



Ameilia Z. Siregar dkk.

Biologi Pertanian

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

JILID 3



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional



Ameilia Z. Siregar dkk.

BIOLOGI PERTANIAN JILID 3

untuk SMK

Amelia Zuliyanti Siregar, dkk

BIOLOGI PERTANIAN JILID 3

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

BIOLOGI PERTANIAN JILID 3

Untuk SMK

Penulis : Amelia Zuliyanti Siregar
Utut Widyastuti Suharsono
Hilda Akmal
Hadisunarso
Sulistijorini
Nampiah Sukarno
Anja Merdiyani
Tri Heru Widarto
Raden Roro Dyah Perwitasari

Ilustrasi Cover : Tim

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SIR SIREGAR, Amelia Zulianti
b Biologi Pertanian Jilid 3 untuk SMK /oleh Amelia Zuliyanti
Siregar, Utt Widyastuti Suharsono, Hilda Akmal, Hadisunarso,
Sulistijorini, Nampiah Sukarno, Anja Merdiyani, Tri Heru W., Raden
Roro Dyah Perwitasari ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
vi. 203 hlm
Daftar Pustaka : A1-A4
Glosarium : B1-B9
ISBN : 978-602-8320-17-7

Diterbitkan oleh

Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah

Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada d luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

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

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

PENGANTAR

Perkembangan ilmu biologi pada masa ini berkembang sangat cepat seiring perkembangan teknologi. Untuk mengupas tuntas permasalahan biologi, diperlukan kecerdasan, keuletan, kesabaran, dan berpikir kritis sehingga diperoleh konsep-konsep dasar ilmu biologi.

Penyusunan buku ini berdasarkan atas Permendiknas Nomor 22 Tahun 2006 tentang Standar Isi dan Permendiknas Nomor 23 Tahun 2006 tentang Standar Kompetensi Lulusan. Oleh karena itu pihak Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah mengupayakan penerbitan buku ini bekerjasama dengan dunia akademik

Buku Biologi Pertanian mengajak Anda mengenal dan memahami biologi secara lengkap dan mendalam. Buku ini disajikan materi meliputi: penelitian dalam biologi, struktur dan fungsi sel, sistem metabolisme sel, hereditas pada organisme, prokariot dan virus, fungi, plantae, animalia, ekosistem dan konservasi, pencemaran lingkungan, serta bioteknologi dan peranannya bagi kehidupan. Materi yang disajikan bersifat *up to date*, *apersepsi* disertai rangkuman dan latihan agar pengguna memperoleh pemahaman.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada editor Dr. Nampiah Sukarno dan Dr. Utut Widyastuti dari Departemen Biologi, FMIPA IPB atas keikhlasan, kesabaran dan bantuannya dalam mengedit buku ini. Selain itu penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Nuryani Rustaman atas saran dan masukannya sehingga buku ini menjadi lebih baik. Penulis juga mengucapkan penghargaan yang tinggi kepada Akhmad Amirullah dan Isnan Prasetyo Widodo atas dedikasinya di dalam membantu penyelesaian buku ini. Akhir kata, penulis berharap buku ini akan memberi manfaat bagi pelajar di Sekolah Menengah Kejuruan bidang Pertanian mengenal Biologi dan aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari. **Experience is a good teacher for us!**

SINOPSIS

Buku **Biologi Pertanian** mengajak Kalian mengenal dan memahami biologi secara lengkap dan mendalam. Materi yang disajikan bersifat *up to date*, *apersepsi* dan *psikomotorik* disertai tujuan pembelajaran, kata-kata kunci, gambar, rangkuman dan latihan untuk mengupas tuntas permasalahan biologi, dengan kecerdasan, keuletan, kesabaran, dan berpikir kritis sehingga diperoleh suatu konsep-konsep dasar ilmu biologi.

Materi buku ini mencakup model penelitian biologi, struktur dan fungsi sel, sistem metabolisme sel, hereditas pada organisme, monera, protista, fungi, plantae, animalia, ekosistem dan konservasi, pencemaran lingkungan, serta bioteknologi dan peranannya bagi kehidupan.

Buku ini disusun untuk menumbuhkembangkan kewirausahaan, etos kerja, memupuk sikap ilmiah (jujur, objektif, terbuka, ulet, berpikir kritis, dapat bekerja sama dengan orang lain) pada diri sendiri. Disamping pengembangan pengalaman untuk dapat mengajukan dan menguji hipotesis melalui percobaan dan dikomunikasikan secara lisan dan tulisan oleh siswa.

Kemampuan berpikir analitis, induktif dan deduktif dengan konsep dan prinsip biologi untuk membentuk beberapa kecakapan seperti: personal, akademik, vokasional, dan sosial dalam bentuk unjuk kerja meningkatkan pemahaman biologi melalui eksperimen. Apresiasi terhadap keanekaragaman hayati menggugah kesadaran untuk mengenal potensi, cara pemeliharaan dan meningkatkan kesadaran dan peran dalam menjaga kelestarian lingkungan, didukung penerapan pengetahuan dan keterampilan aplikasi bioteknologi sederhana secara tepat guna.

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	
KATA PENGANTAR	(i)
SINOPSIS	(ii)
DAFTAR ISI	(iii)
PETA KOMPETENSI	(vi)
BUKU JILID 1	
I. PENELITIAN DALAM BIOLOGI (PERTANIAN)	(1)
1.1 Biologi Sebagai Ilmu Pengetahuan	(2)
1.2. Metode Ilmiah	(4)
1.3. Cabang-Cabang dan Manfaat Ilmu Biologi	(9)
1.4. Tahap-Tahap Klasifikasi	(11)
1.5. Kunci Determinasi	(13)
1.6. Macam-Macam Klasifikasi	(13)
1.7. Tahapan Klasifikasi	(14)
1.8. Kunci Determinasi	(14)
1.9. Macam-macam klasifikasi	(16)
II. STRUKTUR DAN FUNGSI SEL	(25)
2.1. Struktur Sel Prokariotik dan Eukariotik	(26)
2.2. Struktur dan Fungsi Organel Sel	(29)
2.3. Perbedaan Sel Hewan dan Tumbuhan	(33)
2.4. Ciri-Ciri Makhluk Hidup	(34)
III. METABOLISME SEL	(41)
3.1. Katabolisme: Respirasi	(47)
3.2. Anabolisme: Fotosintesis	(51)
3.3. Enzim dan Peranannya	(60)
IV. HEREDITAS PADA MAKHLUK HIDUP	(71)
4.1. Struktur Kimia Materi Genetik	(72)
4.2. Pembelahan Mitosis dan Meiosis	(86)
4.3. Hereditas Menurut Hukum Mendel dan Penyimpangannya	(94)
4.4. Mutasi	(120)
4.5. Peranan Manusia Dalam Revolusi Hijau dan Revolusi Biru	(125)
4.6. Penemuan Bibit Unggul	(127)
BUKU JILID 2	
V. VIRUS DAN PROKARIOT	(139)
5.1. Ciri, Sifat, dan Keragaman Virus	(140)
5.2. Ciri, Sifat, dan Keragaman Prokariotik	(155)
VI. PROTISTA	(181)
6.1. Ciri, Sifat, dan Keragaman	(182)
6.2. Peranan Protista Dalam Kehidupan	(194)
VII. FUNGI	(201)
7.1. Sifat, Ciri, dan Keragaman	(202)

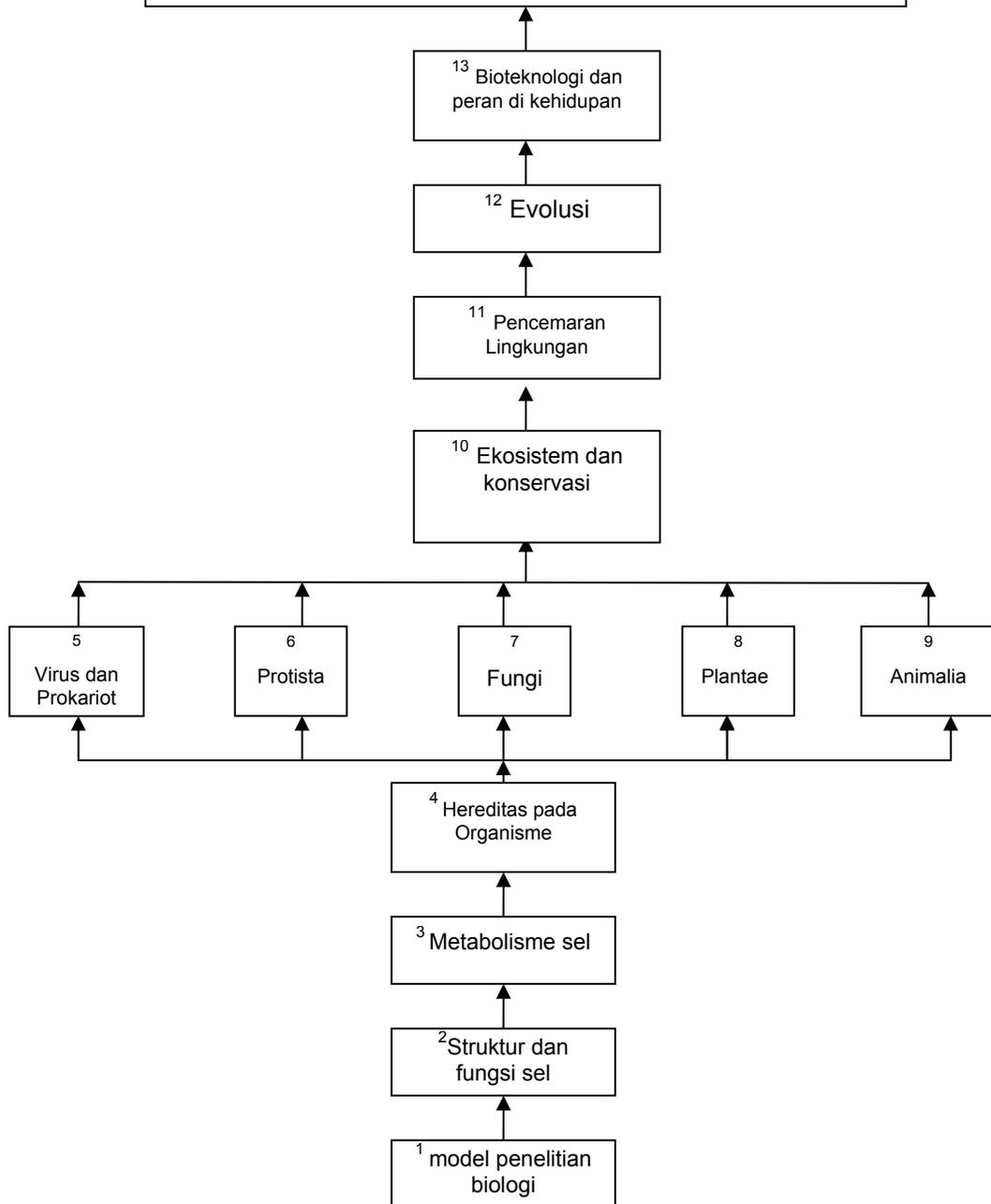
7.2. Klasifikasi dan Peranan Cendawan	(204)
VIII. PLANTAE	(219)
8.1. Jaringan Tumbuhan	(221)
8.2. Organ Tumbuhan	(228)
8.3. Sistem Jaringan Penyusun Tubuh Tumbuhan	(232)
8.4. Transportasi Pada Tumbuhan	(237)
8.5. Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	(249)
8.6. Gerak Pada Tumbuhan	(259)
8.7. Reproduksi Pada Tumbuhan	(265)
8.8. Klasifikasi Tumbuhan	(275)
8.9. Pertanian Organik	(281)
JILID 3	
IX. ANIMALIA	(297)
9.1. Jaringan Pada Hewan	(298)
9.2. Sistem Organ Pada Hewan	(310)
9.3. Klasifikasi Hewan (Invertebrata dan Vertebrata)	(312)
9.4. Reproduksi Hewan	(347)
9.5. Pertumbuhan dan Perkembangan Hewan	(348)
9.6. Mekanisme Gerak Hewan	(352)
X. EKOSISTEM DAN KONSERVASI	(377)
10.1. Makhluk Hidup dan Lingkungan	(378)
10.2. Komponen Penyusun Ekosistem	(387)
10.3. Tipe-tipe Eksosistem	(391)
10.4. Suksesi dan Klimaks	(401)
10.5. Perubahan Lingkungan	(403)
XI. PENCEMARAN LINGKUNGAN	(413)
11.1. Ciri, Sifat, Macam Polusi dan Limbah	(414)
11.2. Dampak Polusi Terhadap Kesehatan Manusia	(428)
11.3. Pengelolaan Limbah Organik	(431)
XII. EVOLUSI	(443)
12.1. Pencetus Teori Evolusi	(445)
12.2. Hukum Hardy-Weinberg	(447)
12.3. Seleksi Alam	(450)
12.4. Terbentuknya Spesies Baru	(451)
12.5. Fosil	(456)
12.6. Teori asal usul kehidupan	(459)
XIII. BIOTEKNOLOGI DAN PERANANNYA BAGI KEHIDUPAN	(467)
13.1. Ciri dan Sifat Mikroorganisme	(468)
13.2. Ilmu-Ilmu Yang Digunakan Dalam Bioteknologi	(469)
13.3. Dampak Pengembangan Bioteknologi	(472)
13.4. Kultur sel dan jaringan	(487)
13.5. Rekayasa Genetik	(491)
13.6. Penanggulangan Dampak Negatif Bioteknologi	(496)

LAMPIRAN A DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN B GLOSARI

PETA KOMPETENSI

TIU: Setelah menyelesaikan pelajaran ini, siswa akan dapat mengidentifikasi, mendeskripsikan, menganalisis serta melatih keterampilan memahami konsep biologi dengan kecerdasan, keuletan, kesabaran, berpikir kritis dan unjuk kerja di bidang pertanian



BAB IX

ANIMALIA

Menurut para ahli biologi, sebagian besar hewan yang hidup di muka bumi termasuk kedalam kelompok invertebrata. Mereka adalah hewan yang tak memiliki tulang belakang. Hewan yang bertulang belakang (vertebrae) disebut hewan vertebrata. Nah, bagaimanakah menurut Kalian tentang pendapat ahli biologi tersebut? Dapatkah Kalian sebutkan hewan-hewan yang termasuk invertebrata, dan hewan –hewan yang tergolong vertebrata? Bagimanakah dan apakah peranan hewan bagi manusia dan kehidupan di alam?

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi penyusun tubuh hewan (jaringan, organ, sistem organ), klasifikasi, proses tumbuh dan berkembang, reproduksi, dan peranan hewan bagi kehidupan.

Kompetensi Dasar

- 9.1. Mengidentifikasi penyusun tubuh hewan (jaringan, organ, sistem organ).
- 9.2. Mengklasifikasikan hewan invertebrata dan vertebrata.
- 9.3. Mengidentifikasi proses tumbuh dan berkembang.
- 9.4. Mengidentifikasi proses reproduksi pada hewan

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Animalia*, Kalian diharapkan dapat:

- Mengidentifikasi penyusun tubuh hewan (jaringan, organ, sistem organ) dengan pengamatan morfologi dan anatomi serta penafsiran Gambar.
- Mengklasifikasikan hewan invertebrata dan vertebrata.
- Mendeskripsikan perbedaan proses tumbuh dan berkembang, serta reproduksi pada hewan.
- Mengkomunikasikan peranan hewan dalam bidang pertanian dan dalam kehidupan sehari-hari.

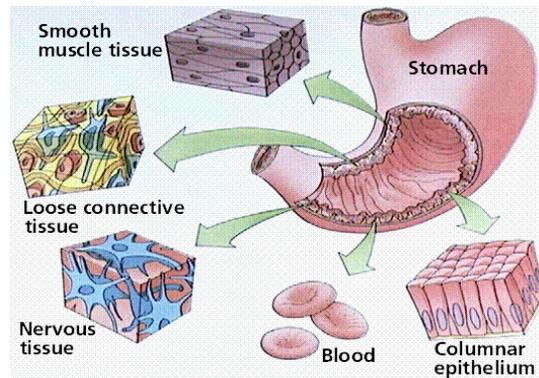
Kata-Kata Kunci

Ametabola	Membran timfanum
Apterygota	Oselus
Faset	Ovipositor

Flame Cell	Pseudoselom
Ganglion	Pterygota
Gizzard	Spermateka
Hemimetabola	Spirakel
Holometabola	Stilus
Invertebrata	Trakeolus
Kopulasi	Vertebrata
Metamorfosis	

9.1. Jaringan pada hewan

Jaringan adalah sekumpulan sel yang memiliki bentuk yang sama dan melakukan suatu fungsi tertentu. Jaringan hewan terdiri dari 1) jaringan epitel, 2) jaringan ikat, 3) jaringan otot, dan 4) jaringan syaraf. Berbagai jenis jaringan tersebut menyatu dalam berbagai organ dan memunculkan fungsi-fungsi tertentu pada organ tersebut. Misalnya lambung tersusun dari berbagai macam jaringan tersebut seperti terlihat pada Gambar 9.1. berikut. Fungsi lambung adalah untuk membantu proses pencernaan secara mekanik dan kimiawi.



Gambar 9.1. Macam-macam jaringan hewan

9.1.1. Jaringan epitel

Jaringan ini melapisi permukaan tubuh sebelah luar (kulit), berbagai rongga, dan saluran di dalam tubuh (Gambar 9.2). Fungsinya sebagai pelindung jaringan yang terdapat di sebelah dalamnya, sebagai bagian dari kelenjar, dan sebagai tempat penyerapan. Berdasarkan bentuknya, jaringan epitel dibedakan atas:

1. Epitel berlapis tunggal

Jaringan epitel ini hanya memiliki satu lapisan sel. Berdasarkan bentuknya, jaringan epitel ini dapat dibedakan menjadi :

i. *Epitel pipih*

Sel-selnya berbentuk pipih dan terdapat pada lapisan yang melapisi usus, saluran pembuluh darah dan limfe, dinding alveolus, selaput jantung dan peritonium (selaput rongga perut)

ii. *Epitel kubus*

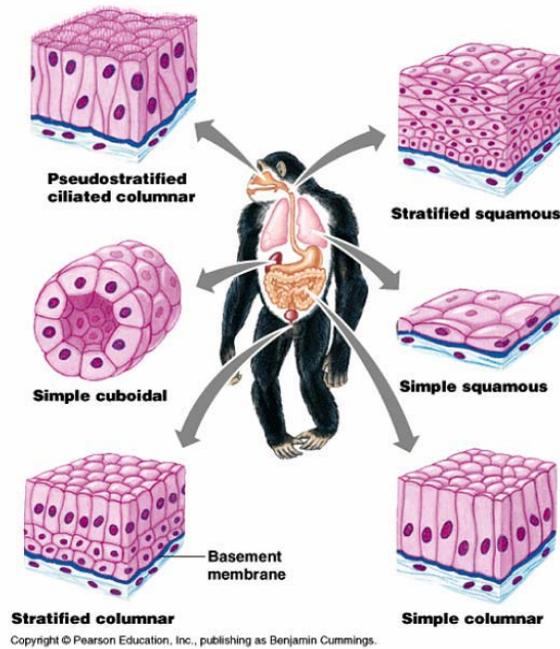
Sel-selnya berbentuk kubus dan terdapat pada lapisan saluran kelenjar, kelenjar tiroid, ginjal, lensa mata.

iii. *Epitel silindris*.

Sel-selnya berbentuk silindris seperti batang dan terdapat pada kelenjar pencernaan, selaput mukosa usus (dinding usus sebelah dalam), lambung.

iv. *Epitel silindris berambut getar*

Sel-selnya berbentuk silindris dengan permukannya berambut getar (silia). Jaringan ini terdapat pada lapisan permukaan sebelah dalam batang dan cabang tenggorokan (trakea, bronkus), saluran telur dan saluran sperma.



Gambar 9.2. Macam-macam jaringan epitel

2. Epitel berlapis banyak

Jaringan epitel ini memiliki lebih dari satu lapisan sel. Berdasarkan bentuknya, jaringan epitel berlapis banyak ini juga dapat dibedakan menjadi :

i. *Berbentuk pipih*

Sel-sel penyusun epitel ini berbentuk pipih dan terdapat pada rongga mulut, rongga hidung, esofagus, telapak kaki dan vagina.

ii. *Berbentuk kubus*

Sel-sel penyusun epitel ini berbentuk kubus dan terdapat pada permukaan ovarium (indung telur), testis, saluran kelenjar minyak dan keringat kulit.

iii. *Berbentuk silindris.*

Sel-sel penyusun epitel ini berbentuk silindris seperti batang dan terdapat pada laring, faring, dan trakea. Beberapa jaringan ini sel-sel penyusunnya berambut getar. Sel-sel penyusun epitel ini berbentuk silindris. Jaringan ini terdapat pada lapisan permukaan sebelah dalam batang dan cabang tenggorokan (trakea, bronkus), saluran telur dan saluran sperma.

