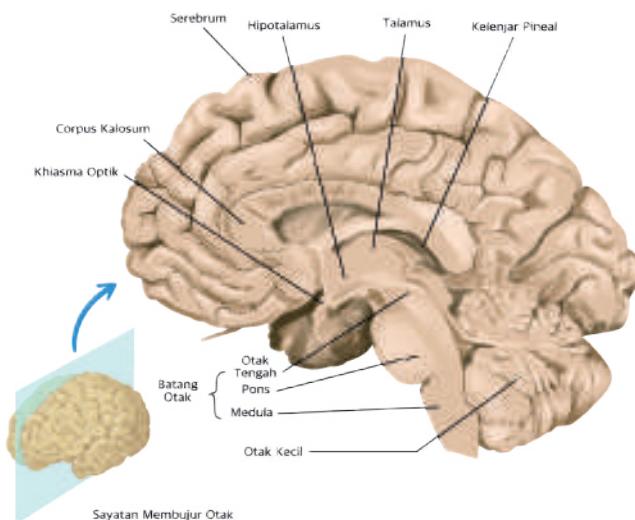
## 1. Struktur dan Fungsi dalam Sistem Saraf Manusia

### Sistem Saraf Pusat

#### a. Otak

Pernahkah Kalian menarik tangan dari benda yang panas? Atau menangkis bola Ketika ada bola yang menghampiri badan Kalian? Apa yang menyebabkan hal itu terjadi? Hal itu terjadi karena ada mekanisme refleks dalam tubuh, refleks itu dikontrol oleh sistem saraf, sistem saraf manusia terdiri atas sistem saraf pusat dan sistem saraf perifer. Sistem saraf pusat terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang. Sistem saraf perifer terdiri atas 12 pasang saraf kranial dan 31 pasang saraf spinal. beberapa bagian pada Sistem Saraf perifer terlibat dalam gerak refleks.

Pernahkah Kalian mendengar tentang gangguan ataksia? Ataksia seperti gangguan gerak tubuh yang disebabkan oleh masalah di otak yang menyebabkan gangguan saraf untuk koordinasi gerak tubuh dan keseimbangan. Apa itu penyakit degeneratif yang menyerang sumsum tulang belakang, batang otak, atau otak? Penyakit ini menyebabkan ketidakmampuan untuk bergerak dengan baik, kurangnya keseimbangan tubuh dan kesulitan melakukan gerakan sadar. Apakah otak penting bagi tubuh manusia? Sekarang Kalian akan membahas otak besar (serebrum), otak kecil (serebelum), dan bagian otak yang lain. Adapun bagian otak ditunjukkan pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1 Bagian-bagian otak

## 1) Otak Besar (*Serebrum*)

Proses pergerakan dalam mobilitas tentunya memerlukan fungsi otak yang optimal, misalnya ketika Kalian akan mengambil pensil yang ada di depan Kalian, pasti ada koordinasi dan kerjasama antara otak, alat indera dan alat gerak. Oleh karena itu, untuk memahami fungsi otak dalam mobilitas, sekarang Kalian akan mempelajari struktur dan fungsi otak besar dalam mobilitas secara mendalam.

Otak besar atau serebrum merupakan bagian terbesar dari otak. Otak besar berperan sebagai saraf pusat yang mengontrol aktivitas sensorik dan motorik serta kecerdasan. Lapisan luar otak besar, korteks serebral, terdiri dari: serabut saraf tidak bermielin (materi abu-abu). Lapisan dalam serebrum terdiri dari serabut saraf bermielin (materi putih). Ganglia basal, yang mengontrol koordinasi dan gerakan motorik, ditemukan di materi putih.



Ayo Bereksplorasi

Aktivitas 6.3

### Kegiatan 1

Untuk Simulasi Virtual Laboratorium tentang bagian-bagian luar dan dalam dari otak, silahkan kunjungi tautan berikut!

[ringkas.kemdikbud.go.id/SimulasiVirtual](http://ringkas.kemdikbud.go.id/SimulasiVirtual)

Setelah Kalian melakukan simulasi virtual di atas, tuliskan bagian-bagian otak dengan lengkap di buku catatanmu dan diskusikan hal yang kurang paham dengan teman atau guru Kalian! Lalu Kalian buat ilustrasi/skema otak dalam bentuk poster sederhana!

### Kegiatan 2

Untuk Simulasi Virtual Laboratorium tentang aktivitas neuron di otak, silahkan kunjungi tautan berikut!

[s.id/1rOPv](http://s.id/1rOPv)

Setelah Kalian melakukan simulasi virtual pada halaman sebelumnya, gambarkan hasil pangamatan Kalian dalam bentuk skema gambar yang jelas dan sistematis disertai keterangan bagian yang terlibat dalam proses tersebut di buku catatanmu dan diskusikan dengan teman atau guru Kalian!

Setelah Kalian melakukan simulasi Laboratorium Virtual tentang aktivitas neuron di otak, sekarang Kalian akan menganalisis bagaimana tremor itu terjadi pada manusia? Tremor merupakan salah satu kelainan yang melibatkan aktivitas neuron yang terjadi secara berulang dan tidak disengaja. Untuk menjawab rasa ingin tahu Kalian, ayo lakukan kerjakan Aktivitas 6.4.



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 6.4

#### Tremor

Tremor adalah gerakan gemtar yang terjadi secara berulang tanpa disengaja. Tremor umumnya terjadi di tangan dan kepala, tapi dapat juga terjadi di bagian tubuh lain, seperti kaki, perut, dan pita suara.

Meski umumnya tidak mengancam nyawa, tremor dapat mengganggu aktivitas sehari-hari. Orang yang mengalami tremor akan kesulitan untuk melakukan aktivitas atau pekerjaan, seperti menulis, berjalan, menuap makanan, atau menggenggam benda.

Tremor disebabkan oleh gangguan pada area otak yang berfungsi mengatur pergerakan otot. Tremor dapat terjadi tanpa penyebab yang jelas, tetapi sering kali kondisi ini merupakan gejala dari suatu penyakit. (*Sumber: <https://www.alodokter.com/jenis-jenis-kelainan-pada-sistem-gerak>*)

Dari teks di atas jelaskan 2 alternatif pencegahan dan 2 solusi penyembuhan kondisi tremor tersebut! Tuliskan jawabanmu di buku catatan!

## 2) Otak Kecil

Coba Kalian amati dengan saksama Gambar 6.1, Kalian akan melihat ada bagian otak kecil yang berada di bagian belakang bawah. Otak kecil adalah wilayah terbesar kedua otak. Itu terletak di belakang dan di bawah otak besar. Seperti otak besar, otak kecil memiliki dua bola hemisfer dan memiliki korteks luar materi abu-abu dan bagian dalam

inti materi putih. Serebelum berfungsi untuk mempertahankan tonus otot, mengkoordinasikan gerakan otot, dan mengontrol keseimbangan. Sekarang Kalian akan melakukan analisa dari cerita seseorang yang mendapatkan fakta tentang otak. Ayo kerjakan Aktivitas 6.5 berikut!



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 6.5

#### Otak Sebagai Pusat Kesadaran

Andi menemukan seorang pria terbaring di teras masjid saat fajar menjelang subuh. Andi bingung apakah orang ini masih hidup atau sudah meninggal. Andi kemudian mencoba untuk membangunkan orang tersebut dengan cara memanggil bapak tersebut: "Pak, pak, pak" tetapi tidak bangun juga. Andi kemudian mencoba menepuk nepuk pundak bapak tersebut, bapak tersebut kemudian bangun dan berkata: "Ada apa ya mas?". Andi kemudian bertanya kepada bapak tersebut: "Bapak siapa? rumahnya dimana?". Bapak tersebut diam sesaat dengan raut kebingungan, kemudian menjawab: "Saya pedagang krupuk mas, saya dari Surabaya". Andi menjawab: "Oh baiklah kalau begitu pak". Andi bersyukur ternyata bapak yang dia temui masih dapat merespon panggilan, pertanyaan, dan memiliki memori jangka panjang yang baik. Sehingga Andi menyimpulkan bapak tersebut dapat sadar penuh.

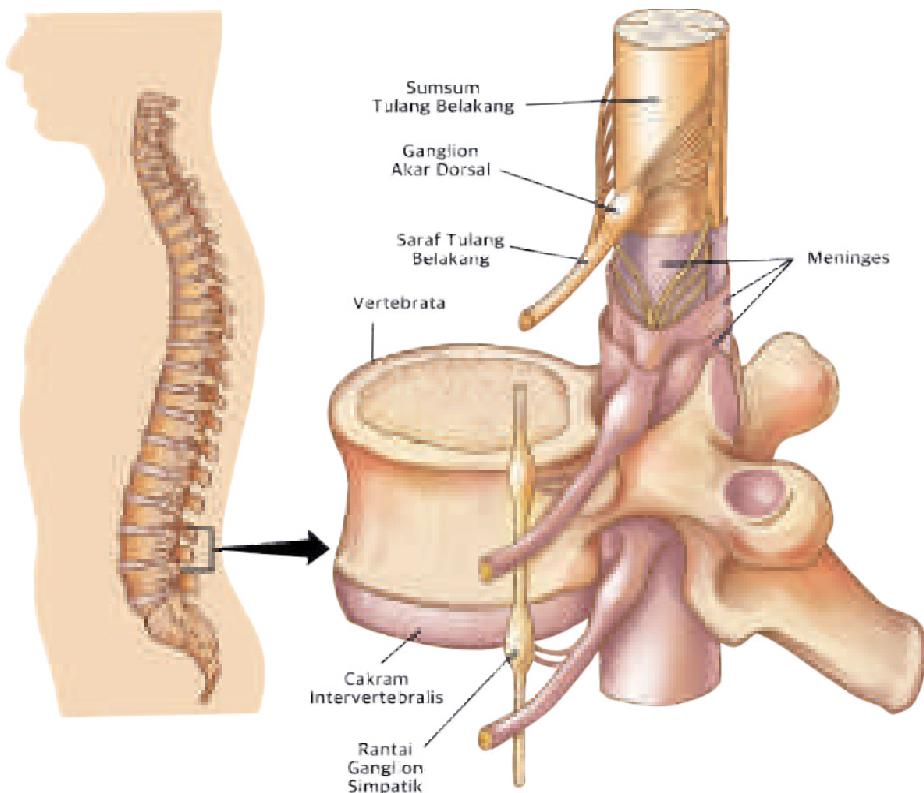
##### Pertanyaan

1. Terkait kasus dalam teks di atas, coba rumuskan 3 pertanyaan yang dapat kalian ajukan!
2. Apa yang dapat Kalian usulkan kepada Andi dari peristiwa di atas, apabila dihubungkan dengan proses mobilitas tubuh?

## 2. Sumsum Tulang Belakang

Sumsum tulang belakang adalah struktur silinder di saluran tulang belakang yang memanjang dari foramen magnum di dasar tengkorak hingga daerah lumbal atas dari tulang belakang. Di dalam sumsum

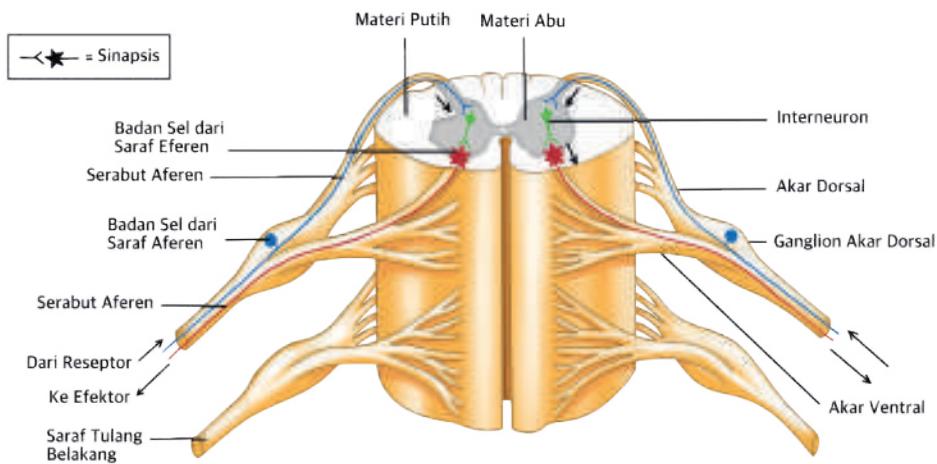
tulang belakang, massa materi abu-abu berbentuk H dibagi menjadi tanduk. Tanduk terutama terdiri dari badan sel neuron. Badan sel di dua tanduk dorsal (*posterior*) terutama menyampaikan sensasi, badan sel di dua tanduk ventral (*anterior*) berperan dalam aktivitas motorik sadar dan refleks. Materi putih mengelilingi tanduk. Materi putih ini terdiri dari serabut saraf bermielin dikelompokkan dalam kolom vertikal, atau traktus (kumpulan serabut saraf). Dengan kata lain, semua akson yang menyusun satu saluran melayani satu fungsi umum, seperti sentuhan, gerakan, nyeri, dan tekanan.



Gambar 6.2 Lokasi sumsum tulang belakang

### 3. Sistem Saraf Tepi/Perifer

Coba kalian perhatikan gambar sumsum tulang belakang pada Gambar 6.3, terlihat jenis-jenis neuron yang terdapat dalam sumsum tulang belakang yang berperan dalam sistem saraf.



**Gambar 6.3** Anatomi dalam sumsum tulang belakang

Sistem Saraf Tepi merupakan bagian dari sistem saraf, dimana neuronnya dibagi menjadi bagian aferen dan eferen. Bagian aferen membawa informasi ke SSP, sedangkan eferen berarti membawa informasi dari SSP. Adapun tiga kelompok fungsional neuron yang membentuk sistem saraf adalah neuron aferen, neuron eferen, dan interneuron.

Sistem saraf tepi terdiri atas saraf kranial dan saraf tulang belakang. Sekarang Kalian akan membahas lebih terperinci tentang saraf kranial dan saraf tulang belakang.

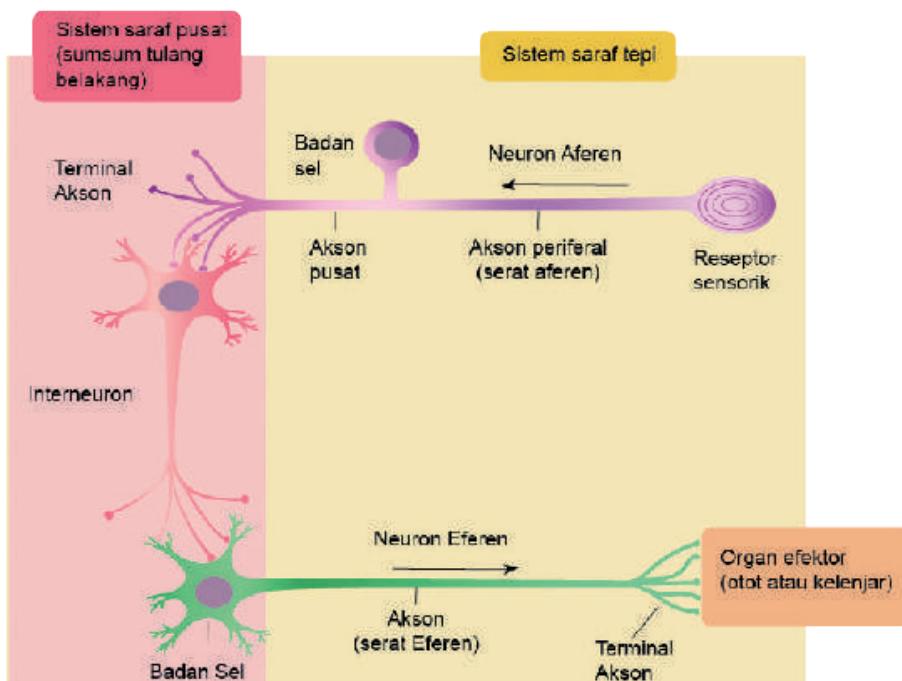
#### a. Saraf Kranial/Saraf Otak

Dua belas pasang saraf kranial mentransmisikan pesan motorik atau sensorik (atau keduanya) terutama antara otak atau batang otak dan kepala dan leher. Semua saraf kranial kecuali olfaktorius dan optikus saraf keluar dari otak tengah, pons, atau medula oblongata dari batang otak.

Saraf kranial adalah kumpulan saraf sensorik dan serabut motorik yang mempersarafi otot atau kelenjar, membawa impuls dari reseptor sensorik, atau memiliki kombinasi motorik dan serat sensorik. Disebut saraf kranial karena muncul melalui foramen atau celah di krani dan ditutupi oleh selubung tubular yang berasal dari meningen kranial. Ada 12 pasang saraf kranial, yang diberi nomor I-XII, dari rostral ke caudal. Nama saraf kranial mencerminkan distribusi umum atau fungsinya.

## b. Saraf Tulang Belakang/Saraf Spinal

Masing-masing dari 31 pasang saraf tulang belakang diberi nama untuk vertebra (tulang belakang tepat di bawah titik keluar saraf dari sumsum tulang belakang). Setiap saraf tulang belakang terdiri dari aferen (sensorik) dan neuron eferen (motorik), yang membawa pesan ke dan dari daerah tubuh tertentu, yang disebut area kulit yg dipersarafi serabut saraf spinal.



Struktur dan lokasi dari tiga kelas fungsional neuron. \*Jalur saraf otonom eferen terdiri dari rantai dua neuron antara SSP dan organ efektor.

Gambar 6.4 Struktur dan lokasi jenis-jenis neuron

Coba Kalian ingat ketika akan mengambil baju seragam untuk dipakai pada hari Senin? Ketika mau mengambil baju seragam, mata Kalian akan memilih seragam yang akan digunakan pada hari Senin, lalu tangan Kalian akan langsung mengambil seragam yang sesuai, dengan adanya perintah dari saraf pusat. Bagaimana peran jenis neuron aferen, eferen dan interneuron ketika Kalian mengambil seragam yang akan digunakan hari Senin tersebut? Sekarang akan dibahas prosesnya bagaimana pergerakan itu terjadi yang merupakan kombinasi

antara peran saraf dengan reseptornya dan otot milik Kalian sebagai efektornya, prosesnya seperti terlihat pada Gambar 6.4. Ketika mata Kalian mencari dan melihat seragam yang akan digunakan maka reseptor dari saraf yang ada di alat indera bekerja, lalu diteruskan oleh neuron aferen ke pusat saraf yang banyak memiliki interneuron dan diteruskan ke efektor dalam hal ini adalah otot tangan untuk mengambil seragam hari Senin tadi oleh neuron eferen dalam melakukan pergerakan.

Sekarang Kalian akan membahas tentang pembagian aferen dalam sistem saraf tepi yang terdiri dari neuron aferen, yang bentuknya berbeda dari neuron eferen dan interneuron yang berada di ujung perifer. Neuron eferen terletak terutama di sistem saraf perifer. Badan sel neuron eferen berasal dari SSP, dimana banyak input prasinaptik yang terletak di pusat berkumpul untuk mempengaruhi output mereka ke organ efektor.

Sekitar 99% dari semua neuron adalah interneuron, yang seluruhnya terletak di dalam SSP. SSP manusia diperkirakan memiliki lebih dari 100 miliar interneuron. Seperti namanya, interneuron terletak di antara neuron aferen dan eferen dan penting dalam mengintegrasikan respons periferal ke informasi periferal. Sekarang Kalian akan menelaah struktur dari neuron, lakukanlah Aktivitas 6.7 dengan laboartorium virtual untuk memahami tentang neuron (sel saraf).



### Ayo Bereksplorasi

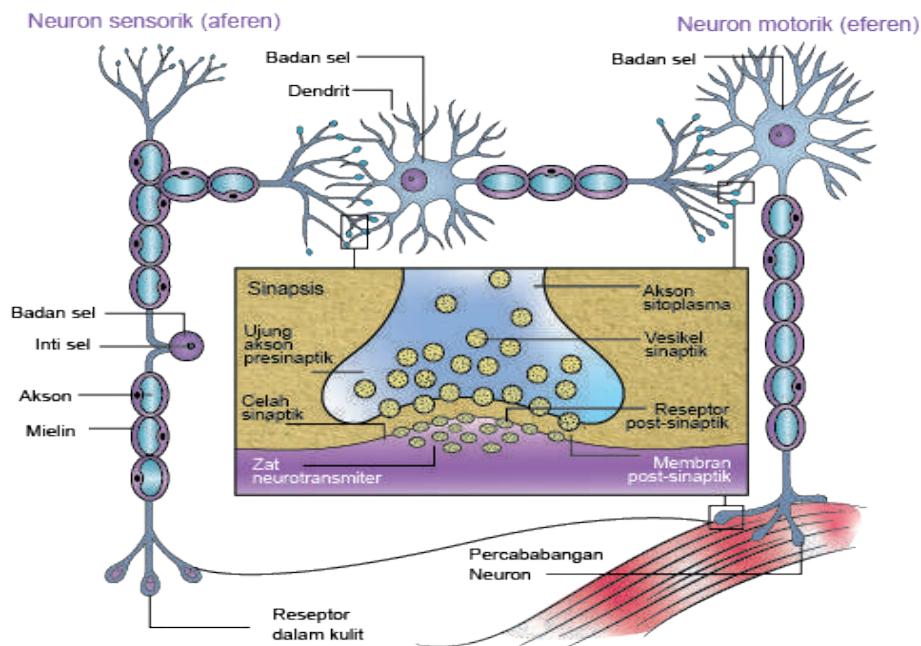
### Aktivitas 6.6

Untuk Simulasi Virtual Laboratorium tentang sel saraf, silahkan kunjungi tautan berikut!

[s.id/1rORf](https://s.id/1rORf) (tautan lengkap: [www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:231cc3f0:lx\\_simulation:1](http://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:231cc3f0:lx_simulation:1))

Setelah Kalian melakukan simulasi virtual di atas, tuliskan bagian-bagian sel saraf yang terlibat dalam pergerakan, lengkapi dengan keterangan gambar pada di kertas A4 dan diskusikan dengan teman atau guru Kalian!

Setelah melakukan Aktivitas 6.7, Kalian sekarang akan mencermati gambar di bawah ini untuk lebih memahami tentang fungsi neuron dalam penyalaran impuls.



**Gambar 6.5** Neuron dan penjalaran impuls

Sumber: Allen, Berger, Cameron, et.al. (2009)

Proses transmisi impuls melalui neuron sensorik yang berperan sebagai neuron aferen dan neuron motorik yang berperan sebagai neuron eferen dihubungkan oleh interneuron untuk mengirimkan impuls dari satu neuron ke neuron lainnya. Di bawah ini Kalian akan memanfaatkan teknologi dalam memahami penjalaran impuls melalui laboratorium virtual. Untuk itu, ayo lakukan Aktivitas 6.8 dengan cermat.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 6.7

Untuk Simulasi Virtual Laboratorium tentang neurofisiologi dan proses informasi, silahkan kunjungi tautan berikut!

**s.id/1u7Cm** (tautan lengkap: [https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:86ca439b:lx\\_simulation:1](https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:86ca439b:lx_simulation:1))

Setelah Kalian melakukan simulasi virtual di atas, tuliskan skema yang sistematis tentang proses neurofisiologi dan bagaimana pemrosesan informasi yang terjadi dalam sistem saraf di buku catatanmu dan diskusikan dengan teman atau guru Kalian!

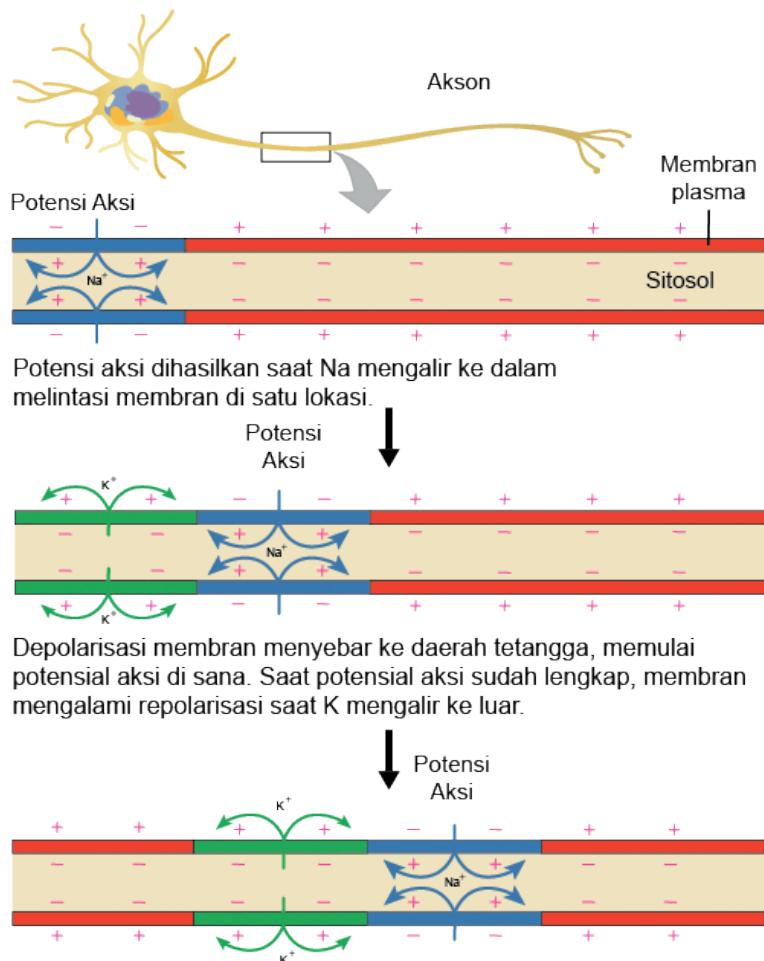
## 4. Proses Impuls Saraf

Pernahkah Kalian merasakan ketika disentuh oleh teman? Apakah Kalian langsung merasakannya dan ada organ Kalian yang bergerak? Sebenarnya itu melalui proses impuls saraf yang cukup kompleks dalam tubuh. Adapun prosesnya adalah neuron menerima dan mengirimkan rangsangan melalui pesan elektrokimia. Dendrit pada neuron menerima impuls yang dikirim oleh sel lain dan menghantarkannya menuju badan sel. Akson kemudian menghantarkan impuls menjauhi sel. Itu terjadi begitu cepat sehingga sentuhan cepat terasa.

Proses selanjutnya, ketika impuls mencapai ujung akson, maka akan merangsang vesikel sinaptik di terminal akson presinaptik. Substansi neurotransmitter kemudian dilepaskan ke celah sinaps antar neuron. Zat ini berdifusi melewati celah sinaps dan bergerak masuk ke neuron yang lain melalui membran neuron postsinaps. Proses perpindahan neurotransmitter akan memengaruhi kecepatan penjalanan impuls yang bergerak ke postsinaps.

Rangsangan merupakan segala sesuatu yang mengalami perubahan yang dapat mempengaruhi polaritas sel saraf. Misalkan perubahan intensitas cahaya, zat kimiawi yang menguap dan sampai pada reseptor di hidung, perubahan tekanan pada kulit, perubahan suhu dan lain sebagainya.

Rangsangan dapat bersifat kimiawi ataupun fisik namun semuanya ketika sedah mencapai sel saraf maka akan dirubah menjadi impuls (listrik) kemudian impuls itulah yang akan menjalar dari satu sel saraf ke sel lainnya. Berikut ini akan dijelaskan bagaimana potensial aksi pada neuron ketika proses mobilitas.



**Gambar 6.6** Potensial aksi pada neuron

Kondisi normal potensial aksi pada neuron seperti yang sudah ditunjukkan pada Gambar 6.6 merupakan kondisi normal. Adakalanya dalam penjalaran impuls atau potensial aksi mengalami gangguan atau kelainan pada beberapa kasus mobilitas yang tidak normal salah satunya adalah epilepsi. Epilepsi merupakan kelainan kronik yang dicirikan oleh serangan mendadak dan berulang-ulang yang disebabkan oleh impuls berlebihan sel-sel saraf dalam otak. Serangan dapat berupa sawan, hilang kesadaran beberapa saat, gerak atau sensasi aneh bagian tubuh, tingkah laku aneh, dan gangguan emosional. Serangan epilepsi umumnya berlangsung hanya 1-2 menit. Kemudian diikuti oleh kelemahan, kebingungan, atau kekurangtanggapan.



### Ayo Berpikir Kritis

### Aktivitas 6.8

Setelah Kalian mengetahui tentang potensial aksi dan sinapsis dalam proses penjalaran impuls, ajukan dua hipotesis untuk menjelaskan bagaimana berbagai anestetik dapat mencegah nyeri!

## 5. Lengkung Refleks

Pernahkah Kalian terpeleset? Lalu, Kalian menahan atau menopang badan kalian menggunakan tangan sebelum terjatuh? Bagaimana hal itu dapat terjadi? Hal itu terjadi melalui mekanisme lengkung refleks. Adapun mekanisme gerakan yang melibatkan proses lengkung refleks itu adalah sebagai berikut.

- Lengkung refleks adalah transmisi impuls sensorik ke neuron motorik melalui dorsal akar. Neuron motorik memberikan impuls ke otot atau kelenjar dalam menghasilkan respon atau tanggapan dari rangsangan.
- Respons refleks terjadi secara otomatis, tidak selalu melibatkan otak, untuk memperlancar proses tubuh. Saraf tulang belakang, yang memiliki kedua sensorik dan bagian motorik, memfasilitasi refleks tendon bagian dalam secara tidak sadar terjadi kontraksi otot setelah mengalami peregangan singkat yang disebabkan oleh pemukulan pada tendon, refleks superfisial yaitu refleks penarikan yang ditimbulkan oleh rangsangan berbahaya atau taktil pada kulit atau selaput lendir dan pada bayi seperti refleks yang awal yang mendasar.



### Ayo Mencoba



### Ayo Berkerja Sama

### Aktivitas 6.9

## Refleks pada Manusia

Gerak refleks adalah gerakan yang tidak disadari, yang timbul akibat adanya rangsang. Gerak refleks ini ada yang monosinaptik (*multipolar neurons*) dan ada yang polisinaptik (*bipolar neurons*). Lintasan impulsnya selain melalui susunan saraf tepi, juga mencakup susunan saraf pusat.

**Tujuan:**

Menjelaskan proses gerak refleks pada manusia

**Alat dan Bahan:**

Martil Refleks/Punggung Buku Tebal

Buku Catatan

**Cara Kerja:**

Lakukan kegiatan ini kepada 3-4 siswa anggota kelompok yang ditunjuk menjadi objek praktikum secara bergiliran.

**1. Aktivitas Refleks Lutut**

- Siswa duduk bertumpang kaki (kaki kanan di atas) dan mengalihkan perhatiannya ke sekeliling.
- Praktikan memukul tulang patella kaki kanan siswa (kaki yang bertumpang di atas) dengan martil refleks atau punggung buku.
- Amati gerakan refleks yang terjadi. Catat hasilnya pada lembar kerja (Ditulis berapa lama sampai terjadi gerak refleks).

**2. Aktivitas Refleks Tumit**

- Siswa berdiri dengan kaki kiri atau kaki kanan dibengkokkan dan diletakkan pada kursi. Siswa mengalihkan perhatian ke sekeliling.
- Praktikan memukul tendon *achilles* kaki kiri atau kaki kanan siswa (yang dibengkokkan) dengan martil refleks atau buku tebal.
- Amati dan catat gerak refleks yang terjadi (Ditulis berapa lama sampai terjadi gerak refleks)

## B. Struktur, Fungsi, dan Kelainan serta Gangguan pada Sistem Gerak

### 1. Rangka Manusia sebagai Alat Gerak

#### a. Tulang Penyusun Rangka

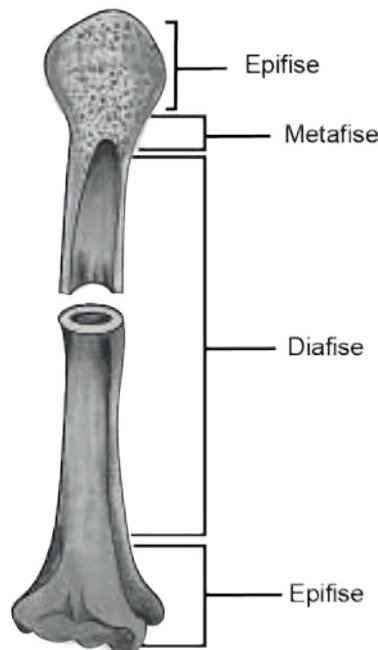
Coba Kalian bayangkan apabila manusia tidak memiliki tulang? Bagimana tulang membentuk postur tubuh dan berapakah jumlahnya?

Untuk pertanyaan itu, Kalian akan dapat menjawabnya dengan mempelajari secara terperinci bahasan berikut ini.

Orang dewasa mempunyai 206 tulang sedangkan bayi memiliki lebih dari 300-340 tulang. Penyebabnya adalah saat tubuh bayi tumbuh, beberapa tulang yang terpisah menyatu membentuk satu tulang. Tulang-tulang tersebut merupakan jaringan ikat yang tersusun dari matriks tulang. Matriks ini mengandung garam-garam organik yang mengalami mineralisasi. Komponen tulang terdiri atas air sebanyak 25%, zat organik berupa serabut sebanyak 30%, dan 45% meliputi zat mineral kalsium fosfat dan garam magnesium. Saat terjadi infeksi atau cidera, tulang akan segera mengalami pemulihan. Ini terjadi karena tulang memiliki daya regenerasi dalam proses pemulihan diri yang sangat besar.

### b. Bentuk Tulang

Berdasarkan bentuknya, tulang dibedakan menjadi empat jenis meliputi tulang pipa, tulang pipih, tulang pendek, dan tulang tak beraturan, tetapi yang berperan langsung untuk mobilitas adalah tulang pipa, coba perhatikan Gambar 6.7.