Secara khusus, epitel mempunyai banyak fungsi, diantaranya :

1. *Melindungi jaringan dibawahnya* dari kerusakan yang disebabkan oleh gesekan, radiasi ultra violet, dan serangan bakteri. Contoh : epitel kulit.
2. *Membantu pengangkutan zat makanan* ke dan dari jaringan dan organ. Contoh : epitel pipih selapis pada pembuluh darah.
3. *Memproduksi enzim pencernaan* ke dalam usus, dan *menyerap sari makanan* hasil pencernaan. Contoh : epitel kolumnar yang terdapat di saluran pencernaan.
4. *Melapisi seluruh kelenjar pencernaan* yang menghasilkan hormon (*kelenjar endokrin*) dan menghasilkan ludah atau keringat (*kelenjar eksokrin*). Contoh : epitel kelenjar.
5. *Menghasilkan mukus* (lendir) untuk menangkap partikel debu yang terhirup. Contoh : epitel silindris bersilia di saluran pernafasan.

6. *Menghasilkan sel gamet* untuk reproduksi. Contoh : epitel kecambah di tubulus seminiferous testis.

9.1.2. Jaringan ikat

Jaringan ikat adalah jaringan yang berfungsi untuk mengikat sel-sel sehingga membentuk suatu jaringan dan mengikat suatu jaringan dengan jaringan lainnya, menyokong dan melindungi bagian-bagian tubuh, mengisi rongga-rongga yang kosong, menyimpan lemak (sumber energi), dan untuk transportasi. Jaringan ikat tersusun dari *sel-sel yang hidup* dan *matriks* (bahan tak hidup).

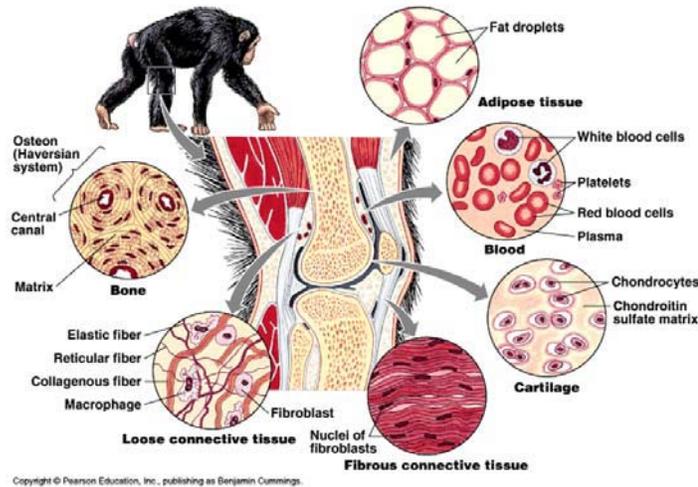
Sel-sel penyusun jaringan ikat dapat berupa :

- i. *Fibroblas* : sel yang berbentuk serat dan mensekresi serat protein
- ii. *Sel lemak* : sel khusus untuk menyimpan lemak
- iii. *Sel plasma* : sel ini menghasilkan anti bodi untuk perlindungan tubuh
- iv. *Sel makrofag* : sel ini memiliki bentuk yang mudah berubah-ubah yang berfungsi untuk menelan (fagosit) benda asing seperti bakteri, virus atau sel-sel yang mati.
- v. *Sel tiang (mast cell)* : sel ini menghasilkan *heparin* (zat antikoagulan atau anti pembekuan darah) dan *histamin* (zat dihasilkan sebagai reaksi alergi terhadap suatu zat).

Matriks

Matriks adalah zat yang dihasilkan sel-sel penyusun jaringan ikat dan tersebar di antara sel-sel tersebut (ekstraseluler). Zat penyusun matriks berupa *bahan dasar* dan *serat-serat*. Bahan dasar ini merupakan bahan yang homogen dan semicair yang mengandung *serat protein, proteoglikan* (gabungan protein dan karbohidrat), serta *garam-garam mineral*.

Serat-serat penyusun jaringan ikat sangat kuat dan memberi bentuk jaringan, serta berfungsi untuk menopang jaringan ikat. Seratnya dapat berupa 1) *serat kolagen* yang berwarna putih, kuat, kelenturan rendah, namun daya regangnya tinggi, terdapat pada tendon, tulang dan kulit; 2) *serat elastin* yang berwarna kuning dan sangat lentur, terdapat pada pembuluh darah dan ligamen; 3) *serat retikuler* seperti serat kolagen dengan kelenturan rendah, tipis bercabang-cabang, terdapat pada limpa dan hati.



Gambar 9.3 Macam-macam jaringan ikat

Jenis-jenis jaringan ikat meliputi :

- i. **Jaringan ikat longgar** : adalah jaringan ikat yang didominasi oleh matriks dengan ketiga jenis serat di atas. Semua jenis sel ada pada jaringan ikat ini dan ditemukan misalnya pada mesenterium (pengikat usus) dan pada pembungkus pembuluh darah dan di bawah epitel saluran pencernaan.
- ii. **Jaringan ikat padat** : adalah jaringan ikat yang didominasi oleh serat kolagen. Sel dan cairan ekstraselnya sedikit. Misalnya tendon (penghubung dan pengikat otot dengan tulang), ligamen (penghubung dan pengikat tulang dengan tulang).
- iii. **Jaringan lemak** : adalah jaringan ikat yang tersusun dari sel-sel yang khusus untuk menyimpan lemak sebagai sumber energi saat dibutuhkan. Sel-sel ini tidak menghasilkan matriks atau serat. Jaringan lemak juga berfungsi untuk bantalan peredam benturan, sebagai pengatur kehilangan panas sehingga temperatur tubuh dapat terjaga.
- iv. **Jaringan tulang** : adalah jaringan yang berfungsi sebagai penunjang dan pelindung tubuh. Jaringan ini dibedakan atas *jaringan tulang rawan (kartilago)* dan *jaringan tulang sejati (osteon)*.

- a. *Jaringan tulang rawan* (kartilago) adalah jaringan yang banyak ditemukan pada bayi dan anak-anak. Tersusun dari sel-sel tulang rawan (*kondrosit*) yang berkembang dari bakal sel tulang rawan (*kondroblas*). Kondrosit menghasilkan matriks.

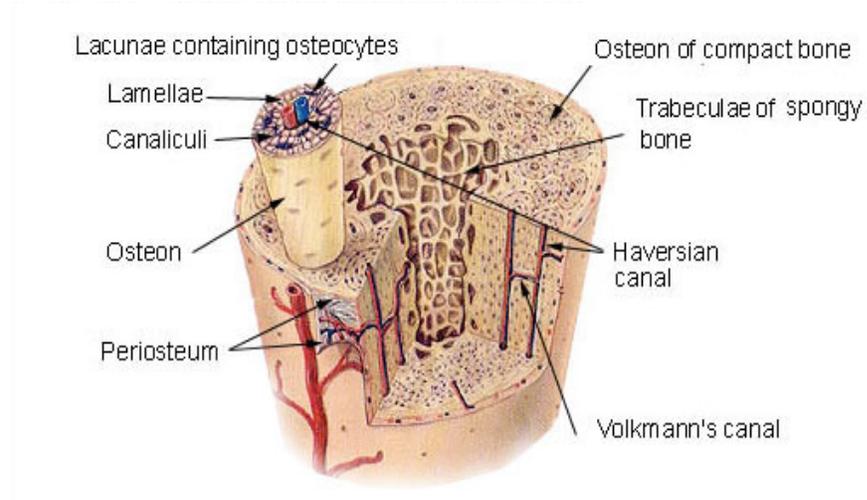
Berdasarkan matriksnya, tulang rawan dikelompokkan menjadi 1) *tulang rawan hialin*: berwarna putih kebiru-biruan dan transparan, matriksnya mengandung banyak serat kolagen berdaya lentur yang tinggi, merupakan penunjang utama tubuh saat embrio (bayi), sedangkan pada saat dewasa hanya ditemukan di persendian, saluran pernafasan, laring, hidung dan antara ujung tulang rusuk dan tulang dada; 2) *tulang rawan elastis*: berwarna kuning dengan serabut elastin pada matriksnya, agak kaku tapi elastis, ditemukan pada daun telinga, epiglotis dan tuba eustachius; 3) *tulang rawan fibrosa*, berwarna gelap, matriksnya mengandung lebih banyak serat kolagen dibanding tulang rawan hialin, ditemukan diantara tulang-tulang belakang (*vertebrae*) dan pada simfisis pubis (tulang kemaluan).

- b. *Jaringan tulang sejati* (*osteon*) adalah jaringan ikat yang tersusun atas sel-sel tulang (*osteosit*) yang berkembang dari bakal sel tulang (*osteoblas*). Osteosit terletak di dalam *lakuna*. Antara satu osteosit dengan osteosit lainnya di dalam lakuna terhubung oleh saluran halus yang disebut *kanalikuli*. Lakuna dan osteositnya tersusun secara konsentris (melingkar) disebut *lamela*. Di tengah lamela terdapat saluran sentral mikroskopis disebut *Saluran Havers* (Gambar 9.4) yang mengandung pembuluh darah (vena, arteri, kapiler), saraf, dan pembuluh getah bening (limfe). Antara saluran Havers saling terhubung oleh *Saluran Volkman*.

Tulang merupakan jaringan yang sangat keras yang matriksnya tersusun dari : serat kolagen, senyawa organik (protein), dan senyawa anorganik, seperti: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 = 85\%$, $\text{CaCO}_3 = 10\%$, CaCl_2 , MgCl_2 , MgSO_4 , dan FeSO_4 .

Tulang dewasa adalah tulang rawan yang telah mengalami *mineralisasi*, yaitu proses perubahan

bahan organik tulang menjadi bahan anorganik tulang. Mineral utama penyusun tulang adalah kalsium dan fosfor.

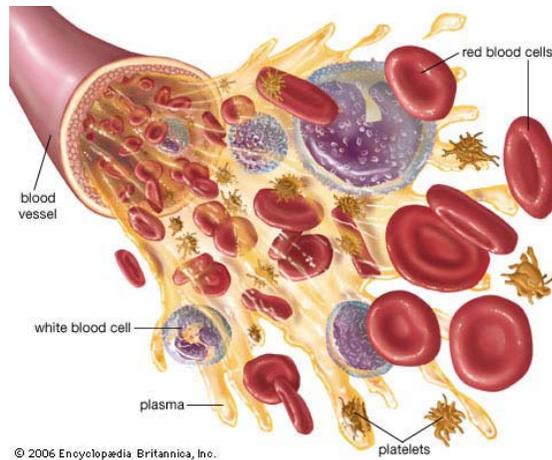


Gambar 9.4. Saluran Havers dikelilingi oleh osteosit yang terdapat di dalam lakuna.

Bila tulang rusak, jaringan lama akan diserap oleh sel tulang berinti banyak (*osteoklas*) dan digantikan oleh sel tulang baru yang dihasilkan oleh osteoblas. Peristiwa penyerapan kembali (resorpsi) bagian tulang yang rusak dan pembentukan sel tulang baru disebut *osifikasi*.

Lapisan tulang paling luar disebut *periostium* (berfungsi untuk memperbaiki keretakan/kerusakan tulang).

- v. **Jaringan darah** : adalah jaringan yang zat dasarnya atau matriksnya berupa cairan yang disebut plasma darah. Tidak seperti jaringan ikat lainnya, matriks ini tidak dihasilkan oleh sel-sel darah penyusun jaringan darah.



Gambar 9.5. Jaringan darah tersusun dari plasma darah, beberapa jenis sel darah (eritrosit, leukosit dan trombosit) dan fibrinogen

Sel darah pada mamalia terdiri dari *eritrosit* (sel darah merah), *leukosit* (sel darah putih) dan *trombosit* (keping darah, dan serabut protein (fibrinogen) (Gambar 9.5).

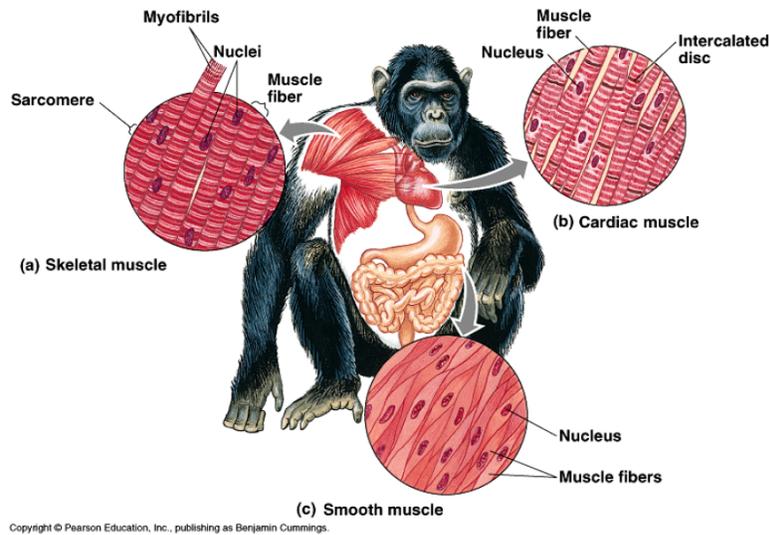
Darah memiliki banyak fungsi dan sangat penting bagi tubuh. Beberapa fungsi utamanya adalah

1. mengangkut berbagai jenis sel darah ke seluruh tubuh
2. mengangkut O₂ dari paru-paru dan nutrisi (sari-sari makanan) dari sistem pencernaan untuk di edarkan ke seluruh tubuh
3. mengangkut limbah (CO₂ dan urea) dari berbagai jaringan tubuh ke organ pembuangan (paru-paru dan ginjal)
4. trombosit dan fibrinogen berperan penting dalam pembekuan darah
5. plasma darah membantu pengaturan suhu tubuh
6. sel darah putih dan antibodi menjadi dari bagian sistem pertahanan dan kekebalan tubuh

9.1.3. Jaringan otot

Bersama-sama jaringan tulang, jaringan ini berfungsi sebagai alat gerak. Tulang sebagai alat gerak pasif dan otot sebagai alat gerak aktif. Jaringan otot bersifat khusus, yaitu dapat berkontraksi (berkerut) dan berelaksasai (mengendur) karena adanya *miofibril* (serabut otot). Setiap miofibril mengandung beberapa *sarkomer* dengan protein *aktomiosin* (gabungan antara filamen halus *aktin*

dan filamen kasar *miosin*). Ketika kontraksi, sarkomer menjadi pendek, dan kembali ke posisi semula ketika relaksasi. Untuk itu, sel otot mempunyai struktur yang khusus di dalam sitoplasma yang dikenal dengan serabut kontraktile. Jaringan otot mempunyai plasma yang disebut *sarkoplasma* (=membran plasma sel otot) dan selaput otot yang disebut *sarkolema*.



Gambar 9.6. Macam-macam jaringan otot hewan

Ada tiga jenis otot yang menyusun tubuh hewan, yaitu otot polos, otot lurik dan otot jantung. Otot polos merupakan otot

Otot polos menyebabkan kebanyakan organ dalam tubuh mampu berkontraksi secara lambat di bawah pengendalian sistem saraf otonom. Meskipun lambat, otot ini mampu bekerja dalam waktu yang lama. Mereka bekerja tidak dibawah kendali kesadaran kita. Misalnya, kontraksi otot polos menggerakkan makanan melalui saluran pencernaan. Otot polos mengendalikan aliran darah di dalam pembuluh darah, dan juga mengosongkan urin dari kantung kemih (urin). Sel-sel otot polos adalah yang paling sederhana. Mereka berbentuk gelendong panjang, dan setiap sel memiliki satu inti di tengah. Disebut otot polos karena penampakkannya yang "polos" di bawah mikroskop, tidak seperti otot jantung dan otot lurik (kerangka).

Otot jantung dan otot lurik menampakkan adanya pita-pita gelap berselang-seling dengan pita terang (lurik) ketika diamati di bawah mikroskop (Gambar 9.7). Ini dapat terjadi karena filamen-

filamen aktin dan miosin tersusun secara beraturan sehingga terlihat lurik. Sedangkan pada otot polos, susunan kedua filamen itu tidak beraturan.

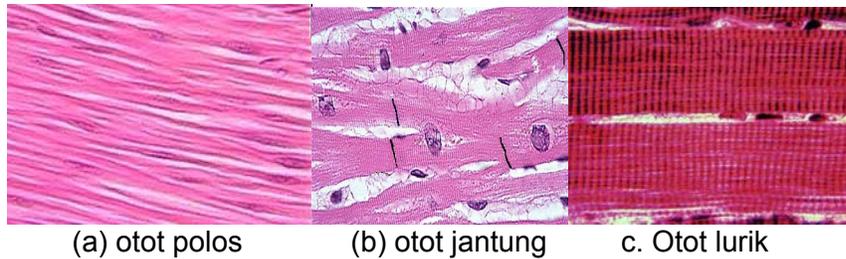
Otot jantung tersusun dari sel-sel otot membentuk seperti anyaman bercabang-cabang. Sel otot jantung memiliki inti di tengah, mampu bereaksi cepat terhadap rangsang dan tidak berada di bawah kendali kesadaran kita. Otot jantung hanya ditemukan di organ jantung. Memiliki serabut otot yang lebih tebal dari otot polos. Keistimewaan otot ini adalah mampu berkontraksi secara ritmis dan terus-menerus dalam waktu yang lama tanpa mengenal lelah.

Otot kerangka (otot lurik) adalah otot-otot yang melekat pada kerangka tubuh. Sel-sel yang menyusun otot ini berbentuk silinder panjang, memiliki lebih dari satu inti dan terletak di tepi sel. Otot ini bereaksi cepat terhadap rangsang, namun tidak dapat berkontraksi dalam waktu yang lama. Perbedaan ketiga jenis otot dapat dibaca pada tabel 9.1.

Tabel 9.1. Perbedaan otot polos, otot lurik dan otot jantung

	Otot Polos	Otot Jantung	Otot Lurik
Bentuk	Polos, berinti satu ditengah,	Sel otot bercabang, saling berhubungan satu dengan lainnya, inti satu di tengah	Ukuran sel panjang, banyak inti sel di tepi,
Serabut ototnya	tidak beraturan, tidak berlurik	beraturan, berlurik	Beraturan, berlurik.
Gerakan	lambat, mampu lama	ritmis, terus-menerus, lama	cepat, tidak beraturan, tidak mampu lama
Kerja saraf	otonom.	otonom.	somatik.
Kontraksi	Tak sadar	Tak sadar	Sadar
Terdapat	Lambung, uterus, kantong urin, pembuluh darah, rahim	Jantung	Tubuh, rangka, dan anggota gerak

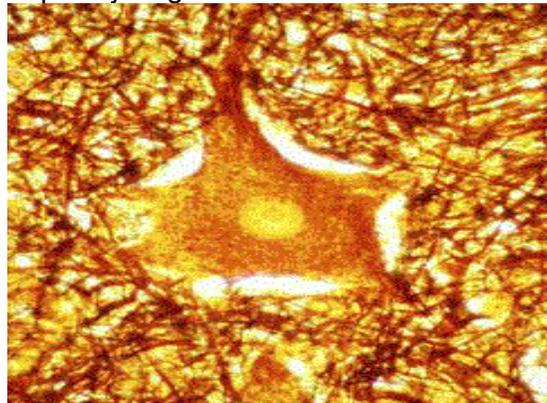
Sedangkan perbedaan antara jaringan otot bila dilihat di bawah mikroskop dapat dilihat pada Gambar 9.7 dibawah ini.



Gambar 9.7 Jenis-jenis otot.

9.1.4. Jaringan saraf

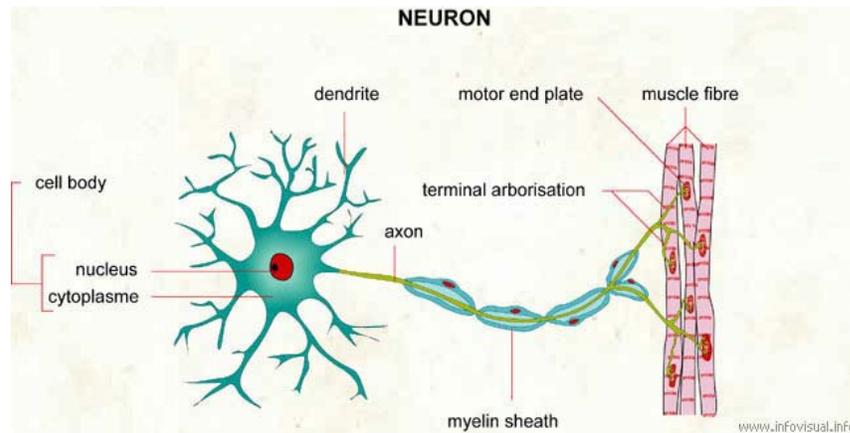
Jaringan saraf adalah jaringan yang sangat rumit (kompleks). Namun pada dasarnya jaringan ini terdiri dari dua jenis sel saja, yaitu *neuron* (sel saraf) dan *neuroglia* (penyokong neuron). Neuron adalah sel yang berfungsi sebagai pembawa dan pengirim pesan/rangsang/sinyal (impuls saraf) dan merupakan unit utama dari sistem saraf. Sedangkan neuroglia, adalah sel yang tidak ikut berperan dalam transmisi impuls, tetapi menunjang kerja neuron. Neuroglia itu seperti 'jaringan ikat' untuk sistem saraf.