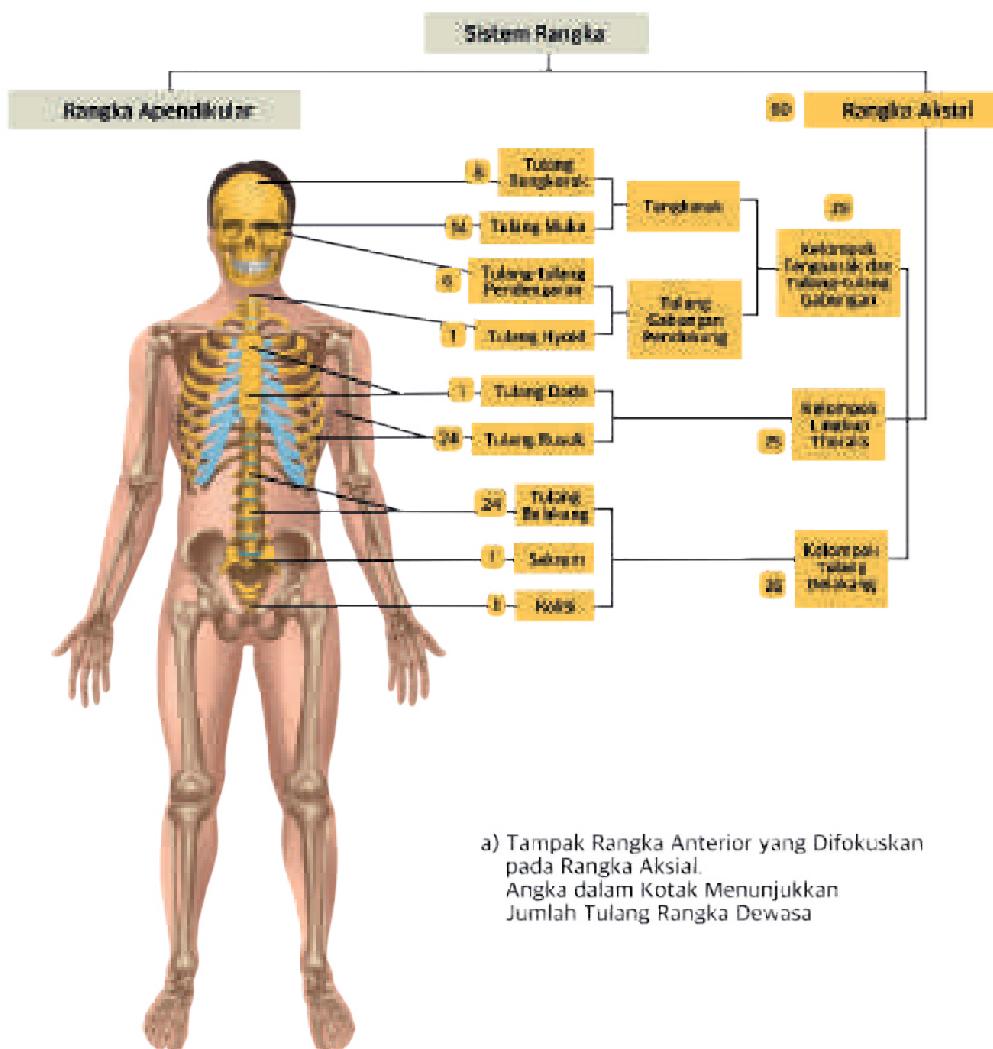


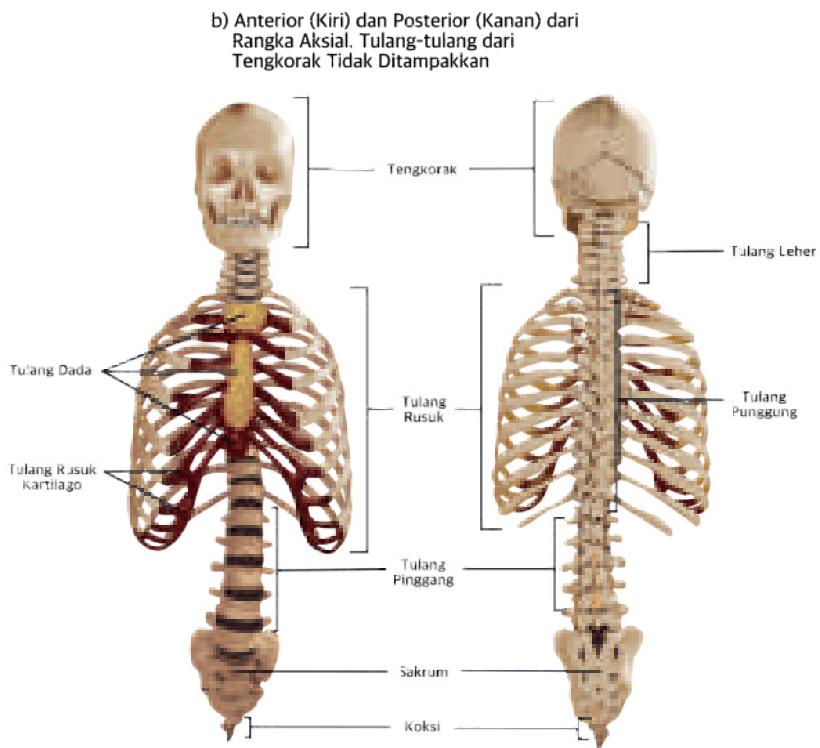
Gambar 6.7 Struktur tulang pipa

Tulang tersebut dinamakan tulang pipa karena berbentuk seperti pipa dengan kedua ujungnya yang bulat. Ujung tulangnya yang berbentuk bulat dan tersusun atas tulang rawan disebut epifise. Bagian tengah tulang pipa yang berbentuk silindris dan berongga disebut diafise. Di antara epifise dan diafise terdapat bagian yang disebut metaphise. Metaphise tersusun atas tulang rawan. Pada bagian metaphise ini terdapat cakra epifise, yang memiliki kemampuan memanjang.

### c. Macam-macam Rangka

Rangka tubuh manusia dikelompokkan menjadi 2 bagian, yaitu rangka aksial dan rangka apendikular. Penjelasan terkait rangka aksial dapat kalian lihat pada Gambar 6.8.



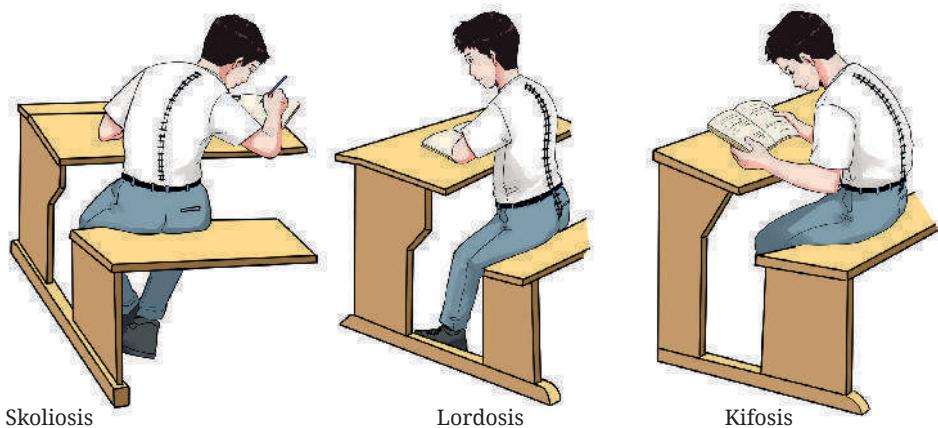


**Gambar 6.8** Rangka Aksial

### 1) Rangka aksial (rangka sumbu)

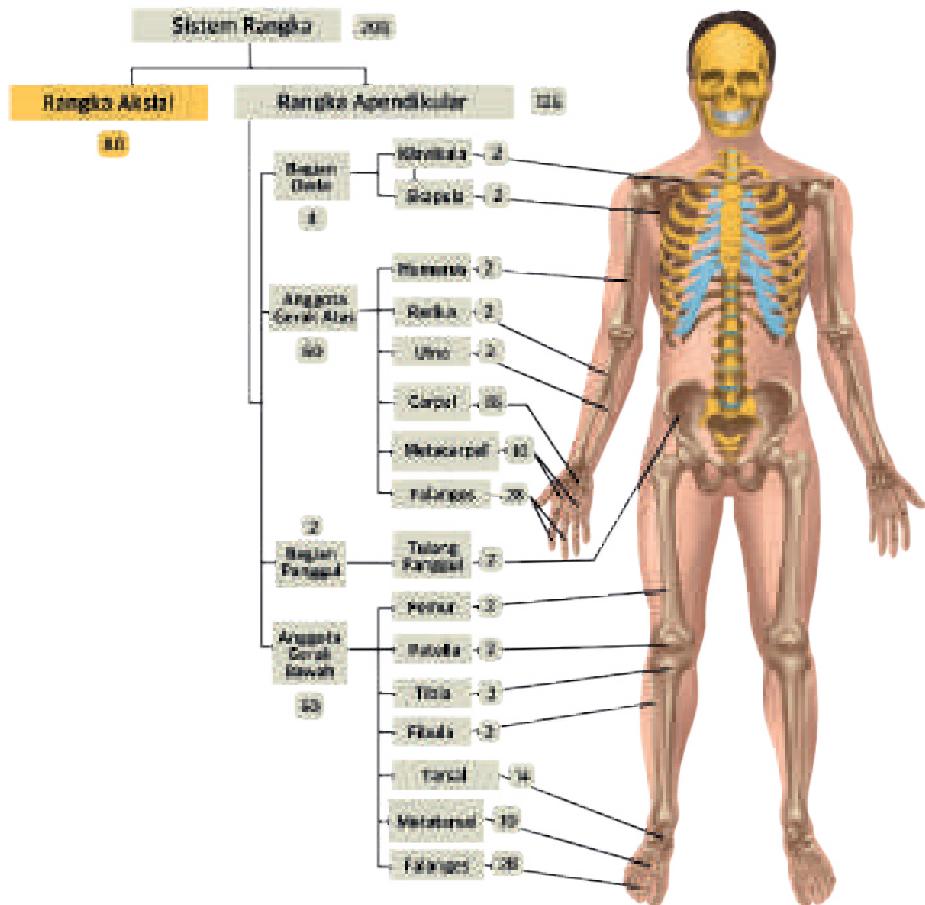
Rangka aksial merupakan jenis rangka yang tidak langsung terkait dengan sistem gerak. Rangka aksial manusia terdiri atas tengkorak, tulang dada, tulang vertebrae dan tulang rusuk.

Contoh kelainan pada rangka aksial diantaranya adalah kelainan pada tulang belakang. Terjadinya kelainan tersebut diakibatkan adanya perubahan posisi tulang belakang yang menyebabkan perubahan kelengkungan pada batang tulang belakang. Kelainan tulang belakang dikelompokkan menjadi tiga, pertama adalah skoliosis yang merupakan proses melengkungnya tulang belakang ke arah samping, kedua kifosis yang merupakan perubahan kelengkungan pada tulang belakang sehingga orang menjadi bongkok yang ketiga adalah lordosis, yaitu melengkungnya tulang belakang di arah pinggang ke arah depan sehingga kepala tertarik ke arah belakang, perhatikan Gambar 6.9 pada halaman berikut.



**Gambar 6.9** Kelainan Tulang Belakang

Pembahasan berikutnya seperti yang terlihat oleh Kalian pada Gambar 6.10 adalah rangka apendikular.



**Gambar 6.10** Rangka Apendikular

## 2) Rangka apendikular (rangka anggota badan)

Rangka apendikular terkait langsung dengan sistem gerak. Rangka apendikular tersusun atas tulang anggota gerak atas dan tulang anggota gerak bawah.

Seperti terlihat di Gambar 6.10, tulang anggota gerak atas manusia terdiri atas tulang bahu (pectoralis), tulang lengan atas (humerus), dan tulang lengan bawah. Tulang bahu ada pada bagian kanan dan kiri tubuh, tersusun atas tulang selangka (clavicula) dan tulang belikat (scapula).

Anggota gerak bawah seperti pada Gambar 6.10 tersusun atas tulang pelvis (pinggul) dan tulang-tulang kaki. Tulang pinggul tersusun atas tulang duduk (ischium), tulang usus (illium), dan tulang kemaluan (pubis). Pada tulang panggul terdapat lekukan yang disebut asetabulum (tempat melekatnya tulang paha). Tulang kaki tersusun atas tulang paha (femur), tulang tempurung lutut (patella), tulang betis (fibula), tulang kering (tibia), tulang pangkal kaki (tarsal), tulang telapak kaki (metatarsus), dan tulang jari kaki (falang).

Proses pergerakan pada rangka apendikular kadangkala mengalami gangguan, seperti fraktura. Fraktura dapat dibedakan menjadi fraktura sederhana adalah fraktura yang tidak melukai otot di sekitarnya, sedangkan fraktura kompleks adalah fraktura yang melukai otot atau organ di sekitarnya. Di bawah ini Kalian akan mencoba melakukan Aktivitas 6.10 untuk lebih memahami gangguan pergerakan yang terjadi pada manusia yaitu fraktura.



### Ayo Berpikir Kritis

### Aktivitas 6.10

Suatu ketika ada pemeriksaan pasien X yang tidak dapat menggerakkan kaki setelah kecelakaan. Dokter langsung melakukan pemeriksaan rontgen kaki pasien X yang cedera.

**Gambar 6.11** Hasil pemeriksaan rontgen kaki pasien X

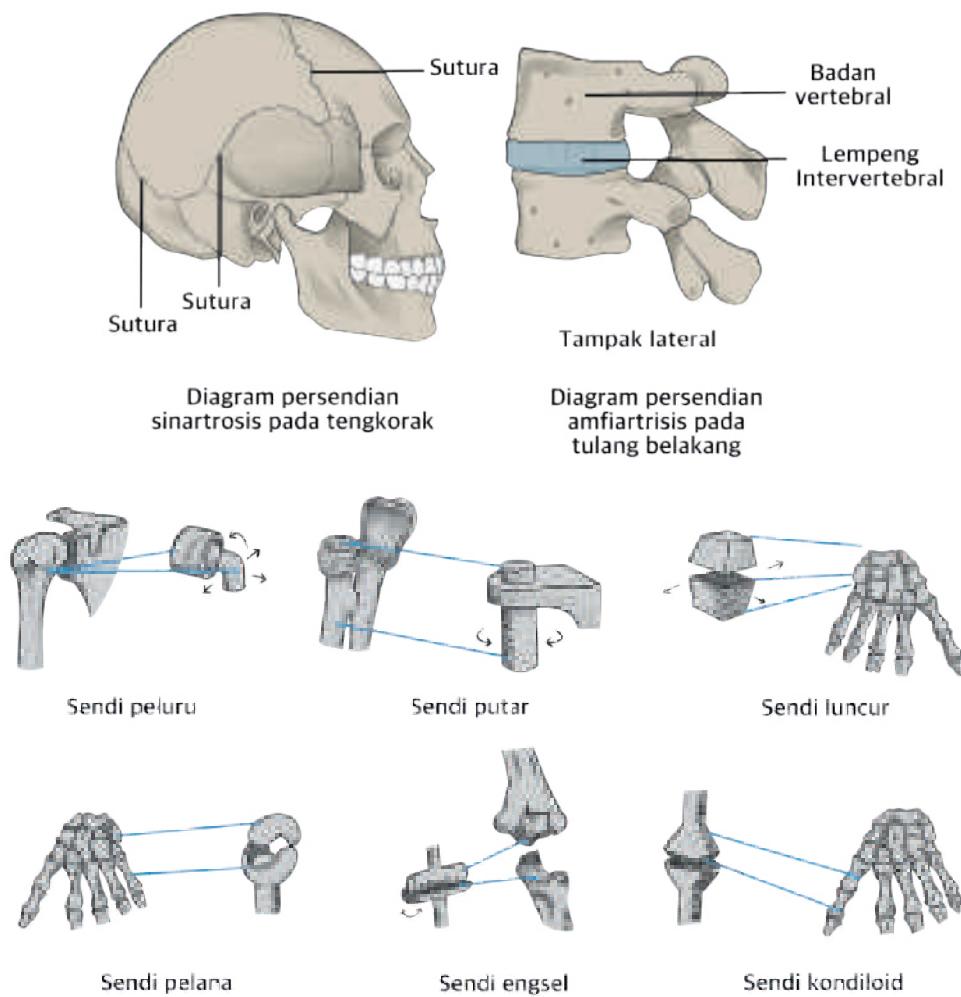
*Sumber: semanticscholar.org/N. Pandey, dkk. (2017)*



Apa hipotesis Kalian setelah Kalian melihat hasil *rontgen* pasien X dihubungkan dengan situasi yang terjadi dengan efek terganggunya fungsi dan pemulihannya pada pasien X?

#### d. Hubungan antar tulang

Hubungan antar tulang yang satu dengan yang lain disebut artikulasi atau sendi. Berdasarkan sifat geraknya, artikulasi dapat dibedakan atas sinartrosis (sendi mati) amfiartrosis (sendi kaku), dan diartrosis (sendi gerak). Coba Kalian amati hubungan antar tulang pada gambar 6.12 di bawah ini!



Gambar 6.12 Sendi/hubungan antar tulang

Setelah Kalian mengamati gambar 6.12, coba pahami lebih jauh tentang hubungan antar tulang yang akan dipaparkan berikut ini.

1. Sinartrosis, adalah hubungan antara kedua ujung tulang yang direkatkan oleh suatu jaringan ikat, yang kemudian mengalami osifikasi (penulangan), sehingga tidak memungkinkan adanya gerakan. Sebagai contoh adalah hubungan antara tulang-tulang tengkorak. Ada dua jenis sinartrosis, yaitu sinkondrosis dan sutura. Sinkondrosis adalah hubungan antar tulang yang dihubungkan oleh kartilago hialin. Sutura adalah hubungan antar tulang yang dihubungkan oleh jaringan ikat serabut padat.
2. Amfiartrosis, adalah bentuk hubungan antara kedua ujung tulang yang dihubungkan oleh jaringan kartilago (tulang rawan), sehingga memungkinkan tetap adanya sedikit gerakan. Adanya sedikit gerakan antara kedua tulang tersebut memungkinkan kita mengatur volume rongga dada, sehingga terjadi proses pernapasan, yaitu inspirasi dan ekspirasi.
3. Diartrosis, adalah hubungan antara tulang yang satu dengan yang lain yang tidak dihubungkan oleh jaringan sehingga memungkinkan terjadinya gerakan tulang secara lebih bebas. Diartrosis disebut sebagai persendian. Terjadinya gerakan yang bebas pada persendian dimungkinkan oleh adanya suatu susunan atau struktur khusus yang dibangun oleh ligamen, kapsul, cairan sinovial, membran sinovial, dan rawan hialin. Hubungan antartulang yang bersifat diartrosis sebagai bentuk persendian diantaranya adalah sendi peluru, sendi engsel, sendi pelana, sendi putar. Untuk lebih detail Kalian dapat mencari dengan mandiri struktur dan tempat sendi dalam tubuh. Adapun fungsi sendi adalah sebagai penghubung antara tulang yang satu dengan tulang yang lainnya dan memungkinkan terjadinya pergerakan antar tulang.

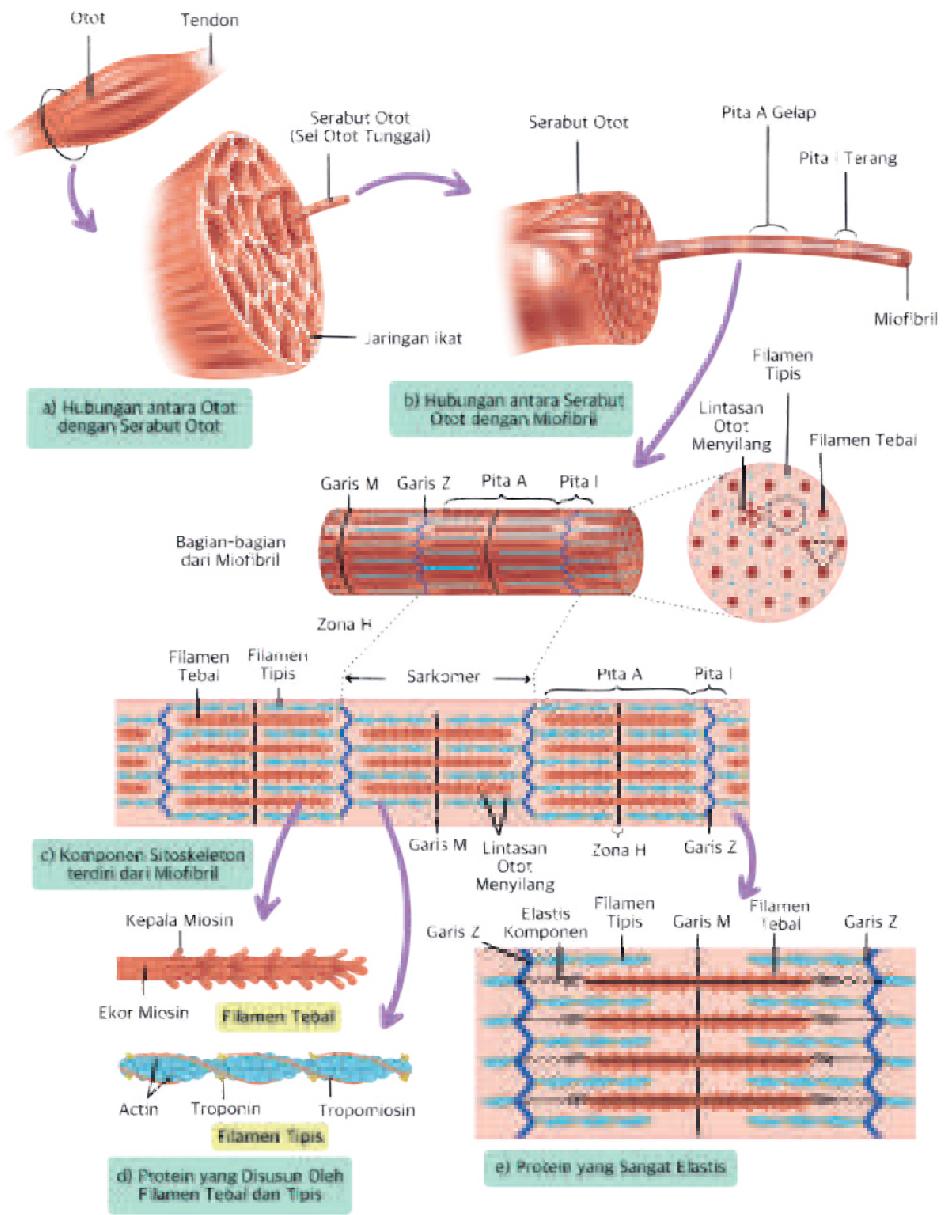
Hubungan antar tulang atau persendian adakalanya ditemukan beberapa gangguan persendian. Adapun gangguan persendian dikelompokkan menjadi tiga, yang pertama dislokasi yaitu pergeseran tulang penyusun sendi. Kedua terkilir yaitu tertariknya ligamen karena gerakan tiba-tiba. Ketiga artritis yaitu peradangan sendi yang dibedakan menjadi rheumatoid yang menyerang anggota gerak seperti

sendi, otot, tulang dan jaringan sekitar sendi. Artritis selanjutnya adalah osteoartitis yaitu peradangan pada sendi atau kerusakan pada tulang rawan sendi. Jenis artritis yang terakhir adalah gout artritis yang disebabkan oleh metabolisme abnormal purin yang ditandai dengan meningkatnya kadar asam urat dalam darah.

## 2. Struktur Otot Lurik

Pernahkah Kalian melihat otot seorang binaragawan? Atau melihat otot seseorang yang sedang mengangkat beban yang berat? Kalian pun dapat merasakan otot yang selalu bergerak dalam aktivitas keseharian manusia. Sekarang Kalian akan menelaah kondisi otot dan pergerakannya. Semua sel-sel otot mempunyai kekhususan yaitu untuk berkontraksi. Terdapat lebih dari 600 buah otot pada tubuh manusia. Sebagian besar otot-otot tersebut dilekatkan pada tulang-tulang kerangka tubuh oleh tendon, dan sebagian kecil ada yang melekat di bawah permukaan kulit. Adapun fungsi otot di antaranya adalah pergerakan, penopang tubuh, mempertahankan postur, dan memproduksi panas.

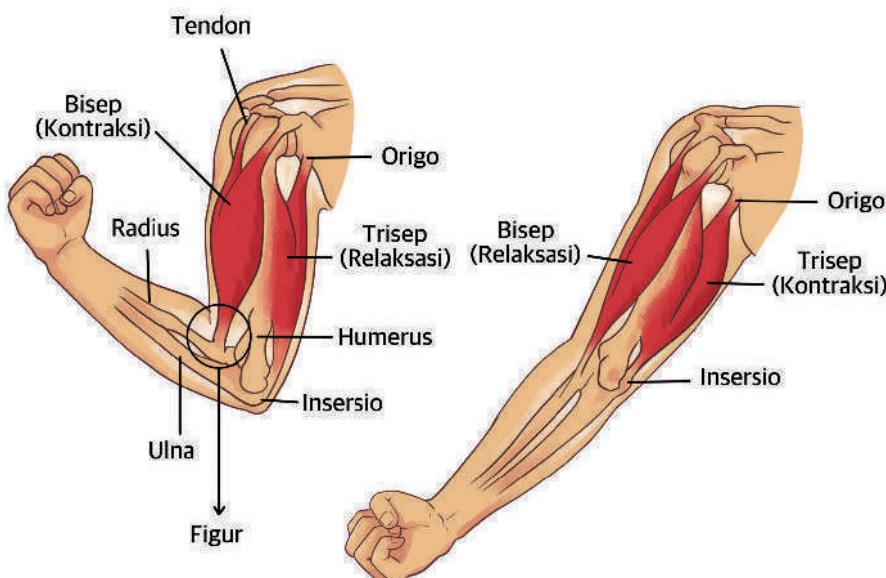
Sekarang Kalian akan membahas otot rangka pada manusia. Otot rangka, merupakan otot lurik, volunter, dan melekat pada rangka, dengan ciri-ciri: Otot rangka disusun oleh kumpulan serabut yang berbentuk paralel yang terdiri atas serabut-serabut berbentuk silinder yang panjang, disebut miofiber/serabut otot. Setiap serabut otot sesungguhnya adalah sebuah sel yang mempunyai banyak nukleus ditepinya. Sitoplasma dari sel otot disebut sarkoplasma yang penuh dengan bermacam-macam organel, kebanyakan berbentuk silinder yang panjang disebut dengan miofibril. Miofibril disusun oleh miofilamen-miofilamen yang berbeda-beda ukurannya yakni yang kasar terdiri dari protein miosin dan yang halus terdiri dari protein aktin.



**Gambar 6.13** Struktur otot rangka

Sumber: Sherwood (2016)

Berdasarkan cara melekatnya pada tulang, tendon dibagi menjadi dua, yaitu origo merupakan tendon yang melekat pada tulang yang tidak berubah kedudukannya ketika berkontraksi dan inserio merupakan tendon yang melekat pada tulang yang bergerak ketika otot berkontraksi.



**Gambar 6.14** Letak tendon pada tulang

Otot yang dilatih terus-menerus akan membesar atau mengalami hipertrofi, contoh pada binaragawan. Sebaliknya kalau otot tidak digunakan otot akan mengalami kisut atau mengalami atrofi.

Setelah Kalian mempelajari seputar otot rangka pada manusia, sekarang Kalian akan mendalami sifat kerja otot yang dibedakan atas:

### a. Antagonis

Antagonis adalah kerja otot yang kontraktsinya menimbulkan efek gerak berlawanan, contohnya adalah:

- 1) Ekstensor (meluruskan) dan fleksor (membengkokkan), misalnya otot trisep dan otot bisep.
- 2) Abduktor (menjauhi badan) dan adduktor (mendekati badan) misalnya gerak tangan sejajar bahu dan sikap sempurna
- 3) Depresor (ke bawah) dan elevator (ke atas), misalnya gerak kepala merunduk dan menengadah.
- 4) Supinator (menengadah) dan pronator (menelungkup), misalnya gerak telapak tangan menengadah dan gerak telapak tangan menelungkup.

### b. Sinergis

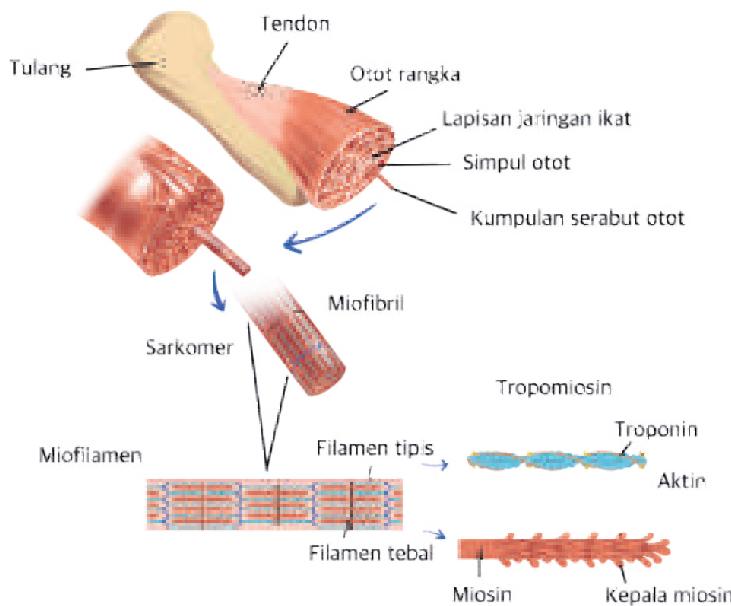
Sinergis adalah otot-otot yang kontraktsinya menimbulkan gerak searah. Contohnya pronator teres dan pronator kuadratus. Sel-sel yang terspesialisasi untuk kontraksi, yaitu mengandung protein kontraktil yang dapat berubah dalam ukuran panjang dan memungkinkan sel-sel untuk memendek. Sel-sel tersebut sering disebut serabut-serabut otot.

## 3. Mekanisme Gerak

Coba ingat ketika Kalian setelah berolahraga pernah merasakan pegal dan nyeri di seluruh otot badan terutama tangan dan kaki. Apa yang menyebabkan Kalian merasa pegal dan nyeri? Penyebabnya adalah penimbunan asam laktat sebagai zat sisa dari mekanisme gerak. Bagaimana mekanisme gerak yang terjadi dalam tubuh Kalian?

Kontraksi terjadi berdasarkan dua filamen di dalam sel otot kontraktil yang berupa filament aktin dan filament miosin. Rangsangan yang diterima oleh asetilkolin menyebabkan aktomiosin mengerut (kontraksi). Kontraksi ini memerlukan energi. Ketika kontraksi, filamen aktin meluncur diantara miosin ke dalam zona H (zona H adalah bagian terang diantara dua pita gelap). Dengan demikian serabut otot memendek, yang tetap panjangnya ialah pita A (pita gelap) sedangkan pita I (pita terang) dan zona H bertambah pendek waktu kontraksi.

Ujung miosin dapat mengikat ATP dan menghidrolisisnya menjadi ADP. Beberapa energi dilepaskan dengan cara memotong pemindahan ATP ke miosin yang berubah bentuk ke konfigurasi energi yang tinggi. Miosin yang berenergi tinggi ini kemudian mengikat diri dengan kedudukan khusus membentuk jembatan silang. Kemudian simpanan energi miosin dilepaskan, dan ujung miosin lalu beristirahat dengan energi rendah. Pada saat inilah terjadi relaksasi. Relaksasi ini mengubah sudut perlekatan ujung miosin menjadi miosin ekor. Ikatan antara miosin rendah dan aktin terpecah ketika molekul gabung ATP bergabung dengan ujung miosin, kemudian siklus tadi berulang. Urutan mekanisme gerak otot dapat dilihat pada Gambar 6.15!



**Gambar 6.15** Urutan mekanisme gerak otot

Energi awal yang diperlukan untuk kontraksi berasal dari ATP yang tersedia di otot. Tetapi ATP yang tersedia hanya cukup untuk kegiatan otot selama 5 detik. Di dalam otot selain ATP tersedia pula kreatin fosfat yang berenergi yang dimanfaatkan pada waktu kontraksi otot. Selanjutnya, kreatin melepaskan energinya.

Energi yang berasal dari ATP dan kreatin fosfat di dalam otot dapat dimanfaatkan untuk kegiatan otot selama 15 detik. Jika aktivitas otot berlanjut dan persediaan kreatin P habis, energi diperoleh dari penguraian glikogen yang ada di otot. Selain dari penguraian glikogen, glukosa darah juga dimanfaatkan sebagai sumber energi untuk kontraksi.

Jika energi untuk kegiatan otot secara aerob tidak mencukupi, proses glikolisis dipercepat dan terjadi pembentukan asam laktat. Asam laktat yang terbentuk dalam otot akan diuraikan menjadi karbon dioksida dan air. Setelah kegiatan otot berlangsung (selesai), penguraian asam laktat memerlukan oksigen.

Otot sebagai alat gerak aktif dapat mengalami gangguan. Jika mengalami gangguan maka kerja otot akan terganggu. Gangguan pada otot dapat terlihat ketika Kalian bergerak mengalami rasa sakit pada bagian betis atau bagian lainnya.

Berikut contoh kelainan dan gangguan yang terjadi pada otot, antara lain:

- a. Trofi. yaitu keadaan otot mengecil sehingga menghilangkan kemampuan otot untuk berkontraksi. Hal ini menyebabkan otot mengalami kelumpuhan.
- b. Distrofi yang mirip dengan atrofi, penderita distrofi mengalami otot yang mengecil dan tidak dapat berfungsi normal. Namun, distrofi terjadi karena kelainan sejak lahir, diperkirakan kelainan ini bersifat genetis.
- c. Supertrofi, yaitu volume otot membesar karena otot setiap hari dilatih secara berlebihan.
- d. Kelelahan otot, yang terjadi karena otot terus-menerus berkontraksi dan akhirnya otot akan mengalami kejang atau biasa disebut sebagai kram.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 6.11

#### Kegiatan 1

Untuk mendalami bagaimana penderita lumpuh berjalan lagi dengan bantuan eksoskeleton, silahkan cermati dan tonton video dari DW Indonesia melalui tautan: [youtu.be/IK7IRhO9XEQ](https://youtu.be/IK7IRhO9XEQ)

Setelah Kalian mencermati link Youtube di atas, Kalian dapat memberikan dua usul modifikasi teknologi yang inovatif terkait dengan antisipasi atau pertolongan kepada penderita lumpuh agar dapat berjalan lagi! Tuliskan jawabanmu pada buku catatan!

#### Kegiatan 2

Untuk simulasi virtual laboratorium tentang neurofisiologi dan neurotoksik dan hubungannya dengan pergerakan otot, silahkan kunjungi tautan berikut ini!