Gambar 9.8. Neuron hewan terlihat di bawah mikroskop

Neuron terdiri dari beberapa bagian, yaitu *dendrit*, *badan sel*, dan *neurit (akson)*. Dendrit adalah penjurulan bercabang-cabang dari badan sel yang berfungsi untuk menerima sinyal untuk diteruskan ke badan sel saraf. Badan sel adalah bagian utama neuron yang mengandung inti. Badan sel saraf dapat terletak di sistem saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang), dapat pula di luar sistem saraf pusat. Pada kasus pertama, disebut *inti*, sedangkan kumpulan badan sel di luar sistem saraf pusat disebut *ganglion* (simpul saraf). Akson adalah penjurulan memanjang dari badan sel yang berfungsi untuk meneruskan sinyal-sinyal dari badan sel ke neuron yang lain atau ke efektor. Fungsinya seperti kabel telepon.

Neuroglia tidak ikut berperan secara langsung dalam pengiriman sinyal. Fungsinya adalah menyokong, merawat dan melindungi neuron. Macamnya lebih banyak dari neuron. Dua diantaranya adalah *sel Schwan* yang membungkus akson pada sistem saraf tepi; dan sel *oligodendrosit* yang juga membungkus akson, tetapi pada sistem saraf pusat. Kedua sel tersebut menghasilkan selubung *myelin*. Myelin berfungsi seperti selubung isolator pada akson. Myelin tidak membungkus seluruh akson. Bagian akson yang terbuka ini disebut nodus Ranvier. Adanya myelin perjalanan sinyal jauh lebih cepat. Kecepatannya dapat mencapai 150 meter per detik. Karena perjalanan sinyal sepanjang akson berlangsung dengan cara melompati daerah-daerah yang bermyelin.



Gambar 9.9. Neuron dan bagian-bagiannya

Berdasarkan fungsinya neuron dibedakan menjadi:

1. *neuron sensorik*, berhubungan dengan reseptor (indra dan organ sensoris lainnya) untuk menghantarkan rangsang (stimulus) dari reseptor ke sistem saraf pusat.
2. *neuron motorik*, berfungsi menghantarkan tanggapan (respons) dari sistem saraf pusat ke efektor (otot atau kelenjar).
3. *neuron konektor/interneuron*, berfungsi menghubungkan neuron-neuron motorik dan sensorik, terletak di dalam sistem saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang). Neuron ini disebut juga *neuron ajutor*, karena berfungsi mengolah informasi yang di terimanya untuk kemudian diteruskan sebagai respon ke efektor.

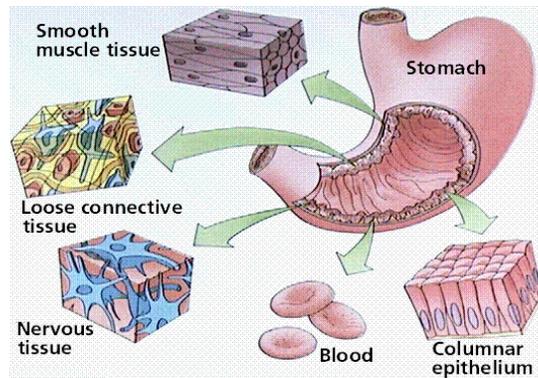
Pertemuan antara ujung-ujung akson suatu neuron dengan neuron lain atau dengan efektor disebut *sinapsis*. Pada sinapsis, ada celah yang memisahkan dua neuron. Sinyal yang sampai di ujung

akson akan diteruskan dengan bantuan *neurotransmitter*. Ia adalah suatu senyawa yang dihasilkan oleh ujung akson. Salah satunya bernama *asetilkolin*, zat penghantar untuk saraf sadar. Senyawa ini penting dalam memori, belajar dan berfikir. Contoh lainnya adalah *epinefrin*, sebagai penghantar saraf tidak sadar. Senyawa ini berkaitan dengan stres, denyut jantung dan tekanan darah.

9.2. Sistem organ pada hewan

Seluruh hewan multiseluler tersusun atas lebih banyak sel. Di dalam tubuh sel-sel tersebut tidak bekerja sendiri-sendiri, melainkan membentuk suatu sistem kerjasama. Kerjasama antara sel itulah yang memungkinkan berlangsungnya aktivitas kehidupan. Kita sudah pelajari sel-sel yang sama bentuk dan fungsinya membentuk jaringan. Berbagai macam jaringan menyusun tubuh.

Untuk dapat melaksanakan tugas yang lebih kompleks, antar jaringan perlu adanya kerjasama. Kumpulan jaringan yang saling bekerja sama untuk melaksanakan fungsi tertentu disebut *organ*. Beberapa contohnya : paru-paru, jantung, lambung, limpa, hati, pankreas, dan usus. Organ-organ tersebut kemudian juga bekerja sama untuk melaksanakan fungsi atau tugas tertentu. Kumpulan organ-organ tersebut kita sebut *sistem organ*. Hidung, laring, trakea, paru-paru adalah organ-organ yang membentuk sistem (organ) pernafasan. Organ-organ apa sajakah yang menyusun sistem pencernaan pada hewan?



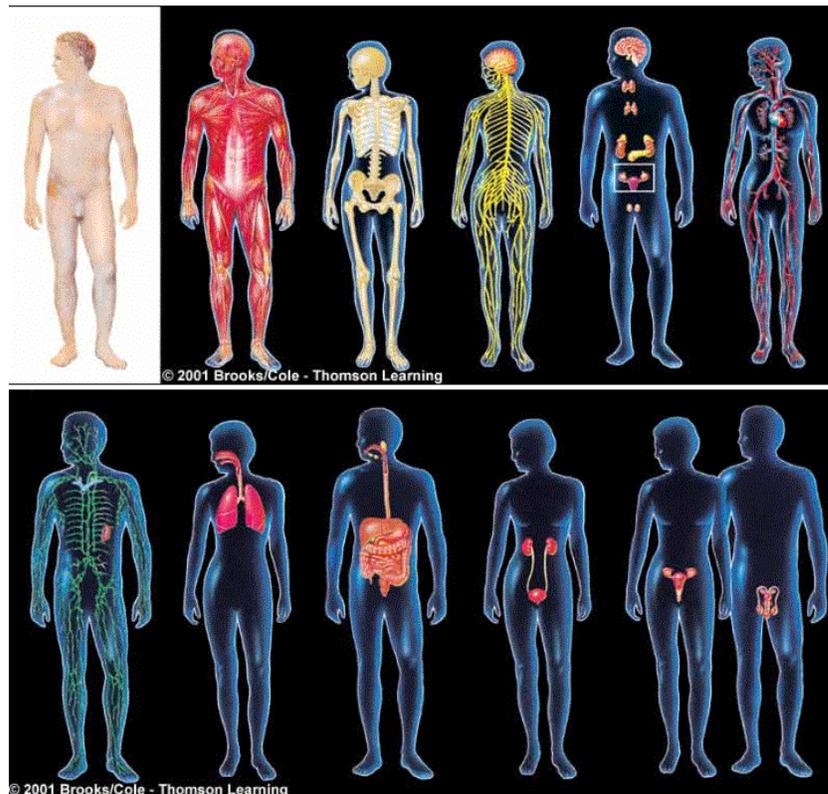
Gambar 9.10. . Lambung sebagai organ merupakan kumpulan dari berbagai jaringan.

Lambung merupakan salah satu contoh organ dalam sistem pencernaan. Lambung tersusun dari beberapa jaringan, antara lain jaringan epitel, jaringan otot, jaringan ikat, dan jaringan saraf. Keempat jaringan tersebut bersama-sama melakukan satu kesatuan fungsi. Jaringan epitel sebagai penghasil getah lambung yang diperlukan dalam proses pencernaan secara enzimatik, jaringan otot

untuk gerakan peristaltik, jaringan ikat sebagai bantalan (jaringan lemak), maupun alat transportasi (jaringan darah), dan jaringan saraf agar dapat merasakan adanya zat-zat makanan di dalam lambung.

Untuk dapat melaksanakan fungsinya dalam sistem pencernaan, lambung harus bekerjasama dengan organ-organ lain dalam sistem pencernaan, seperti mulut, gigi, lidah, faring, kerongkonga, usus, hati, dan pankreas. Organ-organ tersebut merupakan satu kesatuan fungsional yang utuh dan tidak dapat dipisah-pisahkan, kita sebut sebagai sistem pencernaan

Pada tubuh hewan, selain sistem pencernaan terdapat juga sistem-sistem organ lainnya. Misalnya, sistem pernafasan yang menyuplai oksigen dan membuang zat-zat sisa berupa gas. Dapatkah kalian sebutkan sistem organ yang lainnya, sebutkan organ-organ penyusunnya dan jelaskan fungsi-fungsinya ?



Gambar 9.11. Sistem organ pada manusia dan hewan pada dasarnya hampir sama. Dapatkah kalian sebutkan sistem organ pada Gambar di atas ?

9.3. Klasifikasi hewan (invertebrata dan vertebrata)

Hewan merupakan makhluk hidup yang telah teradaptasi dengan berbagai lingkungan. Mereka dapat hidup di laut, air tawar, darat, di kutub, dan padang pasir (gurun). Beberapa ciri yang dimiliki oleh hewan adalah :

- bersel banyak (multiseluler) yang sel-selnya memiliki inti bermembran (eukariotik)
- tidak dapat membuat makanan sendiri (tidak berfotosintesis).
- bereproduksi secara asexual dan seksual
- sel penyusun tubuhnya tidak memiliki dinding sel dan plastida.
- dapat merespons dengan cepat terhadap rangsang.
- aktif bergerak (motil) pada tahap (fase) tertentu dalam siklus hidupnya.

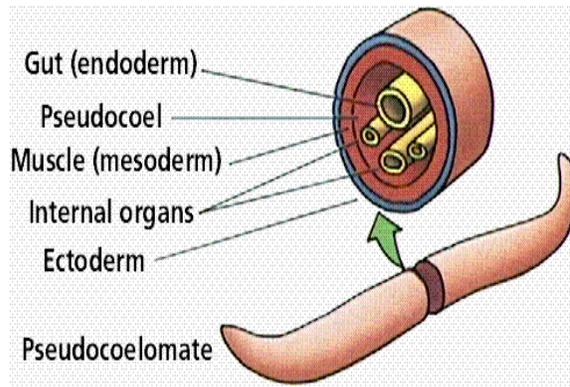
Para saintis menempatkan hewan pada dua kategori utama, yaitu: *invertebrata* (*in* = tanpa, *vertebrae* = tulang belakang) dan *vertebrata* (bertulang belakang). Invertebrata adalah hewan tingkat rendah dan tidak memiliki tulang belakang. Sedangkan vertebrata adalah hewan tingkat tinggi dan memiliki tulang belakang. Hewan bersel banyak berkembang dari zigot bersel satu. Zigot, sebagaimana kita ketahui adalah hasil pembuahan sel telur oleh sel sperma. Zigot kemudian membelah menjadi dua, empat, delapan, 16 sel dan terus bertambah banyak menjadi *blastula* yang bentuknya menyerupai bola. Sel-sel penyusun blastula kemudian melekat ke dalam sehingga terbentuklah dua lapis lembaga, yaitu *ektoderm* (di sebelah luar) dan *endoderm* (di sebelah dalam).

Berdasarkan jumlah lapisan lembaga, ada hewan yang hanya memiliki dua lapis dalam perkembangannya (ekto dan endoderm), disebut *diploblastik*. Misalnya *Coelenterata* (ubur-ubur, hewan pembentuk terumbu karang, anemon laut). Sedangkan hewan lainnya memiliki tiga lapis kecambah, yaitu *ekto*, *meso* dan *endoderm*. Mereka disebut hewan *triploblastik*. Mesoderm berkembang diantara ekto dan endoderm. Ketiga lapis kecambah tersebut kemudian berkembang menjadi berbagai macam organ. Ektoderm berkembang menjadi kulit dan otak serta jaringan syaraf. Mesoderm berkembang menjadi otot. Sedangkan endoderm berkembang menjadi organ-organ dalam.

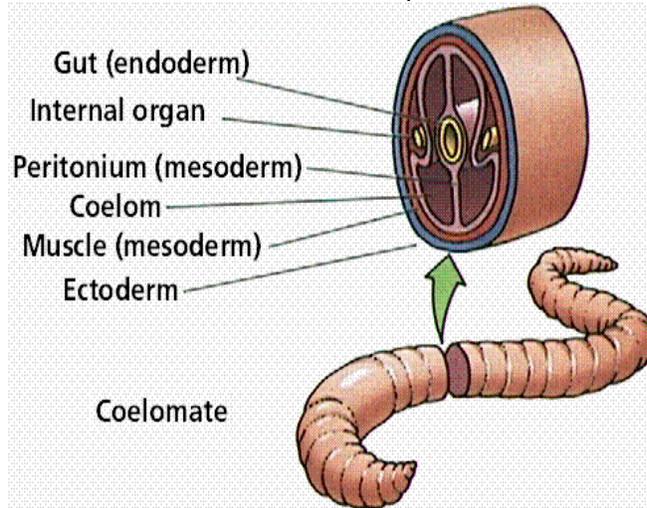
Hewan triploblastik dapat dibedakan berdasarkan rongga tubuhnya. Ada hewan yang tak mempunyai rongga tubuh, disebut hewan *aselomata*. Misalnya *Platyhelminthes* atau cacing pipih (*Planaria* dan cacing pita). Sedangkan pada *Nemathelminthes* (Gambar 9.12a) atau cacing gilig (misalnya cacing kremi, cacing tambang, cacing *Ascaris*) telah memiliki rongga tubuh, tetapi hanya sebagian yang dibatasi oleh mesoderm. Rongga tubuh ini disebut

rongga tubuh semu (*pseudoselom*) sehingga mereka disebut hewan *pseudoselomata*.

Hewan-hewan yang memiliki rongga tubuh sejati (*selom*) disebut hewan *selomata*. Yang termasuk selomata adalah seluruh hewan dari Annelida sampai dengan Mamalia (Gambar 9.12b). Mereka memiliki rongga tubuh yang seluruhnya dibatasi dengan mesoderm.



Gambar 9.12a. Pseudocoelomata pada Nemathelminthes



Gambar 9.1b. Selom pada Annelida.

9.3.1. Invertebrata

Invertebrata terdiri dari filum Porifera, Coelentrata, Platyhelminthes, Nemathelminthes, Annelida, Mollusca, Arthropoda, dan Echinodermata. Pada bab ini kita akan membahas klasifikasi dan karakteristik Platyhelminthes, Nemathelminthes, Annelida, dan

Arthropoda yang berkaitan dengan bidang pertanian. Tiga yang pertama sering dikelompokkan kedalam **Vermes (cacing)**.

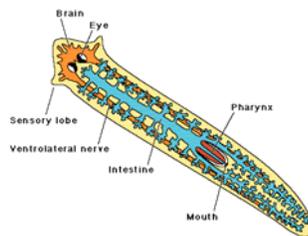
9.3.1.1. Filum Platyhelminthes (cacing pipih)

Tubuhnya pipih; triploblastik; ada yang bersegmen-segmen, ada yang tidak; *simetris bilateral* (bila tubuhnya dibelah dua, sisi kiri dan kanan sama); tidak memiliki selom; habitat diperairan, daratan (tanah) atau hidup sebagai parasit. Sistem saraf tangga tali. Sistem saraf ini terdiri dari sepasang ganglia (simpul saraf), dua tali saraf memanjang yang terhubung oleh tali saraf melintang sehingga membentuk seperti tangga tali. Sistem perirasi dan sistem peredaran darahnya tidak punya. Sistem pencernaan dengan mulut, faring, usus, dan tidak punya anus. Respirasi menggunakan permukaan tubuh untuk pertukaran gas. Oksigen dan sari-sari makanan diedarkan keseluruh tubuh dengan cara difusi. Demikian pula dengan pengangkutan CO₂ ke permukaan tubuh. Sistem ekskresinya berupa organ sederhana yang disebut *protonefridia* yang dilengkapi dengan *flame cell* (sel api). Sel-sel api berbentuk seperti bola lampu dengan silia di dalamnya. Silia ini bergerak-gerak seperti gerakan nyala api untuk mengalirkan cairan tubuhnya. Karenanya disebut sel api.

Reproduksi seksual dan aseksual. Pada reproduksi seksual terjadi penyatuan sel sperma dan sel telur (fertilisasi=pembuahan). Sebagian bersifat hermaphrodit, yaitu dalam satu tubuh memiliki organ reproduksi jantan (*testis*) dan betina (ovarium). Namun untuk berkembang biak tetap diperlukan dua individu. Jadi mereka melakukan pembuahan silang (*cross fertilisation*), bukan pembuahan sendiri (*autofertilisation*).

Reproduksi aseksual dilakukan dengan cara pembelahan tubuh atau fragmentasi. Potongan-potongan tubuhnya itu kemudian mengalami regenerasi menjadi individu baru.

Contohnya *Planaria* sp. (Gambar 9.13). Klasifikasi dibagi menjadi tiga kelas seperti tabel 9.2 berikut ini



Gambar 9.13. Bentuk tubuh *Planaria* sp.

Filum Platyhelminthes dikelompokkan ke dalam tiga kelas, yaitu Turbellaria, Trematoda, dan Cestoda.