[s.id/1rOUJ](https://s.id/1rOUJ) (tautan lengkap: [www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:71d4b3e8:lx\\_simulation:1](https://www.labxchange.org/library/items/lb:LabXchange:71d4b3e8:lx_simulation:1))

Setelah Kalian melakukan simulasi virtual di atas, tuliskan seluruh pangamatan Kalian pada buku catatan dan diskusikan dengan teman atau guru Kalian!



### Ini Lebih dari Penyakit Kejang Mulut/Lockjaw

Anak-anak sering diberitahu untuk berhati-hati di sekitar paku berkarat. Tapi itu bukan karat atau paku, melainkan infeksi oleh bakteri umum *Clostridium tetani* yang menyebabkan penyakit disebut Tetanus. Meskipun penyakit ini dan otot normal respons terhadap stimulasi saraf yang cepat memiliki nama yang sama, tetapi mekanisme yang terlibat sangat berbeda.

Bakteri *Clostridium* terdapat di tanah dan hampir di semua tempat lain di lingkungan, tetapi mereka hanya dapat berkembang di jaringan dengan kadar oksigen rendah. Untuk alasan ini, luka tusukan yang dalam, seperti luka paku, adalah jauh lebih mungkin menyebabkan tetanus daripada luka terbuka yang dangkal yang berdarah bebas. Ketika aktif di jaringan tubuh, bakteri ini melepaskan racun kuat yang mempengaruhi sistem saraf pusat. Neuron motorik, yang mengontrol otot rangka di seluruh tubuh, sangat sensitif terhadapnya. Toksin menekan mekanisme yang menghambat aktivitas neuron motorik. Hasilnya berkelanjutan, kontraksi kuat otot rangka seluruh tubuh.

Masa inkubasi terjangkitnya penyakit (waktu antara paparan dan perkembangan gejala) umumnya kurang dari 2 minggu. Itu keluhan awal yang paling umum adalah sakit kepala, kekakuan otot, dan kesulitan menelan. Karena segera menjadi sulit untuk buka mulut, penyakit ini disebut juga *lockjaw*. Tersebar luas kejang otot biasanya berkembang dalam 2 atau 3 hari dari awal gejala dan lanjutkan selama seminggu sebelum mereda.

Dari artikel di atas, apa yang dapat Kalian jelaskan keterkaitan antara kelainan atau gangguan pada sistem saraf dan sistem gerak?

## C. Fenomena dan Keterkaitan Sistem Saraf dengan Sistem Gerak Manusia

Apakah Kalian sering mendengar penyakit stroke? Siapa sajakah yang dapat terkena stroke? Bagian apa sajakah yang terganggu ketika seseorang terkena stroke? Bagaimana fenomena antar sistem itu dapat bekerja dan terganggu, Kalian dapat cermati pada fakta-fakta beberapa penyakit diantaranya adalah penyakit stroke yang merupakan penyakit mematikan kedua di dunia yang memiliki gangguan atau gejala gangguan organ pada sistem gerak yang merupakan gangguan saraf juga.

Kondisi stroke terjadi saat arteri di otak tersumbat maupun bocor. Hal ini mengakibatkan sel-sel otak yang kekurangan oksigen dapat mati dalam beberapa menit. Saat mengalami kondisi stroke maka sejumlah kondisi yang dapat dialami yakni mati rasa dan kebingungan atau mengalami kesulitan berjalan dan melihat. Nantinya apabila kondisi ini tak segera diobati maka dapat mengakibatkan cacat jangka panjang.

Stroke juga merupakan suatu keadaan yang disebut kelayuan tiba-tiba pada otak akibat dari berkurangnya secara drastis aliran darah ke suatu bagian otak atau akibat pendarahan dalam otak. Keadaan ini berdampak antara lain kelumpuhan sementara atau menetap pada satu atau kedua sisi tubuh, kesulitan berkata-kata atau makan, dan lenyapnya koordinasi otot. Merokok, kolestrol tinggi, diabetes, penuaan, dan kelainan turunan adalah faktor utama penyebab stroke.



### Ayo Berpikir Kritis

### Aktivitas 6.13

Untuk memperdalam dan menambah khasanah penyakit stroke yang mengganggu kondisi sistem saraf dan pergerakan pada manusia, silahkan dipahami contoh hasil penelitian tentang stroke dengan buka tautan berikut:

[s.id/1rOX3](https://akper-sandikarsa.e-journal.id/JIKSH/article/view/273/223) (tautan lengkap: <https://akper-sandikarsa.e-journal.id/JIKSH/article/view/273/223>)

1. Jelaskan hubungan sistem saraf dengan sistem gerak pada kasus stroke berdasarkan hasil penelitian di atas!
2. Setelah Kalian mencermati seluruh isi artikel jurnal hasil penelitian di atas, coba lengkapilah kolom benar atau salah berikut dengan memberikan tanda centang (✓)!

Pernyataan	Benar	Salah
Stroke merupakan gejala gangguan fungsional otak dan sumsum tulang belakang yang terjadi secara mendadak. Tanda dan gejala klinik baik lokal maupun global dapat berlangsung selama 24 jam atau lebih.		
Hasil analisis perbandingan stroke non hemoragik dengan hipertensi dan diabetes melitus, terbanyak pada pasien yang memiliki riwayat hipertensi dan diabetes melitus.		
Berdasarkan hasil analisis perbandingan gangguan motorik penyakit stroke non hemoragik dengan penyumbatan terbanyak pada gangguan motorik sedang (2-3) adalah 27 pasien (90%).		

3. Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian di atas, silahkan Kalian tentukan setuju atau tidak setuju, serta berikan alasan yang logis pada kolom berikut! Salinlah di buku tugasmu!

Pernyataan	Setuju	Tidak Setuju	Alasan
Stroke merupakan kerusakan organ target pada otak yang diakibatkan oleh Hipertensi karena sering mengkonsumsi daging domba.			
Modifikasi pola hidup dengan mematuhi diet merupakan langkah pencegahan stroke yang baik.			

Kalian akan memahami keterkaitan gangguan pada sistem saraf dan sistem gerak seperti parkinson, poliomyelitis dan distonia. Silahkan Kalian mencari informasi lebih lanjut ketiga penyakit tersebut dengan berdiskusi bersama teman dan guru, mencari sumber lain yang relevan seperti hasil penelitian terbaru. Lalu Kalian dapat mengkomunikasikannya dalam bentuk infografis, poster, tik tok, PPT, podcast, video atau media lain yang Kalian minati.

## Refleksi

Setelah Kalian mempelajari materi bab ini, Kalian akan diajak memikirkan kembali:

1. Hal apa yang paling menarik dari pembelajaran hari ini?
2. Apa hal yang tidak menyenangkan dalam pembelajaran hari ini?
3. Adakah sesuatu yang belum dipahami dalam pembelajaran hari ini?
4. Apakah ada yang menghambat pembelajaran hari ini?
5. Perubahan apa saja yang Kalian rasakan setelah pembelajaran hari ini?
6. Hal baru apa yang Kalian dapatkan setelah mengikuti pembelajaran ini?
7. Sikap dan perilaku apa saja yang dapat Kalian tumbuhkan setelah mengikuti pembelajaran ini?
8. Keterampilan apa saja yang dapat Kalian kembangkan setelah mengikuti pembelajaran ini?

## Uji Kompetensi

1. Perhatikan tabel hasil penelitian berikut ini!

### Gambaran Demografi dan Klinik Penderita Nyeri Neuropatik yang Berkunjung di Bagian Poliklinik Saraf dan Poliklinik Penyakit Dalam RSU Anutapura Palu

Sumber: <https://jurnal.fkunisa.ac.id/index.php/MA/article/view/77>

**Tabel 1.** Distribusi penderita Nyeri Neuropatik berdasarkan usia

Kelompok Usia	Nyeri Neuropatik	
	N	%
Masa Dewasa Awal (26-35 Tahun)	4	9,3%
Masa Dewasa Akhir (36-45 Tahun)	10	23,3 %
Masa Lansia Awal (46-55 Tahun)	28	65,1%
Masa Lansia Akhir (56-65 Tahun)	1	2,3%
Total	43	100.0%

**Tabel 6. Gambaran penderita Nyeri Neuropatik berdasarkan gambaran klinik**

Gambaran Klinik	Nyeri Neuropatik	
	N	%
Rasa Kesemutan	34	79.0%
Rasa Tebal	2	4.7%
Rasa Terbakar	1	2.3%
Rasa Tertusuk	6	14.0%
<b>Total</b>	<b>43</b>	<b>100.0%</b>

*Medika Alkhairaat : Jurnal Penelitian Kedokteran dan Kesehatan 3(2): 68-73  
e-ISSN: 2656-7822, p-ISSN: 2657-179X Agustus 2021*

Berdasarkan data tabel hasil penelitian di atas. Hal yang paling benar tentang pernyataan di bawah ini adalah....

- A. Gejala neuropatik di usia 45 tahun ke bawah sekitar 23.3%
  - B. Lebih dari 67% gejala neuropatik diderita usia di atas 45 tahun
  - C. Sekitar 2.3% gejala neuropatik diderita usia di atas 65 tahun
  - D. Jumlah penderita gejala neuropatik dewasa awal dan lansia akhir sekitar 11.6%
  - E. Masa lansia awal penderita neuropatik yang berusia di bawah 46 tahun adalah sekitar 65.1%
2. Perhatikan teks kesimpulan hasil penelitian di bawah ini!

### **Penyakit Parkinson Akibat Merkuri pada Pekerja Penambangan Emas Skala Kecil**

CoMPI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia  
Journal Vol. 1, No. 3, Februari 2021, hlm. 170-176.

*Sumber: jurnal.fkunisa.ac.id (2022)*

Penyakit Parkinson (PD) merupakan gangguan neurodegeneratif umum yang ditentukan oleh gejala motorik klinis parkinsonisme, dan temuan patologis dari hilangnya neuron dopaminergik dan keberadaan  $\alpha$  synuclein yang mengandung Lewy bodies dan neurit Lewy. Telah diketahui dengan baik dalam penelitian postmortem pada manusia

bahwa pasien PD mengalami kehilangan neuronal pada *substansia nigra par compacta*, *lokus ceruleus* dan populasi neuronal lainnya.

Merkuri adalah neurotoksik yang diketahui dapat menyebabkan kematian saraf yang dapat meningkatkan risiko Parkinson melalui toksisitasnya yang mengakibatkan gangguan fungsi motorik dan kerusakan substansia nigra dan inti ganglia basal. Paparan dapat terjadi melalui pola makan, pekerjaan, dan jalur lingkungan. Penambangan emas skala kecil artisanal (PESK) adalah sumber antropogenik emisi merkuri terbesar di dunia. Penambang emas sangat terpapar logam merkuri dan menderita keracunan merkuri di tempat kerja. Komplikasi keracunan merkuri yang paling sering dilaporkan di antara pekerja yang terlibat dalam PESK adalah efek neurologis termasuk tremor, ataksia, masalah memori, dan gangguan penglihatan.

Pilihlah pernyataan benar atau salah dengan memberikan tanda centang (✓) pada kolom!

	Pernyataan	Benar	Salah
A.	Merkuri adalah senyawa kimia yang tidak menyebabkan neurodegeneratif yang diketahui dapat menyebabkan kematian saraf yang dapat meningkatkan risiko Parkinson.		
B.	Pasien Parkinson mengalami kehilangan neuronal pada <i>substansia nigra par compacta</i> dan <i>lokus ceruleus</i> .		
C.	Penambang emas jarang menderita efek neurologis ataksia.		

3. Perhatikan data infografis di bawah ini!



sumber: [klasika.kompas.id/](http://klasika.kompas.id/) Fellicia N.K & L Arvianto (2022)

Dari data infografis di atas, manakah pernyataan yang benar?

- A. Terdapat sekitar 26% tulang terdapat dalam tangan manusia dewasa
- B. Terdapat 20% tulang terdapat dalam tangan manusia pada masa bayi
- C. Kondisi tulang manusia dewasa mengalami penyusutan di atas 31% dari sejak lahir
- D. Di bawah 5% tulang terpanjang terdapat dalam tubuh manusia dewasa
- E. Sekitar 31% tulang mengalami pertumbuhan dan perkembangan dari bayi sampai dewasa

4. Pasien dari kasus trauma yang dirawat di Staf Medis Fungsional (SMF) Ilmu Bedah Rumah Sakit Umum DR. Soetomo Surabaya tahun 2001-2005 tercatat penderita fraktur maksilofasial akibat kecelakaan lalu lintas sekitar 64,38%. Angka kejadian fraktur pada mandibula dan maksila menempati urutan terbanyak yaitu sebesar 29,85%, fraktur zigoma 27,64% dan fraktur nasal 12,66%. Salah satu penanganan dalam kasus-kasus trauma di atas yaitu pemberian senyawa Hidroksiapatit yang memiliki kemampuan osteokondksi, dan osteoinduksi sehingga dapat menstimulasi osteogenesis. Di bawah ini disajikan kelompok kebutuhan Hidroksiapatit untuk penanganan berbagai fraktur:
- A. Kebutuhan Hidroksiapatit untuk penanganan fraktur mandibula dan maksila
  - B. Kebutuhan Hidroksiapatit untuk penanganan fraktur zigoma
  - C. Kebutuhan Hidroksiapatit untuk penanganan fraktur nasal

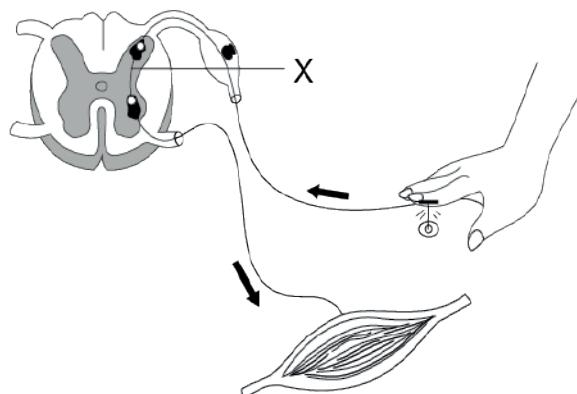
Sumber: *Stomatognatic (J.K.G Unej) Vol. 8 No. 2 2011: 118-21*

**PERAN HIDROKSIAPATIT SEBAGAI BONE GRAFT DALAM PROSES PENYEMBUHAN TULANG: Hengky Bowo Ardiyanto Bagian Bedah Mulut Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember.**

Apabila kebutuhan Hidroksiapatit untuk menangani fraktur nasal dua kali lebih besar dibanding kebutuhan untuk menangani fraktur zigoma, maka perbandingan kebutuhan Hidroksiapatit untuk menangani pasien fraktur mandibula, maksila, zigoma dan nasal adalah....

- A. B > A
- B. C > B
- C. C > A
- D. B > C
- E. A > B

5. Perhatikan gambar berikut dengan saksama!



Nama dan fungsi bagian X adalah ....

- A. Neuron koneksi/interneuron, merespon rangsang yang diterima
- B. Neuron koneksi/interneuron, merespon rangsang dari lingkungan
- C. Neuron koneksi/interneuron, menghantarkan impuls ke otak
- D. Neuron koneksi/interneuron, menghubungkan neuron sensorik dengan neuron motorik
- E. Neuron koneksi/interneuron, menghubungkan neuron asosiasi dengan neuron motorik

## Pengayaan

Untuk menambah pengetahuan dan ide kreatif serta inovasi untuk masa depan Kalian. Coba Kalian pelajari hasil penelitian terbaru yang dikombinasikan dengan teknologi tentang mendeteksi penyakit sistem saraf pusat dari artikel pada jurnal di bawah ini:

### Judul Artikel:

Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Sistem Saraf Pusat dengan Metode *Backward Chaining* dan *Certainty Factor*

### Peneliti:

Felix, Leo Willyanto Santoso Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra Jln. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236 Telp. (031)-2983455. Fax (031)-8417658 Email: m26416047@john.petra.ac.id, leow@petra.ac.id

[s.id/1rP2O](http://s.id/1rP2O) (sumber: publication.petra.ac.id, 2022)

Ide apa yang ada dalam pikiran Kalian setelah membaca artikel penanganan penyakit sistem saraf dengan teknologi informatika tersebut?

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 7

# Hormon dalam Reproduksi Manusia

Sebagai remaja, pernahkah Kalian memerhatikan adanya perubahan pada kondisi tubuh sebagai bentuk kematangan sistem reproduksi Kalian? Bagaimana peran hormon dalam mengatur dan menyiapkan sistem reproduksi yang sehat?

Sumber gambar:flickr.com/ Marco Verch (2021)

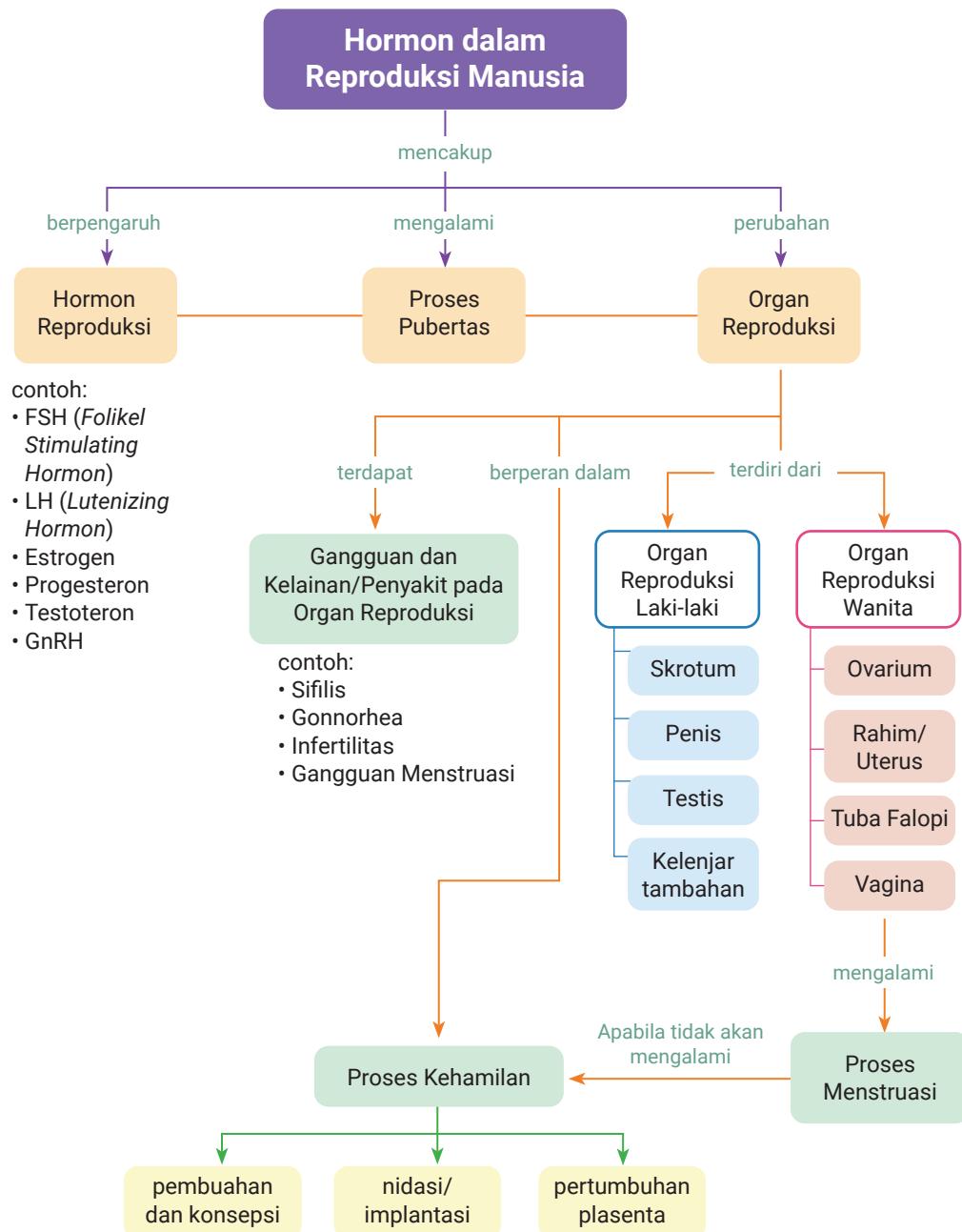
## Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari Bab ini, Kalian diharapkan mampu: menganalisis keterkaitan peran antar sistem organ dalam proses kerja hormon dan reproduksi pada tubuh manusia; serta menyelidiki fenomena terkait proses kerja hormon dalam reproduksi pada tubuh manusia beserta kelainannya.

## Kata Kunci

- Hormon reproduksi
- Kehamilan
- Menstruasi
- Ovarium
- Oviduk
- Penis
- Skrotum
- Testis
- Uterus

## Peta Konsep





### Ayo Mengingat Kembali

Coba Kalian ingat kembali tentang organ reproduksi manusia dan fungsi-fungsinya dalam mendukung kelangsungan hidup pada waktu Kalian belajar materi IPA di SMP? Organ reproduksi apa saja yang terdapat di laki-laki dan perempuan? Apa fungsi masing-masing organ reproduksi tersebut?

Sekarang Kalian akan membahas organ-organ reproduksi manusia secara mendalam beserta fungsi yang lengkap dengan kelainan dan gangguannya. Ayo Kalian pelajari materi bab hormon dalam reproduksi manusia berikut!

Salah satu ciri makhluk hidup dalam mempertahankan kelangsungan hidupnya adalah bereproduksi. Setiap proses reproduksi melibatkan hormon reproduksi yang membantu proses reproduksi agar berjalan dengan lancar.

Pernahkah Kalian mengalami perubahan suara (untuk laki-laki) atau menstruasi (untuk perempuan)? Kedua hal itu dipengaruhi oleh mekanisme hormon dalam tubuh manusia. Lalu apa itu hormon?

Hormon adalah senyawa kimia yang membantu dalam proses fisiologi tubuh manusia. Setiap hormon berfungsi spesifik dalam tubuh. Meskipun hormon dapat mencapai semua sel tubuh, tetapi hormon hanya berfungsi pada sel dalam organ tertentu.

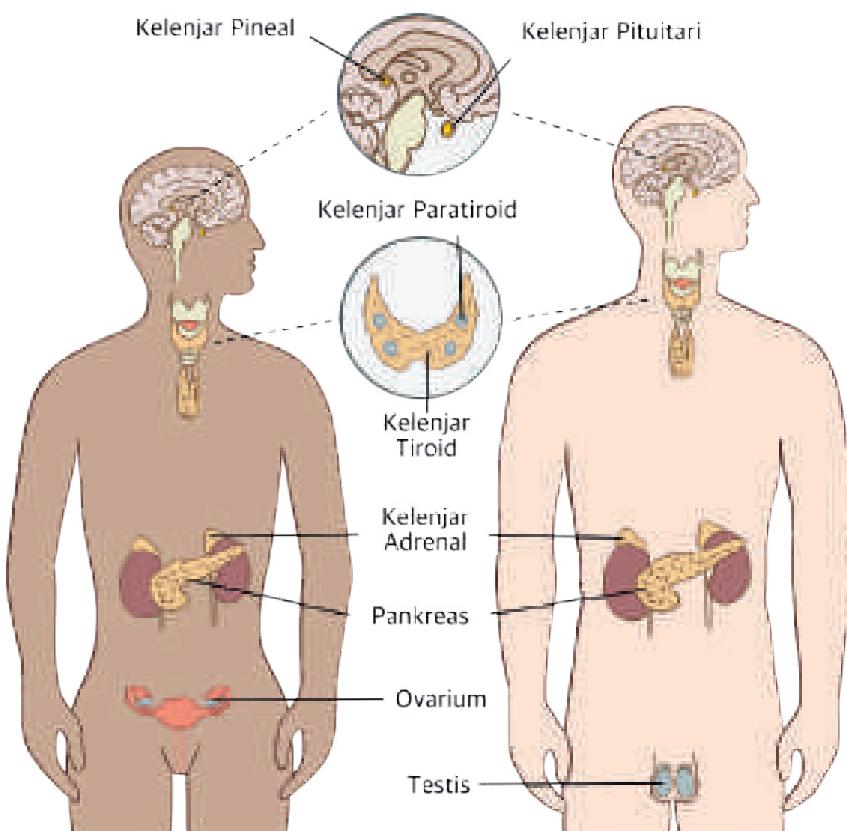
Mekanisme kimiawi yang ditimbulkan oleh hormon adalah fungsi dari sistem endokrin, salah satu dari dua sistem dasar untuk komunikasi dan regulasi dalam tubuh manusia.

Sekarang dalam bab ini Kalian akan mulai membahas tentang berbagai jenis sinyal kimia pada manusia di antaranya adalah hormon, bagaimana hormon mengatur sel target, bagaimana sekresi hormon diatur, dan bagaimana hormon membantu mempertahankan homeostasis. Kalian juga akan mengetahui aktivitas sistem endokrin dan saraf dikoordinasikan serta memahami bagaimana hormon mengatur pertumbuhan dan perkembangan, khususnya juga dalam sistem reproduksi manusia (Campbell & Reece, 2008).

## A. Keterkaitan Struktur dan Fungsi Kelenjar Endokrin dan Peran Hormon dalam Reproduksi

### 1. Mekanisme Kerja Hormon

Menurut Kalian mengapa dalam satu spesies, jantan dan betina terlihat berbeda satu sama lain? Misalnya perbedaan pada manusia penampilan fisik laki-laki lebih tinggi dari perempuan, atau perempuan mengalami menstruasi sedangkan laki-laki tidak. Kondisi tersebut didasarkan pada proses biologi yang melibatkan senyawa kimiawi yang dinamakan hormon. Hormon dikeluarkan ke dalam cairan di luar sel yang nantinya akan beredar di dalam darah dan bertindak sebagai zat pengatur yang akan mempengaruhi proses di dalam tubuh. Contohnya adalah ketika Kalian *stress*, dehidrasi, atau memiliki kadar gula darah yang rendah, hormon akan melakukan respon fisiologis untuk menyeimbangkannya di dalam tubuh (Wasserman, et. al., 2017).



Gambar 7.1 Organ utama sistem endokrin manusia

Sistem endokrin adalah sistem organ yang terdiri atas berbagai kelenjar endokrin yang akan bekerja dengan mengeluarkan hormon ke dalam sistem peredaran darah. Di atas telah ditunjukkan kepada Kalian beberapa organ yang mensekresikan hormon dalam tubuh manusia, coba lihat kembali Gambar 7.1!

Setelah mengamati Gambar 7.1, bagaimanakah menurut Kalian mekanisme kerja hormon yang dihasilkan beberapa kelenjar endokrin tersebut? Sekarang Kalian akan menelaah bagaimana hormon yang telah dihasilkan tersebut akan bekerja. Organ-organ penghasil hormon seperti gambar di atas yang Kalian amati menghasilkan hormon yang bekerja pada organ spesifik yang kemudian akan menimbulkan efek sesuai dengan hormon dan sel target yang dipengaruhi. Semua hormon mempengaruhi sel target dengan mengubah aktivitas metabolisme. Hormon dapat mengubah laju proses fisiologi tertentu atau menghambat proses tersebut. Coba perhatikan Gambar 7.2 tentang mekanisme kerja hormon dalam tubuh.



**Gambar 7.2** Mekanisme kerja hormon

Seperti yang telah diilustrasikan pada Gambar 7.2 tentang mekanisme kerja hormon, beberapa fungsi fisiologis dipengaruhi oleh hormon. Misalnya, apakah kalian pernah merasakan jantung berdebar kencang dan berkeringat ketika Kalian ketakutan? Atau perubahan apa yang Kalian rasakan ketika mulai mengalami pubertas? Semua perubahan proses yang terjadi dalam tubuh banyak yang melibatkan hormon dan senantiasa memiliki fungsi.

Secara garis besar, sistem endokrin berfungsi untuk meregulasi metabolisme dan keseimbangan elektrolit, meregulasi perubahan adaptif pada situasi bahaya (*stressfull situation*), membantu proses pertumbuhan dan perkembangan, mengontrol sistem reproduksi, meregulasi produksi sel darah merah dan mengontrol sistem peredaran darah dan sistem pencernaan.



#### Ayo Bereksplorasi

#### Aktivitas 7.1

Kalian sekarang akan mengetahui gangguan metabolismik yang berhubungan dengan penghasil salah satu hormon, yaitu kelenjar tiroid. Silahkan Kalian tonton video dari Youtube kompasTV melalui tautan berikut ini: [youtu.be/HRkLYvrnjAg](https://youtu.be/HRkLYvrnjAg)

Bagaimana fungsi normalnya? Bagaimana kelainan orang yang mengalami gangguan kelenjar tiroid? Bagaimana ciri-ciri spesifik penderita gangguan tiroid yang disebut pejuang tiroid?



#### Ayo Berpikir kreatif

#### Aktivitas 7.2

Beberapa tahun terakhir ini banyak ditemukan penderita gangguan tiroid dengan banyak macam dan penyebabnya. Untuk lebih jelasnya, coba Kalian pelajari artikel jurnal penelitian melalui link berikut: [s.id/1rP7v](https://s.id/1rP7v) (tautan lengkap: <https://media.neliti.com/media/publications/483925-none-7860047e.pdf>)

Setelah Kalian membaca artikel jurnal penelitian di atas. Coba tuliskan:

1. penjelasan mekanisme kerja hormon yang mengalami gangguan sehingga menyebabkan ada kelainan pada LDL kolesterol!
2. tiga poin penting menurut Kalian yang tentang fungsi tiroid yang dihubungkan dengan kadar LDL Kolesterol berdasarkan artikel jurnal tersebut!
3. tiga alternatif pencegahan menurut Kalian dalam gangguan fungsi tiroid terhadap kadar LDL-Kolesterol!

## 2. Peran Hormon pada Reproduksi

Perubahan apa yang Kalian rasakan ketika mulai mengalami pubertas? Apakah suara Kalian mulai berubah (untuk laki-laki) atau mulai mengalami menstruasi (untuk perempuan)? Kira-kira menurut Kalian apa yang menyebabkan perubahan di awal pubertas ini? Pubertas terjadi sebagai akibat peningkatan sekresi *Gonadotropin Releasing Hormone* (GnRH) dari hipotalamus, diikuti oleh sekuens perubahan sistem endokrin yang kompleks yang melibatkan sistem umpan balik negatif dan positif (Batubara, 2010).

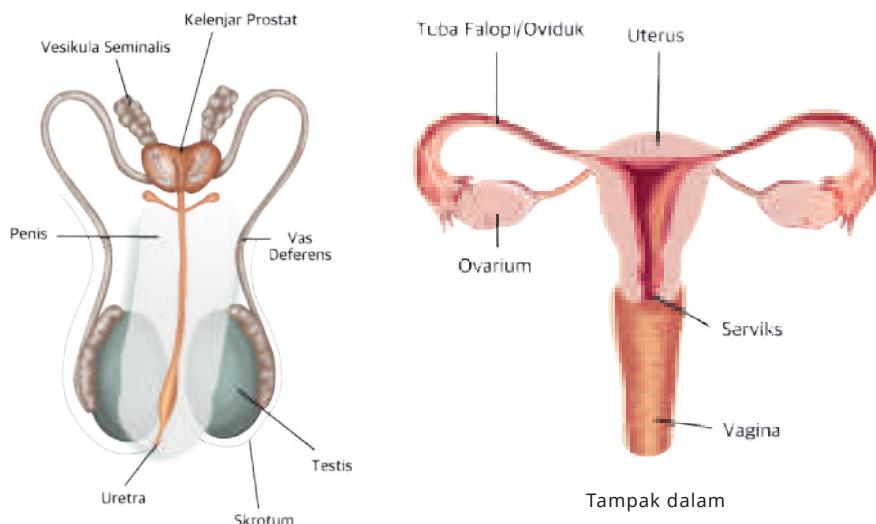
Kondisi pubertas pada laki-laki secara hormonal mulai dihasilkan hormon testosteron oleh testis yang bertanggung jawab menyebabkan munculnya ciri-ciri kelamin sekunder. Adapun ciri-ciri kelamin sekunder diantaranya tumbuhnya janggut, suara membesar, tumbuhnya rambut di sekitar alat kelamin dan bentuk badan yang tampak pada seorang laki-laki yang mencapai masa pubertas (masa kematangan fungsi seksual).

Kondisi pubertas pada perempuan terlihat munculnya ciri-ciri kelamin sekunder yang dipengaruhi oleh hormon estrogen dan progesteron di ovarium. Ciri kelamin sekunder perempuan di antaranya adalah payudara membesar, pinggul, tumbuhnya rambut di sekitar alat kelamin, selain itu kedua hormon tersebut berperan dalam proses menstruasi pada saat perempuan mencapai masa pubertas (masa kematangan fungsi seksual).

Gonad adalah organ yang menghasilkan sel kelamin atau gamet, yaitu spermatozoa (sel sperma/sperma) pada laki-laki, dan ovum (sel telur) pada perempuan. Selain sebagai fungsi reproduksi gonad juga menghasilkan hormon. Ovarium menghasilkan estrogen dan progesteron yang akan bekerjasama dengan FSH dan LH dari hipofisis anterior. Hormon-hormon tersebut bertanggung jawab dalam proses menstruasi, kehamilan, fungsi payudara untuk menyusui, pembesaran payudara, pelebaran panggul, dan menjaga karakteristik ciri sekunder perempuan.

Selama kehamilan ovarium dan plasenta menghasilkan hormon relaksin yang akan meningkatkan kelenturan tulang rawan panggul selama kehamilan dan membantu melebarkan leher rahim selama persalinan yang membantu keluarnya bayi dengan mudah.

Kalian akan mengamati organ reproduksi laki-laki dan perempuan yang letaknya di bagian bawah rongga perut yang akan menghasilkan hormon reproduksi. Coba Kalian cermati dengan saksama pada Gambar 7.3.



**Gambar 7.3** Organ reproduksi primer laki-laki dan perempuan

Apabila dilihat dari Gambar 7.3 terdapat testis yang merupakan kelenjar oval terletak di dalam skrotum. Hormon utama yang dihasilkan oleh testis adalah testosteron yang berfungsi mengatur produksi sperma, merangsang perkembangan dan pemeliharaan karakteristik kelamin sekunder laki-laki, seperti pertumbuhan janggut dan membesarnya suara.