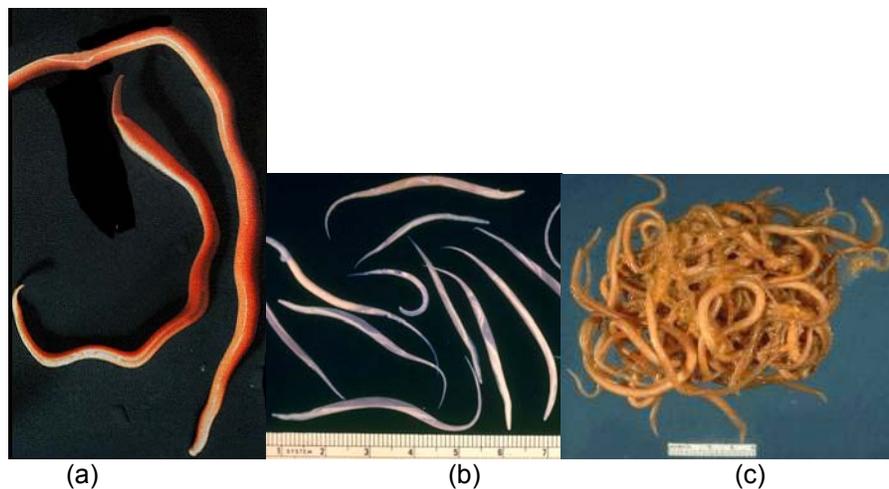
Tabel 9.2. Pembagian kelas dari Filum Platyhelminthes

Kelas Turbellaria	Kelas Trematoda	Kelas Cestoda
<p>Tubuh pipih ditutupi silia, tak bersegmen. Ukuran 15-18 mm, panjang 2-3 cm. Bagian anterior tumpul dan posterior tajam, memiliki stigma (bintik mata). Sistem pencernaan tidak sempurna (tak ada anus). Alat reproduksi menyatu dalam satu tubuh (hermaprodit). Reproduksi seksual: dengan fertilisasi; Reproduksi aseksual dengan fragmentasi. Kemampuan regenerasinya tinggi. Habitat: hidup bebas di air tawar. Tidak bersifat parasit.</p> <p>Contoh: <i>Planaria</i> sp.</p>	<p>Bentuk tubuh seperti daun, tidak bersegmen, tidak bersilia. Panjang 2-5 cm, lebar ±1 cm. Memiliki dua alat isap (saker). Sistem pencernaan tidak sempurna (tak ada anus). Alat reproduksi terpisah (bersifat <i>gonokoris</i>), dan hermiprodit. Hidup sebagai parasit. Memiliki alat isap untuk melekat pada inang.</p> <p>Contohnya: <i>Clonorchis sinensis</i> (cacing ikan). <i>Fasciola buski</i> (cacing isap). <i>Fasciola hepatica</i> (cacing hati). <i>Paragomphus westermani</i> (cacing isap, paru-paru). <i>Schistosoma japonicum</i> (cacing darah, hidup di pembuluh darah balik perut).</p> <p>Siklus hidup <i>F. hepatica</i>: Ada dua inangnya. Di dalam tubuh inang utamanya adalah fase seksual; di inang perantara adalah fase aseksual. Telur yang terdapat di dalam feses ternak menetas menjadi <i>mirasidium</i> (larva pertama bersilia, hidup ditempat basah); lalu masuk ke tubuh siput air (<i>Lymnaea</i> sp) yang menjadi inang perantaranya; berkembang menjadi <i>sporokist</i>. Sporokist akan pecah menghasilkan larva kedua disebut <i>redia</i>. Lalu <i>redia</i> berkembang menjadi <i>serkaria</i>. <i>Serkaria</i> keluar dari tubuh siput, bergerak dan menempel pada tumbuhan air atau rumput, membentuk <i>kista</i> disebut <i>metaserkaria</i>. <i>Metaserkaria</i> yang termakan ternak akan berubah menjadi <i>Fasciola</i> dewasa di hati ternak dan bertelur di organ ini.</p>	<p>Tubuh bersegmen; terdiri dari kepala (<i>skoleks</i>), leher (<i>strobila</i>), dan rangkaian segmen tubuh (<i>proglotid</i>); ukuran tubuhnya ±1 mm, tidak bersilia. Pada skoleks terdapat alat isap dan alat kait (<i>rostellum</i>). Bersifat parasit. Sistem pencernaan tidak ada (tidak ada mulut); makanan diserap dari usus inang melalui seluruh permukaan tubuh.</p> <p>Contohnya: <i>Taenia saginata</i> (sapi). <i>Taenia solium</i> (babi)</p> <p>Siklus hidup <i>Taenia</i>: <i>Proglotid</i> melepaskan diri, disebut <i>strobilasi</i> bersama feses inang. <i>Proglotid</i> termakan sapi/babi (inang perantara), masuk ke ususnya dan berkembang menjadi embrio <i>onkosfer</i> (<i>hexacanth</i>) dengan enam alat kait. <i>Onkosfer</i> menembus dinding usus menuju pembuluh darah dan limfa lalu ke otot lurik. Di otot ini akan berubah menjadi kista, yang disebut <i>sistiserkus</i>. Daging tersebut dimakan manusia, maka <i>sistiserkus</i> berkembang dan hidup kembali sebagai <i>taenia</i>.</p>

9.3.1.2. Filum Nematoda atau Nematelminthes (Cacing gilig atau cacing tambang)

Bentuk tubuh giling seperti tali atau tambang; triploblastik, tidak bersegmen; simetris bilateral (Gambar 9.14); selom semu; dan permukaan tubuh dilapisi kutikula. Ukurannya bervariasi, umumnya mikroskopis, namun ada yang mencapai panjang 1 meter. Tubuh dengan ujung ekor lurus dan tumpul pada betina; runcing dan membengkok pada jantan (Gambar 9.14). Testis dan ovarium terpisah pada individu yang berbeda (gonokoris); betina berukuran lebih besar daripada jantan. Sistem pencernaan lengkap (mulut, faring, usus, dan memiliki anus).

Sistem saraf tangga tali (ganglion). Sistem transportasi menggunakan cairan tubuh. Tidak ada sistem respirasi, berlangsung difusi melalui seluruh permukaan tubuh. Reproduksi secara fertilisasi internal (gonokoris, seksual). Habitat di tanah, air atau hidup parasit pada manusia, hewan dan tumbuhan. Beberapa contoh Nematelminthes parasit pada Gambar 9.14. dan tabel 9.3. berikut ini.



Gambar 9.14. Cacing: a. *Ascaris* b. *Oxyuris* sp c. *Wucheria* sp

Tabel 9.3. Siklus hidup beberapa jenis cacing Nematoda

<i>Ascaris lumbricoides</i> (cacing perut)	<i>Ancylostoma</i> sp dan <i>Necator</i> sp (cacing tambang)	<i>Enterobius/Oxyuris vermicularis</i> (cacing kremi)	<i>Wucheria bancrofti</i> (cacing filaria)
Betina berukuran 20-40 cm, ujung ekornya lurus. Jantan berukuran	Berukuran 1-1.5 cm, mulut dengan alat kait (skoleks). Betina bertelur	Betina berukuran 8-13 mm, ekor panjang, runcing. Jantan berukuran 2-5 mm,	Bentuk tubuh seperti benang, warna putih kekuningan,

<p>10-15 cm, ujung ekor bengkok. Hidup parasit pada manusia, terutama pada anak-anak.</p> <p>Siklus hidup: Telur berembrio tertelan melalui makanan atau minuman yang mengandung telur; telur menetas menjadi larva; larva meninggalkan usus masuk ke peredaran darah sehingga sampai ke jantung dan paru. Selanjutnya cacing dewasa di dalam usus.</p>	<p>9000 butir per hari.</p> <p>Siklus hidup: Telur keluar bersama feses, menetas menjadi larva. Larva lalu menginfeksi kulit melalui telapak kaki dan masuk ke peredaran darah. Cacing mengisap darah dan mengeluarkan zat antikoagulasi sehingga penderita mengalami anemia.</p>	<p>dengan ekor melingkar. Habitat di usus besar manusia.</p> <p>Siklus hidup: Cacing betina bertelur disekitar anus pada malam hari sehingga menimbulkan gatal. Ketika digaruk, telur melekat di jari, tertelan oleh si penderita (autoinfeksi). Telur menetas di usus kecil menjadi larva, lalu tumbuh dan berkembang, dan akhirnya kawin di usus besar. Kemudian bertelur di sekitar anus. Berlangsung selama 2-4 minggu.</p>	<p>panjang 2-70 cm. Betina vivipar menghasilkan mikrofilaria pra larva aktif.</p> <p>Siklus hidup: Larva mikrofilaria masuk melalui gigitan nyamuk menuju pembuluh limfa, tumbuh sampai dewasa. Dalam jumlah banyak dapat menyumbat pembuluh limfe sehingga cairan tidak dapat kembali ke pembuluh limfe. Terjadi genangan cairan dan menimbulkan pembengkakan di kaki.</p>
--	--	--	--

Banyak anggota Nematoda yang mikroskopis hidup sebagai parasit pada akar berbagai jenis tumbuhan sehingga sering dikenal sebagai cacing akar. Cacing dewasa bertelur di akar/tanah dan dalam jangka waktu yang cukup lama telur menetas menghasilkan larva. Selanjutnya larva menginfeksi akar dan masuk ke dalam akar dan makan jaringan di dalamnya. Akar bereaksi dengan membentuk "tumor" atau "parut" seperti bekas luka. Salah satu contohnya adalah *Heterodera radicola* yang dilaporkan hidup parasit pada 1000 varietas tanaman dan umumnya menginfestasi tanaman pertanian, buah-buahan, semak, pohon peneduh dan gulma.



Gambar 9.15 Cacing nemathelminthes yang hidup parasit pada akar tanaman.

9.3.1.3. Annelida (Cacing tanah)

Ciri-cirinya:

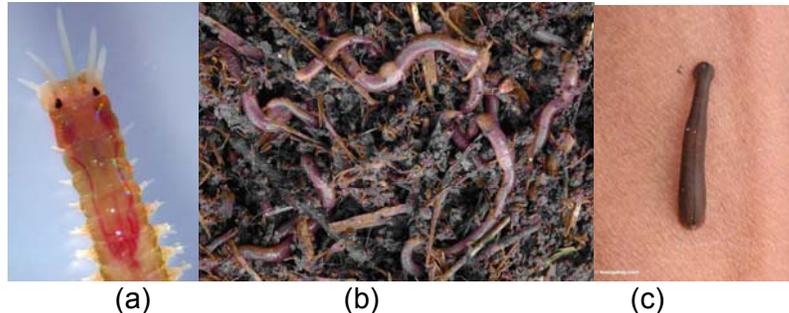
Tubuh bersegmen (metameri), setiap segmen mempunyai organ tubuh (sistem pencernaan, otot, pembuluh darah, alat reproduksinya hermaprodit, sedangkan alat gerak dengan chetae, dengan sepasang alat ekskresi (nefridium) yang saling berhubungan dan terkoordinasi. Tubuhnya simetris bilateral, berlapis kutikula. Sistem pencernaan sempurna (memiliki anus). Sistem sarafnya tangga tali, dan sistem peredaran darah tertutup. Salah satu paling berperan dalam kehidupan manusia (dalam bidang pertanian) adalah cacing tanah (Kelas Oligochaeta) yang mampu meningkatkan kesuburan tanah.

Annelida terdiri atas 3 kelas utama, yaitu Polychaeta, Oligochaeta, dan Hirudinea. Ciri-ciri dan contohnya dapat dilihat pada di bawah ini.

Tabel 9.4. Pembagian kelas dari Filum Annelida

Kelas Polychaeta (memiliki banyak seta)	Kelas Oligochaeta (memiliki sedikit seta)	Kelas Hirudinae (tidak memiliki seta)
<p>Kepala terdiri atas prostomium dan peristomium Segmen memiliki parapodia (kaki dengan seta banyak). Alat pencernaan (mulut, faring, oesofagus, usus, dan anus). Terdapat selom dan nefridium (untuk ekskresi). Peredaran darah terdiri dari pembuluh dorsal, ventral dan lateral.</p> <p>Contoh-contohnya: <i>Arenicola</i>, <i>Eunice viridis</i> (palolo), dapat dimakan.</p> <p><i>Lysidice oele</i> (wawo), dapat dimakan.</p> <p><i>Nereis virens</i> (cacing pasir).</p>	<p>Kepala dengan prostomium dan peristomium, Tubuh silindris panjang, bersegmen-segmen.] Segmen 14-16 membengkak disebut <i>klitelum</i>, berfungsi membentuk lendir pelindung telur. Dinding tubuh terdiri dari epidermis yang diselaputi kutikula, , otot melingkar, dan otot memanjang. Segmen tubuh dipisahkan oleh septum (sekat), Eksresinya dengan nefridium. Respirasi secara difusi melalui permukaan kulit. Alat pencernaan (peristomium, farings, oesofagus, crop, gizzard, usus, anus). Habitatnya didalam tanah yang lembab.</p> <p>Contoh-contohnya: <i>Lumbricus terestis</i> (cacing tanah). <i>Perichaeta musica</i> (cacing</p>	<p>Tubuh pipih, tidak ada seta dan parapodia. Mempunyai alat hisap. Respirasi secara difusi. Ekskresi dengan 17 pasang nefridium. Gonad bersifat hermaprodit. Makanan berupa cacing, larva serangga, invertebrata, dan darah vertebrata.</p> <p>Contoh-contohnya: <i>Acanthobdella sp</i> (parasit ikan salem). <i>Haemodipsa zeylanice</i> (pacet, darat). <i>Hirudo medicinalis</i> (lintah, air).</p>

<i>Odontocilic</i> (cacing api)	tanah). <i>Phertima</i> sp (cacing tanah). <i>Tubifex</i> (bioindikator, di selokan).	<i>Hirudinaria javanica</i> (lintah kuning).
---------------------------------	---	--



Gambar 9. 16 Beberapa contoh Annelida : a. cacing palolo, b. cacing tanah, c. Lintah

Peranan cacing di bidang pertanian

Cacing tanah adalah cacing yang sudah dikenal lama (sejak zaman Aristoteles) sebagai hewan yang berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah. Cara hidupnya dengan menggali lubang meningkatkan porositas tanah sehingga aerasi tanah (masuknya udara ke dalam tanah) dan air dapat merembes ke dalam tanah. Dengan kegiatannya itu, mereka juga mengaduk tanah sehingga bahan organik dapat tersebar meluas dan menjadikan tanah gembur.

Cacing tanah juga dimanfaatkan untuk membuat kompos. Kompos adalah bahan-bahan organik (sisa tanaman atau limbah hewan) yang diolah oleh cacing sehingga dapat digunakan sebagai pupuk rganik.

Selain itu cacing tanah juga dternakan untuk digunakan sebagai sumber protein pada pakan ternak (ikan, ayam, itik, burung, dan bebek). Cacing tanah dikeringkan, lalu ditumbuk halus sebagai tepung cacing (pengganti tepung ikan), dan dicampurkan dengan sumber makanan lainnya menjadi pakan ternak.



Gambar 9. 17. Kompos hasil olahan cacing tanah siap digunakan.

9.3.1.4. Filum Arthropoda

Ciri-cirinya

Arthropoda (*arthros* = sendi atau ruas dan *podos* = kaki) adalah hewan yang memiliki kaki bersendi/beruas-ruas. Arthropoda merupakan filum terbesar dari kingdom animalia. Jumlah spesiesnya lebih banyak dari filum-filum lainnya. Arthropoda dapat ditemukan di berbagai habitat, antara lain di air, di darat, di dalam tanah dan ada juga yang hidup sebagai parasit pada hewan dan tumbuh-tumbuhan.

Arthropoda adalah hewan triploblastik, selomata (tubuh dan kaki beruas-ruas) dan bilateral simetris. Tubuhnya terdiri atas kepala, dada, dan abdomen yang keseluruhannya dibungkus oleh zat kitin dan merupakan kerangka luar (eksoskeleton). Biasanya diantara ruas-ruas terdapat bagian yang tidak berkitin sehingga ruas-ruas tersebut mudah digerakkan. Pada waktu tertentu kulit dan tubuh arthropoda dapat mengalami pergantian kulit (*eksdisis*).

Arthropoda memiliki sistim pencernaan yang sempurna (memiliki anus). Mulut dilengkapi dengan rahang. Sistim peredaran darahnya terbuka dan darahnya berwarna biru, karena mengandung disebabkan oleh hemosianin (bukan hemoglobin). Sistem pernapasannya ada yang berupa trakea, insang, paru-paru buku, atau melalui seluruh permukaan tubuhnya. Organ ekskresinya berupa *tubulus malphigi* yang bermuara pada usus belakang. Reproduksi dilakukan dengan perkawinan, tetapi ada juga beberapa hewan yang melakukan parthenogenesis. Partenogenesis adalah proses perkembangan embrio dari telur yang tidak dibuahi. Jenis kelaminnya terpisah (gonokori). Artinya ada hewan jantan ada hewan betina. Sistem sarafnya adalah sistem saraf tangga tali.

Klasifikasi filum Arthropoda

Berdasarkan persamaan dan perbedaan struktur tubuhnya, arthropoda dikelompokkan menjadi lima kelas, yaitu Crustacea, Insekta, Diplopoda Arachnoidea, dan Chilopoda. Persamaan dan perbedaan ciri-ciri tersebut adalah sebagai berikut:

	Kelas Crustacea (udang-udangan):	Kelas Insekta (serangga):	Kelas Arachnoidea (laba-laba)	Kelas Diplopoda (kaki seribu):	Kelas Chilopoda (kelabang):
Susunan Tubuh	Kepala (5 ruas), dada (8 ruas), dan perut (6 ruas) .	Kepala, dada, dan perut.	Kepala, dada, dan perut..	kepala dan badan yang bentuknya silindris..	Kepala dan badan yang memanjang agak gepeng.
Antena	2 pasang	sepasang	Tak ada	sepasang	sepasang
Anggota tubuh	Sepasang pada setiap ruas untuk berbagai fungsi, 5 pasang kaki pada dada	3 pasang kaki	4 pasang kaki pada sefalotoraks	2 pasang kaki pada setiap ruas tubuh	Sepasang kaki pada setiap ruas
Sayap	Tak ada	Ada	Tak ada	Tak ada	Tak ada
Alat respirasi	Insang atau permukaan tubuh	trakea	Paru-paru buku	trakea	trakea
Habitat	air	darat	darat	darat	darat

9.3.1.4.1. Kelas Crustacea

Crustacea pada umumnya hidup di air (akuatik), ada yang hidup di laut, air tawar, dan di tempat yang lembab. Crustacea yang hidup di laut sebagian besar merupakan zooplankton. Ukuran tubuh bervariasi, ada yang kecil (plankton) sampai dengan ukuran yang besar, seperti kepiting dan udang.

Ciri-cirinya

- Tubuh terdiri atas kepala dan dada yang tersusun menjadi satu (sefalothoraks), serta perut (abdomend yang ujungnya disebut telson.
- Memiliki kulit yang keras dari zat kitin dan zat kapur yang merupakan eksospeletonnya. Pada bagian kepala dan dada terlindung oleh kulit yang keras, disebut karapaks.
- Memiliki dua pasang antena.
- Memiliki satu pasang kaki pada setiap ruas tubuh.
- Bernafas dengan insang, dada dan permukaan tubuh.

- Alat ekskresi berupa sepasang badan yang disebut green gland (kelenjar hijau) terletak di bagian ventral dari sefalothoraks di depan oesofagus.
- Bereproduksi secara kawin, jenis kelaminnya terpisah (gonokori).
- Sistem saraf berupa tangga tali.
- Alat pencernaan dilengkapi dengan mulut, oesofagus lambung, usus, dan anus.
- Sistem peredaran darah terbuka, darahnya tidak berwarna. Fungsinya mengangkut zat makanan dari alat pencernaan keseluruh tubuh.
- Pada udang terdapat stosis (alat keseimbangan) yang terletak di dasar ruas pada masing-masing antenulae.

Subkelas Entomostraca				
Merupakan jenis udang tingkat rendah. Anggotanya terdiri atas udang-udang kecil yang hidup sebagai zooplankton dan penting bagi kehidupan ikan yaitu sebagai sumber makanannya.				
	Ciri	Ukuran tubuh	Habitat	Contoh
Ordo Branchiopoda	Tubuh pipih seperti daun, bersegmen, transparan bergerak dengan antena.	Ukuran tubuhnya hingga 10 cm	Kebanyakan di air tawar	<i>Artemia</i> , <i>Daphnia</i>
Ordo Ostracoda	Segmentasi tidak jelas, Berenang dengan antenanya.	Sangat kecil	Air tawar dan laut	<i>Chandonia</i> .
Ordo Copepoda	Segmentasi tubuh tampak jelas, tidak memiliki mulut tetapi memiliki alat isap..	Kecil (4 mm) hingga mikroskopik	Air tawar dan laut atau sebagai parasit	<i>Cylops</i> (bebas) dan <i>Caligus</i> (parnit ikan)
Ordo Cirripedia	Bentuk tubuh seperti kerang dengan cangkang keras.	Makroskopis	Bebas di laut atau parasit	Teritip <i>Balanus</i> , <i>Lepas</i> (bebas), <i>Sacculina</i> (parasit pada kepiting)
Ordo Branchiura	Tubuh pipih, kepala dan dada terlindung karapaks.	Kecil	Air tawar dan laut sebagai parasit	<i>Argulus</i> (parasit ikan)
Subkelas Malacostraca				
Merupakan kelompok udang tingkat tinggi. Sekitar tiga perempat jumlah jenis crustaceae banyak dikenal orang. Sebagai contoh yang terkenal adalah udang yang hidup di laut, air tawar, dan danau.				
Ordo Isopoda		Memiliki kaki sama. Tubuh	Kecil, 4-5 mm	Di darat, air tawar dan
				Contohnya: <i>Oniscus</i>

	pipih.		laut, juga ada yang hidup sebagai penggerek kayu yang merugikan manusia	<i>asellus.</i>
Ordo Stomatopoda	Bentuk tubuhnya seperti belalang sembah. Kebanyakan berwarna mencolok.	Besar	Hidup di laut.	Contohnya: <i>Squilla empusa</i>
Ordo Dekapoda	Memiliki 10 kaki. Merupakan kelompok yang banyak dikenal orang yaitu udang dan kepiting.:	Besar	Udang dan kepiting memiliki manfaat yang besar bagi manusia. Antara lain sebagai sumber makanan yang mengandung protein.	<i>Penaeus</i> sp (udang windu), hidup di air payau, udang galah, <i>Pagarus</i> (kelomang), <i>Birgo latro</i> (kepiting kelapa)

Struktur tubuh udang

Tubuh udang terdiri atas sefalotoraks (kepala dan dada yang terdiri atas 13 ruas yang menyatu) dan abdomen (perut) terdiri atas 6 ruas. Eksoskeleton bagian sefalotoraks mengeras dan dinamakan karapaks. Disebelah dorsal terdapat suatu lekukan yang melintang yang membagi sefalotoraks menjadi dua yaitu bagian depan (sefal atau kepala) dan bagian belakang (toraks atau dada)

Bagian karapaks yang mencuat disebut prostonium atau rostrum. Di bawahnya terdapat sepasang mata majemuk (mata faset) bertangkai. Mulut udang mempunyai sepasang mandibula dan dibelakangnya terdapat maksila, memiliki antenna dan antenula. Pada bagian toraks terdapat 5 pasang kaki jalan yang terdiri atas sepasang kaki capit (cheliped) sebagai alat penjepit untuk menangkap mangsanya dan 4 pasang kaki digunakan untuk berjalan.