#### a. Pengaturan hormon pada reproduksi perempuan

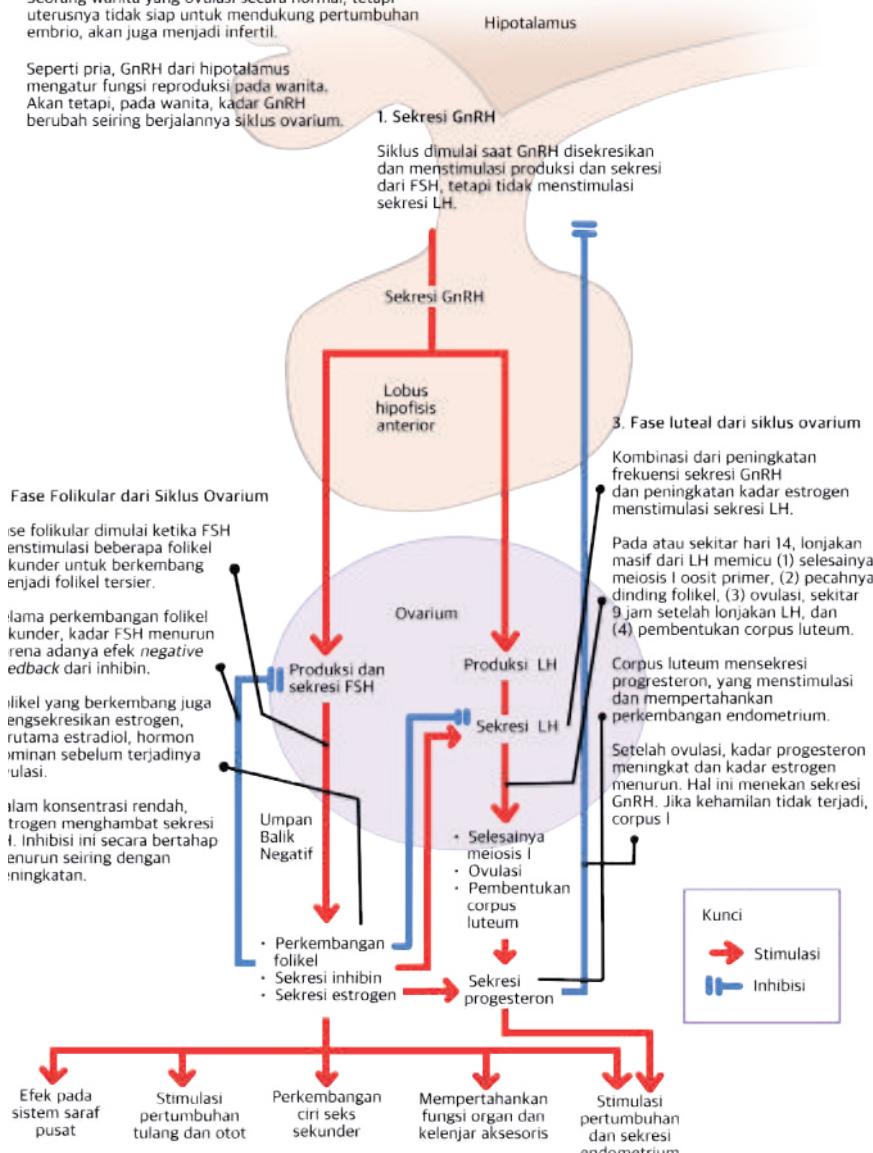
Seperti yang Kalian ketahui, perempuan yang sudah memasuki usia remaja dan mulai pubertas, akan mengalami menstruasi secara periodik, lalu bagaimana hal itu dapat terjadi secara periodik? Hal ini terjadi karena menstruasi pada perempuan memiliki dua siklus, yaitu siklus ovarium dan siklus uterus/rahim yang harus bekerja sama dalam menjalankan fungsi reproduksi. Pembahasan menstruasi secara mendalam akan Kalian bahas nanti di bagian khusus dalam bab ini.

Jika kedua siklus ini tidak berkoordinasi, maka dapat menyebabkan kondisi kemandulan. Sebagai contoh, jika seorang perempuan tidak mengalami ovulasi, maka tidak akan terjadi persatuan sperma dan

ovum meskipun kondisi uterus/rahimnya normal. Ataupun sebaliknya, jika seorang perempuan mengalami ovulasi yang normal, tetapi rahimnya belum siap untuk menyokong pertumbuhan embrio, maka kehamilan tidak akan terjadi.

Ovarium dan siklus uterus harus bekerja secara sinkron agar fungsi reproduksi berjalan dengan baik. Jika siklus dari kedua organ tersebut tidak sinkron, maka akan timbul infertilitas atau kemandulan. Seorang wanita yang tidak ovulasi tidak dapat mengandung kehamilan, walaupun uterusnya normal. Seorang wanita yang ovulasi secara normal, tetapi uterusnya tidak siap untuk mendukung pertumbuhan embrio, akan juga menjadi infertil.

Seperti pria, GnRH dari hipotalamus mengatur fungsi reproduksi pada wanita. Akan tetapi, pada wanita, kadar GnRH berubah seiring berjalannya siklus ovarium.



Gambar 7.4 Pengaturan hormon reproduksi pada perempuan

Sumber: Martini, Nath, & Bartholomew, 2012

Gambar 7.4 merupakan ilustrasi pengaturan hormon reproduksi pada perempuan. Silahkan Kalian amati dengan cermat dan dapat berdiskusi dengan teman dan gurumu.

Berdasarkan Gambar 7.4, hormon GnRH menjadi pengatur utama dalam menjalankan fungsi reproduksi perempuan. Kadar hormon GnRH akan bervariasi pada setiap fase di siklus ovarium. Pelepasan hormon GnRH di hipotalamus akan menstimulasi pelepasan FSH dan pembentukan LH di pituitari anterior.

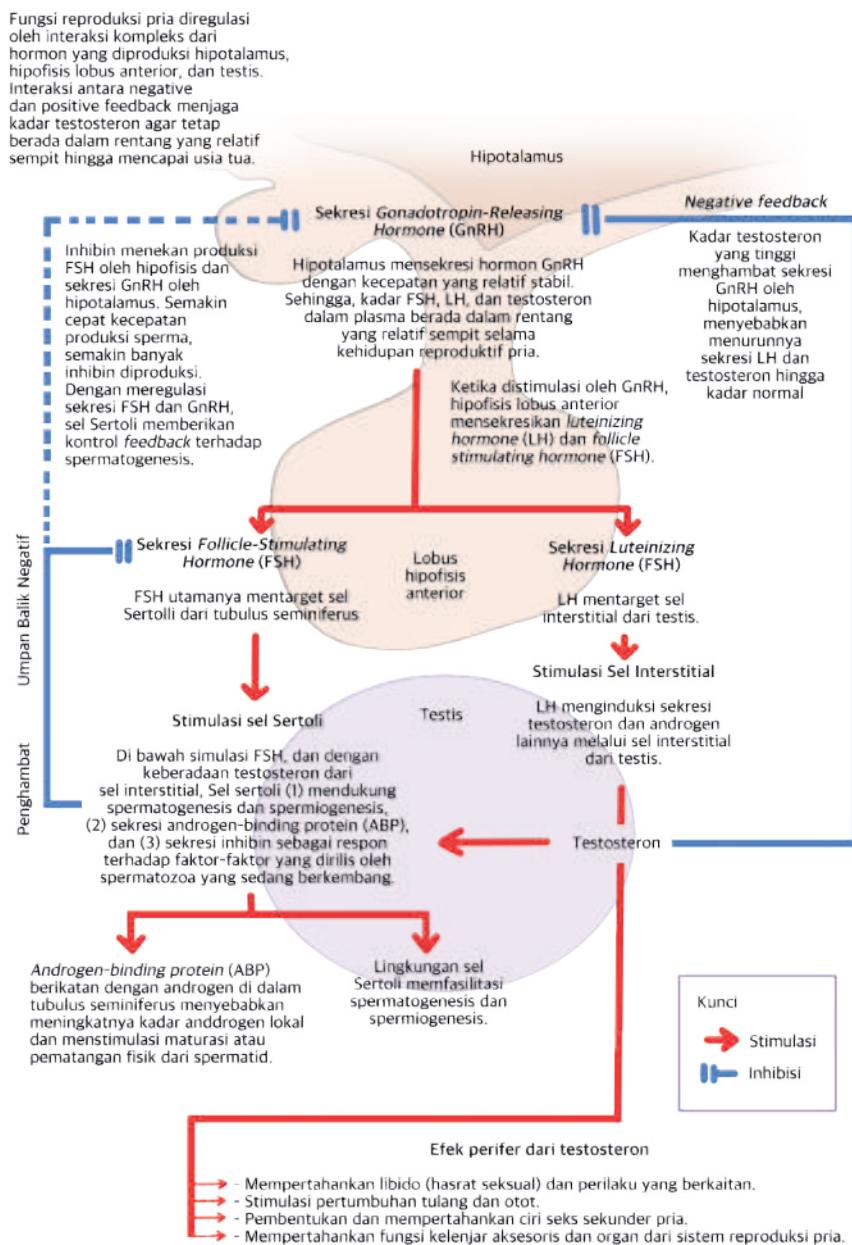
Pelepasan hormon FSH menjadi awal dari fase pertumbuhan folikel (folikular) di siklus ovarium. Pelepasan FSH akan menstimulasi perkembangan folikel sekunder menjadi folikel tersier di ovarium. Selain itu, pelepasan FSH akan menyebabkan sekresi hormon penghambat dan estrogen oleh ovarium. Hormon penghambat ini berperan menghambat pelepasan FSH di pituitari anterior (negative feedback). Hormon estrogen berperan dalam menstimulasi pertumbuhan tulang dan otot pada perempuan, membentuk dan mempertahankan karakteristik sekunder perempuan dan bekerja sama dengan progesteron untuk menstimulasi pertumbuhan endometrium. Hormon estrogen dalam kadar rendah, berperan dalam menghambat hormon LH, tetapi seiring dengan perkembangan folikel, kadar hormon estrogen meningkat dan berdampak pada pelepasan hormon LH dalam jumlah banyak.

Pelepasan hormon LH menjadi tanda awal terjadinya fase sekretori (luteal) di siklus ovarium. Pada hari ke 14, terjadi peningkatan drastis hormon LH yang akan menyebabkan 1) penuntasan fase meiosis 1 oosit primer; 2) ovulasi yang terjadi sekitar 9 jam setelah LH banyak dikeluarkan; 3) pembentukan korpus luteum. Korpus luteum berperan dalam mensekresikan progesteron yang nantinya akan memicu pertumbuhan dinding rahim (endometrium).

Setelah ovulasi, kadar hormon progesteron meningkat sedangkan kadar hormon estrogen menurun. Hal ini akan menyebabkan penghambatan pada pelepasan GnRH di hipotalamus. Jika tidak terjadi kehamilan, korpus luteum akan berdegradasi pada hari ke 12, dan kadar progesteron menurun, sehingga sekresi GnRH tidak terhambat dan siklus menstruasi akan dimulai kembali.

## b. Pengaturan Hormon pada Reproduksi Laki-laki

Pernahkah Kalian mengalami perubahan suara dan penampakan jakun pada awal pubertas? Perubahan suara dan jakun pada laki-laki terjadi karena organ reproduksi laki-laki sudah mulai aktif menghasilkan sperma untuk menjalankan fungsi reproduksi.



**Gambar 7.5** Pengaturan hormon reproduksi pada laki-laki

Sumber: Martini, Nath, & Bartholomew, 2012

Secara garis besar, fungsi reproduksi laki-laki diatur oleh hormon yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis, pituitari anterior dan testis. Interaksi ini dapat berupa peningkatan (*positive feedback*) atau penurunan (*negative feedback*) pelepasan hormon. Kemudian kedua interaksi ini akan membentuk suatu siklus yang menjaga hormon testosteron pada kadar normal. Perhatikan Gambar 7.5 terkait ilustrasi pengaturan hormon pada laki-laki, silahkan Kalian cermati bersama dengan temanmu.

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 7.5, fungsi reproduksi laki-laki, diatur oleh kelenjar hipotalamus di otak. Kelenjar ini menghasilkan hormon *Gonadotropin-Releasing Hormone* (GnRH) yang dapat merangsang pelepasan hormon *Luteinizing Hormone* (LH) dan *Follicle Stimulating Hormone* (FSH) oleh kelenjar pituitari anterior. Hormon LH berfungsi untuk menstimulasi pelepasan hormon testosteron oleh sel testis. Kemudian, hormon testosteron yang merupakan hormon utama sistem reproduksi laki-laki bertugas untuk mempertahankan keinginan bereproduksi, merangsang pertumbuhan tulang dan otot, menimbulkan dan mempertahankan karakteristik sekunder laki-laki.

Hormon FSH bekerja sama dengan hormon testosteron untuk menstimulus pembentukan sperma (spermatogenesis) dan *androgen-binding protein* (ABP) oleh sel sertoli di tubulus seminiferus. Yang kemudian, protein ABP akan berikatan dengan hormon androgen dan menyebabkan pematangan sel sperma menjadi spermatid. Selain itu, sel sertoli juga berperan dalam pelepasan hormon penghambat. Hormon penghambat inilah yang akan berperan untuk menekan produksi FSH oleh kelenjar pituitari anterior. Berikut akan dipaparkan hormon pada sistem reproduksi untuk Kalian telaah dengan saksama dalam bentuk Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Hormon pada Sistem Reproduksi dan Fungsinya

Kelenjar	Hormon	Sel target	Fungsi
Pituitari anterior	<i>Follicle Stimulating Hormone</i> (FSH)	Perempuan	Menstimulasi pertumbuhan folikel dan sekresi estrogen dan progesteron.
		Laki-laki	Menstimulasi produksi sperma.
	<i>Luteinizing Hormone</i> (LH)	Perempuan	Menstimulasi ovulasi dan sekresi estrogen dan progesteron.
		Laki-laki	Menstimulasi sekresi testosteron.
Ovarium	Estrogen	Organ reproduksi	Mengatur pertumbuhan folikel.
		Seluruh tubuh	Mengatur pertumbuhan badan (pubertal growth spurt) dan tanda sekunder pubertas.
	Progesteron	Uterus/rahim	Mempersiapkan kehamilan.
Testis	Testosteron	Organ reproduksi	Menstimulasi produksi sperma.
		Seluruh tubuh	Mengatur pertumbuhan badan (pubertal growth spurt) dan tanda sekunder pubertas.

## B. Keterkaitan Struktur Organ pada Sistem Reproduksi



Ayo Berpikir kritis

Aktivitas 7.3

Pada kegiatan ini Kalian akan melakukan observasi pada torso organ reproduksi pada manusia yang berada di laboratorium biologi sekolah Kalian. Tuliskan dalam buku catatan pertanyaan apa yang dapat Kalian ajukan setelah mencermati organ-organ reproduksi baik melalui demonstrasi atau pengamatan langsung apabila dikaitkan dengan fungsi organ dan hormon dalam sistem reproduksi pada manusia! (Minimal tiga pertanyaan)!

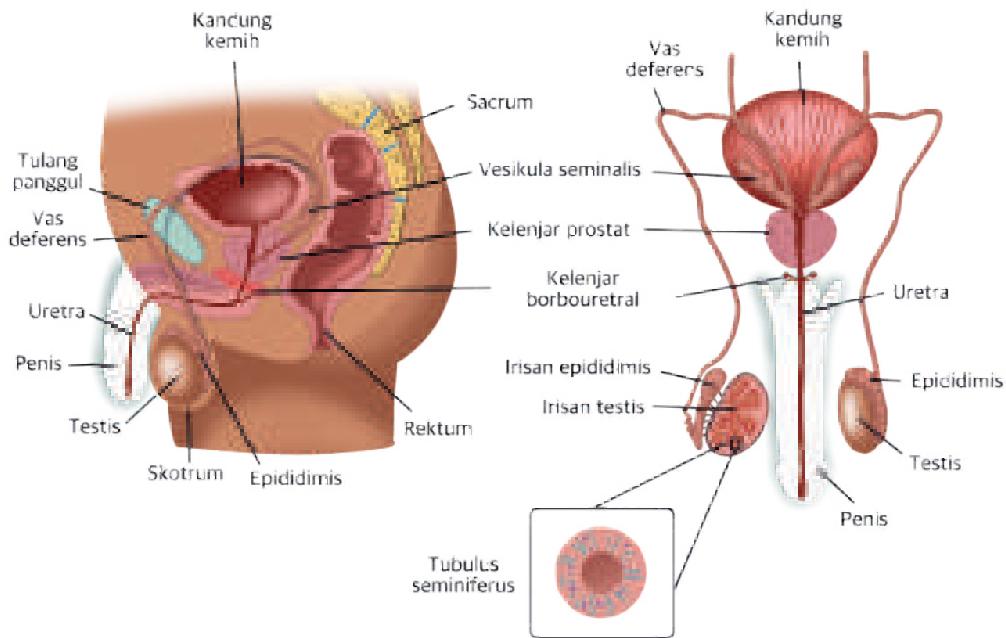
### 1. Struktur dan Fungsi Organ Sistem Reproduksi

Bagaimana manusia melakukan reproduksi? Reproduksi pada manusia hanya terjadi secara generatif dengan pembuahan secara internal. Sebagaimana kita ketahui manusia terdiri atas laki-laki dan perempuan yang masing-masing memiliki organ reproduksi dengan struktur yang spesifik.

Perlu diketahui bahwa reproduksi pada manusia juga berperan dalam menurunkan materi genetik dari satu generasi ke generasi berikutnya. Untuk lebih memahami mengenai struktur organ reproduksi pada laki-laki dan perempuan, cobalah Kalian pelajari uraian materi berikut!

#### a. Struktur dan Fungsi Organ Reproduksi Laki-laki

Di antara Kalian pasti sudah ada yang mengenal organ reproduksi pada laki-laki, untuk lebih jelasnya sekarang akan dibahas secara terperinci. Organ reproduksi laki-laki terdiri atas organ genetalia dalam (*interna*) dan organ genetalia luar (*eksterna*). Organ genetalia eksterna ini terdiri atas penis dan skrotum (kantung zakar). Organ genitalia interna terdiri atas testis, saluran reproduksi dan kelenjar kelamin. Secara garis besar organ reproduksi laki-laki dapat dilihat pada gambar berikut.



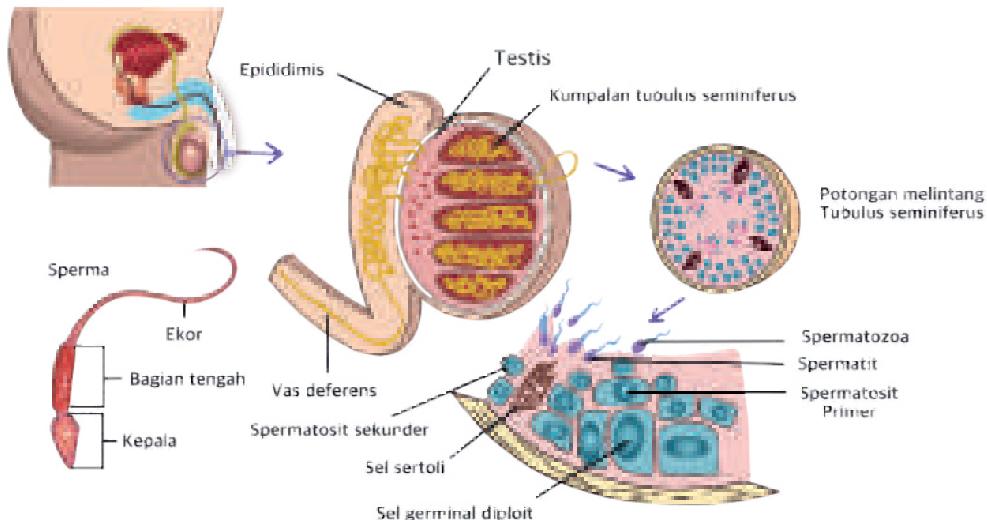
**Gambar 7.6** Sayatan membujur organ reproduksi laki-laki

### 1) Skrotum

Skrotum merupakan organ genitalia eksterna yang dapat dilihat dari luar, berupa kantung yang disusun oleh kulit tipis dan fascia superficial. Bagian dalam skrotum ini dipisahkan oleh suatu sekat menjadi dua buah kantung yang masing-masing berupa sebuah testis (Moore, 2017). Skrotum juga memiliki otot dartos dan kremaster yang ototnya dapat beradaptasi mengatur temperatur testis ketika panas atau dingin. (Guyton, 2015)

### 2) Testis

Laki-laki memiliki sepasang kelenjar yang berbentuk *oval* dengan panjang kira-kira 5 cm, diameter 2,5 cm dan berat 10-15 gram. Testis ditutupi oleh lapisan padat dari jaringan fibrosa putih yang disebut tunika albuginea dan juga terdapat gulungan tubulus seminiferus di dalam testis. Bagian inilah yang menghasilkan spermatogenesis (Junquiera, 2018). Untuk lebih jelasnya, struktur testis dapat dilihat pada Gambar 7.7.



**Gambar 7.7** Sayatan membujur testis

### 3) Sel Sperma atau spermatozoa

Sekarang bagaimana halnya dengan sel sperma atau spermatozoa? Sel sperma dihasilkan kira-kira 300 juta per hari dan bila telah memasuki alat reproduksi perempuan dapat hidup 18 jam di dalam alat reproduksi perempuan. Sel sperma terdiri atas kepala, bagian tengah dan ekor. Pada bagian kepala terdapat materi inti dan akrosom yang berisi enzim *hyaluronidase* dan proteinase yang berpengaruh ketika menembus sel telur. Bagian tengah terdapat mitokondria yang berfungsi untuk menghasilkan energi dalam pergerakan. Bagian ekor berbentuk seperti cambuk yang berperan di dalam membantu pergerakan (Junquiera, 2018).

### 4) Saluran-saluran

Di dalam testis, sel sperma yang telah matang akan bergerak melalui tubulus seminiferus yang bergulung ke saluran yang lurus dan akhirnya ke jaringan tubulus yang disebut rete testis. Sperma ini selanjutnya akan diangkut ke luar testis melalui saluran-saluran tertentu (Sherwood, 2015).

Adapun saluran dalam testis meliputi beberapa bagian di antaranya adalah epididimis yang berfungsi sebagai tempat pematangan sperma dan menyimpan sperma serta mendorong sperma ke arah uretra selama ejakulasi melalui kontraksi otot polos. Selanjutnya, saluran deferens yang berfungsi menyimpan sperma sampai beberapa bulan dan mendorong sperma ke arah uretra selama ejakulasi. Lalu, saluran ejakulasi yang memiliki panjang kira-kira 2 cm dan dibentuk oleh gabungan saluran dari seminal vesikel dan saluran deferens yang berfungsi mendorong sperma ke dalam saluran uretra. Terakhir adalah uretra yang merupakan ujung saluran dari sistem reproduksi laki-laki yang berfungsi sebagai saluran sperma dan urin (Moore, 2017).

## 5) Kelenjar-kelenjar tambahan

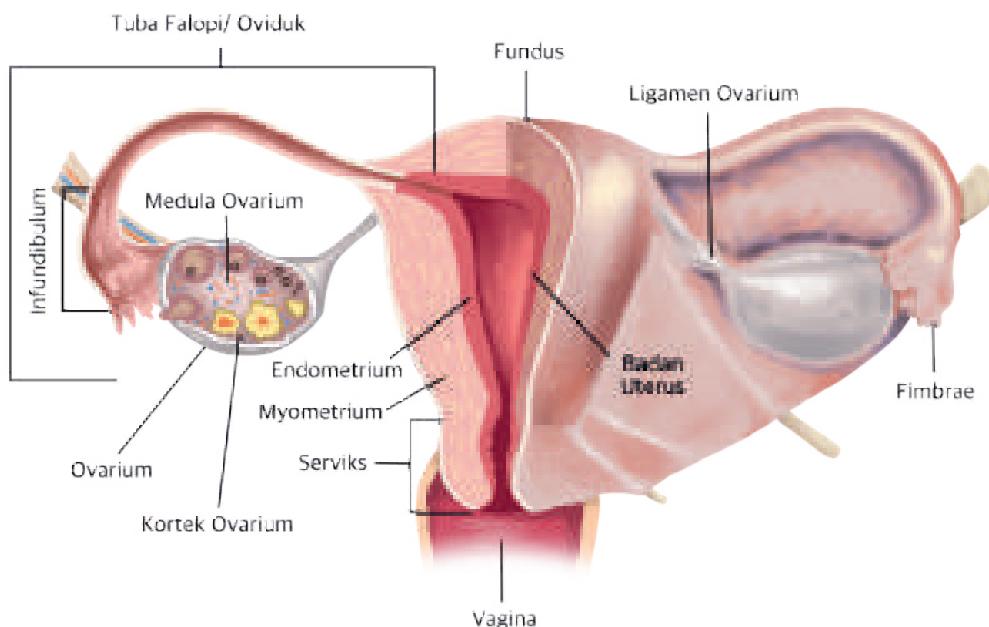
Sekarang Kalian akan membahas kelenjar-kelenjar tambahan yang berfungsi menyekresikan cairan sperma. Misalnya saja kantong sperma (*seminal vesicle*) berfungsi menyekresikan cairan kental yang bersifat alkalis dan kaya akan fruktosa. Kelenjar prostat menghasilkan cairan alkalis untuk menetralisasi asam di dalam uretra dan vagina. Kelenjar bulbourethral merupakan kelenjar tambahan lainnya, berfungsi menghasilkan lendir dan zat yang bersifat untuk menetralisasi urin (Sherwood, 2016).

## 6) Penis

Penis digunakan untuk mentransfer sperma ke dalam vagina. Ujung distal penis membesar disebut glans, bagian ini ditutupi oleh kulit yang terpisah dinamakan prepuse. Secara internal penis disusun oleh tiga jaringan masa silindris yang diikat bersama-sama oleh jaringan fibrosa. Ketiga jaringan tersebut mengandung banyak sinus-sinus pembuluh darah.

## b. Struktur dan fungsi organ reproduksi perempuan

Organ reproduksi perempuan terdiri dari organ genitalia interna (dalam) dan organ genitalia eksterna (luar). Organ genitalia eksterna ini terdiri atas vulva yang terdiri atas mons pubis/mons veneris, labia majora, labia minora, klitoris, vestibulum, himen (selaput dara) dan perineum. Organ genitalia interna terdiri atas vagina, uterus, tuba falopi dan ovarium. (Moore, 2017). Berikut ini akan dijelaskan bagian-bagian organ perempuan, coba Kalian perhatikan Gambar 7.9.



**Gambar 7.8** Diagram struktur organ reproduksi perempuan

Untuk penjelasan lengkapnya, ayo Kalian bahas bersama teman dan gurumu tentang organ-organ reproduksi pada perempuan berikut.

### 1) Ovarium

Apakah Kalian tahu sebelumnya tentang ovarium yang mirip dengan testis? Dimana letaknya? Sekarang Kalian akan membahasnya dengan detail. Ovarium sebagai gonad perempuan berfungsi untuk

memproduksi sel telur. Organ ini merupakan sepasang kelenjar yang berbentuk oval terletak di atas rongga pelvis, masing-masing satu buah dekat uterus. Ovarium ini akan selalu dalam posisinya karena diikat oleh ligamen-ligamen dan menempel pada ligamen lebar uterus oleh dua lapisan peritoneum yang melipat di sebut mesovarium (Junquiera, 2018). Pada ovarium terdapat folikel-folikel dan *corpus luteum* yang berperan dalam menghasilkan hormon progesteron, estrogen, dan relaksin.

Berdasarkan uraian di atas Kalian mungkin akan dapat menyimpulkan bahwa ovarium merupakan gonad yang berfungsi menghasilkan sel telur dan hormon-hormon kelamin. Ovarium ini analog dengan testis pada sistem reproduksi laki-laki.

## 2) Saluran telur/oviduk/tuba fallopi

Bagian selanjutnya yang akan Kalian pelajari adalah saluran telur, di mana apabila sel telur yang dihasilkan oleh ovarium akan diteruskan ke dalam uterus melalui saluran uterin (*fallopian*) yang sering juga disebut saluran telur (*oviduct*). Di bagian ujung distal terdapat bagian berbentuk corong yang disebut *infundibulum*. Pada saluran telur ini terdapat bagian yang paling lebar dan paling panjang disebut *ampula*, sedangkan bagian yang sempit pendek dan berdinding rapat yang bersatu dengan uterus disebut *isthmus*. (Moore, 2017).

## 3) Uterus

Uterus merupakan tempat implanasi sel telur yang telah dibuahi, bahkan perkembangan fetus sampai saatnya dilahirkan juga terjadi di dalam uterus ini. Uterus terletak di antara kantung kemih dan rektum, bentuknya menyerupai buah pir yang terbalik.

Secara anatomi uterus dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu fundus, merupakan bagian yang paling atas, badan yang merupakan bagian utama dari uterus dan cervix yang merupakan bagian paling bawah yang langsung berhubungan dengan vagina (Moore,2017).

Adapun uterus memiliki tiga lapisan jaringan yaitu perimetrium atau serosa, merupakan lapisan yang paling luar, miometrium yang merupakan lapisan tengah yang membentuk dinding uterus menjadi lebar dan endometrium yang merupakan lapisan paling dalam berupa membran mukosa (Junquiera, 2018).

#### 4) Vagina

Vagina merupakan tempat keluarnya aliran haid dan tempat menerima penis selama terjadinya koitus. Vagina merupakan organ yang berotot, berbentuk tabung dan dibatasi oleh selaput mukosa. Panjangnya kira-kira 10 cm, bagian atas vagina secara langsung berhubungan dengan uterus (Moore, 2017). Mukosa vagina banyak mengandung glikogen melalui proses dekomposisi dapat menghasilkan asam-asam organik (Guyton, 2015). Di bagian luar vagina terdapat struktur vulva yang merupakan kumpulan genitalia eksterna perempuan. Bagian-bagian tersebut meliputi Veneris (mons pubis), labium mayora dan minora, klitoris, dan vestibula (Moore, 2017).

## 2. Proses Menstruasi

Dalam hidup, seorang perempuan akan mengalami menstruasi tidak kurang dari 400 kali, dalam prosesnya akan mengalami pengelupasan dan regenerasi pada endometrium. Darah yang keluar lewat menstruasi seluruhnya tak kurang dari 3 kali jumlah total besi yang ada pada orang dewasa. Pada siklus menstruasi, terdapat fase proliferasi, sekresi, dan menstruasi.



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 7.4

Untuk memahami lebih dalam tentang menstruasi, silahkan kunjungi tautan video berikut: [s.id/1rP9G](https://s.id/1rP9G) (atau tautan [youtu.be/rPXsvgE5Ydo](https://youtu.be/rPXsvgE5Ydo))

Silahkan jelaskan masing-masing tahapan dalam proses menstruasi sesuai dengan minat dan bakat kalian dapat menjelaskannya melalui poster, video, podcast, PPT, *Mind Map*, dan lain-lain!

#### a. Fase Proliferasi

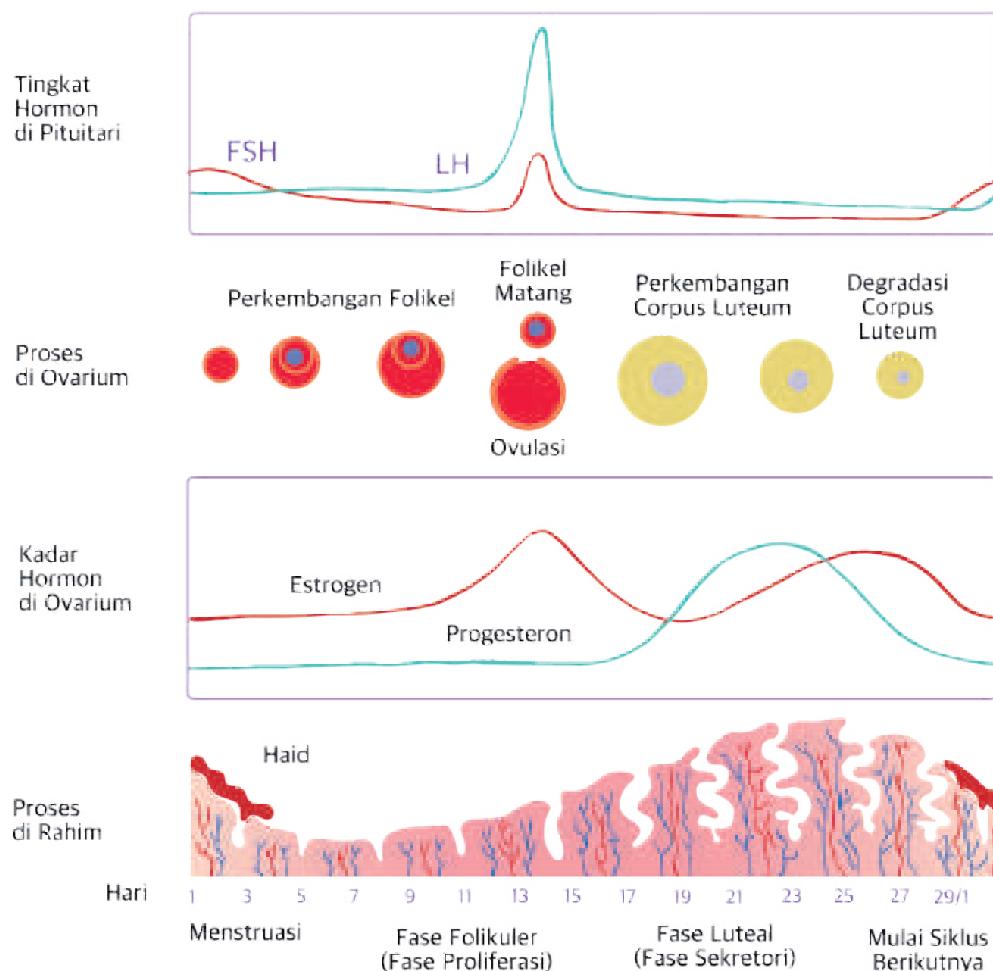
Pada fase proliferasi, hormon estrogen sangat berpengaruh terhadap perubahan endometrium. Di bawah pengaruh hormon estrogen, endometrium akan mengalami proliferasi (epitel mengalami regenerasi, kelenjar memanjang dan jaringan ikat bertambah padat). Pada masa ini, endometrium tumbuh menjadi tebal kira-kira 3,5 mm. Fase ini berlangsung kira-kira dari hari ke-5 sampai hari ke-14 dari hari pertama haid.