Pada bagian abdomen, setiap ruasnya terdapat sepasang kaki renang. Di bagian posterior abdomend terdapat bagian yang melebar yang disebut telson. Berfungsi untuk alat keseimbangan dan pelindung telur.

9.3.1.4.2. Kelas *Insecta* (Insekta)

Kelompok insekta disebut juga heksapoda (kakinya berjumlah enam) merupakan kelas yang terbesar di dalam filum Artropoda. Memiliki anggota mencapai kurang lebih 80% atau 675.000 spesies dari kehidupan hewan yang terbesar di seluruh penjuru dunia, yang penyebarannya sangat meluas dengan jumlah anggota paling besar di alam. Habitatnya di darat, air tawar, tanah/lumpur dan di dalam tumbuh-tumbuhan. Ilmu yang khusus mempelajari tentang serangga disebut dengan *entomologi*.

Ciri-cirinya

Pada umumnya **bagian tubuh** serangga terdiri atas kepala (*caput*), dada (*toraks*) dan perut (*abdomen*).

- a. *Kepala (caput)* dilengkapi dengan sepasang antena yang berfungsi sebagai indra pembau; mata yang terdiri atas *faset* (mata majemuk) dan *ocelus* (mata tunggal); mulut yang dilengkapi dengan alat-alat mulut disesuaikan fungsinya untuk mengisap, mengunyah, atau menjilat dengan beberapa tipe mulut, yaitu menggigit, menusuk, mengisap, serta menjilat.



Gambar 9.18. Tubuh serangga: caput-toraks-abdomen

- b. *Dada (toraks)* terdiri atas tiga segmen, yaitu, prototoraks, mesotoraks, dan metatoraks. Pada setiap segmen terdapat sepasang kaki. Pada mesotoraks terdapat sayap depan, sedangkan pada metatoraks terdapat sayap belakang.
- c. *Badan (abdomen)* terdiri atas 11 segmen atau beberapa segmen saja. Segmen pertama terdapat alat pendengaran (*membran timpanum*). Setiap segmen terdiri dari stigma,

sedangkan segmen terakhir bermodifikasi menjadi alat kawin (kopulasi).

Anggota tubuh serangga memiliki tiga pasang kaki yang berduri-duri. Segmen kaki dari pangkal ke ujung tersusun dari coxa, trochanter, femur, tibia, dan tarsus. Sedangkan **tipe tungkai atau kaki** serangga saat bervariasi sesuai dengan fungsinya. Beberapa modifikasi tersebut antara lain, yaitu:

- a. Tipe *Cursorial*, kaki untuk berjalan dan berlari. Misalnya lipas (*Periplaneta americana*).
- b. Tipe *Saltatorial*, femur kaki belakang digunakan untuk meloncat. Misalnya belalang (*Valanga nigricornis*).
- c. Tipe *Raptorial*, kaki depan besar digunakan untuk menangkap dan memegang mangsanya. Misalnya belalang sembah (*Mantis religiosa*).
- d. Tipe *Fussorial*, kaki depan mengalami modifikasi sebagai kuku penggali. Misalnya gangsir (*Gryllotalpa africana*).
- e. Tipe *Natatorial*, kaki serangga air bermodifikasi menjadi kaki renang. Misalnya kumbang air (*Dytisticus marganalisis*).
- f. Tipe *Clasping*, kaki depan kumbang air bermodifikasi untuk memegang serangga betina selama kopulasi.

Hampir seluruh sistem organ tubuh pada serangga telah berkembang dengan baik. **Sistem pencernaan makanannya** terbagi atas 3 kelompok berikut ini.

- a. *foregut* (usus depan), terdiri atas mulut, faring, oesofagus, tembolok, dan empedal (*gizzard*) berfungsi untuk menggiling makanan.
- b. *midgut* (usus tengah), terdiri atas lambung dengan 8 pasang gastrik caeca (kantong kerucut yang menghasilkan enzim pencernaan). Pencernaan dan penyerapan terjadi di bagian ini.
- c. *hindgut* (usus belakang), terdiri atas ileum, kolon, rektum, dan anus.

Sistem peredaran darah serangga adalah *sistem peredaran darah terbuka*. Alat peredaran darah adalah *jantung* yang memompa darah dari belakang ke depan melalui aorta dan terus beredar ke seluruh tubuh. Darah serangga tidak mengandung haemoglobin dan

hanya berfungsi untuk mengangkut zat makanan serta memusnahkan bibit penyakit yang masuk kedalam tubuh.

Sistem ekskresi serangga berupa *saluran Malpigi* yang berfungsi mengeluarkan sisa metabolisme berupa cairan. Saluran malpigi bermuara pada usus belakang dan akhirnya cairan dari saluran ini dibuang melalui anus seperti pada semut. Apabila kita perhatikan Famili formicidae (semut), maka mereka akan meninggalkan jejak dengan aroma feromonnya sehingga mereka tidak tersesat kembali kesarangnya, dimana jalan pergi dan pulang ketika mencari makanan melalui arah jalan yang sama.

Semut dibagi menjadi dua bentuk berdasarkan warnanya, yaitu semut hitam dan semut merah. Sedangkan menurut kastanya, semut terbagi atas 3 kelompok, yaitu semut ratu, semut raja, dan semut pekerja.

Sistem respirasi terdiri atas sistem cabang (jaringan) dari pembuluh-pembuluh yang disebut *trakea*. Trakea tersebut ke bagian luar berhubungan dengan lubang pernafasan yang terletak dibagian perut dan dada yang disebut *stigmata (spirakel)* dengan percabangannya disebut *trakeol*. Melalui trakeol inilah udara disuplai ke seluruh jaringan tubuh dan karbondioksida dibawa keluar.

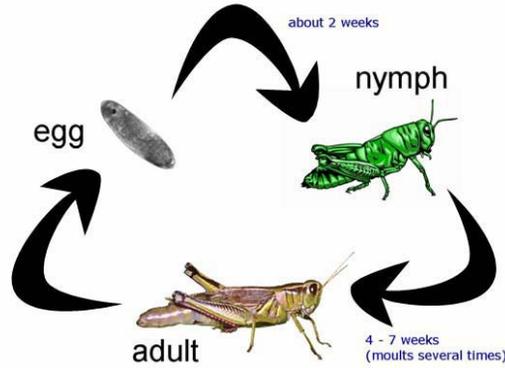
Sistem saraf merupakan *sistem tangga tali*, terdiri atas *ganglion otak* (tiga pasang di kepala), *ganglion kerongkongan*, *ganglion perut*, dan *ganglion dada*.

Sistem reproduksi pada serangga terdiri atas alat kelamin jantan dan betina. Alat kelamin jantan terdiri atas dua buah testis yang masing-masing dihubungkan oleh vas deferens yang akan bersatu membentuk saluran ejakulasi yang terbuka ke permukaan dorsal. Alat kelamin betina terdiri atas dua buah ovarium dengan sejumlah tabung-tabung telur yang disebut *ovariola*. Ovariola tersebut melekat dibagian posterior pada oviduk. Dua oviduk akan bersatu membentuk vagina pendek, diteruskan ke porus genital yang terdapat di antara peletak telur (*ovipositor*). Di daerah vagina juga terdapat kantong penerima sperma (*spermateka*).

Reproduksi secara internal dan sel telur yang telah dibuahi akan dilepaskan (ovipar). Dalam proses menuju kedewasaannya dikenal ada pergantian bentuk yang disebut *metamorfosis*

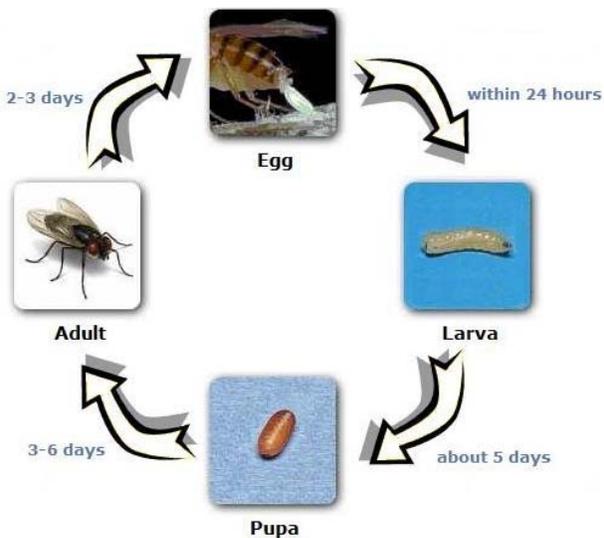
Ada **tiga bentuk metamorfosis** pada serangga yaitu :

- a. *Ametabola*, tidak ada pergantian bentuk dan hanya dapat dilihat pertambahan besar ukuran saja. Misalnya *Colembola*, *Thysanura* dan *Lepisma*.
- b. *Hemimetabola* (metamorfosis tidak sempurna), fase dimulai dari telur - larva (nimfa) – dewasa (imago). Tanpa fase pupa. Misalnya Orthoptera, Hemiptera dan Odonata.



Gambar 9.19. Metamorfosis tak sempurna (hemimetabola) pada belalang.

- c. *Holometabola* (metamorfosis sempurna), dimulai dari fase telur – larva – pupa - imago. Misalnya: Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, dan Lepidoptera.



Gambar 9.20. Metamorfosis sempurna (holometabola) lalat.

Klasifikasi Insekta

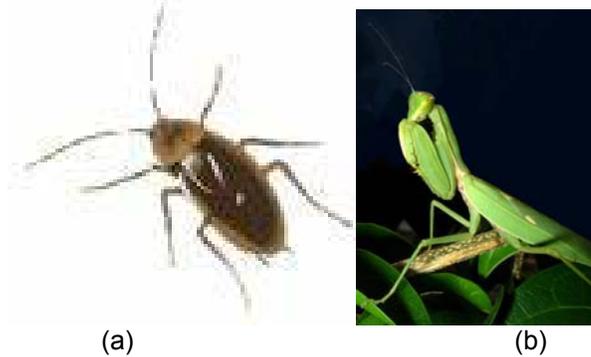
Berdasarkan ada tidaknya sayap, serangga dibagi menjadi dua.

1. Sub kelas Apterygota (serangga ini tidak bersayap). Contoh:
Thysanura, Lepisma sacharina.



Gambar 9.21. *Lepisma sacharina.*

2. Sub kelas Pterygota (serangga bersayap) yang dapat dibedakan menjadi dua ordo yaitu:
 - a. *Eksopterygota*, sayap berasal dari tonjolan luar dinding tubuh.
 - b. *Endopterygota*, sayap berasal dari tonjolan dalam dinding tubuh.

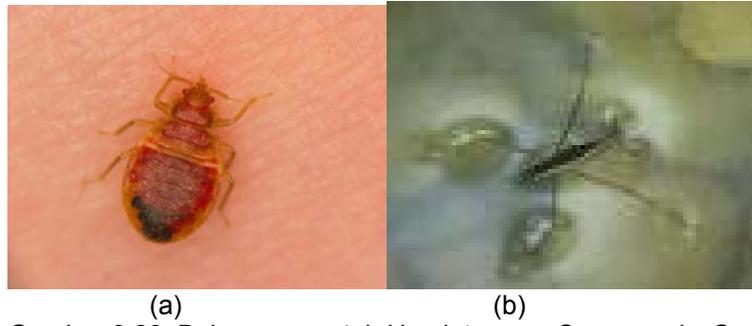


Gambar 9.22. Contoh Orthoptera: a. kecoak b. dan c. belalang d. jangkrik

Tabel klasifikasi Insekta

Sub kelas	Ciri-ciri	Tipe mulut	Meta morfosis	Contoh	
1. <i>Apterygota</i> (Tak bersayap) (a = tidak; pteron = sayap)	Panjangnya sampai 50 mm dan antena panjang. Tubuh bersisik kecil-kecil dan berwarna putih keperakan. Abdomen 11 segmen, metamorfosis ametabola. Menghasilkan enzim selulase. Merusak buku-buku.	Menggigit	Ametabola	<i>Thysanura</i> , <i>Lepisma saccharima</i>	
2. <i>Pterygota</i> (bersayap)	Memiliki sayap				
<i>Eksopterygota</i> sayap berasal dari tonjolan luar dinding tubuh	Ordo	Jumlah sayap	Tipe mulut	Meta morfosis	Contoh
	Orthoptera (<i>ortho=lurus</i>)	2 pasang lurus	menggigit	Hemi metabola	<i>Periplaneta americana</i> (kecoa); <i>Valanga nigricornis</i> (belalang)
	Hemiptera (<i>hemi=setengah</i>)	2 pasang, tak sama panjang	Menusuk, menghisap	Hemi metabola	<i>Leptocorisa acuta</i> (walang sangit), <i>Cymex rotundatus</i> (kutu busuk) menghisap darah manusia.
	Homoptera (<i>homo=sama</i>)	2 pasang, depan dan belakang berbeda tetapi sama strukturnya	Menghisap	Hemi metabola	<i>Duadubia manifera</i> (tenggoret), merusak akar tanaman di tanah; <i>Nilaparvata lugens</i> (wereng coklat), pembawa virus tungro padi; <i>Leurocanthus</i> sp (kutu daun berperisai); <i>Nephotetix apicalis</i> (wereng hijau); <i>Aphis</i> sp (kutu daun); <i>Pediculus capitis</i> (kutu kepala)
	Isoptera	2 pasang, sama panjang dan strukturnya	Menggigit	Hemi metabola	Rayap
	Odonata	2 pasang seperti jala	menggigit	Hemi metabola	<i>Pantala</i> sp (capung kuning); <i>Ephemeria vulgota</i> (capung kecil); <i>Epiophlebia</i> sp (capung besar)

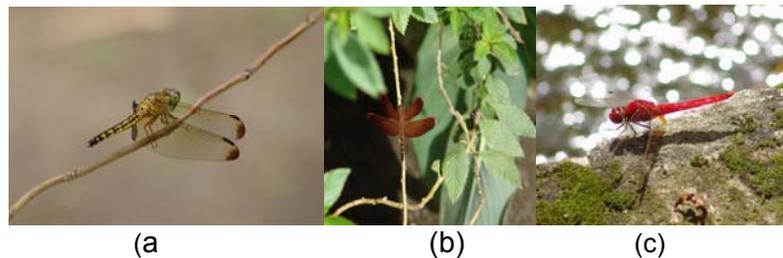
<p><i>Endopterygota</i> sayap berasal dari tonjolan dalam dinding tubuh</p>	<p>Coleoptera (<i>coleos=perisai</i>)</p>	<p>2 pasang Sayap depan keras</p>	<p>Menggigit</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Oryctes rhinoceros</i> (kumbang badak), hama menyerang daun muda kelapa, sagu, dan kelapa sawit.; <i>Coccinella arquata</i>, musuh hama wereng; <i>Cybister tripunctatus</i> (kumbang buas air), pemakan ikan dan katak; <i>Sitophilus oryzae</i> (<i>kumbang beras</i>), merusak beras yang disimpan di gudang; <i>Rhyzoperta dominica</i>, merusak simpanan biji-bijian</p>
	<p>Hymenoptera (<i>hymen=selaput</i>)</p>	<p>2 pasang berupa selaput</p>	<p>Menggigit, menggigit menjilat</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Oecophyla smaragdina</i> (semut rangrang); <i>Monomorium</i> sp (semut hitam); <i>Apis dorsata</i>, <i>A. indica</i>, <i>A. mellifera</i> (lebah madu); dan <i>Xylocopa latipes</i> (tawon)</p>
	<p>Diptera (<i>di=dua</i>)</p>	<p>Sepasang untuk terbang, sepasang untuk keseimbangan</p>	<p>Menghisap, menusuk menghisap, menggigit menjilat</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Aedes aegypti</i> (nyamuk demam berdarah), <i>Anopheles</i> sp (nyamuk malaria), <i>Culex fatigans</i> (nyamuk rumah), <i>Antherigona exigua</i> (penggerek pucuk padi), <i>Drosophila melanogaster</i> (lalat buah), <i>Glossina morsitans</i>, <i>G. Palpali</i>, <i>Musa domestica</i> (lalat rumah).</p>
	<p>Lepidoptera (<i>lepis=sisik</i>)</p>	<p>2 pasang bersisik halus</p>	<p>menghisap</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Papilio memnon</i> (kupu-kupu pastur). <i>Attacus atlas</i> (kupu-kupu siramarama), <i>Bombyx moori</i> (ulat sutera), <i>Acherontia lachesis</i> (kupu-kupu malam).</p>
	<p>Neuroptera (<i>neuro=jala</i>)</p>	<p>2 pasang tipis, banyak urat menjala</p>	<p>menggigit</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Myrmeleon frontalis</i> atau undur-undur (hewan ini melekatkan telurnya di pasir atau tanah dan larvanya sering menyerang sarang semut), dan <i>Chrysopa</i> sp.</p>
	<p>Siphonoptera (<i>shipon=penghisap</i>)</p>	<p>Tidak bersayap, kaki kuat untuk meloncat</p>	<p>Menusuk, menghisap</p>	<p>Holo metabola</p>	<p><i>Pulex irritans</i> (kutu manusia), <i>ctenoccephalus canis</i> (kutu parasit pada anjing)</p>



Gambar 9.23. Beberapa contoh Hemiptera: a. *Cymex* sp b. *Gerris remigis*.



Gambar 9.24. Beberapa contoh Homoptera.



Gambar 9.25. Beberapa contoh Odonata: a. habitat di darat, b. dan c. habitat di air.

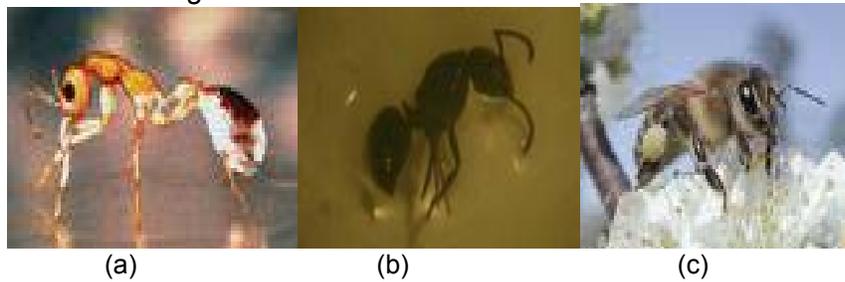
Rayap adalah anggota Isoptera yang hidup secara sosial. Dalam kehidupan rayap terdapat polimorfisme, yaitu sistem pembagian tugas tertentu dalam satu koloni. Raja dan ratu fertile melakukan perkawinan. Kemudian kedua pasang sayap ratu tersebut terlepas. Selanjutnya mereka membuat koloni baru dengan beranak membentuk kelompok prajurit dan tentara. Kelompok prajurit/ tentara memiliki kepala besar dan mandibula besar. Mereka bertugas mempertahankan sarangnya. Kelompok pekerja bertugas membuat lorong-lorong. Membangun sarang mengumpulkan makanan, dan memelihara larva. Makanan rayap adalah selulosa. Rayap ikut menghancurkan sisa-sisa tumbuhan, tetapi sering juga merusak bangunan yang berasal dari kayu.



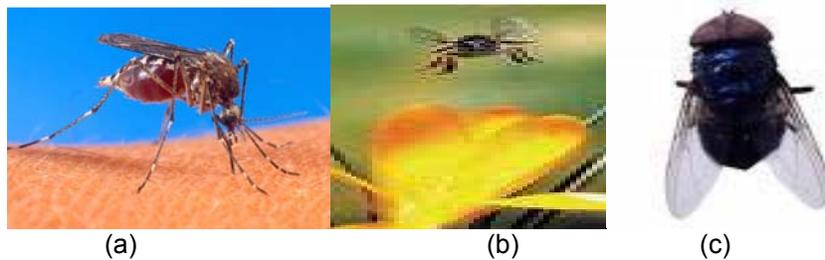
(a) (b)
 Gambar 9.26. Beberapa contoh Coleoptera: a. *Oryctes* sp, b. *Coccinella* sp.

Lebah adalah serangga sosial seperti rayap anggota Hymenoptera. Bersifat *polimorfisme*, misalnya lebah madu (*Apis dorsata*) dengan pembagian tugas sebagai berikut:

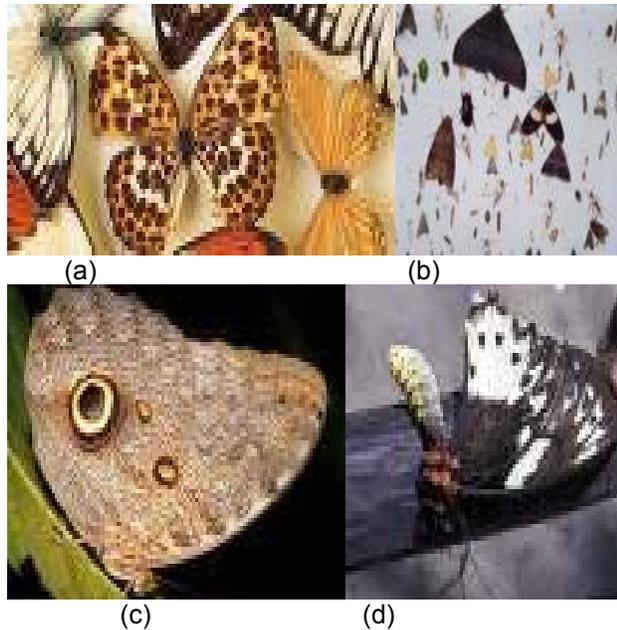
- Ratu, lebah betina fertil.
- Raja, lebah jantan yang partenogenesis (telur tanpa dibuahi tumbuh menjadi individu baru).
- Pekerja, lebah jantan yang steril dan bertugas mengumpulkan madu bunga.



Gambar 9.27. Beberapa contoh Hymenoptera
 a. *Oecophyla* sp b. *Monomorium* sp c. *Apis dorsata*



Gambar 9.28. Beberapa contoh Diptera : a. *Aedes aegypti* b. *Musa domestica* c. *Drosophila melanogaster*.

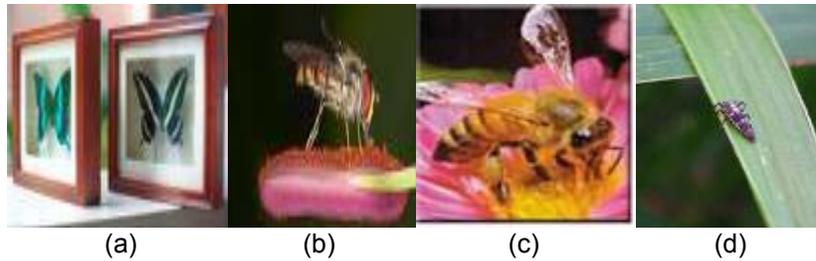


Gambar 9.29. Beberapa contoh Lepidoptera: a. *Papilio* sp
b. *Acherontia* sp c. dan d. *Attacus* sp

Peranan serangga di bidang pertanian

Serangga mempunyai peranan yang sangat penting dan strategis di bidang pertanian. Beberapa jenis diantaranya membantu proses penyerbukan untuk pertanian dan perkebunan, seperti *Apis dorsata*, *A. indica*, *A. Mellifera* (*lebah madu*), *Monomorium* sp (semut hitam), *Xylocopa latipes* (*tawon*), Lepidoptera. Serangga Penyerbuk Kelapa Sawit (SPKS) seperti *Elaeidobius kamerunicus* dan *Thrips hawaiiensis*, *Forcipomya* (penyerbuk tanaman coklat). Beberapa Odonata, Coleoptera dan Homoptera bersifat sebagai predator bagi serangga hama lainnya seperti terlihat pada Gambar 9.30.

Selain itu serangga juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan industri seperti ulat sutera (*Bombyx mori*) yang menghasilkan benang sutera atau *Laccifer leca* yang menghasilkan lapisan lak untuk pernis. Disamping itu serangga dapat dijadikan sebagai sumber makanan seperti belalang, jangkrik, ulat sutera dan beberapa jenis dapat dijadikan bahan koleksi seperti Lepidoptera, Odonata dan Coleoptera. Madu lebah sejak lama dikenal sebagai sumber makanan yang banyak manfaatnya untuk kesehatan.



Gambar 9.30. Contoh peranan serangga bagi kehidupan: a. Koleksi, b-d. Penyerbukan, e. predator

Selain yang menguntungkan, banyak juga arthropoda yang merugikan. Misalnya sebagai vektor penyakit pada manusia (nyamuk, lalat tse tse, lalat rumah), menimbulkan gangguan pada manusia (penyebab kudis, kutu kepala, kutu busuk), hama tanaman pertanian (wereng coklat, kumbang tanduk), perusak makanan (kutu gandum, kutu jagung), perusak bahan baku alami (kutu buku, rayap).

9.3.1.4.3. Kelas Arachnoidea

Arachnida berasal dari kata *arachno*, artinya laba-laba. Anggota kelas ini meliputi jenis-jenis hewan yang tidak disukai oleh manusia, misalnya kala jengking, laba-laba dan tungau.

Ciri-cirinya

1. Tubuh terdiri atas sefalotoraks (kepala dan dada), dan abdomen (badan).
2. Nemiliki empat pasang kaki pada bagian sefalotoraks. Bagian abdomen tidak memiliki kaki.
3. Memiliki dua pasang alat mulut, yaitu
 - a. sepasang keliserea, bentuknya seperti gunting atau catut yang berfungsi untuk memegang mangsanya.
 - b. sepasang pedipalpus bentuknya seperti kaki dan pada ujungnya terdapat cakar. Berfungsi untuk menangkap dan memegang mangsanya.
4. Hidup di darat, dan ada yang hidup sebagai parasit.
5. Memiliki delapan mata, dan tidak memiliki antena.
6. Alat pernapasannya berupa paru-paru buku.
7. Alat ekskresinya berupa pembuluh malpigi.
8. Alat pencernaan dimulai dari mulut sampai anus.
9. Sistem saraf dengan ganglion otak dan simpul saraf yang terjulur keseluruhan tubuh.
10. Jenis kelamin terpisah dan pembuahan secara internal.

Klasifikasi Arachnida

a). Ordo Scorpionida

Meliputi segala macam golongan kala. Abdomennya bersegmen dan panjang, pada segmen terakhir berubah bentuk menjadi alat sengat. Memiliki pedipalpus, berbentuk sebagai catut besar dan kelisera yang kecil. Contoh: *Thelyphonus* sp. (kala jengking) dan *Buthus afer* (ketungging).

b). Ordo Araneae

Meliputi bangsa laba-laba. Abdomennya tidak bersegmen. Pada bagian ventral abdomen dan didepan anusya terdapat alat yang mengeluarkan benang sutera yang berguna untuk membuat jaring-jaring. Alat tersebut yang disebut *spinneret*, benang-benang yang dikeluarkan untuk membuat sarang sekaligus sebagai jaring penangkap mangsanya. Selain itu, berguna untuk membentuk kokon. Contoh: *Heteropoda venatoria* (laba-laba pemburu), *Nephila maculate*, dan *Gastera* sp. (laba-laba duri).

c). Ordo Acarina

Meliputi jenis yang merupakan parasit dan merugikan manusia. Misalnya tungau atau caplak. Tubuh berukuran kecil dan tidak bersegmen-segmen. Abdomennya bersatu dengan sefalotoraks. Semua anggota acarina bernapas melalui seluruh permukaan tubuhnya. Ilmu yang khusus mempelajari caplak disebut *Acarologi*. Contoh: *Sarcoptes* sp. (caplak penyebab penyakit kudis), *Dermacentor* sp. (caplak pengisap darah mamalia atau manusia), dan *Tetranychus* sp.

9.3.1.4.4. Kelas Chilopoda

Anggota chilopoda ini sering disebut hewan berkaki seratus atau *sentipeda*. Bentuk tubuhnya pipih memanjang serta bersegmen-segmen. Pada setiap segmen terdapat sepasang kaki, kecuali pada segmen di elakang kepala. Pada bagian tersebut terdapat cakar racun yang berfungsi untuk membunuh mangsanya. Cakar tersebut dinamakan, *pedes maksilaris*. Chilopoda hidup didarat atau dibawah batuan. Hidup sebagai hwan buas (karnivora) yang dapat bergerak cepat dengan menggunakan kaki yang banyak.

Alat pernapasannya berupa trakea yang bercabang-cabang keseluruh bagian tubuh. Lubang trakea terdapat pada tiap-tiap segmen. alat ekskresinya berupa saluran malpigi. Pada bagian kepala chilopoda terdapat antenna panjang. Alat pencernaannya berkembang baik. Makanannya berupa binatang-binatang kecil (misalnya insekta, cacing dan moluska). Chilopoda memiliki

rahang yang kuat dan gigitan yang berbisa. Mereka bereproduksi secara kawin dengan pembuahan secara internal. Telur yang telah dibuahi diletakkan dibawah batuan yang ditempati. Contoh: *Scolopendra gipas* (kelabang atau lipan) dan *Lithobius forficatus* (kelabang yang beracun berbahaya).

5). *Kelas Diplopoda*

Anggota kelas diplopoda sering disebut hewan berkaki seribu atau *millepeda*. Seperti anggota sentipeda, kelompok hewan ini juga memiliki banyak segmen . bentuk tubuhnya bulat panjang (silindris) dan beberapa segmen tubuh menyatu. Pada setiap segmen tubuhnya terdapat dua pasang kaki. Hidup ditempat-tempat gelap dan lembab, biasanya hidup sebagai herbivora. Makanan utamanya berupa tumbuh-tumbuhan yang membusuk. Pada kepala terdapat mulut dan sepasang antenna. Pada antena terdapat rambut-rambut olfaktori (penciuman) dan sepasang kelenjar yang bermuara sebelah lateral. Mereka memiliki mata yang masih sederhana.

Alat pernapasannya adalah berupa trakea yang tidak bercabang-cabang. Memiliki jantung berupa suatu pembuluh dengan ostia disebelah lateral. Alat ekskresinya berupa pembuluh malpigi. Gerakan hewan ini sangat lambat. Beberapa jenis diantaranya dapat menggulung diri dalam bentuk seperti spiral atau bola. Alat kelaminnya terpisah dan bereproduksi secara kawin. Telur biasanya diletakkan ditanah yang lembap. Pada hewan jantan dua pasang kaki disegmen ketujuh mengalami modifikasi membentuk alat kopulasi (alat kawin).

9.3.2. *Vertebrata*

Filum Chordata memiliki anggota sekitar 45.000 spesies. Sebagian besar diantaranya masuk dalam kelompok hewan vertebrata (lebih kurang 43.700 spesies), sedangkan sisanya adalah invertebrata. Anggota filum ini paling sukses hidupnya, mereka dapat beradaptasi di lingkungan terestial maupun akuatik, termasuk laut. Chordate mempunyai empat ciri pokok yang muncul pada suatu masa disepanjang hidupnya, yaitu: bagian punggung (dorsal) disokong oleh batang lentur bernama *notokorda*. notokorda tersebut terbentuk didalam embrio dari lapisan mesoderm dorsal. Letaknya tepat dibawah batang saraf dorsal (punggung) yang mengandung kanal berisi cairan. Tali saraf vertebrata sering kali dinamakan sum-sum punggung yang dilindungi oleh tulang belakang. Sedangkan kantong insang

tersebut hanya terlihat pada saat perkembangan embrio pada sebagian besar vertebrata. Kantong insang pada invertebrata, ikan, dan amfibi berubah menjadi celah insang. Air masuk kedalam mulut dan faring melalui celah insang yang dilengkapi dengan lengkung insang. Pada vertebrata terrestrial, kantong tersebut mengalami perubahan untuk maksud-maksud tertentu (misalnya berkembang menjadi kelenjar timus dan paratiroid). Jika pada masa dewasa tidak ada ditemukan, maka hanya tampak pada masa embrio.

Ciri-cirinya

Vertebrata adalah golongan hewan yang memiliki tulang belakang. Tulang belakang berasal dari perkembangan sumbu penyokong tubuh primer atau *notokorda* (*korda dorsalis*). Notokorda vertebrata hanya ada pada masa embrionik, setelah dewasa akan mengalami penulangan menjadi sistem penyokong tubuh sekunder, yaitu tulang belakang (*vertebrae*).

Tubuh vertebrata bertipe simetri bilateral, bagian organ dalam dilindungi oleh rangka dalam atau endoskeleton, khusus bagian otak dilindungi oleh tulang-tulang tengkorak (kranium). Bagian terluar tubuh berupa kulit yang tersusun atas epidermis (lapisan luar) dan dermis (lapisan dalam). Organ dalam, seperti organ pencernaan, jantung, dan pernapasan terdapat didalam suatu rongga tubuh atau selom. Vertebrata memiliki alat tubuh yang lengkap, sebagai berikut:

- a. Sistem pencernaan memanjang dari mulut hingga anus.
- b. Sistem peredaran darah tertutup.
- c. Alat ekskresi berupa ginjal.
- d. Alat pernapasan berupa paru-paru atau insang.
- e. Sepasang alat reproduksi (kanan dan kiri).
- f. Sistem endokrin yang berfungsi menghasilkan hormon.
- g. Sistem saraf yang terdiri atas susunan saraf pusat (otak dan sumsum tulang belakang) dan susunan saraf tepi (serabut saraf).

Klasifikasi Vertebrata

Sub filum vertebrata terbagi atas beberapa kelas, yaitu Pisces (Chondrichthyes, Osteichthyes), Ampibia, Reptilian, Aves, dan Mamalia.

9.3.2.1. Pisces

Seluruh anggota kelompok ikan hidup didalam air dan bereproduksi secara ovipar. Biasanya sel telur dan sperma disebarkan didalam air atau sarang. Pada kebanyakan ikan bertulang sejati, fertilisasi dan perkembangan embrio berlangsung diluar tubuh induk betina. Ikan terbagi menjadi beberapa kelas, kelas agnatha

(ikan tanpa rahang), kelas gnatostomata (ikan berahang), kelas chondrichthyes (ikan bertulang rawan), kelas osteichthyes (ikan bertulang sejati). Pada bahan kajian ini kita akan membahas tentang Kelas Chondrichthyes dan Kelas Osteichthyes.

9.3.2.1.1. Ikan bertulang rawan (*Chondrichthyes*)

Anggota ikan bertulang rawan (850 spesies) antara lain adalah ikan hiu dan ikan pari. Ikan tersebut memiliki skeleton berupa tulang rawan sebagai pengganti tulang keras. Pada kedua sisi faring terdapat lima hingga tujuh celah insang dan tidak mempunyai tutup insang (operculum).

Ikan bertulang rawan memiliki dua tipe sisik, yaitu plakoid dan ganoid. Bagian dalam sisik plakoid disusun oleh bahan tulang dan bagian luarnya disusun oleh bahan email (mirip email gigi manusia). Pada sisik ganoid, bagian dalam disusun oleh bahan tulang dan bagian luarnya dari bahan ganoin. Gigi hiu teratur dalam enam sampai duapuluh baris, tetapi hanya baris pertama dan kedua yang aktif digunakan untuk makan (selebihnya merupakan gigi pengganti).

Ikan hiu dan pari mempunyai beberapa indra yang sangat berguna untuk mendapatkan mangsa. Mereka dapat merasakan arus listrik didalam air yang ditimbulkan oleh gerakan otot hewan lainnya, mempunyai gurat sisi, dan mempunyai indra pembau yang sangat tajam. Gurat sisi tersebut berupa rangkaian yang sel peka terhadap rangsangan tekanan. Tekanan tersebut dapat disebabkan oleh gerakan ikan atau hewan lain yang berenang didekatnya. Kerjasama antara indra pembau dan otak dapat mendeteksi satu tetes darah didalam 115 liter air laut.

Ikan hiu terbesar bukanlah predator, namun merupakan hewan penyaring makanan (*filter-feeder*). Seekor ikan hiu paus (whale shark) membutuhkan berton-ton crustacean kecil untuk dimakan. Beberapa jenis ikan hiu merupakan predator yang dapat berenang dengan kecepatan tinggi dilaut terbuka. Ikan hiu putih dengan panjang lebih kurang tujuh meter mempunyai hewan buruan tetap berupa lumba-lumba, singa laut, dan anjing laut. Habitat ikan pari adalah dasar laut. Ciri khas ikan pari adalah memiliki sirip pada dada yang lebar mirip sayap. Hewan ini memiliki sengatan listrik hingga 300 volt yang dapat digunakan untuk menangkap mangsa.

9.3.2.1.2. Ikan bertulang sejati (*Osteichthyes*)

Lebih kurang 20 ribu spesies ikan bertulang sejati mempunyai skeleton dari tulang sejati. Kelompok ini meruoakan vertebrata

paling sukses dan beragam. Sifat dan cara hidupnya bermacam-macam, antara lain sebagai penyaring makanan ataupun predator.

Permukaan tubuh tertutup oleh sisik bertipe *sikloid* dan *stenoid*. Ciri-ciri sisik tipe sikloid antara lain adalah berbentuk sirkuler, jika diamati dibawah mikroskop akan tampak garis-garis konsentris berjumlah sesuai dengan umurnya, tampak mengilap kebiruan mengandung kristal guanine, dan sel-sel pigmen yang berbentuk bintang, mengandung zat warna hitam (*melatonin*). Bentuk sirip stenoid mirip dengan siri sikloid, tetapi bagian belakang memiliki gigi.

Ikan bertulang sejati memiliki **gelembung renang** yaitu kantong udara yang dapat digunakan untuk mengubah daya apung dan sebagai alat bantu dalam bernafas. Beberapa anggotanya dapat berpindah dari perairan asin ke perairan tawar, misalnya ikan salmon dan belut laut. Pada saat berada di air tawar, ginjal mengeluarkan urin yang sangat encer dan insangnya menyerap garam dari air dengan cara transpor aktif.

Selain memiliki endoskeleton, dibagian luar tubuh ikan dilindungi oleh eksoskeleton yang berupa sisik (*squama*). Dibawah sisik terdapat kulit yang banyak mengandung mukosa. Suhu tubuhnya bergantung pada lingkungan disekitarnya atau bersifat poikilotherm. Hal tersebut dimungkinkan karena ikan belum memiliki organ yang mengatur suhu tubuh.

Pada bagian sisi tubuh terdapat gurat sisi (*linea lateralis*). Alat ini berfungsi untuk mengetahui perubahan tekanan air dan posisinya di dalam air. Ikan juga dilengkapi oleh gelembung renang (*vesika natatoria*) yang berguna sebagai alat hidrostatis dan membantu dalam proses pernafasan.

Ikan memiliki tiga lubang pengeluaran (muara) didepan sirip dubur belakang. Ketika lubang tersebut (berturut-turut dari arah depan kebelakang) adalah sebagai berikut: anus, merupakan lubang pembuangan sisa makanan porus genitalis, merupakan lubang saluran kelamin yang berasal dari gonat porus ekskretorius, merupakan lubang saluran urin.

Ikan memiliki tidak hanya memiliki satu **sirip**. Sirip ikan terdiri atas dua sirip dada, dua sirip perut, satu sirip punggung, satu sirip ekor, dan satu sirip belakang.

Ikan telah memiliki **saluran dan kelenjar pencernaan makanan**. Saluran pencernaan ikan meliputi rongga mulut, faring,

kerongkongan (esophagus), lambung, dan usus (intestinum). Didalam rongga mulut terdapat gigi berbentuk kerucut (konus pada rahang), lidah yang tidak dapat digerak-gerakkan dan kelenjar mukosa. Ikan tidak memiliki kelenjar ludah. Usus ikan berbentuk tabung yang berkelok-kelok dan dilengkapi oleh alat penggantung usus (mesentrium) agar dapat dikaitka kedinding punggung.

Kelenjar makanan ikan terdiri atas hati, kantong empedu, dan pankreas. Hati (hepar) berfungsi untuk menghasilkan dan menyimpan empedu. Kantong empedu berwarna kehijauan. Kantong tersebut memiliki saluran, *duktus sistikus*, yang bermuara di lambung. Kantong empedu berfungsi untuk menampung cairan empedu dan mencurahkan ke dalam usus. Di dalam usus, cairan empedu digunakan untuk mencerna lemak. Pankreas bersifat mikroskopi yang berfungsi untuk menghasilkan enzim-enzim pencernaan.

Sistem ekresi (pengeluaran urine) dan kelamin ikan bergabung menjadi satu sehingga disebut sistem urogenitalia. Alat ekskresi terdiri atas ginjal (ren), ureter, kantong kemi dan *korus ekskretorius*. Sepasang ginjal ikan berwarna merah tua, keduanya dihubungkan ke kandung kemih melalui ureter. Kandung kemih merupakan tempat penampung urine dari ureter kanan dan kiri, sedangkan korus ekskretorius merupakan lubang pengeluaran urine.

Kelenjar kelamin (gonad) jantan atau testis dan gonat betina atau ovarium. Testis tersebut berwarna putih dan menghasilkan spermatozoid alat pernafasan utama ikan berupa insang (*brankia*). Insang terdiri atas lengkung insang (*arkus bankialis*) dan lembaran insang (*hemi brankia*) yang mengandung banyak kapiler darah. Lembaran insang yang melekat pada insang disebut *holobrankia*.