#### b. Fase Sekresi

Pada fase ini, hormon yang berpengaruh adalah hormon progesteron. Progesteron menyebabkan keadaan endometrium tetap tebalnya tapi bentuk kelenjar berubah menjadi panjang, membesar, melebar, berkelok-kelok, dan banyak mengeluarkan sekret. Fase sekresi ini berlangsung dari hari ke-14 sampai hari ke-28. Bila tidak terjadi kehamilan maka endometrium akan mengalami peluruhan.

### c. Fase Menstruasi

Menstruasi adalah pendarahan secara periodik dimana darah berasal dari jaringan endometrium yang mati. Menstruasi terjadi sekitar 14 hari sesudah ovulasi pada siklus 28 hari. Pada fase menstruasi, terjadi dilatasi atau pelebaran pembuluh darah rahim sehingga bagian-bagian yang mati terlepas berupa darah menstruasi. Sebelum menstruasi berhenti, FSH memacu kembali beberapa folikel untuk tumbuh dan berkembang, dan dengan ini mulai lagi satu siklus menstruasi yang baru. Bila kehamilan tidak terjadi, proses ini berlangsung terus sampai seorang perempuan berumur 45-50 tahun atau sampai usia menopause. Perhatikan Gambar 7.9.



**Gambar 7.9** Fase menstruasi



### Pengaturan Hormon dalam Siklus Menstruasi

Silahkan Kalian pelajari Siklus Menstruasi pada Gambar 7.10. Pahami dengan merujuk pada berbagai sumber yang relevan. Kalian dapat menghubungi guru kalian jika mengalami kesulitan dalam memahaminya. Jika sudah paham, lengkapilah dan salinlah Tabel 7.2 sehingga memberikan informasi yang utuh pada buku catatanmu!

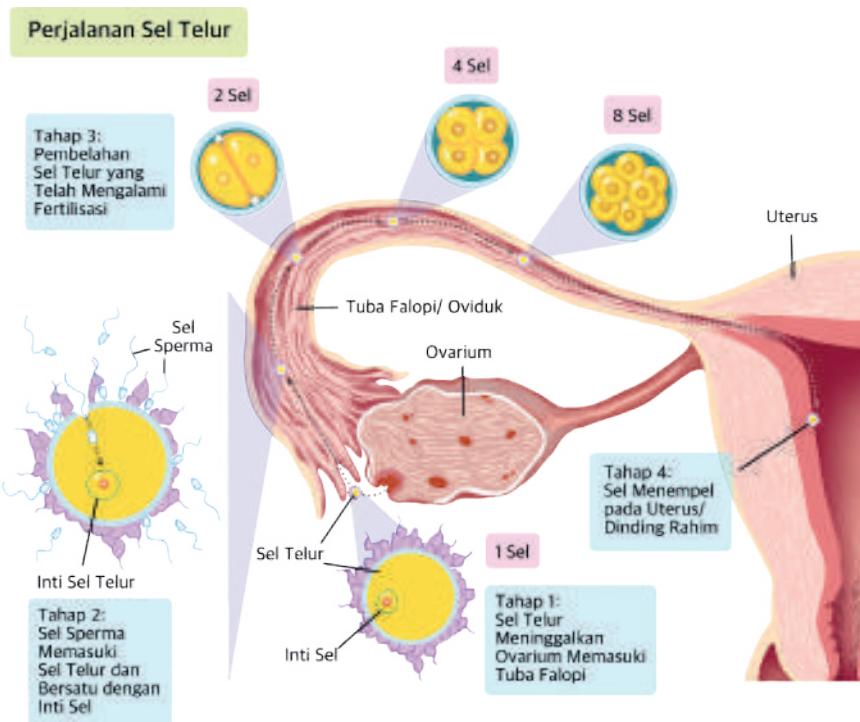
Tabel 7.2 Fase Menstruasi dan Persiapan Kehamilan

Fase	Perubahan Hormon GnRH, FSH, LH Estrogen, Progesteron	Perubahan yang Terjadi Pada Ovarium dan atau Endometrium (Dinding Rahim)
Menstruasi Hari ke 1-5		
Pra Ovulasi Sampai dengan Hari Ke-14		
Ovulasi Hari Ke-14		
Pasca Ovulasi Hari Ke 15-28		

## 5. Proses Kehamilan

### a. Fertilisasi/Pembuahan

Fertilisasi atau konsepsi didefinisikan sebagai proses peleburan/penyatuan antara bagian sel sperma dengan satu sel telur (ovum) yang sudah matang. Setelah proses itu akan membentuk zigot yang umumnya terjadi pada sepertiga dari panjang saluran telur atau tuba fallopi. Untuk lebih jelasnya, coba Kalian Perhatikan Gambar 7.10.



**Gambar 7.10** Proses fertilisasi

### b. Nidasi (Implantasi)

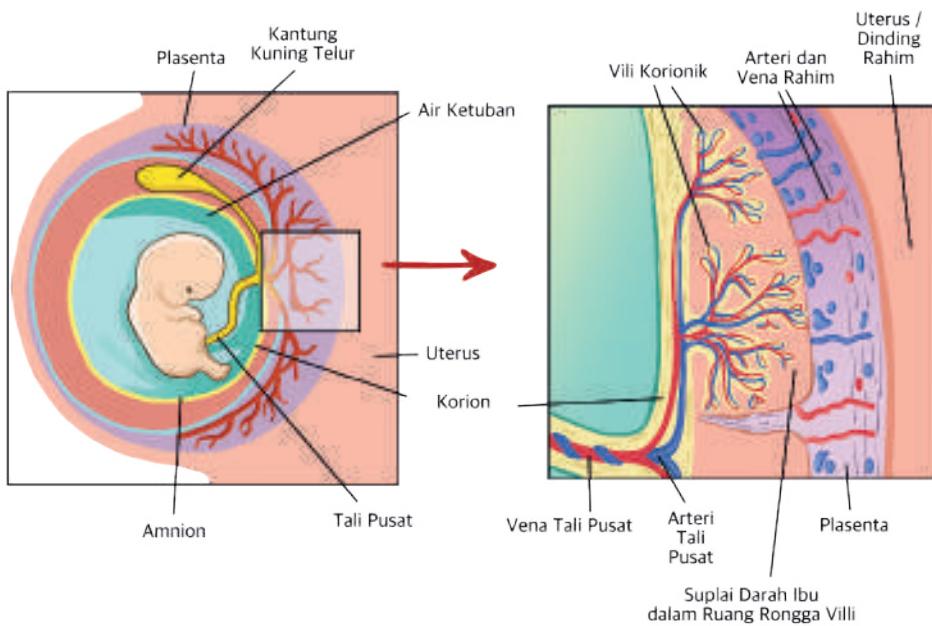
Nidasi atau implantasi adalah peristiwa tertanamnya atau bersarangnya sel telur yang telah dibuahi (*fertilized egg*) atau hasil konsepsi ke dalam endometrium. Tempat nidasi biasanya pada dinding depan dan dinding belakang di daerah fundus uteri.

Setelah implantasi, endometrium disebut desidua. Desidua yang terdapat antara sel telur dan dinding rahim disebut desidua basalis.

### c. Pertumbuhan dan Perkembangan Plasenta

Plasenta adalah bagian kehamilan yang penting. Plasenta memiliki peran sebagai transpor zat dari ibu ke janin, penghasil hormon yang berguna selama kehamilan, serta sebagai barier.

Fungsi plasenta adalah mengusahakan janin tumbuh dengan baik. Untuk pertumbuhan ini dibutuhkan adanya penyaluran zat asam, asam amino, vitamin, dan mineral dari ibu ke janin, dan pembuangan  $\text{CO}_2$  serta sampah metabolisme janin ke peredaran darah ibu, seperti yang ditampilkan dalam Gambar 7.11.



**Gambar 7.11** Plasenta

## 6. Kelainan, Gangguan dan Penyakit pada Sistem Reproduksi

Struktur dan fungsi organ reproduksi pada manusia adakalanya mengalami kelainan atau gangguan dalam menjalankan fungsinya. Sekarang Kalian akan membahas tentang kelainan dan gangguan dalam sistem reproduksi pada manusia.

### a. Sifilis

Sifilis adalah penyakit menular yang disebabkan oleh suatu bakteri berbentuk spiral disebut *Treponema pallidum*. Penyakit ini dapat menyerang berbagai organ dalam tubuh, dapat ditularkan melalui hubungan seksual, melalui luka-luka mikroskopis, transfusi darah segar, dan dari ibu ke fetus melalui placenta.

### b. Gonorrhoea

Gonorrhoea ialah suatu penyakit infeksi akut yang menyerang selaput lendir dari urethra, serviks, kadang-kadang rectum, pharynx, dan mata. Penyakit ini disebabkan oleh bakteri *Neisseria gonorrhoea*, suatu diplococcus gram negatif. Masa inkubasinya 2-14 hari, gejalanya berupa sakit bila buang air kencing dan keluar nanah berwarna kuning

hijau dari uretra. Pada perempuan, peradangan dan penyumbatan pada tuba fallopi oleh gonorrhoea sering menyebabkan perempuan menjadi infertil.

### c. Infertilitas

Infertilitas biasa juga disebut ketidakmampuan menghasilkan keturunan. Suatu pasangan disebut infertil bila setelah satu tahun menikah tanpa kontrasepsi tidak mendapatkan keturunan. Infertilitas dapat disebabkan oleh faktor di pihak laki-laki, pihak perempuan ataupun keduanya. Pada laki-laki infertilitas didefinisikan sebagai ketidakmampuan memfertilisasi ovum.

Pada perempuan infertilitas disebabkan oleh gangguan pembentukan ovum karena kerusakan pada ovarium yang disebabkan infeksi toksin, sinar radio aktif, penyumbatan tuba fallopi, gangguan pada rahim dan cervix.

### d. Gangguan menstruasi

Gangguan menstruasi dapat berupa perdaraan menstruasi yang terlalu banyak atau terlalu sedikit, siklus menstruasi tidak teratur, menstruasi terjadi lebih dari 7 hari, tidak menstruasi lebih dari 3 bulan, atau bahkan tidak pernah haid sama sekali. Lebih detailnya gangguan menstruasi ada amenorea, yaitu amenorea primer dan sekunder. Amenorea primer adalah kondisi dimana seorang perempuan sama sekali belum mengalami haid hingga 16 tahun. Sementara itu, amenorea sekunder adalah kondisi di mana seorang perempuan usia subur yang tidak sedang hamil, tetapi pernah menstruasi sebelumnya, berhenti mendapatkan menstruasi selama 3 bulan atau lebih. Selanjutnya, dismenorrhea dengan kondisi di mana perempuan mengalami nyeri saat menstruasi, umumnya pada hari pertama dan kedua haid. Selanjutnya, menorrhagia yang merupakan gangguan menstruasi berupa keluarnya darah menstruasi secara berlebihan atau dalam jumlah terlampau banyak, sehingga mengganggu aktivitas sehari-hari. Terakhir, oligomenorrhea dimana kondisi ketika seorang perempuan jarang sekali mengalami menstruasi, yakni jika siklus menstruasinya lebih dari 35–90 hari atau mendapat haid kurang dari 8–9 kali dalam kurun waktu setahun.

### Aktivitas 7.6

#### Survei Kelainan/Gangguan/Penyakit Sistem Roproduksi

(Tempat Survei: Dinas Kesehatan/Rumah Sakit/Puskesmas/Klinik)

1. Lakukan survei bersama anggota kelompok Kalian dengan izin sekolah dan membawa surat pengantar dari sekolah ke Dinas Kesehatan/Rumah Sakit/Puskesmas/Klinik yang dekat dengan tempat tinggal Kalian!
2. Lakukan tanya jawab yang hangat dan sopan santun dari semua anggota kelompok Kalian kepada petugas agar mendapatkan informasi yang diinginkan kalian.
3. Siapkan alat komunikasi atau rekaman untuk menyimpan data survei melalui wawancara.
4. Tuliskan kelainan/gangguan/penyakit pada Sistem Reproduksi pada Manusia yang ditemukan di tempat survei.
5. Rapikan data survei awal yang telah didapatkan dari lapangan.
6. Diskusikan dengan semua anggota kelompok Kalian bagaimana kalian akan mengomunikasikan data hasil survei yang telah diperoleh.

Buatlah infografis, poster, video, podcast, PowerPoint, puisi, lagu atau tabel dan lain-lain (pilih salah satu) sesuai minat Kalian dari data di atas, faktanya yang Kalian cermati seputar kelainan/gangguan/penyakit pada Sistem Reproduksi pada Manusia yang terjadi di lingkungan sekitar rumah tinggal kalian berdasarkan hasil survei dengan kelompok Kalian!

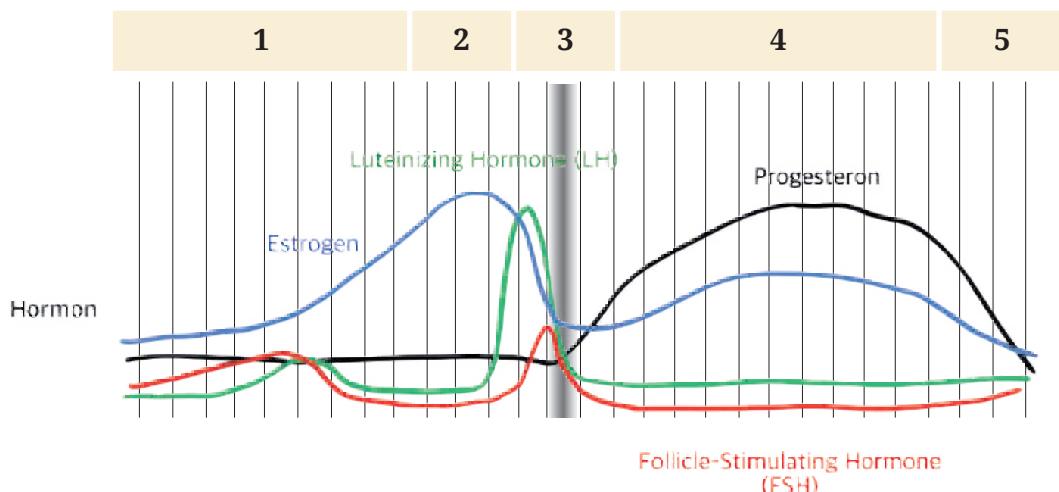
## Refleksi

Setelah Kalian mempelajari materi bab ini, Kalian akan diajakan kembali:

1. Hal apa yang paling menarik dari pembelajaran hari ini?
2. Apa hal yang tidak menyenangkan dalam pembelajaran hari ini?
3. Adakah sesuatu yang belum dipahami dalam pembelajaran hari ini?
4. Apakah ada yang menghambat pembelajaran hari ini?
5. Perubahan apa saja yang kalian rasakan setelah pembelajaran hari ini?
6. Hal baru apa yang kalian dapatkan setelah mengikuti pembelajaran ini?
7. Sikap dan perilaku apa saja yang dapat kalian tumbuhkan setelah mengikuti pembelajaran ini?
8. Keterampilan apa saja yang dapat kalian kembangkan setelah mengikuti pembelajaran ini?

## Uji Kompetensi

1. Perhatikan kurva hormon perempuan pada siklus reproduksi berikut!



- Berdasarkan skema, pada bagian 3 terjadi proses ....
- A. LH meningkat menyebabkan terbentuknya folikel
  - B. Progesteron meningkat menyebabkan estrogen berkurang
  - C. Estrogen meningkat menyebabkan terjadinya ovulasi
  - D. Progesteron meningkat menyebabkan estrogen menurun
  - E. FSH merangsang pembentukan estrogen dan progesteron

2. Perhatikan tampilan kalender bulan Mei berikut!

Minggu ke-	Minggu	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
I		1	2	3	4	5	6
II	7	8	9	10	11	12	13
III	14	15	16	17	18	19	20
IV	21	22	23	24	25	26	27
V	28	29	30	31			

- A. I
- B. II
- C. III
- D. IV
- E. V

3. Perhatikan informasi berita dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia berikut!

#### Inilah Risiko Hamil di Usia Remaja

Kesehatan reproduksi adalah keadaan sehat secara fisik, mental, dan sosial secara utuh, tidak semata-mata bebas dari penyakit yang berkaitan dengan sistem, fungsi, dan proses reproduksi.

Kehamilan remaja berdampak negatif pada kesehatan remaja dan bayinya, juga dapat berdampak sosial dan ekonomi. Kehamilan pada usia muda atau remaja antara lain berisiko kelahiran prematur, berat badan bayi lahir rendah (BBLR), perdarahan persalinan, yang dapat meningkatkan kematian ibu

dan bayi. Kehamilan pada remaja juga terkait dengan kehamilan tidak dikehendaki dan aborsi tidak aman.

Persalinan pada ibu di bawah usia 20 tahun memiliki kontribusi dalam tingginya angka kematian neonatal, bayi, dan balita. Survei Demografi dan Kesehatan Indonesia (SDKI) 2012 menunjukkan bahwa angka kematian neonatal, postneonatal, bayi dan balita pada ibu yang berusia kurang dari 20 tahun lebih tinggi dibandingkan pada ibu usia 20-39 tahun.

Pernikahan usia muda berisiko karena belum cukupnya kesiapan dari aspek kesehatan, mental emosional, pendidikan, sosial ekonomi, dan reproduksi. Pendewasaan usia juga berkaitan dengan pengendalian kelahiran karena lamanya masa subur perempuan terkait dengan banyaknya anak yang akan dilahirkan dari perempuan pada masa subur.

Hal ini diakibatkan oleh pengetahuan remaja tentang kesehatan reproduksi belum memadai. Hasil SDKI 2012 menunjukkan bahwa pengetahuan remaja tentang kesehatan reproduksi belum memadai yang dapat dilihat dengan hanya 35,3% remaja perempuan dan 31,2% remaja laki-laki usia 15-19 tahun mengetahui bahwa perempuan dapat hamil dengan satu kali berhubungan seksual yang dilakukan oleh remaja. Begitu pula gejala PMS kurang diketahui oleh remaja. Informasi tentang HIV relatif lebih banyak diterima oleh remaja, meskipun hanya 9,9% remaja perempuan dan 10,6% laki-laki memiliki pengetahuan komprehensif mengenai HIV-AIDS.

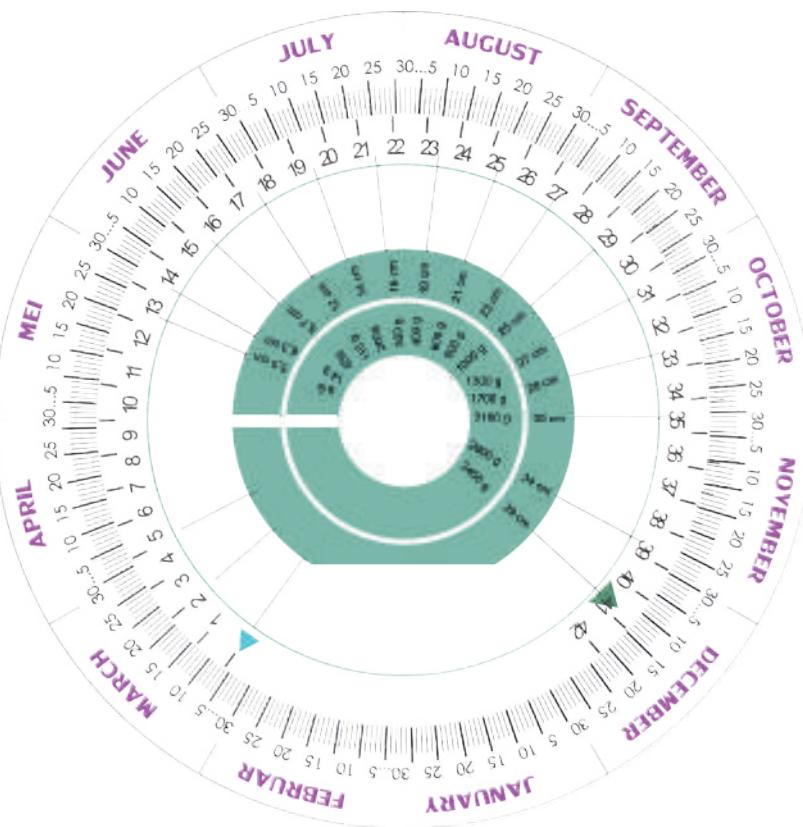
*Sumber: kemenkes.go.id (2020)*

Berdasarkan berita di atas. Pilihlah pernyataan benar atau salah dengan memberikan tanda centang (✓) pada kolom berikut!

Pernyataan	Benar	Salah
Pengetahuan remaja perempuan lebih banyak dari remaja laki-laki di usia 16-18 tahun tentang pengetahuan reproduksi.		

Kematian neonatal, postneonatal, bayi dan balita pada ibu yang berusia kurang dari 20 tahun lebih tinggi dibandingkan pada ibu usia 20-39 tahun.		
Informasi tentang Penyakit Menular Seksual (PMS) di antaranya HIV relatif lebih banyak diterima oleh remaja, meskipun hanya 9,9% remaja laki-laki dan 10,6% perempuan memiliki pengetahuan komprehensif mengenai HIV-AIDS.		

4. Seorang ibu hamil sangat menantikan kelahiran bayinya dengan lancar, selamat dan sehat. Sebagai upaya persiapan, maka seorang ibu hamil harus mengetahui Hari Perkiraan Lahir (HPL) agar dia dapat mempersiapkan kelahiran bayinya dengan baik. Salah satu alat yang digunakan, yaitu kalender kehamilan, seperti pada gambar berikut!



Tanda anak panah pada gambar di kalender kehamilan, yang berwarna biru menunjukkan Hari Pertama Haidh Terakhir (HPHT) dan warna hijau menunjukkan Hari Perkiraan Lahir (HPL).

Agar bayinya lahir dengan sehat, maka seorang ibu hamil hendaknya mendapat imunisasi dari beberapa penyakit berbahaya. Salah satu imunisasi yang harus diperoleh yaitu Vaksin tetanus toksoid – difteri toksoid – pertussis asesluler (Tdap) yang dianjurkan diberikan pada kehamilan usia 27-36 minggu.

Apabila ada seorang perempuan hamil dengan HPHT nya pada tanggal 5 April, maka pemberian vaksin Tdap yang tepat adalah pada tanggal ....

- A. 10 September
- B. 13 Juni
- C. 10 Oktober
- D. 12 Desember
- E. 5 Januari

## Pengayaan

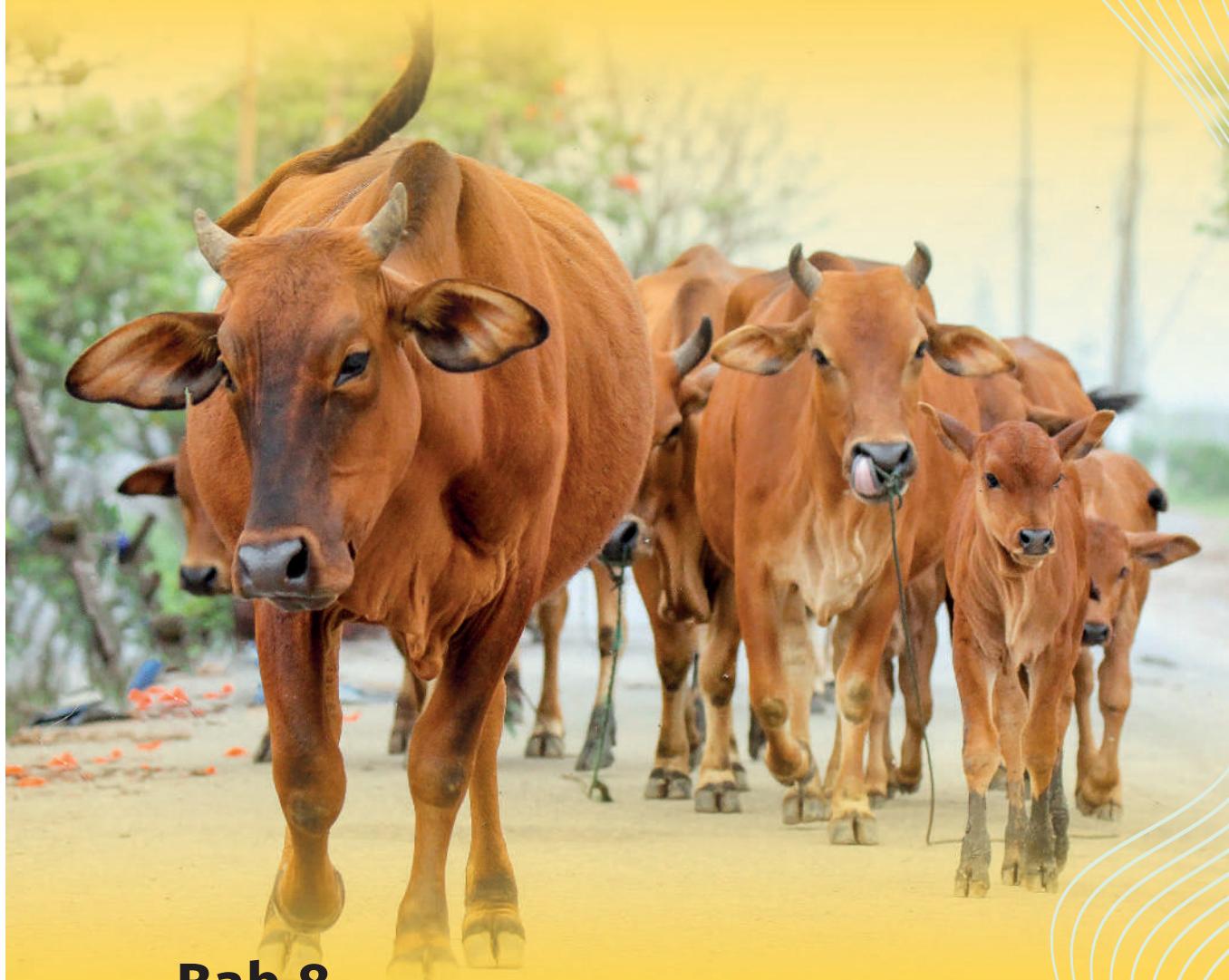
---

Setelah kalian mempelajari materi Hormon dalam Reproduksi Manusia, kalian dapat memperdalam materi yang berhubungan dengan Hormon dalam Reproduksi Manusia. Dalam rangka memperdalam materi ini, Kalian akan mempelajari terkait cara pencegahan kehamilan yang melibatkan teknologi dalam reproduksi yang akan berpengaruh juga pada kerja hormon reproduksi manusia. Bagaimana proses vasektomi dan sterilisasi itu dilakukan? Dengan Pendampingan oleh Guru, silahkan Kalian buka tautan di bawah ini, yaitu tentang vasektomi dan sterilisasi!

[https://youtu.be/jpB1Nz\\_0g84](https://youtu.be/jpB1Nz_0g84)

1. Apa yang dapat Kalian simpulkan dari video berikut?
2. Catat dalam buku catatanmu secara sistematis mekanisme vasektomi dan sterilisasi untuk menambah pengetahuan Kalian!

Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi  
Republik Indonesia, 2022  
Biologi untuk SMA/MA Kelas XI  
Penulis: Rini Solihat, dkk.  
ISBN: 978-602-427-893-9



## Bab 8

# Tumbuh kembang Makhluk Hidup

Tahukah Kalian bahwa walau pun saling terkait tapi proses pertumbuhan dan perkembangan pada makhluk hidup adalah dua proses yang berbeda? Bagaimana proses pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup dibedakan berdasarkan ciri dan faktor-faktor yang memengaruhinya?

Sumber gambar: pixabay.com/SonNguyenDinh (2017)

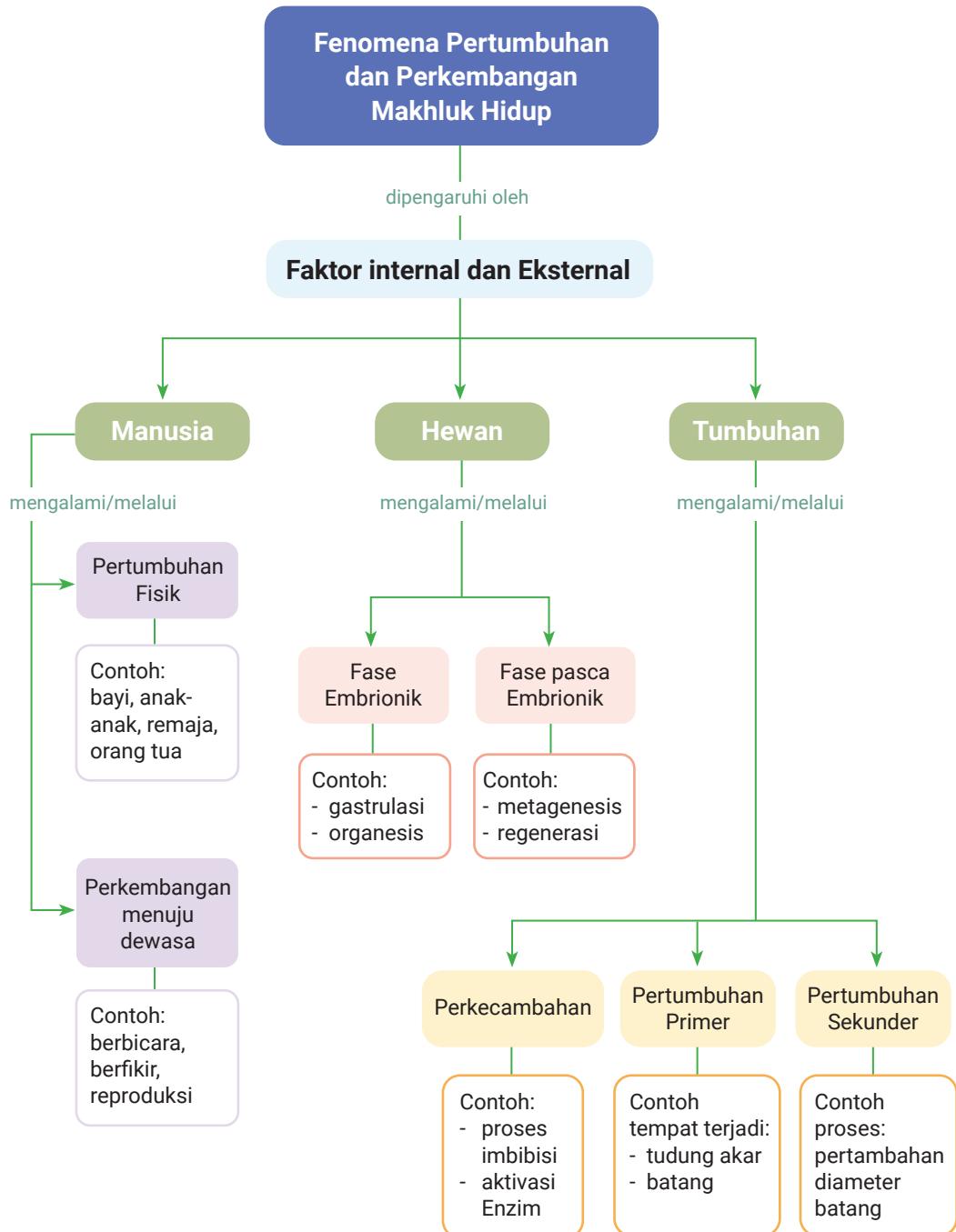
## Tujuan Pembelajaran

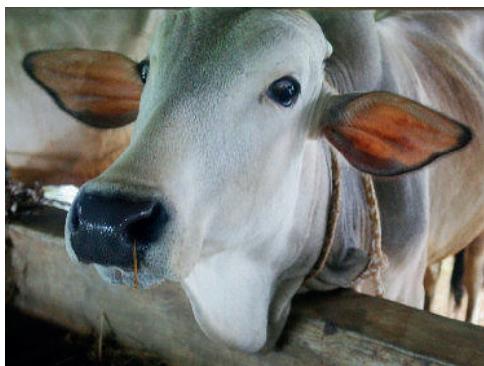
Setelah mempelajari Bab ini diharapkan Kalian mampu menguraikan solusi atau gagasan pencegahan permasalahan pertumbuhan dan perkembangan pada makhluk hidup di lingkungan sekitar.

## Kata Kunci

- Hormon
- Nutrisi
- Perkembangan
- Pertumbuhan
- Fase embrionik
- Fase pasca embrionik
- Jaringan meristem
- Epigeal
- Hipogea

## Peta Konsep





**Gambar 8.1** Ternak Sapi  
Sumber: Chelpin Setiawan (2014)

Apakah Kalian memiliki hewan ternak? Pada umumnya hewan ternak dipelihara sejak kecil dan setelah bertambah besar pada kisaran berat tertentu hewan ternak akan dijual pada konsumen. Perubahan ukuran tubuh hewan ternak, akan diikuti juga dengan perkembangan dari organ-organ reproduksi dan organ-organ endokrinnya, contohnya ayam siap bertelur dan sapi siap kawin.

Bagaimana dengan tumbuhan? Sayuran tomat contohnya, kalian dapat menanamnya dari biji, disemai, lalu tumbuh tinggi hingga pada umur tertentu akan berbunga, lalu dihasilkan buah tomat yang siap panen.

Fenomena yang dijelaskan tersebut merupakan contoh fenomena pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada beberapa makhluk hidup yang ada di sekitar Kalian. Dapatkah kalian membedakan mana pertumbuhan dan mana Perkembangan? Apakah semua makhluk hidup mengalami pertumbuhan dan perkembangan?



**Gambar 8.2** Tanaman tomat  
Sumber: maxpixel/CC0 (2016)



### Ayo Mengingat Kembali

Kalian telah mempelajari sel, organ, jaringan dan sistem organ waktu di SD, SMP, dan SMA Kelas X, juga awal SMA kelas XI ini. Pengetahuan tersebut akan berkaitan dengan apa yang akan Kalian pelajari selanjutnya, yaitu mengenai tumbuh kembang makhluk hidup. Bagaimana peran sel dalam pertumbuhan dan perkembangan makhluk hidup? Apa fungsi pertumbuhan dan perkembangan pada makhluk hidup? Tuliskan jawaban tersebut pada buku catatanmu!

## A. Fenomena Pertumbuhan dan Perkembangan

Pada mata pelajaran IPA, Kalian tentu sering mendengar istilah pertumbuhan dan perkembangan. Berdasarkan epistemologi istilah pertumbuhan dan perkembangan memiliki arti yang berbeda. Namun kedua peristiwa tersebut tidak dapat dipisahkan satu sama lain, cenderung berlangsung secara bersamaan.