Pernafasan pada ikan berlangsung dalam dua fase yaitu fase inspirasi dan fase ekspirasi. Pada fase inspirasi, oksigen masuk ke dalam rongga mulut, sedangkan fase ekspirasi udara dilepaskan dari alat pernafasan ke lingkungan sekitarnya. Ikan juga memiliki suatu alat yang digunakan untuk membantu mendapatkan oksigen dari lingkungan, yaitu gelembung renang (*vesika natatoria* atau *pneumatosis*). Alat ini berasal dari penonjolan dinding bawah saluran pencernaan (rongga perut) Gelembung renang tersebut memiliki bentuk oval dan berisi oksigen berisi nitrogen dan karbondioksida. *Pneumatosis* berguna untuk membantu alat pernafasan atau berfungsi layaknya paru-paru sehingga disebut pulmosit. Selain itu, pneumatosis juga berfungsi sebagai hidrostatik sehingga ikan dapat mengetahui daya berat badannya

di suatu tempat dan menentukan tinggi rendah posisinya di dalam air.

Alat peredaran darah terdiri atas jantung, pembuluh arteri dan pembuluh vena. Jantung ikan dibungkus oleh selaput perikardium dan terletak di rongga pericardium. Selain jantung, di dalam rongga perikardium terdapat gelembung renang, ginjal, dan alat reproduksi. Jantungnya beruang dua, yaitu satu atrium (serambi) dan satu ventrikel (bilik). Darah di dalam jantung tidak mengandung oksigen. Darah mengalir melalaui urat nadi kelembaran insang. Di dalam lembaran insang tersebut CO_2 di keluarkan dan O_2 diambil dari air. Darah yang mengandung O_2 langsung diedarkan ke berbagai jaringan.

Peranan pisces dalam kehidupan manusia

Secara umum, banyak jenis ikan yang dimanfaatkan manusia untuk memenuhi kebutuhan pangan. Selain itu dapat pula dimanfaatkan untuk bahan penelitian, kesenangan dan rekreasi. Sebagai bahan pangan ikan merupakan salah satu sumber protein hewani. Di bidang yang lain, memancing ikan merupakan salah satu jenis olahraga (rekreasi) yang banyak digemari dan memelihara ikan hias di dalam akuarius atau kolam termasuk hobi yang dapat memberi hiburan bagi manusia.

9.3.2.2. Amfibi

Hewan amfibi (kelas amphibian) merupakan hewan tetrapoda (berkaki empat), terdiri atas 3900 spesies. Penyebaran amfibi pertama adalah pada periode karboniferus dan dikenal sebagai tahun amfibi. Hingga saat ini terdapat tiga kelompok amfibi, yaitu Ordo Anura (contohnya katak dan kodok), Ordo Urodella/Caudata (contohnya, salamander), dan Ordo Apoda/Gymnophiona (contohnya, salamander cacing).

Salamander termasuk hewan karnivor, makanannya berupa invertebrata kecil, seperti serangga, siput, keong kecil, maupun cacing. Fertilisasi salamander dilakukan secara internal. Umumnya jantan menghasilkan sel sperma yang mengandung spermatofor yang nantinya akan di tampung oleh hewan betina di dalam kloaka. Kloaka salamander merupakan muara dari saluran urine, genital, dan pencernaan (urogenital). Setelah sel telur betina dibuahi, sel sperma akan dientuk telur. Telur tersebut diletakkan di air atau di darat.

Salamander tidak berkaki, sering kali buta, berukuran sebesar cacing dengan panjang 10 cm sampai 1 meter. Hidup terkubur di tanah subur dan makanannya berupa cacing atau invertebrata tanah lainnya. Tubuh dan ekor salamander panjang dan dilengkapi oleh sepasang kaki. Bergerak seperti ikan dengan membentuk huruf S. Katak (misalnya *Rana* sp) dan kodok (misalnya *Bufo* sp). Merupakan jenis amfibi tak berekor. Kepala kedua hewan tersebut bergabung dengan anggota badan belakang yang terspesialisasi untuk melompat. Katak mempunyai kulit yang halus dan kaki yang panjang, hidup di dekat perairan tawar, sedangkan kodok bertubuh gemuk, kulit kasar berbintil, dan hidup di tempat berlumpur.

Amfibi berasal dari bahasa Latin, amphibian=dua kehidupan, maksudnya kelompok hewan tersebut dapat hidup di darat dan di air. Kebanyakan amfibi ke air hanya untuk melangsungkan reproduksi. Fertilisasi secara eksternal, sel sperma membuahi sel telur di luar tubuh amfibi betina. Umumnya telur dilindungi oleh selubung agar-agar dan bercangkang. Pada saat menetas dihasilkan kecebong yang melangsungkan kehidupan di air. Kecebong merupakan larva akuatik berinsang dan akan bermetamorfosis menjadi dewasa. Hewan dewasa keluar dari perairan dan bernafas dengan paru-paru. Selain di air, beberapa jenis amfibi mampu bereproduksi di darat.

Amfibi mempunyai lidah untuk menangkap mangsa, kelopak mata untuk menjaga kelembaban mata, telinga untuk menangkap gelombang suara, dan laring yang dapat mengeluarkan suara. Otak amfibi lebih luas dibandingkan otak ikan. Alat pernafasan utama amfibi dewasa biasanya berupa paru-paru yang dibantu oleh pori-pori kulit. Sistem peredaran darahnya adalah sistem peredaran darah ganda. Pada sistem peredaran darah tersebut sebagian darah kaya O_2 masih bercampur dengan darah miskin O_2 di ventrikel. Jantung amfibi beruang tiga, terdiri atas dua atrium (serambi) dan satu ventrikel (bilik).

Kulit amfibi tidak bersisik dan halus, kelembabannya terjaga oleh berbagai kelenjar mukosa. Kulit hewan tersebut berperan dalam menjaga keseimbangan air dan respirasi, membantu mengatur suhu tubuh ketika berada di darat melalui penguapan, dan melindungi diri dari hewan predator melalui pengeluaran racun yang terdapat di dalam kelenjar kulit. Meskipun kulit tersebut lembab dan tipis, amfibi tersebut biasanya tetap berada di sekitar tempat berair agar tidak terkena resiko kekeringan. Beberapa amfibi memiliki kemampuan mimikri dan kulitnya dapat

berfluoresen mengeluarkan warna hijau dan merah (khususnya pada katak beracun).

Amfibi termasuk hewan *poikilotherm* (eksoterm: berdarah dingin) sehingga pengaturab suhu tubuhnya bergantung pada lingkungan. Oleh sebab itu, wajar jika amfibi yang hidup di daerah subtropik temepat menjadi tidak aktif dan tidak bergerak selama musim dingin. Pada umumnya katak yang hidup di benua eropa dapat bertahan pada suhu hingga -6°C .

Peranan amfibi dalam kehidupan manusia.

Dalam rantai makanan, peranan amfibi cukup penting untuk mengatur populasi serangga. Amfibi juga merupakan makanan bagi berbagai vertebrata lain, misalnya ular atau burung. Sebagian orang menjadikan amfibi (misalnya, katak hijau) sebagian makanan untuk memperoleh asupan protein.

9.3.2.3.. Reptil

Reptil (bahasa latin reptile=ular) termasuk dalam kelas reptilian dan beranggotakan 6000 spesies. Hewan ini diyakini berasal dari perkembangan nenek moyang amfibi pada periode Permian. Reptil mendominasi kehidupan di bumi lebih kurang 170 juta tahun sejak era mesozoik, kemudian kebanyakan diantaranya mati.

Reptil adalah vertebrata pertama yang menyesuaikan diri terhadap kehidupan di tempat yang kering. Reptil memiliki sifat autotomi, yaitu dapat memotong ekornya apabila dalam keadaan bahaya. Sisiknya merupakan eksoskeleton dari zat tanduk yang berasal dari epidermik. Salah satu bentuk penyesuaian hewan terrestrial adalah cara bereproduksi yang tidak bergantung pada air di sekelilingnya. Reptil melakukan fertilisasi secara internal dan menghasilkan telur yang dilindungi oleh cangkang. Telur yang dihasilkan merupakan telur amneotik. Karena mengandung amnion. Amnion merupakan membran embrionik penyelubung embrio yang bermanfaat untuk melindungi embrio dan mengeluarkan limbah nitrogen. Selain itu, membrane tersebut dapat juga berperan dalam menyediakan O_2 , makanan, dan air untuk embrio.

Reptil banyak tersebar di tropik dan subtropik. Reptil air terdiri atas Alligator, buaya, dan kura-kura. Sedangkan kadal dan ular merupakan reptil darat. Reptil terdiri menjadi empat ordo, yaitu Lacertilia, contohnya, cecak, biawak, dan komodo; Opidia, contohnya, ular; Chelonia, contohnya, kura-kura dan penyu; dan Crocodilia, contohnya, buaya dan alligator.

Dalam ekosistem akuatik, buaya dan alligator menduduki tingkat teratas dalam piramida makanan. Makanannya berupa ikan, jura-kura, dan beberapa jenis hewan darat. Tubuhnya dilengkapi rahang yang kuat dan ekor berotot yang berguna sebagai senjata dan dayung. Kulitnya terbuat dari zat tanduk. Meski reptil tidak mengeluarkan suara, buaya jantan dan betina mengeluarkan suara untuk menarik perhatian pasangannya. Pada beberapa spesies reptile, hewan jantan bertugas melindungi telur dan menjaganya untuk waktu tertentu.

Kura-kura mempunyai cangkang yang berat. Hewan ini kehilangan gigi, tetapi digantikan oleh paruh yang tajam. Kebanyakan kura-kura menghabiskan waktu di dalam air. Kura-kura laut akan meninggalkan laut hanya pada saat bertelur. Kaki kura-kura laut datar mirip dayung sedangkan kaki kura-kura terrestrial umumnya kuat, berjari, berkuku yang berguna untuk berjalan.

Kadal mempunyai empat cakar kaki. Hewan ini merupakan karnivor bagi serangga dan hewan kecil, termasuk jenis kadal lainnya. Iguana yang mendiami kepulauan Galapagos dapat beradaptasi dengan cara menghabiskan waktu di laut karena makanannya berupa vegetasi laut. Bunglon terbiasa hidup di pohon, dilengkapi oleh lidah yang lengket dan panjang untuk menangkap serangga dari jarak jauh. Kadal mempunyai kemampuan mimikri, warna kulitnya dapat berubah tersamar dengan lingkungannya. Kadal bereproduksi secara ovovivivar.

Ular berasal dari kadal yang kehilangan kaki karena adaptasinya untuk membuat liang. Hewan ini tidak mempunyai anggota tubuh dan bergerak dengan otot perut. Rusuknya banyak, tetapi tidak mempunyai tulang dada. Ular merupakan karnivor dan mempunyai rahang yang melekat secara kendur di tengkorak. Hal tersebut menyebabkan ular dapat menelan mangsa yang lebih besar dibandingkan ukuran kepalanya. Lidah ular yang terjulur dapat mengumpulkan molekul-molekul yang terkandung di dalam udara dan mengirimkannya ke organ Jacobson untuk diperiksa. Organ ini merupakan organ yang terletak di atap rongga mulut dan berperan sebagai organ olfaktori untuk menciumi bahan kimia yang terkandung di udara. Proses pencernaan makanan berlangsung lama. Sebagian besar ular tidak beracun. Pada ular beracun terdapat taring yang dapat merobek dan menginveksikan racun (bisa). Taring ular berbisa tidak dapat dilipat. Ular merupakan hewan ovivar.

Reptil mempunyai kulit berkeratin yang tebal, bersisik, dan impermeabel terhadap air. Keratin merupakan bahan protein yang

ditemukan di rambut, kuku jari, dan bulu. Kulit akan melindungi ular dari kehilangan air dan mengalami beberapa kali pergantian dalam setahun (kornifikasi). Paru-paru reptile telah mengalami perkembangan yang baik dan mampu bergerak secara ritmik sesuai kembang kempis sangkar tulang rusuk.

Pada umumnya jantung reptil memiliki empat ruang yang belum sempurna, kecuali jantung pada buaya yang sudah sempurna. Meski demikian, darah miskin O_2 telah terpisah sepenuhnya dari darah kaya O_2 . Ginjal mengekskresi asam urik, limbah nitrogen yang dihasilkan dibuang bersama air. Reptil termasuk hewan eksoteron. Dalam adaptasi tingkah laku, kehangatan suhu tubuh diperoleh dengan cara berjemur diri.

Peranan reptil dalam kehidupan manusia

Reptil banyak dimanfaatkan manusia sebagai bahan makanan, obat-obatan, hiasan atau sandang. Misalnya, telur penyu dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein bagi manusia. Sebagian orang meyakini bahwa darah dan bias ular dapat digunakan sebagai obat. Untuk keperluan sandang, kulit buaya banyak digunakan sebagai bahan baku pembuatan tas atau sepatu. Bagi petani, kehadiran ular atau kadal sangat penting untuk mengontrol populasi hama tikus.

9.3.2.4. Aves

Burung termasuk dalam kelas aves dan beranggotakan lebih kurang 9000 spesies. Meski burung tidak mempunyai gigi dan hanya memiliki ekor, hewan ini mempunyai kesamaan ciri dengan reptil, seperti bentuk tubuh, sisik kaki, paruh yang keras dan termasuk hewan ovivar yang menghasilkan telur amniotik bercangkang keras.

Klasifikasi burung berdasarkan tipe paruh, habitat dan tingkah laku. Keberagaman terlihat dari beragamnya ordo, antara lain burung pemburu yang memiliki paruh menukik dan cakar tajam, burung pantai yang memiliki paruh yang ramping dan tajam serta tungkai yang panjang, burung pelatuk yang berparuh seperti pahat dengan tipe kaki penggenggam, burung air yang mempunyai jari bersirip dan paruh lebar, penguin yang memodifikasi sayap seperti dayung, dan burung pengicau yang memiliki tipe kaki untuk bertengger.

Burung adalah satu-satunya hewan modern yang berbulu. Bulu tersebut merupakan modifikasi dari sisik reptile. Ada dua jenis bulu, yaitu bulu terbang dan bulu bawah yang berguna untuk menghalangi hilangnya panas tubuh. Hal tersebut penting karena

burung termasuk hewan homeoterm yaitu hewan yang memelihara suhu konstan dan relative tetap tinggi. Sehingga tetap dapat aktif walau cuaca dingin. Berdasarkan susunan anatominya, bulu dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu:

- (a). *Plumae*, merupakan bulu yang memberi dasar bentuk tubuh yang berada pada sayap dan ekor, berfungsi untuk terbang.
- (b). *Plumulae*, bulu yang terdapat pada burung yang masih muda dan pada burung yang sedang mengerami telur, berfungsi sebagai isolator (misalnya, suhu).
- (c). *Filoplumae*, bulu yang memiliki rambut. Bulu tersebut tumbuh di seluruh permukaan tubuh. Berfungsi sebagai sensor.

Tubuh burung tidak sepenuhnya ditumbuhi oleh bulu. Sebagian permukaan kulit yang tidak berbulu disebut *apteria* sedangkan yang berbuku disebut *pterialae*.

Bentuk dan struktur tubuh burung sering dihubungkan dengan kemampuannya untuk terbang. Hal demikian berkaitan dengan dimilikinya tulang berrongga udara yang sangat ringan. Paruh dapat menggantikan fungsi rahang serta mempunyai leher ramping, tulang dada burung agak luas sesuai untuk penyeimbang tubuh dan dilengkapi oleh otot yang kuat untuk terbang. Otot memperoleh energi melalui oksidasi di dalam tubuh. Oksigen tersebut mengalir satu arah melalui kantong udara (hawa) dan paru-paru. Fungsi kantong hawa (*saccus pneumaticus*) antara lain untuk membantu pernafasan ketika terbang, membungkus organ dalam agar tidak kedinginan, mencegah hilangnya panas terlalu banyak, mengatur berat jenis tubuh ketika berenang. Dan membantu memperkeras suara. Sistem peredaran darah ganda pad burung sudah lebih sempurna karena jantungnya terdiri atas empat ruang dan darah yang kaya O_2 sudah terpisah dari darah miskin O_2 .

Kemampuan terbang burung didukung oleh indra dan sistem saraf yang telah berkembang dengan baik. Daya penglihatan burung sangat kuat dan memiliki refleks otot yang sangat baik. Adanya kemampuan terbang menyebabkan hewan ini dapat bermigrasi dan mencari sumber makanan hingga jauh dari habitat aslinya. Salauran pencernaan burung terdiri atas paruh, rongga mulut, taring esophagus, tembolok, lambung kelenjar, lambung pengunyah, usus halus, usus besar, dan kloaka. Tembolok merupakan pelebaran dari esophagus.

Peranan aves bagi kehidupan manusia

Hampir seluruh potensi yang dimiliki burung telah dimanfaatkan manusia, baik untuk kebutuhan konsumsi maupun ekonomi. Daging dan telur unggas merupakan sumber lemak dan protein yang dibutuhkan manusia. Keindahan kicauan dan warna jenis burung tertentu menyebabkan manusia tertarik untuk memeliharanya. Dahulu, bulu burung cendrawasih dijadikan hiasan kepala oleh suku-suku masyarakat di Papua. Begitu juga kemampuan terbang beberapa jenis merpati dimanfaatkan untuk suatu hobi atau diperlombakan.

9.4. Reproduksi pada hewan

Untuk menjaga kelestarian jenisnya, setiap makhluk hidup melakukan perkembangbiakan (*reproduksi*), tak terkecuali hewan. Reproduksi pada hewan dapat dilakukan secara generatif (seksual) atau vegetatif (aseksual).

Reproduksi secara generatif adalah proses perkembangbiakan yang melibatkan dua individu yang berbeda jenis kelaminnya. Hewan jantan akan menghasilkan sel kelamin jantan (sel sperma atau spermatozoa). Sedangkan hewan betina menghasilkan telur atau sel telur (ovum). Ketika dua jenis hewan sudah dewasa kelamin bertemu (kawin), maka akan diikuti dengan peristiwa pembuahan (*fertilisasi*).

Fertilisasi adalah proses bertemunya sel sperma dan ovum. Fertilisasi dapat terjadi di dalam tubuh (interna) atau di luar tubuh (eksterna). Fertilisasi interna misalnya dilakukan oleh ayam, kelinci, sapi. Sedangkan fertilisasi eksterna, misalnya dilakukan oleh katak dan ikan.

Pertemuan dua sel kelamin yang berbeda (sperma dan ovum) akan menyatukan inti kedua sel dan terbentuklah *zigot*. Zigot kemudian akan membelah, menjadi 2, 4, 8, 16 dan seterusnya hingga terbentuklah morula, blastula, gastrula hingga akhirnya menjadi embrio dan individu baru setelah melakukan pembelahan sel hingga jutaan kali. Proses pembelahan sel ini akan terus berlangsung sepanjang hayat.

Reproduksi secara vegetatif adalah proses berkembang biakan tanpa melibatkan sel sperma dan sel telur. Ada bagian-bagian tubuh yang dapat berkembang menjadi individu baru. Beberapa cara dilakukan hewan dalam reproduksi secara vegetatif, diantaranya adalah *pertunasan, fragmentasi dan partenogenesis*.

Pertunasan adalah munculnya individu baru karena adanya pertumbuhan suatu bagian tubuh. Misalnya : *Hydra*. **Fragmentasi** adalah proses pertumbuhan bagian tubuh dari bagian tubuh yang terpisah-pisah. Misalnya pada *Planaria*. Potongan-potongan tubuh *Planaria* dapat tumbuh menjadi individu baru. Peristiwa ini dimungkinkan karena tubuh *Planaria* memiliki kemampuan regenerasi (tumbuh yang baru) yang tinggi. **Partenogenesis** adalah cara reproduksi yang khusus, yaitu ovum berkembang menjadi individu baru tanpa adanya pembuahan oleh sperma. Misalnya yang dilakukan oleh lebah, semut, kadal.

9.5. Pertumbuhan dan perkembangan hewan

Setelah menjadi ovum dibuahi oleh sperma, zigot mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan dan perkembangan hewan dapat dikelompokkan ke dalam dua fase, yaitu: **fase embrionik** (pembelahan, blastulasi, gastrulasi, morfogenesis, induksi embrionik, diferensiasi dan spesialisasi, organogenesis) dan **fase pasca embrionik** (metamorfosis, regenerasi).

Pada fase pertama, zigot berubah menjadi embrio dengan mengalami beberapa tahapan, sebagai berikut :

- a. *Tahapan morula*, yaitu sel-sel yang menggerombol membentuk struktur seperti buah murbei dan disebut *morula*
- b. *Tahapan blastula*, adalah tahapan ketika morula merubah strukturnya menjadi seperti bola yang didalamnya berongga dan disebut blastula. Pada mamalia, digunakan istilah *blastosis*.
- c. *Tahapan gastrula*, adalah tahapan ketika sel-sel pada blastula menyusun diri sehingga terbentuklah dua lapisan sel atau tiga lapis sel, disebut *gastrula*. Pada, ubur-ubur (Coelenterata) gastrula memiliki dua lapisan sel saja yang kemudian berkembang menjadi endoderm dan ektoderm (Coelenterata disebut juga hewan yang bersifat *diploblastik*). Sedangkan hewan-hewan selain Coelenterata gastrula memiliki tiga lapis sel, yaitu *endodermis*, *mesoderm* dan *ektoderm*. Mereka dikelompokkan ke dalam hewan yang bersifat *triploblastik*.