### 1. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Siapa yang pernah mengamati perkecambahan kacang waktu belajar IPA di SMP atau SD? Fenomena apakah yang terjadi saat perkecambahan? Jika kalian belum mengamati atau lupa fenomena tersebut, Kalian dapat melihat perkecambahan melalui video youtube dengan kata pencarian Perkecambahan Biji Kacang Hijau.



Gambar 8.3 Perkecambahan kacang

Sumber: Flickr.com/Marcho Verch (2019)

Pada fenomena yang kalian amati tersebut, dapatkah kalian membedakan pertumbuhan dan perkembangan? berikan alasannya. Perubahan biji menjadi kecambah merupakan contoh fenomena perkembangan pada tumbuhan. Mengapa perkecambahan termasuk fenomena perkembangan? Bagaimana dengan pertumbuhan? Kapan biji tersebut mengalami pertumbuhan? Diskusikan dan tuliskan hasil diskusi kalian di buku catatan.

Kecambah yang Kalian lihat disebut juga plantula atau tanaman kecil. Bagian plumula berkembang menjadi batang, sedangkan radikula menjadi akar. Bagian seperti kacang yang ada pada taoge atau kecambah kacang hijau adalah kotiledon. Kotiledon menyediakan sumber makanan bagi kecambah sampai daun tanaman tumbuh. Cermati, adakah struktur baru yang muncul dari biji pada fenomena tersebut?

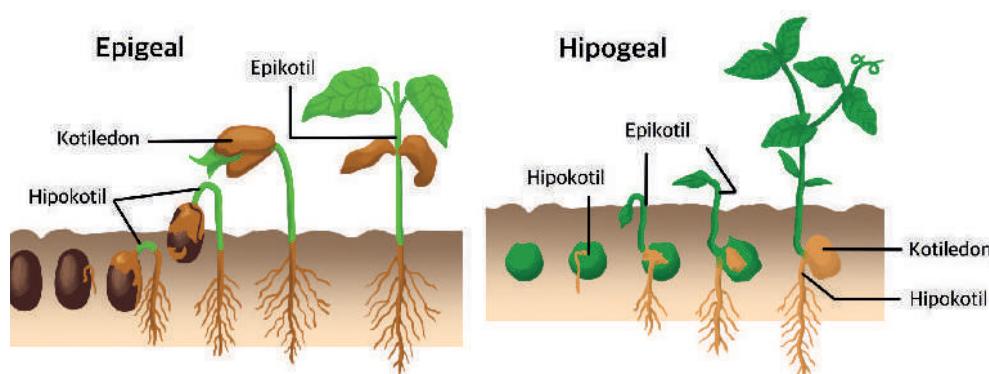
Bagaimana dengan tumbuhan lain? pernahkan Kalian melihat tunas kelapa? Tunas kelapa yang kalian lihat pada dasarnya adalah kecambah tanaman kelapa. Dimanakah letak kotiledon di tunas kelapa?

Berdasarkan letak kotiledon pada saat berkecambah, dikenal dua macam tipe perkecambahan, yaitu epigeal dan hipogea. Apakah yang dimaksud dengan epigeal dan hipogea?

Perhatikan Gambar 8.5 berikut ini. Berdasarkan Gambar 8.5 bandingkan ciri khas tipe perkecambahan epigeal dan hipogea.



**Gambar 8.4** Kecambah kelapa  
Sumber: wikimedia/Ramjchandran (2016)



**Gambar 8.5** Dua tipe perkecambahan



## Ayo Mencoba

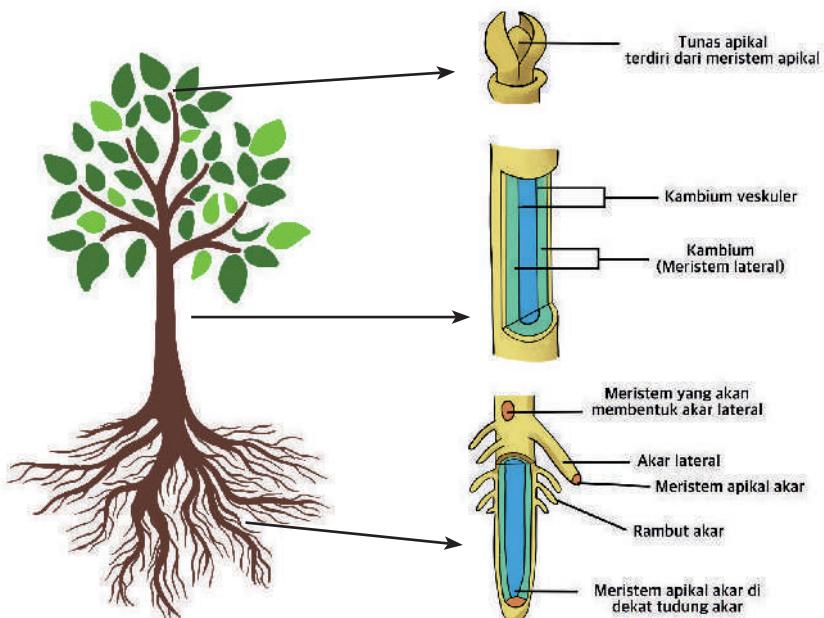
### Aktivitas 8.1

**Tujuan:** Menentukan tipe perkecambahan kacang hijau

Amati dan Diskusikanlah dengan teman Kalian!

1. Tempatkan kacang hijau di dalam dua wadah yang berbeda, wadah berisi air dan wadah kering.
2. Keesokan harinya, ambillah biji kacang hijau dari kedua tempat tersebut, simpan di atas kapas basah selama beberapa hari dan amati perubahan yang terjadi.
3. Dapatkah kalian menentukan jenis perkecambahan kacang hijau? Epigeal ataukah hipogeal? Tunjukkan buktinya berupa gambar atau foto hasil pengamatan kalian!

Tumbuhan memiliki kemampuan untuk tetap tumbuh tidak terbatas (*indeterminate growth*). Hal ini disebabkan oleh adanya jaringan embrionik, yang disebut meristem. Ingat kembali materi tentang jaringan pada tumbuhan di SMP. Apakah peran penting meristem? Dimanakah jaringan meristem ditemukan? Perhatikan Gambar 8.6 berikut ini.



**Gambar 8.6** Jaringan meristem

Berdasarkan Gambar 8.6 ada berapakah jenis jaringan meristem? Apakah jenis jaringan meristem tersebut memiliki fungsi yang sama? Diskusikan jawabannya dengan teman satu kelompok kalian.



### Ayo Berekspolorasi

### Aktivitas 8.2

Apakah tempat tinggal Kalian dekat dengan kebun teh? Amati dan deskripsikan morfologi pohon teh tersebut. Jika belum pernah melihat pohon teh perhatikan Gambar 8.7 berikut ini. Perhatikan Gambar 8.7, apakah kalian melihat ada pohon teh yang tumbuh tinggi? mengapa itu terjadi?



**Gambar 8.7** Perkebunan teh

Sumber: Direktorat Jenderal Perkebunan dan Pertanian (2019)

Pohon teh sebetulnya dapat tumbuh tinggi, namun di perkebunan teh hampir tidak ada pohon teh yang tumbuh tinggi. Mengapa itu terjadi? Hal tersebut disebabkan pucuk daun teh diambil untuk diproduksi menjadi teh siap seduh. Pada saat pucuk teh dipetik maka fungsi dari hormon auksin akan terhambat, apa yang terjadi? Apa pengaruh hormon auksin terhadap pertumbuhan pohon teh?

Hormon auksin pada tumbuhan yang terdapat pada daerah pucuk daun teh berfungsi untuk menstimulasi pertumbuhan primer. Pertumbuhan primer yang dimaksud adalah menumbuhkan jaringan meristem apikal (pucuk) ke arah atas, perhatikan kembali Gambar 8.6.

Jika hormon auksin dihilangkan, pertumbuhan jaringan meristem apikal akan terhambat. Apa yang akan terjadi kemudian? Pada saat pertumbuhan meristem apikal terhambat maka pertumbuhan

meristem lateral yang terjadi. Pertumbuhan meristem lateral menstimulasi daun-daun muda baru ke arah samping. Berdasarkan penjelasan tersebut, dapatkah Kalian menjawab mengapa tidak ditemukan pohon teh di perkebunan yang tumbuh tinggi?

Apakah Kalian pernah melihat meja yang terbuat dari potongan melintang sebuah kayu seperti terlihat pada Gambar 8.8?



(a) Potongan kayu dengan corak lingkaran tahun



(b) Meja terbuat dari kayu

**Gambar 8.8** Potongan kayu yang dijadikan meja

Sumber: a. Roger Clause (2022); b. Paris on Ponce & Le Maison Rouge (2013)

Tahukah Kalian, bahwa Kita dapat menghitung berapa usia pohon yang digunakan untuk meja tersebut? Bagaimana caranya? Bertambah besarnya batang pohon merupakan hasil aktivitas dari pertumbuhan sekunder yang terjadi pada tumbuhan dikotil (Kennedy *et al.*, 2009). Lebih lanjut dijelaskan bahwa pertumbuhan sekunder ini merupakan hasil aktivitas jaringan meristem sekunder yaitu kambium. Aktivitas kambium menyebabkan terbentuknya lingkaran konsentris yang melintang pada batang. Setiap lapis lingkaran konsentris menunjukkan aktivitas kambium dari tahun ke tahun. Lingkaran konsentris yang demikian dikenal sebagai lingkaran tahun (Abercrombie *et al.*, 1993).

Bagaimana penghitungan lingkaran tahun dilakukan? Untuk menambah wawasan Kalian tentang hal ini, Kalian dapat menelusurinya di tautan berikut: [ringkas.kemdikbud.go.id/LingkaranTahun1](http://ringkas.kemdikbud.go.id/LingkaranTahun1) dan [ringkas.kemdikbud.go.id/LingkaranTahun2](http://ringkas.kemdikbud.go.id/LingkaranTahun2)

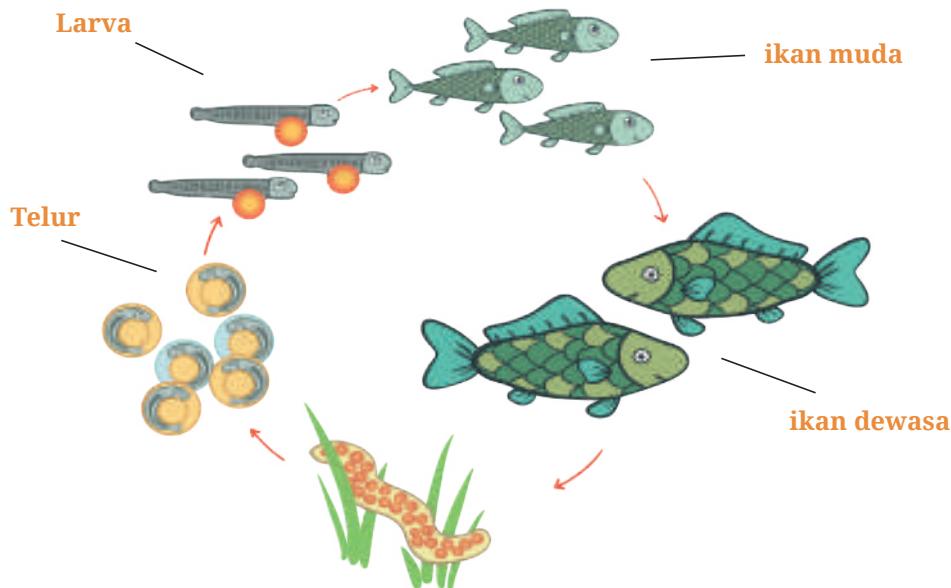
## 2. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Hewan

Apakah pertumbuhan dan perkembangan hewan sama dengan tumbuhan? Fenomena pertumbuhan dan perkembangan pada hewan diawali sejak terbentuknya zigot dari proses pembuahan hingga hewan menjadi dewasa. Cermati video berikut ini sebelum kalian mempelajari materi berikutnya: [youtu.be/PedajVADLGw](https://youtu.be/PedajVADLGw) (Created by AXS Biomedical Animation Studio Inc © 2013 Poultry CRC Ltd)

Fertilisasi akan menghasilkan sel individu baru yang disebut dengan zygote dan akan melakukan pembelahan diri/pembelahan sel (cleavage) menuju pertumbuhan dan perkembangan menjadi embrio. Apakah kalian tahu ciri khas fase embrionik dan fase pascaembrionik?

Fase embrionik tejadi pada hewan yang berkembang biak melalui fertilisasi, kemudian terbentuk zigot. Zigot akan mengalami pertambahan jumlah sel akibat pembelahan secara mitosis (morula, blastula dan gastrula). Setelah melalui fase embrionik di mana hewan telah lahir atau menetas, fase selanjutnya adalah fase pasca embrionik.

Fase pertumbuhan dan perkembangan berikutnya pada hewan adalah fase pasca embrionik. Fase ini terjadi setelah embrio terlahir atau menetas menjadi individu baru.



Gambar 8.9 Ilustrasi pertumbuhan dan perkembangan ikan

Apakah Kalian pernah melihat pertumbuhan dan perkembangan ikan air tawar? Apabila belum pernah, Kalian dapat mencari referensi video dari internet untuk mengamatinya. Pertumbuhan dan perkembangan ikan air tawar merupakan contoh yang mudah kita amati. Perhatikan Gambar 8.9, cermati tahapan Perkembangan fase pasca embrionik ikan, dapatkah kalian menjelaskan apa yang terjadi di setiap tahapan tersebut?



### Ayo Bereksplorasi

### Aktivitas 8.3

Cara menetaskan telur ayam dapat dilakukan secara alami dan dengan bantuan mesin tetas. Akan tetapi masih banyak peternak yang mengalami permasalahan dengan induk ayam betinanya, salah satunya tidak tersedianya mesin penetas telur ayam. Untuk mengatasi hal tersebut, pikirkanlah oleh Kalian gagasan desain mesin tetas telur ayam. Eksplorasi terlebih dahulu melalui literatur atau melakukan pengamatan ke peternakan ayam. Salah satu literatur dapat dipelajari melalui tautan ini: <https://budidayaternak.fapet.ugm.ac.id/2017/11/19/membuat-mesin-penetas-telur-sendiri/>

Gunakan alat dan bahan yang mudah diperoleh. Setelah alat tersebut siap, lanjutkan dengan kegiatan di bawah ini:

1. Ambilah telur ayam (kampung, buras) yang sudah dibuahi.
2. Simpanlah telur tersebut dalam mesin tetas buatan Kalian, dan pastikan aman dari predator. Atur suhu mesin di 25°C.
3. Dalam tiga minggu, amati yang terjadi pada telur ayam tersebut! Apakah kalian dapat mengamati fenomena pertumbuhan dan perkembangan ayam?

### 3. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Manusia

Perhatikan foto Kalian saat masih bayi, kemudian bandingkan dengan kondisi Kalian saat ini! apakah ada perbedaan? Ya tentu, tubuh Kalian sekarang sudah bertambah tinggi dan besar. Pertumbuhan pada manusia ditandai dengan bertambahnya ukuran fisik dan struktur tubuh seperti bertambah besarnya organ, berat badan, panjang/tinggi badan, lingkar kepala dan indikator anggota tubuh lainnya. Pertumbuhan pada manusia akan berhenti saat dewasa.



Gambar 8.10 Perkembangan bayi 0 – 1 tahun

Perkembangan adalah bertambahnya struktur dan fungsi tubuh yang lebih kompleks dalam kemampuan gerak kasar, gerak halus, bicara dan bahasa serta sosialisasi dan kemandirian (Kemenkes RI, 2018). Contoh perkembangan yang terjadi pada manusia yaitu saat bayi baru lahir dia baru dapat menangis, tetapi setelah usia 1 sampai 3 tahun bayi tersebut sudah mulai belajar berbicara. Selanjutnya, perkembangan yang lain adanya kematangan fisik, perubahan keahlian atau bicara, serta emosi dan pikiran yang semakin matang. Ciri lain dari adanya proses perkembangan yang terjadi pada manusia adalah pubertas. Carilah referensi mengenai ciri ciri pubertas kemudian sampaikan informasi tersebut di depan kelas!



#### Ayo Bereksplorasi

#### Aktivitas 8.4

Pernahkan Kalian mendengar istilah *stunting*? Apakah *stunting* masih menjadi permasalahan di Indonesia? Apakah *stunting* termasuk salah satu gangguan pertumbuhan dan perkembangan pada manusia? Bacalah wacana berikut ini untuk mengetahui permasalahan *stunting* di Indonesia.

Pada tahun 2021, Kementerian Kesehatan bekerjasama dengan Biro Pusat Statistik (BPS) dengan dukungan Tim Percepatan Pencegahan Anak Kerdil (Stunting) Sekretariat Wakil Presiden Republik Indonesia melakukan Studi Status Gizi Indonesia (SSGI) dengan mengumpulkan data di 34 provinsi dan 514 kabupaten/kota dengan jumlah blok sensus (BS) sebanyak 14.889 Blok Sensus (BS) dan 153.228 balita.

Berdasarkan hasil SSGI tahun 2021 angka *stunting* secara nasional mengalami penurunan sebesar 1,6 persen per tahun dari 27,7 persen tahun 2019 menjadi 24,4 persen tahun 2021. Hampir sebagian besar dari 34 provinsi menunjukkan penurunan dibandingkan tahun 2019 dan hanya 5 provinsi yang menunjukkan kenaikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa implementasi dari kebijakan pemerintah mendorong percepatan penurunan *stunting* di Indonesia telah memberi hasil yang cukup baik.

*Sumber: Kemkes (2021)*

1. Tuliskan informasi yang menunjukkan bahwa *stunting* masih menjadi permasalahan di Indonesia beberapa tahun terakhir ini.
2. Menurut pendapat kalian apakah yang menyebabkan *stunting* terjadi di Indonesia? Gunakan literatur pendukung untuk menjawab pertanyaan ini.

## B. Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Makhluk Hidup

Coba perhatikan teman-teeman sekelasmu! Apakah tinggi Kalian sama? Kira-kira apa yang menyebabkan hal tersebut? Apakah faktor yang memengaruhi pertumbuhan perkembangan pada manusia sama seperti pada tumbuhan dan hewan?

Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan, hewan dan manusia berjalan dengan baik karena dipengaruhi oleh interaksi beberapa faktor baik internal maupun eksternal.

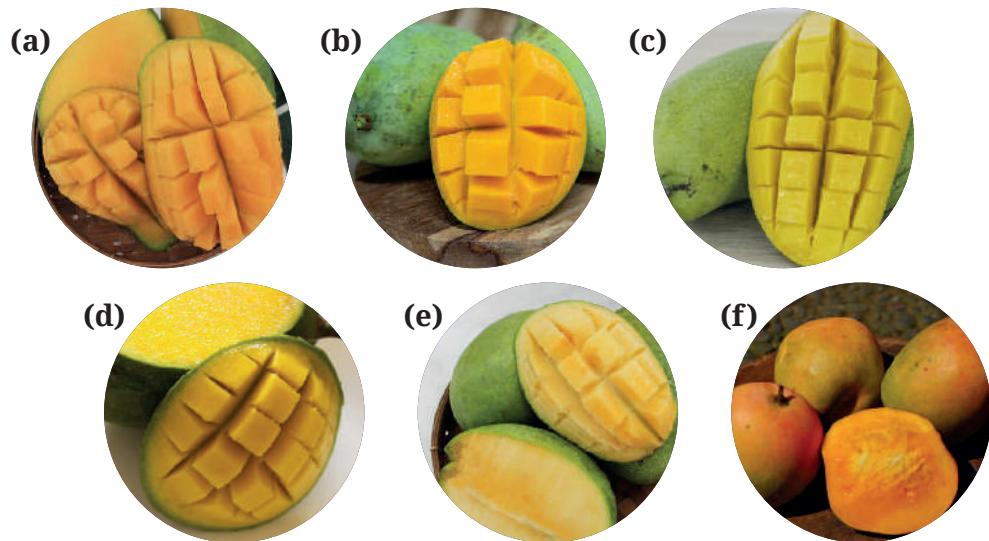
## 1. Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan meliputi faktor keturunan dan zat pengatur tumbuh/hormon. Adapun faktor eksternal yang memengaruhi antara lain adalah nutrisi, cahaya matahari, suhu, tanah, air, dan kelembapan.

### a. Faktor Internal

#### 1) Gen

Adakah pohon mangga di sekitar rumah Kalian? Perhatikan Gambar 8.11 adakah mangga yang pernah kalian cicipi? coba sebutkan mangga apa saja yang pernah Kalian cicipi? Apakah ada perbedaan dari jenis mangga-mangga tersebut? Apa saja perbedaannya?



**Gambar 8.11** Contoh varietas mangga di Indonesia

- (a) Mangga Harum manis; (b) Mangga Indramayu; (c) Mangga Golek; (d) Mangga Kweni; (e) Mangga Manalagi; (f) Mangga Gedong Gincu

Sejak tahun 1941, di Indonesia terdapat kebun plasma nutfah mangga bernama Kebun KP Cukur Gondang, yang memiliki 208 kultivar asli (Fitmawati *et al.*, 2010). Ternyata jumlahnya cukup banyak dan baru sebagian kecil yang diketahui oleh masyarakat luas. Informasi tentang kekayaan alam ini tentu saja membuat bangga seluruh Warga Negara Indonesia.

Perbedaan-perbedaan yang terlihat dari ragam Mangga di Indonesia tersebut dipengaruhi oleh gen. Gen merupakan substansi pembawa sifat yang diturunkan dari induk ke generasi selanjutnya (Jones *et al.*, 2007). Pada tanaman tentu saja gen memengaruhi bentuk tubuh, warna bunga, dan rasa buah. Gen juga menentukan kemampuan metabolisme sehingga sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tersebut. Namun apakah hanya gen yang memengaruhi variasi tanaman?. Telusuri lebih lanjut jawabannya di literatur, diskusikan dengan teman kalian jika telah memeroleh jawabannya.

## 2) Zat pengatur tumbuh/hormon

Pernahkan Kalian memperhatikan perbedaan buah mangga yang matang dengan yang belum matang? Beberapa orang tua kita seringkali menyimpan mangga yang belum matang di tempat tertutup, bahkan sebagian membenamkan mangga dalam wadah yang berisi beras (Gambar 8.12). Sebenarnya apakah peristiwa yang terjadi saat pematangan buah tersebut?



**Gambar 8.12** Buah mangga disimpan dalam beras.

*Sumbe : Dokumen Agronet (2020)*

Selama proses pematangan buah, terjadi beberapa perubahan fisiko-kimiawi. Salah satu penyebab perubahan yang terjadi adalah biosintesis karotenoid yang akan mengubah warna kulit dan daging buah (Broto *et al.*, 2020).

Setiap buah-buahan secara alami memiliki zat pematang yaitu etilen. Kehadiran zat ini membuat buah-buahan seperti mangga dan pisang matang yang ditandai dengan perubahan pada tekstur, warna, dan aroma. Produksi etilen dipengaruhi oleh suhu lingkungan (Nurjanah, 2002). Dapatkah kalian memberikan penjelasan kenapa mangga lebih cepat matang ketika dibenamkan dalam wadah beras yang tertutup? Semakin banyak gas etilen yang dikeluarkan oleh buah, maka semakin cepat proses pematangan pada buah tersebut. Etilen adalah senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang pada suhu ruang berbentuk gas. Etilen digolongkan sebagai hormon yang aktif dalam proses pematangan.

Hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman ada beragam jenisnya. Saat ini dikenal lima kelompok utama ZPT (Sumbaga, 2020). Adakah yang mengetahui lima kelompok ZPT tersebut? Telusuri dan baca di literatur lain yang dapat dipercaya!

 Ayo Berkomunikasi
Aktivitas 8.5








Perkecambahan
Pertumbuhan menuju dewasa
Pembungaian
Perkembangan buah
Absisi
Dormansi biji

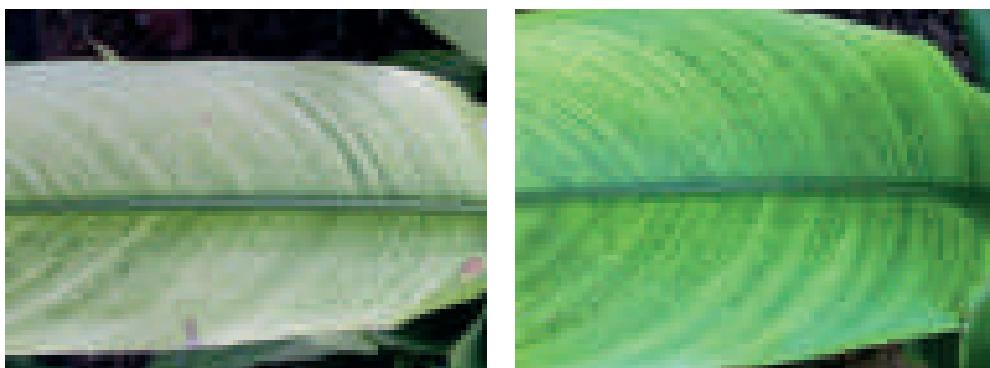
Giberlin						
Auksin						
Sitokinin						
Etilen						
Absisin (ABA)						

Berdasarkan diagram di atas, ceritakan kembali dengan bahasa sendiri di hadapan teman Kalian, peranan masing-masing hormon tumbuhan dalam pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan!

## b. Faktor Eksternal

### 1) Nutrisi

Dapatkah Kalian membandingkan perbedaan daun pisang kipas pada Gambar 8.13?



**Gambar 8.13** Daun pisang kipas yang kekurangan Fe (kiri)

Sumber : Flickr/Scott Nelson (2014)

Daun pisang yang berwarna putih disebabkan tumbuhan kekurangan Fe (Zat besi). Fe berperan dalam pembentukan klorofil (zat hijau daun). Akibatnya, tanaman yang kekurangan nutrisi Fe menunjukkan gejala berwarna putih pada daunnya karena kurangnya zat hijau daun. Menurutmu, bagaimana tanaman memenuhi kebutuhan nutrisinya?

Berbeda dengan hewan dan manusia yang dapat bergerak mencari makan, tumbuhan hidup menetap dan menyerap nutrisi dari tanah. Akan tetapi tidak semua nutrisi yang dibutuhkan tumbuhan tersedia dalam tanah tempat dia tumbuh. Pemberian pupuk merupakan salah satu cara untuk memberikan nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Apakah dampak yang terjadi apabila tanaman kita kekurangan nutrisi? Adakah contoh tanaman yang kurang nutrisi di sekitar lingkungan sekolah kalian?

### 2) Cahaya matahari

Seperti yang sudah Kalian pahami, tumbuhan membutuhkan cahaya matahari untuk fotosintesis. Tapi, sebenarnya cahaya matahari juga berpengaruh terhadap pertumbuhannya. Bagaimana pengaruhnya?

Cahaya seperti apa yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman? Agar Kalian lebih paham, ayo lakukanlah Aktivitas 8.6!



### Ayo Berpikir kritis

### Aktivitas 8.6

Mengidentifikasi spektrum cahaya yang berpengaruh terhadap tinggi tanaman. Pengamatan pengaruh cahaya dilakukan melalui virtual laboratorium. Untuk melakukan aktivitas ini, Kalian memerlukan koneksi internet dan panduan guru. Berikut tahapannya:

1. Guru Kalian akan mengarahkan beberapa situs virtual laboratorium yang dapat Kalian kunjungi. Salah satunya adalah halaman website: [ringkas.kemdikbud.go.id/PlantGrowth](http://ringkas.kemdikbud.go.id/PlantGrowth). Halaman ini dapat diakses bebas dan diterjemahkan ke dalam bahasa Indonesia. Berikut adalah halaman situs yang dapat Kalian lihat.



**Gambar 8.14** Laman situs virtual laboratorium

Sumber: Nusantari (2022)

2. Pilihlah tanaman *Spinach* dan amati pertumbuhannya!
3. Kemudian, pilih spektrum cahaya yang akan kamu uji cobakan.
4. Kemudian klik tombol daya *on*.
5. Ukur tingginya menggunakan penggaris yang ada pada virtual lab.
6. Ulangi aktivitasnya sampai semua tanaman dan semua spektrum cahaya diuji.

7. Sajikan hasilnya dalam tabel hasil pengamatan. Apakah ada perbedaan pengaruh spektrum cahaya pada setiap tanaman? Bagaimana pengaruhnya?
8. Buatlah kesimpulan mengenai percobaan yang telah Kalian lakukan.

Meskipun memiliki manfaat, keberadaan cahaya juga dapat menghambat pertumbuhan tumbuhan. Hal ini dikarenakan cahaya dapat merusak hormon auksin yang terdapat pada ujung batang. Hormon auksin adalah hormon yang memicu pertumbuhan tanaman untuk tumbuh ke atas.

### 3) Air dan Kelembapan

Coba amati pertumbuhan tanaman bunga di rumah Kalian apabila tidak disiram air? Apa yang terjadi? Kenapa hal tersebut dapat terjadi?



**Gambar 8.15** Tumbuhan layu kekurangan air  
Sumber: CNX OpenStax, (2016)

Air bertanggung jawab untuk mendukung struktur sel tanaman, menciptakan tekanan konstan pada dinding sel tanaman (turgor), yang membuat tumbuhan fleksibel namun kuat. Sekitar 60-80% volume sel makhluk hidup adalah air (Kennedy *et al.*, 2009). Fotosintesis dan transportasi nutrisi adalah contoh proses yang memerlukan air.

### 4) Suhu

Penyerapan air, fotosintesis, penguapan, dan pernapasan pada tanaman dipengaruhi oleh suhu. Setiap tanaman memerlukan suhu yang sesuai untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangannya,

suhu tersebut dikenal sebagai suhu optimum. Sebagai contoh, suhu udara yang optimum untuk proses fotosintesis berkisar antara 10–30°C (Herlina & Prasetyorini, 2019).

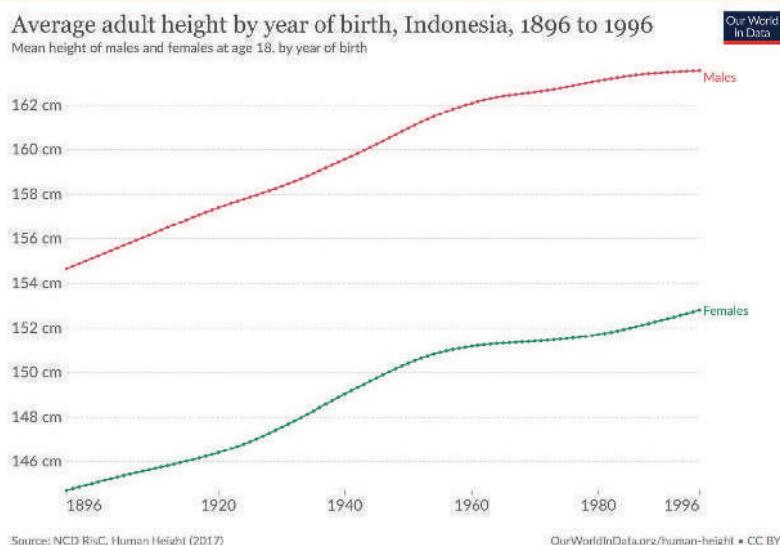
Selain empat faktor tersebut, adakah faktor eksternal lain yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman? Bagaimana pengaruh faktor tersebut? Diskusikan dengan teman satu kelompok kalian!

## 2. Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Hewan dan Manusia

Sama seperti tumbuhan, pertumbuhan dan perkembangan hewan dan manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu faktor internal dan eksternal. Apa sajakah faktor-faktor tersebut? dapatkah kalian menyebutkannya?



Tahukah kalian?



Berdasarkan grafik di atas, bagaimanakah kecenderungan tinggi rata-rata orang dewasa sejak tahun 1896? Data ini melaporkan tinggi rata-rata orang dewasa dengan tahun kelahiran 1896 sampai 1996. Artinya, orang-orang yang berusia 18 tahun pada tahun 1914 sampai 2014.

Jika kita membandingkan pria dewasa yang lahir pada tahun 1996 dengan mereka yang lahir seabad sebelumnya (pria yang telah mencapai usia 18 tahun pada tahun 2014 dengan tahun 1914) kita melihat bahwa rata-rata tinggi di Indonesia untuk pria meningkat dari 162 menjadi 171 cm. Untuk perempuan, tinggi rata-rata meningkat dari 151 cm menjadi 159 cm. Rata-rata orang dewasa muda saat ini adalah sekitar 8 atau 9 cm, atau sekitar 5%, lebih tinggi dari nenek moyang mereka 100 tahun yang lalu.

(Diadaptasi dari <https://ourworldindata.org/human-height>)

Bagaimana dengan pria dan perempuan di Indonesia? Kalian dapat membaca lebih lanjut mengenai informasi ini di situs ini: <https://ourworldindata.org/human-height>

### a. Faktor Internal

Pernahkah kamu mengamati berbagai jenis kucing? Mengapa terdapat perbedaan warna rambut pada kucing? Mengapa terjadi perbedaan panjang ekor pada satu keluarga kucing? Hal apa yang memengaruhinya?

#### 1) Gen

Pada hewan kita mengenal dalam satu jenis adanya variasi. Contohnya pada ayam yaitu ayam banten, ayam kate, ayam Bangkok, ayam pelung, ayam cemani, dan lain-lain. Meskipun semuanya merupakan spesies yang sama, *Galus galus sp.*, namun penampilannya berbeda. Perbedaan ini disebabkan oleh gen yang berbeda.

Setiap individu memiliki jumlah dan variasi susunan gen yang berbeda-beda namun bahan penyusunnya sama. Keanekaragaman tingkat gen ini dapat dilihat dari perbedaan ciri makhluk hidup dalam satu spesies.



Gambar 8.16 Contoh beberapa

varietas ayam

Sumber: Kestrel (2019)

Gen merupakan faktor yang sangat menentukan pertumbuhan organisme karena gen adalah penentu pola dasar pertumbuhan. Fenotipe atau penampilan seperti tinggi badan, warna kulit, warna bulu atau rambut, bentuk kepala, dan semua ciri tubuh lainnya ditentukan oleh gen yang ada pada tubuh. Meskipun ekspresi gen juga dipengaruhi oleh lingkungan, tetapi pengaruh genetik pada umumnya juga lebih kuat.

## 2) Hormon

Pernahkah Kalian mendengar ada manusia tertinggi di dunia? Telusuri informasi tentang manusia tertinggi di dunia di tautan berikut: [ringkas.kemdikbud.go.id/TallestMan](http://ringkas.kemdikbud.go.id/TallestMan).

Apakah orang tua dari manusia tertinggi di dunia lebih tinggi? Apa yang menyebabkan ada orang yang sangat tinggi, sangat pendek, dan tinggi rata-rata?



**Gambar 8.17** Sultan Kosen, manusia tertinggi di dunia pada saat itu

Sumber: Helgi Harrdorsson (2009)

Tidak hanya pertumbuhan, perkembangan pada hewan dan manusia dipengaruhi oleh hormon. Hormon yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan mamalia adalah hormon somatotropin atau HGH (*Human Growth Hormone*) (Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan, 2022). Telusuri lebih lanjut informasi tentang hormon pertumbuhan tersebut di website kementerian kesehatan melalui tautan berikut: [s.id/1s78U](https://s.id/1s78U)

### b. Faktor Eksternal

Selain faktor genetik, pertumbuhan pada hewan dan manusia sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal dari luar tubuh. Faktor-faktor eksternal, yaitu:



**Gambar 8.18** Faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan Perkembangan manusia

Berdasarkan Gambar 8.18, diskusikan dengan teman satu kelompok di kelas, apakah pengaruh dari setiap faktor tersebut terhadap pertumbuhan dan Perkembangan hewan dan manusia? Berikanlah contoh untuk setiap pengaruh yang kalian sebutkan! Adakah faktor lain yang berpengaruh dan belum ada dalam Gambar 8.18? Laporkan hasil diskusi kelompok kalian secara tertulis ataupun lisan dalam diskusi kelas.



### Ayo Berpikir kreatif

### Aktivitas 8.8

#### Membuat ide atau alternatif solusi untuk mencegah *stunting*

Saat ini Indonesia sedang gencar melakukan pencegahan *stunting*. Buatlah sebuah produk berupa poster pencegahan atau infografis yang dapat mengedukasi masyarakat mengenai *stunting*.

1. Identifikasi permasalahan *stunting* dan program yang sudah dilakukan di lingkungan Kalian.
2. Secara berkelompok, diskusikan mengenai cara alternatif untuk mencegah *stunting*.
3. Sajikan ide dan hasil diskusi dalam bentuk poster.

### Refleksi

Pada akhir bab ini, Kalian akan diajak memikirkan kembali:

1. Apa yang sudah dipelajari dan seberapa dalam dan tepat pemahaman Kalian atas pembelajaran pada bab ini?
2. Bagian mana materi yang belum Kalian pahami?
3. Apa yang akan Kalian lakukan untuk meningkatkan pemahaman Kalian tentang materi ini?

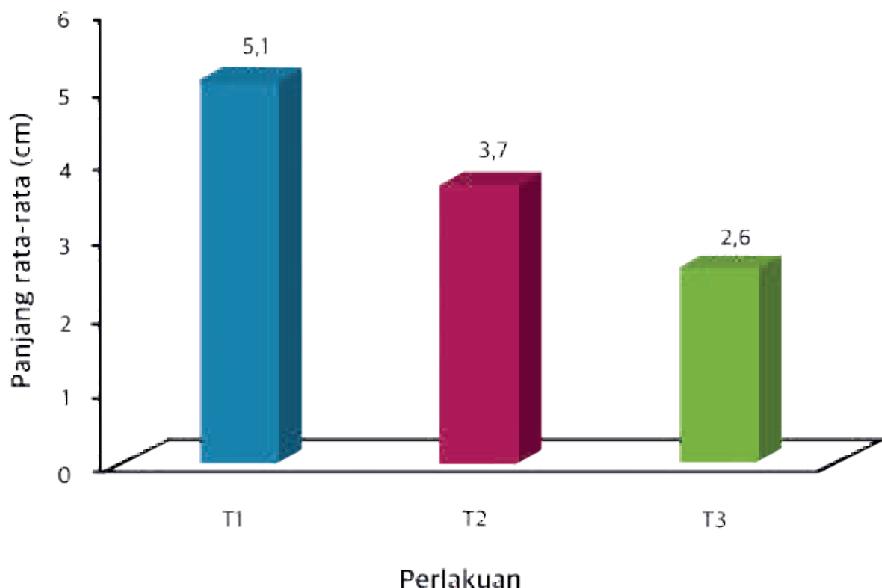
## Uji Kompetensi

---

### I. Pilihlah salah satu jawaban yang menurut Kalian paling tepat!

1. Dua kecambah diletakkan di suatu tempat, kecambah yang satu terkena cahaya sedangkan yang lain tidak terkena cahaya. Beberapa kecambah yang diletakkan di tempat gelap, jauh lebih panjang daripada kecambah yang diletakkan di tempat yang terang. Hal ini menunjukkan bahwa ....
  - A. Cahaya berpengaruh terhadap pertumbuhan
  - B. Cahaya merupakan faktor yang tidak diperlukan
  - C. Cahaya sedikit diperlukan untuk pertumbuhan
  - D. Cahaya merupakan faktor penghambat pertumbuhan
  - E. Cahaya berpengaruh besar terhadap pertumbuhan
2. Budi melakukan percobaan dengan perlakuan sebagai berikut:
  - I. Pot tanaman I dimasukkan ke dalam kardus. Kardus tersebut ditutup kain Kasa yang dilubangi dengan diameter 3 cm kemudian kardus tersebut ditempatkan di teras. Setiap pagi tanaman 1 disemprot dengan air sebanyak 200 ml.
  - II. Pot tanaman II ditempatkan dalam kardus yang berbeda tetapi dengan posisi kardus yang sama seperti kardus pot tanaman I. Setiap pagi tanaman II disemprot dengan air sebanyak 400 ml.Tujuan dari perlakuan yang berbeda-beda tersebut adalah....
  - A. Memberi variasi derajat keasaman tanah
  - B. Memberi kelembapan yang berbeda
  - C. Menjaga kandungan air dalam tanah
  - D. Mendapatkan cahaya yang cukup
  - E. Memberikan variasi jumlah oksigen
3. Petani buah durian yang berasal dari Bengkulu dan ingin menjual durianya ke Jakarta, sebaiknya mengirim buah durianya ....
  - A. Dalam kondisi matang dan siap santap
  - B. Masih belum matang, dan selama pengiriman cukup disimpan pada tempat yang berventilasi

- C. Masih belum matang, dan selama pengiriman disemprot dengan hormon etilen
- D. sudah matang, dan selama pengiriman disemprot dengan hormon etilen
- E. masih belum matang, dan selama pengiriman ditutupi dengan plastik atau penutup lainnya
4. Berikut adalah beberapa gejala kelainan pada pertumbuhan manusia:
- Tinggi badan yang berada di bawah kisaran normal
  - Berat badan balita cenderung menurun atau sulit naik
  - Lebih mudah sakit karena daya tubuh yang rendah
  - Keterlambatan pada perkembangan fisik, sosial dan mental
  - Kemampuan fokus dan memori belajar yang kurang atau menurun
  - Pertumbuhan gigi yang terlamat
- Kelainan tersebut disebabkan oleh ....
- A. Kekurangan gizi saat balita
- B. terkena virus saat balita
- C. tidak dilakukan imunisasi
- D. terkena gangguan jiwa
- E. Kekurangan sinar matahari saat bayi
5. Sebuah penelitian dilakukan untuk melihat pengaruh suhu terhadap pertumbuhan benih ikan gurami.
- Rancangan percobaan yang digunakan dalam penelitian adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan, masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali ulangan, yang menjadi perlakuan dalam penelitian ini adalah perlakuan T1 dengan suhu 27°C, Perlakuan T2 dengan suhu 29°C dan perlakuan T3 dengan suhu 31°C.
- Setelah 8 minggu pemeliharaan diperoleh rata-rata panjang benih ikan:



Berdasarkan tabel tersebut, dapat diambil kesimpulan....

- A. Suhu tidak berpengaruh pada pertumbuhan panjang ikan
- B. Suhu optimal pertumbuhan panjang benih ikan gurami adalah 29°C
- C. Suhu air berpengaruh pada pertumbuhan benih ikan gurami
- D. Semakin rendah suhu air, semakin baik pertumbuhannya
- E. Semakin tinggi suhu air, semakin pendek tubuh benih ikan

## ***II. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan tepat!***

1. Dalam rangka mempercepat pertumbuhan ikan, petani budidaya ikan air tawar biasanya memberikan pakan buatan secara intensif (berlebih). Jelaskan dampak buruk dari pemberian pakan secara berlebih untuk kehidupan ikan?
2. Jelaskan upaya pencegahan yang sebaiknya dilakukan agar anak yang dilahirkan tidak mengalami kelainan pada pertumbuhannya!

## Pengayaan

Salah satu isu terkait gangguan pertumbuhan yang menjadi perhatian adalah *stunting*. *Stunting* termasuk salah satu isu gangguan pertumbuhan manusia yang menjadi perhatian WHO sejak lama. Diketahui dalam laman berita WHO: <https://www.who.int/news-item/19-11-2015-stunting-in-a-nutshell> deskripsi tentang *stunting*, penyebab *stunting*, konsekuensi dari terjadinya *stunting*, dan upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah *stunting* dipaparkan dengan jelas.

Sampai sekarang, isu gangguan pertumbuhan pada manusia, terutama *stunting* masih menjadi fokus riset banyak peneliti di dunia. Salah satu artikel penelitian yang dipublikasikan di jurnal penelitian memaparkan hasil reviu tentang bukti-bukti terkait gen yang bertanggung jawab terhadap fenomena *stunting* di negara-negara Asia.

Berikut adalah tautan artikel yang dimaksud: <https://doi.org/10.1016/j.mgene.2021.100970>. Taib, W. R. W., & Ismail, I. (2021). *Evidence of stunting genes in Asian countries: A review*. *Meta Gene*, 30, 100970.

Meta Gene 30 (2021) 100970

Contents lists available at ScienceDirect

Meta Gene

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/mogene](http://www.elsevier.com/locate/mogene)

META  
GENE

### Evidence of stunting genes in Asian countries: A review

Wan Robani Wan Taib <sup>1</sup>, Imilia Ismail

*Faculty of Health Sciences, Universiti Sultan Zainal Abidin, Gong Badak Campus, Kuala Terengganu 21300, Terengganu, Malaysia*



#### ARTICLE INFO

Keywords:  
Stunting  
Asian  
Genes

#### ABSTRACT

Stunting defined as anthropometrically as height-for-age Z-score (HAZ) with less than 2 standard deviation (SD) has been observed more prevalent in children in developing countries that reflect the linear growth failure. It was estimated that the prevalence of stunting in Asian countries ranges from 30%–69%. Stunting occurs due to the interplay of genetic and environmental factors. The susceptible genes involve in hormone signalling, paracrine factor, matrix molecules, intercellular pathways and cellular processes of epiphyseal growth plate. Many genetic studies conducted among stunted children has elucidated the role of genes in affecting the attribute factors such as low birth weight, socio-economy, poor preventive health care and others. Whole genome sequencing revealed potential putative genes which involve in different pathways in related to retarded epiphyseal growth plate in various Asian countries such *GHSR*, *GHI*, *GHRHR*, *STAT5B*, *IGF1*, *COMP* and many more associated genes. The data emphasize that these potential genetic markers may provide better treatment in targeting the related pathophysiology in stunting development. In this current national implementation, genetic testing has not yet been permeated to the clinical practice for a standard evaluation since lack of genetic studies on stunting genes conducted in Asian countries, particularly Malaysia.

Berdasarkan artikel tersebut diketahui bahwa stunting terjadi karena adanya interaksi antara faktor genetik dan lingkungan. Coba diskusikan dan telusuri lebih lanjut tentang interaksi antara faktor genetik dan lingkungan, khususnya yang terjadi di negara-negara Asia.

Diskusikan dengan teman satu kelompok terkait pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana faktor genetik berpengaruh terhadap stunting?
2. Bagaimana lingkungan dapat memengaruhi terjadinya stunting?
3. Dari kedua faktor tersebut faktor manakah yang lebih dulu menyebabkan adanya stunting?
4. Dari kedua faktor tersebut faktor manakah yang lebih kuat pengaruhnya dalam menyebabkan adanya stunting?
5. Bagaimana interaksi antara faktor genetik dan faktor lingkungan dapat memengaruhi stunting?

## Glosarium

---

**aglutinasi:** penggumpalan darah akibat pengenalan antibodi aglutinin terhadap protein aglutinogen di permukaan sel darah merah.

**AIDS (Acquired Immune Deficiency Syndrome):** fase paling parah dalam infeksi HIV (*Human Immunodeficiency Viruses*) yang ditandai dengan ketidak mampuan tubuh merespon infeksi, akibatnya infeksi ringan dapat berdampak mematikan bagi penderitanya.

**alergi:** respon hipersensitif imun tubuh yang muncul terhadap antigen yang dalam kondisi normal tidak memicu respon imun dan tidak bersifat umum pada populasi.

**alveolus:** kantung-kantung tipis selapis sel epitel dan pembuluh kapiler yang menjadi struktur utama pengisi organ paru-paru hewan vertebrata dan manusia.

**amilase:** enzim pemecah amilum menjadi monomernya, yaitu glukosa, terdapat pada rongga mulut dan usus halus.

**antibodi:** protein plasma darah, dikenal sebagai imunoglobulin, yang dapat mengenali patogen secara spesifik dan memicu respon imun selanjutnya.

**antigen:** molekul pemicu respon antibodi dan respon imun lainnya. Molekul antigen dapat berupa komponen sel patogen (umumnya mikroorganisme) maupun molekul bebas (seperti alergen pemicu alergi).

**APCs (Antigen-Presenting Cells):** sel penyaji antigen, makrofag yang memaparkan serpihan sisa fagositosis di membran sel sehingga dapat dikenali limfosit untuk melakukan respon imun selanjutnya.

**arteri:** pembuluh darah yang menjadi saluran darah mengalir keluar dari jantung.

**asam absisat:** hormon pada tumbuhan yang menghambat pertumbuhan dan menyebabkan tumbuhan memasuki masa dormansi.

**ataksia:** gangguan koordinasi tubuh yang ditandai dengan gerak yang tak terkendali.

**augmentasi:** tahapan pembentukan urin yang ditandai dengan penambahan zat-zat sampah metabolisme, racun atau zat berlebih dari tubuh untuk dikeluarkan bersama urin.

**auksin:** hormon pertumbuhan pada tumbuhan yang berperan meningkatkan volume sel dengan meregangkan struktur molekul dinding sel tumbuhan. Auksin dihasilkan oleh meristem apikal di ujung batang dan akar.

**autoimun:** kondisi ketika sistem kekebalan tubuh seseorang menyerang tubuhnya sendiri.

**badan golgi:** organel berupa lipatan-lipatan membran, berperan dalam pembentukan dan transpor molekul, khususnya yang akan dikeluarkan dari sel (sekretori).

**diafise:** bagian tengah dari tulang pipa, diapit oleh bagian-bagian ujung tulang (epifise).

**diartrosis:** sendi (hubungan antartulang) yang memungkinkan terjadinya beragam gerakan bebas.

**difusi sederhana:** perpindahan zat terlarut dari bagian dengan konsentrasi zat terlarut yang tinggi ke bagian dengan konsentrasi zat terlarut rendah.

**difusi terfasilitasi:** proses difusi dengan dibantu protein membran dalam memindahkan zat terlarutnya.

**dinding sel:** lapisan di luar membran sel pada beberapa tipe sel organisme (bakteri, tumbuhan dan jamur).

**dismenorea:** rasa nyeri sebelum atau saat menstruasi akibat kontraksi hebat pada uterus.

**epidermis:** jaringan pelapis terluar pada struktur tumbuhan.

**eritrosit:** sel darah dengan kandungan pigmen hemoglobin (berwarna merah) untuk mengangkut gas, khususnya sebagian besar oksigen dan sebagian kecil karbon dioksida.

**estrogen:** hormon reproduksi pada individu betina, dihasilkan oleh ovarium dan memengaruhi pembentukan sel telur, pematangan organ reproduksi dan ciri kelamin sekunder lainnya.

**eukariotik:** salah satu tipe sel dengan ciri adanya membran inti sel yang membatasi materi genetik dengan bagian sel lainnya. Tipe yang umum ditemukan pada organisme seluler, kecuali bakteri dan alga biru.

**fagosit:** sel darah putih dengan kemampuan melakukan fagositosis terhadap patogen, contohnya adalah sel neutrofil.

**fagositosis:** proses seluler dimana sel “makan” dengan cara memasukan partikel makanan kedalam membran dan digabung dengan lisosom berisi enzim pencernaan di dalam sitoplasma.

**fagosom:** kantung membran berisi partikel antigen dalam proses fagositosis sebelum bergabung dengan lisosom.

**fertilisasi:** peleburan sel sperma dan sel telur baik di dalam tubuh betina maupun di luar tubuh

**filtrasi:** tahapan pembentukan urin yang ditandai dengan penyaringan darah oleh sel podosit di glomerulus nefron ginjal.

**fosfolipid:** molekul lipid penyusun membran plasma. Sisi fosfat bersifat hidrofilik dan sisi lipid bersifat hidrofobik.

**fotoreseptor:** sel dengan kandungan molekul yang peka terhadap kondisi cahaya. Molekul tersebut dapat berupa pigmen, protein membran, dan vitamin. Sel tersebut berperan sebagai penangkap stimulus.

**FSH (Follicle Stimulating Hormone):** hormon hipofisis yang memicu pembentukan dan pematangan sel telur dan sperma.

**gastritis:** peradangan pada dinding lambung.

**giberelin:** hormon pertumbuhan pada tumbuhan yang berperan memicu perkembangan biji dan mengendalikan perbungaan.

**GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone):** hormon yang dihasilkan hipotalamus untuk memicu hipofisis menghasilkan hormon reproduksi.

**gradien konsentrasi:** perbedaan konstrasi zat terlarut antara dua larutan yang dipisahkan membran semipermeabel.

**heme:** gugus zat besi pada hemoglobin, dikaitkan langsung dengan pengikatan gas.

**hemoglobin:** pigmen pada sel darah merah, berupa molekul protein besar dengan 4 sub unit protein kecil yang terikat dengan gugus heme (mengandung zat besi).

**hidrofilik:** sifat molekul yang dapat larut pada pelarut polar, dalam hal ini adalah air. Molekul dapat membentuk ikatan kimiawi dengan molekul air.

**hidrofobik:** sifat molekul yang tidak larut dalam air, umumnya bersifat non-polar dan berasal dari kelompok lipid.

**hidrolisis ATP (Adenosin Trifosfat):** pemecahan molekul ATP menjadi ADP dan untuk memperoleh fosfat reaktif yang akan memicu reaksi seluler selanjutnya.

**hipertonik :** larutan yang cenderung pekat, dengan konsentrasi zat terlarut lebih tinggi dari zat pelarut.

**hipofisis:** bagian dari otak, kelenjar yang menghasilkan banyak tipe hormon.

**hipotonik:** larutan yang cenderung encer, dengan konsentrasi zat pelarut lebih tinggi dari zat terlarut.

**HIV (Human Immunodeficiency Viruses):** virus yang menyerang sistem imun manusia, khususnya limfosit T tipe CD4 (sel T pembantu), dapat menurunkan imunitas manusia secara drastis.

**impuls saraf:** aliran ion di sepanjang sel saraf yang menandai koordinasi antarsel dalam jaringan dan organ dalam sistem saraf.

**imunitas:** kondisi ketahanan tubuh seseorang yang dapat dipicu secara aktif (produksi antibodi merespon infeksi) maupun pasif (mendapat antibodi dari pihak lain) dengan cara alami (contoh: vaksinasi) maupun buatan (contoh: donor plasma).

**inflamasi:** peradangan, ditandai dengan pembengkaan jaringan akibat infeksi ataupun luka.

**iritabilitas:** kepekaan tumbuhan pada perubahan lingkungan di sekitarnya.

**isotonik:** larutan dengan konsentrasi zat pelarut dan zat terlarut yang sama dengan komposisi cairan sel.

**kambium:** hasil perkembangan meristem lateral, jaringan pembentuk xilem dan floem pada batang dikotil.

**kapiler:** pembuluh darah terkecil, tempat terjadinya pertukaran zat.

**karbominohemoglobin:** molekul hemoglobin yang tengah mengikat sejumlah karbon dioksida.

**kelenjar limfa:** jaringan atau organ yang memproduksi limfosit.

**kloroplas:** organel bermembran ganda pada sel eukariotik yang berperan dalam fotosintesis karena keberadaan klorofil di dalamnya.

**kolenkim:** jaringan penyokong bagian muda pada tumbuhan dengan penebalan dinding tak merata.

**kolostrum:** makanan alami pertama untuk bayi baru lahir yang diproduksi kelenjar mamae ibu, sebelum air susu ibu (ASI). Kolostrum banyak mengandung antibodi.

**leukosit:** sel darah putih, sel darah berinti sel yang berperan dalam sistem pertahanan tubuh.

**LH (Luteinizing Hormone):** hormon hipofisis yang memicu pengeluaran sel telur dan sperma dari masing-masing kelenjarnya.

**limfosit:** tipe sel darah putih dengan fungsi utama dalam sistem imun spesifik, dengan membentuk antibodi (limfosit B) dan pengenalan seluler (limfositT).

**lingkaran tahun:** formasi lapisan xilem pada batang dikotil yang ditandai dengan perbedaan ketebalan lapisan xilem akibat perbedaan kadar air di setiap musim.

**lipase:** enzim pankreas yang memecah lemak di usus halus.

**lisosom:** organel bermembran berupa kantung berisi enzim pencernaan, dibuat oleh badan Golgi.

**lisozim:** enzim perusak dinding sel bakteri, diproduksi kelenjar tubuh seperti kelenjar liur dan air mata.

**makrofag:** tipe sel dengan kemampuan memakan patogen dan menyediakan antigen untuk respon imun spesifik. Makrofag dapat berasal dari sejumlah sel darah putih seperti monosit.

**membran plasma:** struktur seluler berupa lapisan lipid yang menjadi pembatas sel dengan lingkungan luar (pada sel tak berdinding), juga pada struktur sebagian organel di dalam sel. Membran plasma juga berperan dalam pengaturan transpor zat.

**meristem apikal:** jaringan meristem yang terletak di bagian ujung batang dan akar, menyebabkan pertumbuhan yang berorientasi menambah panjang organ tersebut.

**meristem lateral:** jaringan meristem yang terletak di bagian tepi batang dan akar, menyebabkan pelebaran organ tersebut.

**meristem:** jaringan muda dan masih aktif membelah pada tumbuhan.

**metabolisme:** proses fisiologi berupa reaksi kimia di dalam sel yang dikatalis oleh enzim dengan cara menyusun atau merobak molekul guna menghasilkan molekul lainnya dan energi.

**metagenesis:** siklus hidup atau pergiliran keturunan antara fase generatif (seksual) dan fase sporofit/vegetatif (aseksual) pada tumbuhan.

**metode mikroskopi:** metode kajian sel berbasis pengamatan menggunakan mikroskop.

**mikrovilli:** tonjolan pada permukaan membran sel epitel penyusun dinding usus halus, berperan dalam memperluas area penyerapan makanan.

**miofibril:** serabut otot yang disusun oleh miofilamen, baik miofilamen tebal (miosin) dan yang tipis (aktin) yang menjadi dasar struktur jaringan otot.

**mitokondria:** organel bermembran ganda pada sel eukariotik yang berperan dalam respirasi sel sebagai penghasil energi utama bagi kehidupan sel.

**model mosaik cair:** model struktur dan sifat membran plasma sel yang digambarkan seperti mosaik (lipid yang diselingi protein) dan cair karena interaksi antara molekulnya.

**monomer:** molekul kecil penyusun polimer.

**multiseluler:** sifat/kondisi makhluk hidup yang tubuhnya terdiri dari banyak ragam dan jumlah sel hidup dan memiliki tingkatan organisasi kehidupan.

**nefritis:** peradangan pada nefron ginjal yang menyebabkan gagal ginjal, dapat disebabkan kerena infeksi, kelainan genetik dan cidera.

**nefron:** unit struktural terkecil pada ginjal sebagai tempat pembentukan urin, terdiri dari glomerulus dan tubulus.

**neuron:** sel saraf, berperan dalam menghantarkan impuls saraf, baik menuju saraf pusat (sensorik/aferen), antar neuron di dalam saraf pusat (interneuron/konektor/asosiasi) dan keluar dari saraf pusat (motorik/eferen).

**nidası:** penempelan embrio pada dinding uterus (endometrium).

**nukleus:** organel sel eukariotik yang menjadi tempat beradanya materi genetik (DNA) kromosomal yang mengatur seluruh aktivitas dan struktur sel.

**oksihemoglobin:** molekul hemoglobin yang tengah mengikat sejumlah oksigen.

**osmosis:** perpindahan air dari bagian yang encer menuju yang pekat dengan melalui membran semipermeabel.

**ovarium:** kelenjar kelamin pada individu betina yang menjadi tempat pembentukan dan pematangan sel telur.

**oviduk:** saluran penghubung ovarium dan uterus, tempat terjadinya fertilisasi.

**parenkim:** jaringan dasar dengan ragam fungsi seperti untuk fotosintesis (klorenkim), penyimpan cadangan makanan, penyimpan udara (aerenkim).

**patogen:** organisme yang dapat memicu kondisi sakit (penurunan fungsi tubuh) pada organisme lainnya, umumnya berupa mikroorganisme (virus, bakteri, protista, dan jamur).

**pepsin:** enzim di lambung yang memecah protein menjadi pepton .

**perkecambahan:** tahap awal pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan biji, yang ditandai dengan tumbuhnya organ tubuh tumbuhan muda yang dirangsang oleh penyerapan air, umumnya terjadi di dalam tanah.

**perkembangan:** proses menuju tercapainya kedewasaan atau tingkat yang lebih sempurna pada makhluk hidup.

**pertumbuhan:** proses pertambahan ukuran dan berat tubuh, serta tidak dapat kembali ke kondisi semula (irreversible)

**plasma darah:** cairan darah yang menjadi bagian terbesar dari cairan tubuh hewan/manusia secara keseluruhan

**pneumonia:** penyakit infektif disebabkan virus dan bakteri yang mengakibatkan peradangan dan memicu produksi cairan berlebih di paru-paru.

**polimer:** molekul besar yang disusun oleh monomer.

**potensial aksi:** perubahan potensial membran sel saraf akibat aliran ion selama impuls saraf di alirkan.

**progesteron:** hormon reproduksi pada individu betina, dihasilkan oleh ovarium dan memengaruhi dinding rahim untuk pertumbuhan embrio.

**prokariotik:** salah satu tipe sel dengan ciri tidak adanya membran inti sel, amat sedikit organel, dan proses seluler yang lebih sederhana. Ditemukan pada tipe sel bakteri dan alga biru.

**pubertas:** perubahan fisik pada fase perkembangan manusia akibat mulai diproduksinya hormon reproduksi.

**rangka aksial:** rangka yang berupa sumbu tubuh, yang berfungsi untuk melindungi organ dan memelihara postur tubuh.

**rangka apendikular:** rangka yang menyusun anggota gerak (tangan dan kaki).

**reabsorpsi:** tahapan pembentukan urin yang ditandai dengan penyerapan kembali zat-zat yang masih diperlukan oleh tubuh, seperti glukosa dan asam amino, di tubulus nefron ginjal.

**refleks:** bentuk respon segera, baik motorik (gerak) maupun sekretorik (produksi cairan tubuh) terhadap impuls dari saraf sensorik aferen. Refleks merupakan suatu jalur saraf sederhana, dimana stimulus akan disampaikan ke sumsum tulang belakang

**respon imun humoral:** respon imun spesifik yang ditandai dengan pembentukan antibodi (oleh limfosit B) yang beredar melalui cairan tubuh.

**respon imun seluler:** respon imun spesifik yang ditandai dengan pengenalan antigen oleh reseptor pemukaan sel limfosit T.

**retikulum endoplasma (RE):** organel berupa lipatan-lipatan membran yang terhubung dengan membran nukleus. RE memiliki dua tipe, RE Kasar memiliki ribosom untuk sintesis protein dan RE halus tanpa ribosom untuk sintesis lipid.

**ROS (*Reactive Oxygen Species*):** radikal bebas yang dapat memengaruhi bahkan mengganggu berbagai proses fisiologi tubuh, terbentuk saat tubuh kekurangan oksigen.

**saraf tepi:** semua jaringan saraf yang berada di luar otak dan sumsum tulang belakang.

**SEM (*Scanning Electron Microscope*):** jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan objek dengan sinar elektron yang terfokus. Hasil pengamatan hanya menunjukkan permukaan objek saja.

**sifilis:** penyakit menular seksual yang disebabkan infeksi bakteri *Treponema pallidum*, umumnya ditandai dengan munculnya luka di sekitar organ kelamin.

**sinartrosis:** sendi (hubungan antartulang) yang tidak memungkinkan terjadinya gerakan.

**sitokinin:** hormon pertumbuhan pada tumbuhan yang berperan dalam memicu pembelahan sel serta pembentukan tunas.

**sitologi:** ilmu tentang sel, meliputi kajian tentang struktur, fungsi, dan peran sel dalam kehidupan.

**sitoplasma:** cairan dan ragam komponen seluler yang terlarut di dalamnya yang berada di balik lapisan membran sel dan di luar inti sel.

**sklerenkim:** jaringan penyokong bagian tua dan mati pada tumbuhan dengan penebalan dinding merata.

**skoliosis:** kelainan tulang belakang yang ditandai formasi tulang belakang yang bengkok ke samping kiri atau kanan.

**stroke non hemoragik:** hilangnya fungsi otak secara mendadak akibat gangguan suplai darah ke bagian otak.

**TEM (*Transmission Electron Microscope*):** tipe mikroskop elektron yang menghasilkan visual objek dengan memancarkan elektron yang menembus ke dalam objek pengamatan dan pengamat mengamati hasil tembusannya pada layar.

**testis:** kelenjar kelamin pada individu jantan yang menjadi tempat pembentukan dan pematangan sel sperma.

**testosteron:** hormon reproduksi pada individu jantan, dihasilkan oleh testis dan memengaruhi pembentukan sperma, pematangan organ reproduksi dan ciri kelamin sekunder lainnya.

**transpor aktif:** tipe transpor sel melalui membran dengan menggunakan energi.

**transpor pasif:** tipe transpor sel melalui membran dengan tanpa menggunakan energi.

**transporter glukosa:** protein membran pengatur keluar masuknya glukosa dari darah ke jaringan tubuh.

**tremor:** gerakan gemetar yang tidak terkendali, terjadi secara berulang dan tidak disadar.

**trombosit:** serpihan sel yang memproduksi enzim trombokinase untuk memicu penutupan luka (pembekuan darah).

**tuberkulosis:** penyakit infektif disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* yang menyebabkan peradangan di paru-paru, namun juga dapat memengaruhi bagian tubuh lainnya.

**uniseluler:** sifat/kondisi makhluk hidup yang tubuhnya terdiri dari satu sel hidup.

**uterus:** organ reproduksi betina berupa kantung tempat pertumbuhan embrio hingga kelahiran.

**vaksinasi:** metode kesehatan untuk memicu diproduksinya antibodi dengan cara memasukkan antigen ke dalam tubuh. Antigen dapat berasal dari komponen tubuh virus yang telah dilemahkan (vaksin).

**vakuola:** organel bermembran tunggal yang berperan dalam penyimpanan molekul (vakuola pada sel tumbuhan), mencerna makanan (menyatu dengan lisosom) dan mengatur kepekatan cairan sel (vakuola kontraktil).

**vena:** pembuluh darah yang menjadi saluran darah mengalir menuju jantung.

**villi:** lipatan-lipatan yang membentuk tonjolan pada lapisan jaringan dinding usus.

**zigot:** bentuk kehidupan awal organisme multiseluler, hasil peleburan sel kelamin jantan dan betina.

# Indeks

---

## A

aglutinasi 136, 137, 270  
akson 14, 96, 176, 181  
alergi 136, 158, 160, 164, 270  
alveolus 31, 47, 99, 106, 113, 120, 270  
amilase 110, 270  
Antagonis 194  
antibodi 8, 129, 135, 136, 137, 138, 140,  
    145, 150, 151, 152, 153, 154, 155,  
    156, 157, 165, 166, 270, 273, 274,  
    277, 279  
antigen ix, 134, 135, 136, 137, 138, 140,  
    145, 146, 147, 148, 150, 151, 152,  
    153, 154, 155, 156, 162, 165, 270,  
    272, 274, 277, 279  
APCs 146, 270  
arteri ix, 98, 100, 101, 199, 270  
ataksia 172, 203, 270  
augmentasi 117  
auksin 248, 259, 271  
autoimun 159, 271

## D

dendrit 181  
diafise 186, 271  
Difusi xi, 30, 31, 44, 45, 46, 48, 49, 50, 106,  
    124  
dikotil 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70,  
    249, 273, 274  
dinding sel 133, 259, 271, 274  
dismenorhea 233

## E

endokrin 210, 211, 212, 213, 214  
epidermis 25, 71, 271  
epifise 186, 271  
eritrosit ix, 103, 137, 140, 271  
estrogen 214, 217, 220, 226, 228, 236, 271  
etilen 256, 266  
eukariotik 4, 24, 271, 273, 275

## F

fagositosis 129, 144, 147, 154, 270, 272  
fagosom 144, 272  
fertilisasi 80, 231, 250, 272, 276  
Filtrasi 116  
floem 71, 73, 74, 273  
fosfolipid 19, 111, 272  
Fotoreseptor 14  
FSH 209, 214, 217, 219, 220, 229, 230, 236,  
    272

## G

Gastritis 120  
glomerulus 108, 272, 275  
GnRH 209, 214, 217, 219, 230, 272  
golongan darah 137, 138, 140, 141  
gradien konsentrasi 46, 51, 272

## H

heme 103, 272  
hemoglobin 103, 113, 271, 272, 273, 275  
hidrofilik 111, 272  
hidrofobik 111, 272, 273  
hidrolisis ATP 52, 273  
hipertonik 39, 40, 41, 273  
hipofisis 214, 219, 272, 273, 274  
hipotonik 39, 40, 41, 273  
HIV 158, 159, 237, 238, 270, 273

## I

immunoglobulin 152  
impuls saraf 96, 181, 273, 275, 276  
Imunitas vii, xi, xii, 128, 129, 156, 157,  
    158  
infeksi 106, 107, 118, 120, 126, 129, 130,  
    131, 132, 134, 145, 148, 150, 151,  
    152, 154, 156, 157, 158, 161, 165,  
    185, 198, 232, 233, 270, 273, 275,  
    277  
infertilitas 233  
inflamasi 119, 152, 273

- interneuron 177, 178, 179, 180, 206, 275  
 iritabilitas 82, 273  
 isotonik viii, 39, 40, 273
- J**
- jaringan epitel 10, 95, 97, 100, 152  
 jaringan ikat 95, 97, 100, 102, 104, 143,  
     145, 185, 191, 228  
 jaringan otot 15, 95, 97, 275  
 jaringan saraf 95, 97, 277
- K**
- kambium 249, 273  
 kapiler 31, 47, 48, 98, 99, 100, 101, 124,  
     143, 270, 273  
 karbominohemoglobin 113, 273  
 kehamilan 214, 216, 217, 220, 228, 229,  
     231, 237, 238, 239, 240  
 kelenjar limfa 148, 149, 273  
 kemotaksis 145  
 kloroplas 20, 273  
 kolenkim 71, 274  
 kolostrum 274  
 konsepsi 209, 230, 231
- L**
- leukosit 134, 135, 142, 143, 158, 274  
 LH 209, 214, 217, 219, 220, 230, 236, 274  
 limfosit B ix, 129, 148, 150, 156, 274, 277  
 limfosit T ix, 129, 154, 155, 158, 273, 277  
 lingkaran tahun 249, 274  
 Lipase 111  
 lisosom 144, 272, 274, 279  
 lisozim 129, 133, 274
- M**
- makrofag 106, 129, 143, 146, 147, 154,  
     270, 274  
 membran plasma 12, 17, 18, 19, 20, 30,  
     32, 33, 34, 37, 44, 48, 49, 53, 56, 272,  
     274, 275  
 menstruasi 210, 211, 214, 215, 217, 228,  
     229, 233, 271
- meristem 71, 242, 247, 248, 249, 271, 273,  
     274  
 metabolisme 23, 56, 91, 94, 95, 99, 103,  
     104, 105, 108, 109, 110, 114, 116,  
     117, 192, 212, 213, 231, 255, 270,  
     275
- metafise 186  
 metagenesis 75, 76, 77, 243, 275  
 metode mikroskopi 8, 275  
 mikrovilli 104, 275  
 miofibril 192, 275  
 Mitokondria 2, 3, 16, 23  
 model mosaik cair 19, 275  
 monokotil 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69,  
     70, 71  
 monosit 146, 274
- N**
- Nefritis 120  
 nefron 99, 109, 120, 272, 275, 277  
 neuron aferen 177, 178, 179, 180  
 neutrofil viii, ix, 4, 143, 144, 145, 146,  
     147, 272  
 Nidasi 231  
 Nukleus 2, 3
- O**
- oksihemoglobin 113, 275  
 Organisme multiseluler 2  
 Organisme uniseluler 2  
 osmosis viii, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 53, 54,  
     276  
 ovarium 214, 215, 217, 225, 226, 233, 271,  
     276  
 oviduk 226, 276
- P**
- Parenkim 59  
 patogen 129, 132, 133, 134, 135, 136, 143,  
     144, 145, 146, 148, 151, 154, 155,  
     156, 157, 158, 270, 272, 274, 276  
 Penis 208, 209, 224

- Pepsin 110  
perkecambahan 245, 246, 247, 276  
perkembangan iii, x, xiii, 27, 151, 163, 198, 204, 210, 213, 215, 217, 226, 241, 242, 244, 245, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 260, 262, 266, 272, 273, 276, 277  
pertumbuhan 83, 87, 88, 112, 163, 204, 209, 210, 213, 215, 216, 217, 219, 220, 231, 241, 242, 244, 245, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 258, 259, 260, 262, 263, 265, 266, 267, 268, 270, 271, 272, 274, 276, 278, 279  
plasenta 152, 209, 214, 231  
plasma darah 103, 108, 113, 137, 150, 151, 270, 276  
Plastida 2, 23  
Pneumonia 120, 131  
polisakarida 134  
potensial aksi 181, 182, 183, 276  
progesteron 214, 217, 220, 226, 228, 236, 276  
prokariotik 4, 276  
pubertas 147, 212, 214, 215, 218, 220, 227, 252, 277
- R**  
rangka aksial 186, 187, 277  
rangka apendikular 186, 188, 189, 277  
Reabsorpsi 117  
reactive oxygen species (ROS) 16  
refleks 172, 176, 183, 184, 277  
respon imun humoral 277  
respon imun seluler 277  
Retikulum endoplasma 23
- S**  
saraf kranial 172, 177  
saraf spinal 172, 178  
sendi 159, 169, 190, 191, 192, 271, 277  
serebelum 172  
Serebrum 173  
Sifilis 209, 232
- sinartrosis 190, 191, 277  
sinergis 169  
sitokinin 278  
Sitologi 2, 7  
sitoplasma 3, 12, 17, 18, 19, 20, 24, 106, 272, 278  
sklerenkim 26, 71, 278  
skoliosis 187, 278  
skrotum 215, 221, 222  
stroke non hemoragik 200, 278  
sumsum tulang belakang ix, 171, 172, 175, 176, 177, 178, 200, 277
- T**  
tanduk dorsal 176  
tanduk ventral 176  
tes antigen ix, 153  
testis 214, 215, 219, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 278  
testosteron 214, 215, 219, 220, 278  
Transmission Electron Microscope 8, 278  
transpor aktif viii, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 278  
transpor pasif 56, 278  
transporter glukosa 49, 278  
tremor 174, 203, 278  
trombosit 91, 133, 278  
tuberkulosis 279  
tubulus ginjal 109
- U**  
uterus 215, 216, 225, 226, 227, 271, 275, 276, 279
- V**  
vagina 224, 225, 226, 227  
vaksinasi 156, 160, 163, 164, 273, 279  
vakuola 144, 279  
vena 98, 100, 101, 279  
villi 104, 279
- X**  
xilem 71, 73, 74, 273, 274
- Z**  
zigot 76, 78, 79, 80, 230, 250, 279

## Daftar Pustaka

---

- Abercrombie, M., Hickman, M., Jhonson, M. L., & Thain, M. (1993). Complete Dictionary of Biology.
- Allen, K. D., Berger, N., Cameron, R., & et.al. (2009). *Anatomy & Physiology Made Incredibly easy*. United States of America: Wolters Kluewer Health/ Lippinkott Williams & Wilkins.
- Anderson, P.D. (1999). Anatomi fisiologi tubuh manusia. Jones and Barret publisher Boston. Edisi Bahasa Indonesia. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Broto *et al.* Pematangan Buah Mangga (*Mangifera Indica, L.*) Cv. Gedong Menggunakan Gas Etilen.
- Campbell, N., & Reece, J. (2008). Biologi. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Cunningham, F. Gary, and J. Whitridge Williams. (2018). *Williams Obstetrics. 25<sup>th</sup> edition*. Stamford, Conn: Appleton & Lange.
- Faisah, N., Muchtar, M., & Lestari, A. (2021). Gambaran Demografi dan Klinik Penderita Nyeri Neuropatik yang Berkunjung di Bagian Poliklinik Saraf dan Poliklinik Penyakit Dalam RSU Anutapura Palu. *Medika Alkhairaat : Jurnal Penelitian Kedokteran Dan Kesehatan*, 68-73.
- Gerard Tortora, (2014), *Principles of Anatomy and Physiology*
- Guyton, A.C. & Hall, J.E. (2006). *Textbook of medical physiologi. 12<sup>nd</sup> edition*. Philadelphia: W.B. Saunders Company
- Habibia Alif, M., Yundiarto, F. S., Putri, K. P., & Ramadhan, W. B. (2021). Penyakit Parkinson Akibat Merkuri pada Pekerja Penambangan Emas Skala Kecil. *CoMPHI Journal: Community Medicine and Public Health of Indonesia Journal*, 170-176.
- Hall, John E. Guyton and Hall. *Textbook of Medical Physiology. 13<sup>th</sup> ed.*, W B Saunders, 201
- Herlina & Prasetyorini. (2019). Pengaruh Perubahan Iklim pada Musim Tanam dan Produktivitas Jagung (*Zea mays L.*) di Kabupaten Malang
- Irmawati & Garmelia, E. (2018). Klasifikasi dan Kodefikasi Penyakit Masalah Terkait Kesehatan Serta Tindakan II. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.

- Istiadi, Y., Rahayu, Utami, K. D., & Makarim, F. R. (2019). Buku Petunjuk Tutor Modul Sistem Saraf Dan Indra. Semarang: Penerbit FK UNISSULA.
- Jones, M., Fosbery, R., Gregory, J., & Taylor, D. (2014). *Cambridge International AS and A Level Biology Coursebook with CD-ROM*. Cambridge University Press.
- Kennedy, E., Aubusson, P., & Hickman, P. (2009). *Biology in context: the spectrum of life*. Oxford University Press.
- Lam P. K. Lam E. Y. K. & Lee C. Y. P. (2013). *Biology matters. gce 'o' level practical book* (2nd ed.). Marshall Cavendish Education.
- McKinley, M., & O'Loughlin, V. (2011). *Human anatomy*. McGraw-Hill Higher Education.
- Martini, F., Nath, J., & Bartholomew, E. (2012). *Fundamentals of Anatomy & Physiology*. United States of America.: Pearson Education, Inc.
- Martini, FH et al. (2001). *Fundamentals of anatomy and physiology, 5<sup>th</sup> edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Mescher, Anthony L.. *Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas*. Fifteenth edition. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- Moore, K. L., Dalley, A. F., & Agur, A. M. (2010). *Clinically Oriented Anatomy*. United States of America: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Moore, Keith L., Arthur F. Dalley, and Anne Agur. 2017. *Clinically Oriented Anatomy. 8<sup>th</sup> ed.* Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins.
- Pearce, EC. (1999). Anatomi dan fisiologi untuk paramedis. Jakarta: Gramedia.
- Sanders, T. & Scanlon, V.C. (2007). *Essential of anatomy and physiology*. London: Churchill Livingstone
- Scott, K. (2009). *Dictionary of Physics, Chemistry, Biology, Mathematics*. Global Media: Delhi
- Sherwood, L. (2010). *Human Physiology: From Cells to Systems, Seventh Edition*. Canada: Cengage Learning.
- Sherwood, (2014). *Human Physiology - From Cells to Systems*
- Sherwood, L. (2016). *Human Physiology From Cells to Systems, Ninth Edition*. Canada USA: Cengage Learning.
- Siswosudarmo Risanto (1990). Obstetri fisiologi. Yogyakarta: Bidang Diklat RSUP DR.Sardjito.

- Stephen J. & Maxine A. (2008). *Current Medical Diagnosis & Treatment*. 47 ed., New York: McGraw-Hill
- Susilawatim T. (2011). *Spermatologi*. Universitas Brawijaya Press: Malang
- Subowo. (1986). Biologi sel. Elstar.
- Theodora, Yuliana, D., Toding, F.A. (2021). Ekspresi Glukosa Transporter-2 di Sel Beta Pankreas dan Sel Hepatosit Tikus yang diinduksi Diabetes Mellitus. *Pharmaceutical Journal of Indonesia*, 6(2), 131-135.
- Thibodeau, G. A., & Patton, K. T. (2011). *Structure & function of the body*. Elsevier Health Sciences.
- Tyas Sumbaga. 2020.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., & Minorsky, P. V. (2017). *Campbell Biology*. New York, United States of America: Pearson Education, Inc.
- Verrals, Sylvia (1997). Anatomi dan fisiologi terapan dalam kebidanan. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2017). *Campbell biology. Eleventh edition*. New York, NY: Pearson Education, Inc.

## Daftar Sumber Gambar

---

**Gambar 1.1** <https://www.rawpixel.com/image/2288304/free-photo-image-blood-cells-white-cell-streptococcus> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.00)

**Gambar 1.3** <https://news.unair.ac.id/2020/11/25/pemeriksaan-sitologi-aspiratif-untukmendeteksi-kanker-paru/?lang=id>.(tangkapan layar pada tanggal 10 desember 2022 pukul 06.00)

**Gambar 1.12** <https://www.brin.go.id/news/104762/pengujian-berbasis-sel-tahapan-penting-penemuan-dan-pengembangan-obat> (tangkapan layar pada tanggal 10 desember 2022 pukul 06.10)

**cover bab 2** <https://www.kawalingpinoy.com/pickled-mangoes/> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.00)

<https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/59843>

<https://nationalgeographic.grid.id/read/13306272/peran-penting-tubuh-gajah-yang-besar-bagi-alam> (tangkapan layar pada tanggal 10 desember 2022 pukul 06.10)

<https://unsplash.com/photos/SGKQh9wNgAk>

<https://unsplash.com/photos/s4ia1BZxc-g>

**cover bab 3** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eucalyptus\\_deglupta-trees2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eucalyptus_deglupta-trees2.jpg) (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.20)

<https://www.pexels.com/photo/crop-nurse-demonstrating-small-double-colored-pill-4492065/> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.30)

**artikel** : <https://health.kompas.com/read/2016/05/28/132610423/begini.cara.rokok.merusak.paru-paru.anda>

**Cover bab 6** <https://pixabay.com/photos/action-athletes-competition-hurdles-1834465/> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.25)

**Cover bab 7** <https://www.flickr.com/photos/30478819@N08/51288108216> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.28)

**Cover bab 8** <https://pixabay.com/photos/cows-herd-calves-family-cattle-5966207/> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.30)

**Gambar 8.1** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pandangan\\_Si\\_Sapi.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pandangan_Si_Sapi.jpg) (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.50)

**Gambar 8.2** <https://www.maxpixel.net/Fresh-Tomato-Ripe-Plant-5419734> (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.40)

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stuffed\\_specimens\\_of\\_chicken\\_breeds\\_P3097610.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stuffed_specimens_of_chicken_breeds_P3097610.jpg) (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 19.20)

[https://pxhere.com/id/photo/1092121?utm\\_content=shareClip&utm\\_medium=referral&utm\\_source=pxhere](https://pxhere.com/id/photo/1092121?utm_content=shareClip&utm_medium=referral&utm_source=pxhere) (diunduh pada tanggal 14 desember 2022 pukul 20.00)

**Gambar 8.10** [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mangoes\\_%28Magnifera\\_indica%29\\_from\\_India.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mangoes_%28Magnifera_indica%29_from_India.jpg) (diunduh pada tanggal 1 desember 2022 pukul 20.00)

<https://www.kemkes.go.id/article/view/21122800001/penurunan-prevalensi-stunting-tahun-2021-sebagai-modal-menuju-generasi-emas-indonesia-2045.html>

## Profil Pelaku Perbukuan

### Profil Penulis

Nama Lengkap : Dr. Rini Solihat, M.Si.  
E-mail : rinisolihat@upi.edu  
Instansi : Universitas Pendidikan Indonesia  
Alamat Instansi : Jl Dr.Setiabudhi No.229 Bandung,  
Jawa Barat  
Bidang Keahlian : Pendidikan Biologi-IPA



#### ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 IKIP (Institut Keguruan dan Ilmu Pendidikan) program studi Pendidikan Biologi, 2001
2. S2 ITB (Institut Teknologi Bandung) program studi SITH, 2006
3. S3 UPI program studi Pendidikan IPA, 2016

#### ■ Riwayat Pekerjaan

1. Dosen di Program Studi Pendidikan Biologi FPMIPA UPI (2001-sekarang)
2. Penilai Buku Non Teks di Pusat Kurikulum dan Perbukuan Balitbang Kemendikbud (2006-sekarang)
3. Tim Penilai Buku Teks Pelajaran IPA Kurikulum 2013 Pendidikan Dasar dan Menengah (2018)
4. Tim Penilai Buku Teks Pendamping IPA Kurikulum Merdeka (2022)

#### ■ Riwayat Publikasi

- Scopus ID : 57196234352  
SINTA Author ID : 6005021  
ID Google scholar : xcAhGHwAAAAJ  
<https://scholar.google.co.id/citations?hl=en&user=xcAhGHwAAAAJ>

# Profil Penulis

Nama Lengkap : Eris Rustandi, M.Pd., M.Si.  
E-mail : erisrustandi05@guru.sma.belajar.id  
Instansi : SMAN 1 Parakansalak Kab. Sukabumi  
Alamat Instansi : Jln. Parakansalak Kec. Parakansalak  
Kab.Sukabumi, Jawa Barat  
Bidang Keahlian : Biologi (Pembelajaran Biologi SMA,  
Etnobiologi, dan Pendidikan Lingkungan Hidup)



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 UPI Bandung, Pendidikan Biologi 1995-2000
2. S2 Universitas Pakuan Bogor ,Pendidikan Kependudukan dan Lingkungan Hidup (PKLH) 2008-2010
3. S3 Universitas Indonesia (UI) Depok, Biologi 2009-2012

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. Koordinator RSBI dan Guru Biologi SMA Hayatan Thayyibah Sukabumi 2013-2014
2. Pembina Olimpiade Biologi SMA Negeri 3 Kota Sukabumi 2011-2015
3. Sekretaris SBL SMA Negeri 3 Kota Sukabumi 2013-2014
4. Koordinator SBL/Adiwiyata dan Sekolah Sehat 2014-2015
5. Staf Wakasek Litbang 2015-2016
6. Bendahara BOS 2016-2018
7. Wakasek Kurikulum 2017-2021
8. Ketua MGMP Biologi SMA/MA Kota Sukabumi 2015-2022
9. Ketua Wilayah Provinsi Jawa Barat Perkumpulan Pendidik Biologi Indonesia Folia 2020-2022
10. Kepala Laboratorium Sekolah SMAN 1 Parakansalak 2021-2023
11. Pembina KIR Percikan Ilmiah SMAN 1 Parakansalak 2021-2023
12. Asesor Program Sekolah Penggerak (PSP) dan Program Guru Penggerak (PGP) 2021-Sekarang
13. Ketua TPMPS SMAN 1 Parakansalak 2021-2023

## ■ Judul Penelitian dan Tahun Terbit

1. Keanekaragaman Jenis dan Potensi Sumber Hayati Bahan Pangan di Kasepuhan Ciptagelar, 2012

2. Sistem Produksi Sumber Hayati Pangan dalam Upaya Pemenuhan Kebutuhan Pangan dan Ketahanan Pangan Masyarakat Kasepuhan Ciptagelar, 2012
3. Upaya Meningkatkan Hasil Belajar Siswa pada Konsep Sistem Imun melalui Pembelajaran Rolling Pak Mamat, 2016
4. Pembelajaran Bermutu dengan Strategi "CAROQET", 2017
5. Integrasi *Computational Thinking* dalam Pembelajaran Biologi dengan Media Laboratorium Virtual untuk Meningkatkan Kompetensi Literasi dan Numerasi, 2021
6. *The Effectiveness Test of Rincik Bumi Leaves (Ipomea quamoclit LINN.) Against Mortality Rate of Aedes aegypti Larvae*, 2021
7. Pemanfaatan Limbah Buah Limus (*Mangifera foetida L.*) untuk Lampu Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR) 2021
8. Pembelajaran Bermutu pada PTMT dengan Strategi "ECARSHOOT MAMA KABUR", 2021
9. Pembelajaran Berdiferensiasi Biologi dengan Strategi "CITI LAV CAR" (Pembelajaran dengan Mengintegrasikan Computational ThInking melalui Penggunaan Media Laboratorium Virtual dan Strategi CARousel), 2022

# Profil Penulis

Nama Lengkap : Zamzam Nursani, S.Pd., M.Pd.  
E-mail : zamzam@smak1bpk.penabur.sch.id  
Instansi : SMAK 1 BPK Penabur Bandung  
Alamat Instansi : Jalan Dursasana No.4-6, Pamoyanan,  
Kota Bandung  
Bidang Keahlian : Pembelajaran Biologi dan STEM,  
penelitian pendidikan sains



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 : Pendidikan Biologi, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (2007-2011)
2. S2 – Pendidikan Biologi, FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (2012-2014)
3. *Sakura science short course program – STEM Education*, Shizuoka University Jepang (2016)

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. Asisten dosen di Departemen Pendidikan Biologi FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia (2012 - 2016)
2. Asisten dosen di Program Studi Pendidikan Guru SD, Universitas Terbuka (2012 - 2016)
3. Pengajar IPA di SMPK 1 BPK Penabur Bandung (2011-2019)
4. Pengajar Biologi dan STEM di SMAK 1 BPK Penabur Bandung (2017-sekarang)
5. Koordinator MGMP Biologi SMA BPK Penabur Bandung dan 15 kota lainnya (2020 - sekarang)

## ■ Judul Penelitian dan Tahun Terbit

1. *Analysis of Argumentation and Concepts Mastery in Representing The System Thinking Skills on Human Physiology Instruction* (2014)
2. *STEM Based learning in upper secondary level : Student's 21st Century Skills on Electrolyte Chapter* (SEAMEO-QITEP in Science, 2018)
3. *Reducing Eleventh-Grade Students' Misconceptions On Gravity Concept Using PDEODE\* E-Based Conceptual Change Model* (2019)
4. *Analysis Of Classification Ability As The Basis Of Numeric Taxonomic Learning In Animal Biosystematics Lectures* (2021)

# Profil Penulis

Nama Lengkap : Wandi Herpiandi, S.Pd., M.Si.

E-mail : wherpiandi@gmail.com

Instansi : BBPPMPV BMTI

Alamat Instansi : Jl. Pasantren Km 2 Cibabat Cimahi  
Jawa Barat

Bidang Keahlian : Biologi, Teknik Energi Terbarukan,  
Pendidikan Lingkungan Hidup, Akuakultur



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 Pendidikan Biologi. FPMIPA. Universitas Pendidikan Indonesia.  
1996 - 2001
2. S2 Pengelolaan Sumberdaya Hayati dan Lingkungan Hidup Tropika.  
Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati, ITB 2005 - 2007

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. Tupoksi utama Widya Iswara yaitu Dikjartih (Mendidik, Mengajar dan Melatih) Guru di lingkungan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi. (2001 – Sekarang)
2. Asesor Kompetensi Teknik Energi Terbarukan di LSP Energi Terbarukan. (2018 – Sekarang)
3. Fasilitator Guru Penggerak pada Program Guru Penggerak Kemdikbudristek (2020 – 2021)
4. Fasilitator Sekolah Penggerak pada Program Sekolah Penggerak Kemdikbudristek (2021 – Sekarang)
5. Instruktur Program Guru Penggerak (2022 – Sekarang)
6. Mengajar Mata Kuliah Pendidikan Lingkungan Hidup di Universitas Terbuka (2012 – 2014)

## ■ Judul Buku dan Tahun Terbit

1. Menyadur Buku Marshall untuk Buku Siswa kelas 11 dan Buku Guru Kelas 11, 12 Mapel Biologi Kurikulum Merdeka. (Pusbuk. 2021)
2. Mudahnya Budidaya Lobster (Eksisgraf. 2018)
3. Teknik Budidaya Ikan Gurame Secara Intensif (Eksisgraf. 2018)
4. Teknik Energi Terbarukan, Biogas Sebuah Alternatif Energi Masa Depan (Eksisgraf. 2018).

## ■ Judul Penelitian dan Tahun Terbit

1. Efektivitas Pelatihan Dalam Jaringan Merakit Reaktor Biogas Konstruksi Serat Kaca. (Lembaga Administrasi Negara. 2020)

# Profil Penelaah

Nama Lengkap	: Dr. Ana Ratna Wulan, S.Pd., M.Pd.
E-mail	: anarwulan@gmail.com
Instansi	: FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
Alamat Instansi	: Jl. Dr. Setiabudi No 229, Bandung
Bidang Keahlian	: Asesmen dan Pembelajaran IPA-Biologi
Sertifikasi	: Editor profesional, <i>Book Editor</i> . LSP-BNSP, Badan Nasional Sertifikasi Profesi (2021-2024).



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 IKIP Bandung, Pendidikan Biologi 1993-1998
2. S2 Universitas Pendidikan Indonesia, Pendidikan IPA 2001-2003
3. S3 Universitas Pendidikan Indonesia, Pendidikan IPA 2004-2007

## ■ Riwayat Pekerjaan yang relevan

1. Dosen Departemen Pendidikan Biologi, FPMIPA (1999-sekarang) dan Prodi S2/S3 (2007-sekarang), Universitas Pendidikan Indonesia.
2. Konsultan Pengembangan Divisi *Research and Development* (R&D). *Seameo Qitep in Science* (2016-2017).
3. Koordinator Konsultan Asesmen dan Kurikulum Pembelajaran, Yayasan Satya Winaya (2019-sekarang) serta Konsultan Akademik Pusdiklat Marwita Magiswara (2019-sekarang).
4. Penilai Buku Non Teks dan Buku Teks Pelajaran (2005-2020), Tim Pengembang Penilaian Buku Teks Pelajaran IPA (2016-2018), Komite Penilaian Buku Teks Pelajaran (2019-sekarang) di Pusat Perbukuan, Kemendikbud (sekarang Kemendikbudristek).
5. Penelaah Buku Teks Pelajaran IPA Kelas VII, Kelas VIII, Kelas IX (2013-2018); Buku Teks Tematik SD Kelas IV, Kelas V (2013-2016); Buku Teks Biologi Kelas XI, Buku Teks Projek IPAS SMK Kelas X (2022), Pusat Perbukuan, Kemendikbud (Kemendikbudristek).
6. Narasumber/Konsultan di Pusat Penilaian Pendidikan (Pusat Asesmen dan Pembelajaran), Balitbang, Kemendikbud (2007-2021).
7. Narasumber dan konsultan Asesmen dan Pembelajaran di Lingkungan Kemendikbud/Perguruan Tinggi/Kemendikbudristek (2007-sekarang).

## ■ Judul Buku dan Tahun Terbit

Ana Ratna Wulan, 2018. *Menggunakan Asesmen Kinerja untuk Pembelajaran Sains dan Penelitian*. Bandung: UPI PRESS. ISBN: 978-602-5643-01-09.

#### ■ Judul Penelitian Terpilih dan Tahun Terbit

- 1 Pengembangan Model Asesmen untuk Mengukur Penguasaan Epistemologi Sains. Penelitian Payung Dosen dan Mahasiswa Prodi S2 Pendidikan Biologi UPI (2019-2022).
- 2 Pengembangan Instrumen Untuk Mengukur *Cognitive Skills* Kompetensi Abad 21 – Keterampilan Memverifikasi Kesahihan Penelitian pada Pelajaran IPA (Riset Terapan), Pusat Penilaian Pendidikan, Balitbang, Kemendikbud (2019).
- 3 Pengembangan Model-Model Asesmen Elektronik untuk Mengukur Keterampilan Abad 21 pada Pembelajaran Lingkungan Menyongsong Era MEA. Hibah LPPM UPI (2017).
- 4 Rekonstruksi Asesmen Perkuliahinan Evaluasi Pendidikan Biologi untuk Meningkatkan Mutu Capaian LO (*Learning Outcomes*). Penelitian Bidang Ilmu, Hibah Sekolah Pascasarjana UPI (2017).
- 5 Studi Pengembangan Standar Kompetensi Guru dalam Penilaian Pembelajaran/*Classroom assessment*: Studi Standar Kompetensi Penilaian Pendidik tahun ke-1, 2, 3, 4. Pusat Penilaian Pendidikan, Balitbang, Kemendikbud (2012-2015).

---

Nama Lengkap : Ayda T. Yusuf  
E-mail : ay02414@gmail.com  
Instansi : Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati - ITB  
Alamat Instansi : Jl. Ganesa No.10. Bandung 40132  
Bidang Keahlian : Biologi Perkembangan Hewan; Toksikologi Umum dan Toksikologi Obat; dan Toksikologi Reproduksi dan Perkembangan



#### ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. Sarjana Biologi; FMIPA – ITB; 1980
2. Magister Biologi; Fakultas Pasca Sarjana – ITB; 1988
3. Doctorate en Toxicologie Generale et Toxicologie du Medicament. Universite Montpellier I. France; 1996

#### ■ Riwayat Pekerjaan

1. Pengajar di Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati – Institut Teknologi Bandung
2. Assesor Lembaga Pemeriksa Halal (LPH), Kementerian Agama
3. Tim Teknis Komisi Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik – Keamanan Pangan

# Profil Editor

Nama Lengkap : Muhammad Marsidi, S.Pd.  
E-mail : marsupilami.marsidi44@gmail.com  
Alamat Instansi : Depok, Jawa Barat  
Bidang Keahlian : Biologi (Editing Buku Teks dan Nonteks)



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1: Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS), FKIP, Jurusan MIPA, Program Pendidikan Biologi (2002–2007).

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. Editor CV Arya Duta, Kota Depok, Jawa Barat (2008-2018)
2. Koor. Editor CV Bina Pustaka, Kota Depok, Jawa Barat (2019-Sekarang)

## ■ Judul Buku dan tahun terbit

Ensiklopedia Seni dan Budaya Nusantara: Sulawesi Barat (2013).

## ■ Judul Buku yang pernah diedit

1. Buku Siswa dan Guru Biologi SMA Kelas X, XI, dan XII K-13 (2018).
2. Buku Siswa dan Guru IPA untuk SMP Kelas VII K-13 (2019).
3. Buku Siswa dan Guru Tematik SD Kelas I dan IV K-13 (2018).
4. Buku Teks Pelajaran Seni Budaya dan Keterampilan untuk SD Kelas IV (2018).
5. Buku Teks Pelajaran IPA untuk SD Kelas IV K-13 (2018).
6. Buku Nonteks Membuat Manisan Buah (2018).
7. Buku Nonteks Reptil dan Amfibi (2018).
8. Buku Nonteks Cuaca dan Iklim (2017).
9. Buku Nonteks Memilih Alat Permainan Edukatif (2017).
10. Buku Nonteks Kunyi: Si Kunyit Kaya Manfaat (2021).
11. Buku Nonteks Aku Pakai Masker (2021).
12. Buku Nonteks Indonesia Kaya Energi Terbarukan (2021).
13. Buku Nonteks Kumpulan Khutbah Idhul Adha (2021).
14. Buku Nonteks Kumpulan Khutbah Idhul Fitri (2021).
15. Buku Nonteks Seri Nabi Ulul Azmi: Tongkat Nabi Musa A.S. dapat Membelah Laut (2022).
16. Modul Paket A, B, dan C K-13 (2018).
17. Berbagai Mapel LKS atau Modul Pengayaan SD, SMP, SMA, dan SMK.

# Profil Ilustrator

Nama Lengkap : Aghni Ghofarun Auliya, S.Sn.  
E-mail : aghnighofarun@gmail.com  
Alamat Instansi : Solo, Jawa Tengah  
Bidang Keahlian : ilustrasi



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 Seni Rupa Murni, Institut Seni Indonesia Surakarta (2010-2014)

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. Guru seni lukis SLB Bina Karya Insani Karanganyar (2013-2022)
2. Freelance ilustrator (2014- sekarang)
3. Fulltime ilustrator Ziyad Books Solo, (2022- sekarang)

## ■ Karya Ilustrasi

1. Juara 1 Webtoon *One-shoot Challenge*, Genre Comedy di ciayo.com 2017
2. Ilustrator komik "Cara Dahsyat Setan Menggoda Manusia", Penerbit Ziyad, Surakarta. (2016).
3. Ilustrator buku Sains story "Super Amazing!!! Cerita-Cerita & Fakta Sains dari Hadis", Penerbit Ziyad, Surakarta.
4. Ilustrator buku Dongeng Seru Sains (cergam) "Akibat Rasa Iri Lala" & "Hukuman untuk Si-Belang", Tiga Ananda, Penerbit Tiga Serangkai, Surakarta.
5. Ilustrator buku panduan guru Seni Musik kelas 1, 2, dan 3 SD, Seni Tari kelas 5 SD, Kemdikbudristek, 2021.
6. Komik di ciayo.com : "Mantri Khitan", "Dowerisasi", "Naar and Noor", "Ragnarok: Babi Ngepet".
7. Komik di Line Webtoon : "Pak Dobleh", "Tumbal Nyawa", "No Regrets", "Rumah Hantu", "Mengapa Aku Berbeda", Mantri Khitan".
8. " Tutu si Kutu Rambut", GLN, 2021.
9. "Ini Semua Gara-gara si Kucing", "Kota Gula-gula", "Perjamuan Kerajaan", Badan Bahasa, Kemdikbud, 2021
10. Aktif di komunitas Ikatan Komikus Solo (IKILO)
11. Top 5 editor choice. Webtoon "Comic Story" di Paras Comic. 2022

# Profil Desainer

Nama Lengkap : Geofanny Lius, S.Ds.  
E-mail : geofannylius@gmail.com  
Alamat Instansi : Bekasi, Jawa Barat  
Bidang Keahlian : Desain Komunikasi Visual



## ■ Riwayat Pendidikan Tinggi dan Tahun Belajar

1. S1 Trisakti Program Studi Desain Komunikasi Visual (2011–2015)
2. Program *Student Exchange JENESYS Scholarship*, Jepang (2014)

## ■ Riwayat Pekerjaan

1. 2011: Desainer PT Ganeca Exact
2. 2012: Desainer PT Kompas Gramedia Group
3. 2014: Internship Desain Femina Group
4. 2013-sekarang : Freelance Desain dan Layout Puskurbuk, Kemendikbud

## ■ Judul Buku yang pernah didesain/layout (10 Tahun Terakhir)

1. Proyek Desain dan Layout BSE (Buku Sekolah Elektronik)  
PT Ganeca Exact
2. Desain Isi Buku Agama Konghucu Kelas II, III, V. Puskurbuk, Kemdikbud.
3. Desain Isi Buku Agama Kristen Kelas I, IV, IX. Puskurbuk, Kemdikbud.
4. Desain Isi Buku Buddha Kelas I. Puskurbuk, Kemdikbud.
5. Desain Isi Buku Prakarya Kelas X. Puskurbuk, Kemdikbud.
6. Desain Isi Buku Bahasa Indonesia Kelas X. Kemdikbud, 2019.
7. Desain Isi Buku Kesenian Karawitan untuk SMK Kelas X. Kemdikbud, 2019.
8. Desain Isi Buku Agama Konghucu untuk SMA/SMK Kelas XI.  
Kemdikbudristek, 2020.
9. Desain Isi Buku Agama Kristen untuk SD Kelas II. Kemdikbudristek, 2021.
10. Desain Isi Buku Panduan Guru Matematika untuk Kelas VII.  
Kemdikbudristek, 2022.