Pada hewan triploblastik, sel-sel pada setiap lapisan sel akan mengalami proses diferensiasi dan spesialisasi. Sel-sel tersebut akan berkembang menjadi berbagai jaringan dan organ tubuh, seperti dapat dilihat dari tabel berikut :

Tabel diferensiasidan spesialisasi sel-sel penyusun gastrula.

Endoderm	sel-sel yang melapisi bagian dalam sistem pencernaan, sistem sirkulasi dan juga jaringan dan organ lain seperti hati dan paru-paru
Mesoderm	menjadi otot, tulang, ginjal, darah, kelenjar kelamin (testis atau ovarium) dan jaringan ikat
Ektoderm	sistem syaraf, kulit, rambut, kuku, kelenjar keringat, kelenjar minyak dan saluransaluran sekresi.

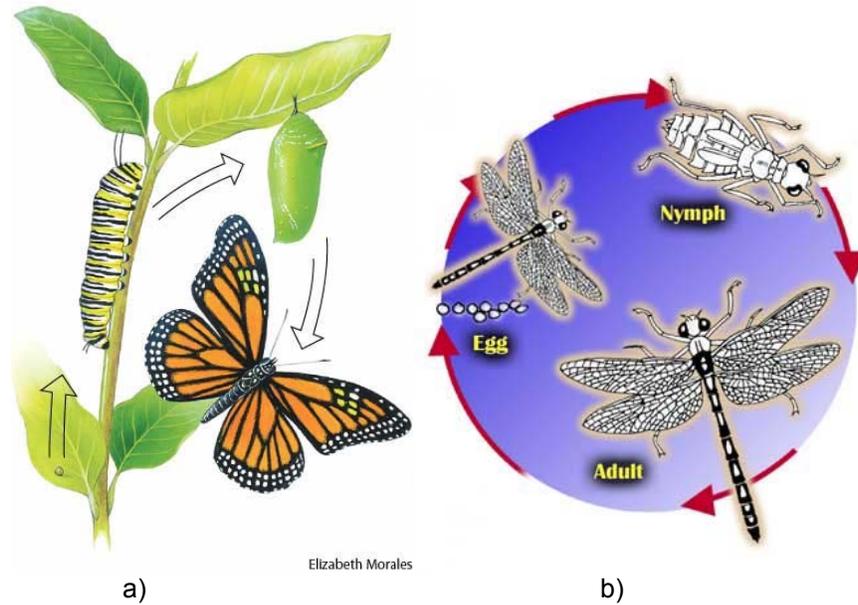
Pada banyak jenis hewan, baik invertebrata maupun vertebrata, seperti katak dan belalang (serangga), embrionya berkembang dalam telur. Jika telur menetas akan keluar larva, selanjutnya mengalami **metamorfosis** menjadi bentuk dewasa muda (imago). Misalnya perkembangan pada katak hijau sebagai berikut :

- a. insang dalam terbentuk setelah 18 hari,
- b. tutup insang terbentuk setelah 12 hari,
- c. tungkai belakang terbentuk setelah 2 ½ bulan,
- d. tungkai depan terbentuk setelah 3 bulan,
- e. metamorfosis selesai lebih dari 3 bulan,
- f. katak mulai dewasa setelah 1 tahun.

Perhatikan siklus hidup katak berikut!

1. Katak jantan dan betina sedang kawin.
2. Sel-sel sperma
3. Sel telur
4. Telur dibuahi setelah 1 jam, selubung telur serupa lendir membengkak
5. Perkembangan embrio:
 - a. stadium morula (setelah 3-7 jam)
 - b. stadium blastula (setelah 18 jam)
 - c. stadium gastrula (setelah 34 jam)
 - d. perkembangan lapisan-lapisan (setelah 62 jam)
 - e. ekor mulai tumbuh (setelah 84 jam)
6. Stadium menetas, dalam bentuk larva mempunyai insang luar (setelah 6 hari)
7. Perkembangan selama metamorfosis :
 - a. insang dalam (setelah 8 hari)
 - b. tutup insang (setelah 12 hari)
 - c. tungkai belakang (setelah 2 ½ bulan)
 - d. tungkai muka (setelah 2 ½ -3 bulan)
8. Metamorfosis selesai (3 bulan lebih)

Proses pada ulat daun, metamorfosis terjadi secara sempurna (holometabola) (Gambar 9.31), artinya perubahan bentuk antara satu tahapan dengan tahapan berikutnya terlihat sangat jelas. Pada capung, metamorfosisnya tidak sempurna (hemimetabola). Perubahan jelas hanya terlihat ketika telur menetas dan menghasilkan nimfa. Nimfa kemudian akan mengalami pergantian kulit (*molting*) beberapa kali hingga mencapai dewasa. Selama molting, perubahan bentuknya tidak terlihat. Hanya ukurannya bertambah besar.



<http://www.tulane.edu/~ldyer/outreach/Metamorphosis%20of%20monarch%20butterfly.jpg>
http://www.maungatapu.school.nz/home/gate1/dragonfly_life_cycle.jpg

Gambar 9.31. Metamorfosis pada : a. ulat daun (holometabola) dan b. capung (hemimetabola).

Regenerasi adalah proses pemulihan jaringan tubuh atau bagian tubuh (organ) yang rusak. Di dalam tubuh tersedia sel-sel yang siap membelah memperbanyak diri saat diperlukan untuk mengganti sel-sel jaringan yang rusak. Sel-sel tersebut belum terdiferensiasi. Sel-sel semacam ini disebut *sel batang* (stem cell). Regenerasi tidak membuat organ baru. Saat tubuh terluka, luka tersebut akan segera menutup kembali karena ada regenerasi. Saat dinding rahim luruh (ketika menstruasi), sel-sel di bawahnya akan segera membelah begitu menstruasi selesai. Ekor cicak yang putus juga akan tumbuh lagi karena adanya pembelahan sel-sel yang baru.

Pada reptil (seperti kadal dan kura-kura) dan aves (seperti ayam dan burung), embrio berkembang di dalam sel telur yang besar. Sel telur ini mengandung banyak cadangan makanan untuk perkembangan embrio. Sel telur mereka berada di dalam cangkang kapur yang keras. Untuk perkembangannya, sel telur itu harus dihangatkan pada suhu tertentu. Induk reptil akan melakukannya dengan menempatkan telur-telur mereka di tempat yang dapat terkena hangatnya matahari. Sedangkan induk aves, melakukannya dengan menggunakan panas tubuhnya dengan cara mengeraminya. Setelah 21 hari masa pengeraman, anak ayam akan keluar dari cangkag telur (menetas).

Dapatkan kalian menetasakan telur ayam yang biasa dikonsumsi ?

Pertumbuhan dan perkembangan pada mamalia

Embrio mamalia berkembang didalam rahim induknya (uterus) dan mendapat zat makanan (nutrisi) dan oksigen dari induk melalui plasenta dengan perantara tali pusat. Masa pertumbuhan embrio sampai kelahiran *fetus* disebut masa kehamilan (*gestasi*). Jenis hewan yang satu dengan yang lain memiliki masa gestasi yang berbeda-beda seperti tabel 9.5, bergantung pada bentuk dan ukuran tubuhnya.

Pada hewan paruh bebek (*Ornithorynchus*) tidak dijumpai plasenta karena jenis mamalia tersebut bersifat ovipar. Paruh bebek dewasa menyusui anaknya setelah telur menetas.

Selama masa pertumbuhan dan perkembangan, berbagai faktor mempengaruhinya. Secara umum dikelompokkan ke dalam faktor luar (eksternal) dan faktor dalam (internal). Dapatkan kalin menyebutkan faktor-faktor tersebut ?

Tabel 9.5. Masa kehamilan pada beberapa hewan

o	Jenis hewan	Masa gestasi
1.	Tikus	22 hari
2.	Anjing/kucing	60 hari
3.	Kambing/biri-biri	150 hari
4.	Manusia	280 hari
5.	Zebra/kuda	400 hari
6.	Gajah	700 hari

9.6. Mekanisme Gerak Pada Hewan



Gambar 9.32. Hewan senantiasa bergerak untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya .

Bergerak merupakan salah satu ciri makhluk hidup, misalnya untuk mendapatkan makanan, menyelamatkan diri dari musuh, atau mencari pasangan hidupnya. Cara gerak hewan berbeda-beda, ada yang dengan cara berenang, melata, berjalan (Gambar 9.32), berlari, atau melompat.

Pada vertebrata, gerak melibatkan tulang dan otot yang merupakan alat gerak yang berkaitan erat. Tulang dapat bergerak karena digerakkan oleh otot.

Semua sistem dalam tubuh vertebrata dibangun oleh organ-organ dan jaringan yang teksturnya lemah. Jaringan dan organ pembangunnya mempunyai bentuk yang tetap, namun bentuk tak dapat dipertahankan tanpa perlindungan dan penopang. Rangka dapat menopang dan melindungi organ-organ tubuh tersebut. Tanpa rangka, tubuh tidak mempunyai bentuk.

Rangka tubuh disamping menopang dan melindungi serta menstabilkan tubuh, juga mempunyai peran penting dalam membuat gerakan. Tidak semua hewan mempunyai rangka, misalnya gurita. Untuk membuat gerakan gurita terbantu oleh air sebagai tempat hidupnya. Sebagian hewan mempunyai rangka luar (eksoskeleton) yang berperan utama sebagai pelindung, seperti umumnya pada artropoda.

Hewan darat terutama vertebrata termasuk manusia memerlukan banyak faktor untuk menunjang gerakan tubuhnya. Vertebrata mempunyai rangka dalam (endoskeleton) yang terdiri dari tulang dan tulang rawan. Vertebrata adalah kelompok hewan yang mempunyai ruas tulang belakang yang menopang tubuh dengan kuat. Selain tulang belakang, vertebrata juga dilengkapi dengan tulang-tulang anggota tubuh yang memungkinkan terjadi gerakan yang bervariasi. Manusia mempunyai kemampuan yang sangat menakjubkan untuk melakukan sejumlah variasi gerakan yang kompleks.

9.5.1. Tulang

Di dalam tubuh manusia, tulang-tulang menyusun alat gerak pasif dalam bentuk rangka. Susunan rangka dibangun dari gelang-gelang dan lebih dari 200 potong tulang. Tulang-tulang bertemu satu dengan yang lain pada sambungan tertentu.

Sambungan itulah yang dapat membantu kelancaran gerakan. Sejumlah gerakan dapat terjadi karena adanya macam-macam hubungan antar tulang (artikulasi). Namun, gerakan tak mungkin terjadi tanpa penggerak, yaitu otot. Oleh karena itu, tulang disebut sebagai alat gerak pasif sedangkan otot yang berperan sebagai penggerak tulang disebut alat gerak aktif.

Menurut bentuk dan ukurannya tulang dibedakan sebagai berikut:

1. *Tulang pendek*

Tulang pendek bentuknya seperti silinder kecil, berfungsi agar tulang dapat bergerak bebas. Tulang pendek terdapat pada pergelangan tangan dan kaki, telapak tangan dan kaki.

2. *Tulang panjang*

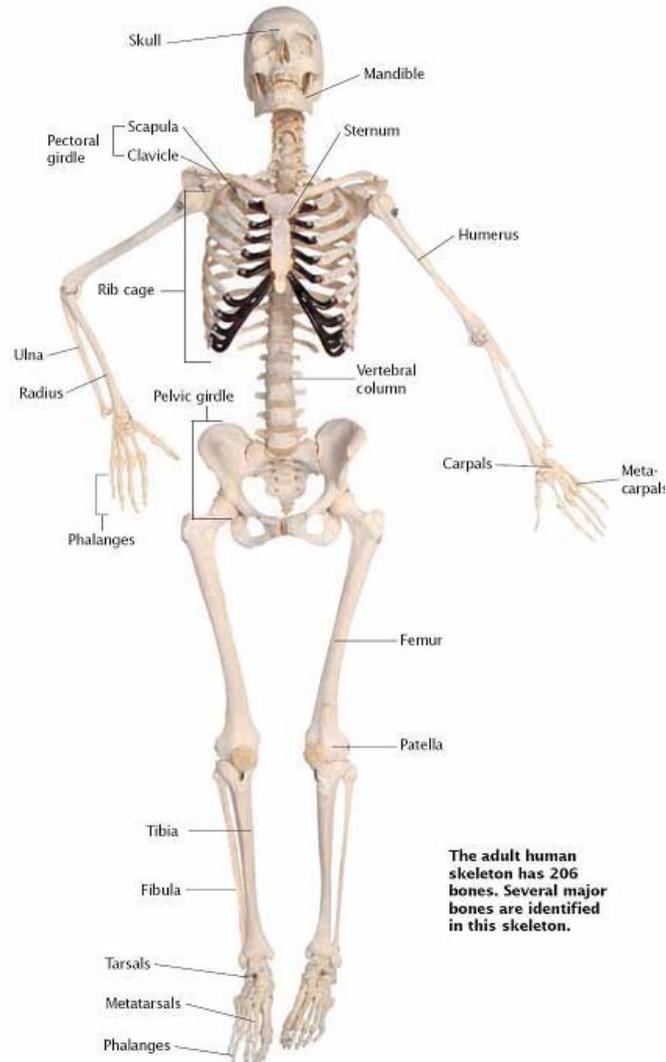
Tulang panjang bentuknya seperti pipa, berfungsi untuk artikulasi, terdapat pada tulang hasta, tulang paha dan tulang betis.

3. *Tulang pipih*

Tulang pipih berbentuk pipih dan lebar, berfungsi untuk melindungi struktur dibawahnya, seperti pada pelvis, tulang belikat dan tempurung kepala.

4. *Tulang tidak beraturan*

Tulang tidak beraturan ini bentuknya kompleks dan berhubungan dengan fungsi khusus. Contoh tulang tidak beraturan adalah tulang punggung dan tulang rahang.



Gambar 9.33. Kerangka manusia.

Menurut bahan pembentuknya, tulang dapat dikelompokkan atas tulang rawan (kartilago) dan tulang (osteon).

a. *Tulang rawan (kartilago)*

Keadaan tulang rawan lentur (elastis). Telinga, ujung hidung, dan laring (*Adam's apple*) dibentuk dan ditopang oleh tulang rawan. Pada umumnya, matriks pada tulang rawan mengandung serabut kolagen dan tidak mengandung kalsium.

Tulang rawan dibentuk oleh sel-sel tulang rawan (kondrosit) yang dihasilkan oleh kondroblas (pembentuk tulang rawan). Antara sel-sel rawan terbentuk matriks dari kolagen dalam bentuk “gel” dari karbohidrat dan protein. Macam-macam tipe tulang rawan adalah sebagai berikut:

- tulang rawan hialin, sifatnya halus dan terdapat di ujung tulang.
- tulang rawan elastis, sifatnya elastis pada telinga dan epiglotis.
- tulang rawan yang liat (kuat) terbentuk dari serabut kolagen yang banyak dalam matriks, terdapat pada tendon dan ligamen.

b. Tulang sejati (osteon)

Tulang terdapat pada seluruh anggota gerak. Bagian lapisan luar tulang keras (tulang kompak) dan mengelilingi rongga yang disebut rongga sumsum. Berdasarkan teksturnya, tulang dibedakan atas 2 macam, yaitu:

- tulang kompak, membentuk lapisan luar yang padat.
- tulang spons (berongga), bagian dalam pipih, seperti pada tulang tengkorak dan pada ujung-ujung tulang panjang dekat sambungan tulang. Bentuk rongga ini melindungi tulang itu sendiri jika ada tekanan, benturan atau hentakan.

Bila tulang dipotong sedemikian rupa kemudian dilihat dengan mikroskop, maka akan terlihat lingkaran-lingkaran sel tulang yang tersusun secara konsentris, melingkari pembuluh darah dan saraf. Lingkaran sel tulang bersama dengan pembuluh darah dan saraf membentuk saluran Havers atau sistem Havers.

Bagian dalam dari tulang berisi sumsum tulang yang terdiri dari dua tipe, yaitu sumsum merah dan sumsum kuning. Sumsum merah merupakan tempat produksi sel darah merah.

Pada anak-anak, sumsum merah terdapat pada seluruh tulang; sedangkan pada orang dewasa, sumsum merah terdapat pada tulang tengkorak, ruas tulang belakang, tulang rusuk, dan tulang gelang.

Sumsum kuning terdapat pada tulang-tulang anggota gerak dewasa. Sumsum kuning terbentuk dari campuran sel jaringan ikat, seperti jaringan lemak dan sumsum merah.

Tulang dibentuk dari osteosit dan matriks. Osteosit dibentuk dari Osteoblas. Jenis-jenis matriks adalah sebagai berikut:

- semen: tersusun dari molekul karbohidrat.
- kolagen: bentuknya seperti serabut. Kolagen yang diikat oleh semen akan menampakkan ciri tulang. Tanpa kolagen, tulang menjadi rapuh seperti kepingan-kepingan karang atau kapur. M
- mineral: misalnya seperti kalsium, fosfat, dan karbonat. Tanpa adanya mineral dalam matriks tulang menjadi lentur. Dalam matriks terdapat kalsium yang menjadikan tulang bersifat keras, sedangkan mineral merupakan 65% dari berat seluruh tulang.

Tulang adalah jaringan hidup. Ini berarti bahwa tulang dapat tumbuh dan memperbaiki sendiri bagian yang rusak (patah, retak). Pada tulang dewasa ada bagian tulang yang dirusak (pada bagian tengah tulang pipa) oleh perombak sel tulang (osteoblas). Tulang tumbuh menjadi besar dengan memperbanyak sel dan menjadi panjang. Tempat memanjangnya tulang pada daerah pertumbuhan atau *cakra epifisis* (daerah dekat ujung-ujung tulang).

9.5.2. Rangka

Rangka manusia (vertebrata) dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu: *tengkorak*, berfungsi melindungi otak; *tulang badan*, berfungsi menopang tubuh secara keseluruhan dan membentuk tubuh; *tulang-tulang anggota*, berfungsi menopang anggota gerak dan meletakkan otot ke tubuh. Secara garis besar, rangka dibagi menjadi *rangka sumbu* dan *rangka tambahan*. Rangka sumbu terdiri dari tengkorak dan tulang badan, yaitu tulang belakang, tulang dada, dan tulang rusuk. Rangka tambahan terdiri dari tulang-tulang anggota tubuh. Berikut ini kita bahas organisasi rangka satu per satu.

a. Tengkorak

Tengkorak terbentuk dari tempurung kepala (kranium), tulang muka, dan rahang. Tulang tengkorak tersusun dari 22 tulang yang dibagi dua kelompok sebagai berikut:

Tulang tempurung kepala = kranium

Kranium atau tempurung kepala mengelilingi dan melindungi organ yang vital, yaitu otak. Sebelum lahir, tulang tempurung kepala terpisah-pisah dan terdiri atas 8 (delapan) bagian. Setelah lahir, bagian-bagian tulang ini belum menyatu tapi berlekatan dengan jaring

serabut. Sambungan ini adalah hubungan yang tak dapat digerakkan. Selama pertumbuhan menjadi dewasa, tulang-tulang ini menyatu membentuk tempurung kepala yang menjadi pelindung otak.

Saraf dan pembuluh darah masuk dan keluar dari otak melalui lubang khusus, yaitu foramen magnum yang terletak di dasar tempurung otak menuju sumsum belakang.

Tulang muka dan rahang

Tulang-tulang muka terletak pada bagian muka kepala. Tulang ini terdiri dari 14 buah tulang yang menyusun bentuk khusus muka; di antaranya membentuk rongga mata untuk melindungi mata, membentuk rongga hidung, langit-langit, rahang atas dan rahang bawah, serta gigi.

Kecuali rahang bawah (mandibula), semua tulang-tulang muka bersatu dan tidak dapat digerakkan. Rahang bawah adalah tulang muka yang dapat digerakkan, sehingga menyebabkan mulut terbuka waktu mengunyah dan berbicara.

b. Tulang badan

Tulang badan terdiri atas tiga bagian, yaitu bagian dada, bagian belakang, dan bagian panggul. Setiap bagian ini terdiri dari otot dan tulang yang melindungi rongga tubuh. Bagian dada terdiri dari ruas tulang belakang, tulang rusuk, dan tulang dada. Bagian belakang hanya terdiri dari ruas tulang belakang. Bagian tulang panggul terdiri dari tulang pinggul, tulang belakang, dan tulang kemaluan.

Ruas tulang belakang

Ruas tulang belakang berada di tengah tubuh yang menopang seluruh tubuh dan melindungi organ-organ lunak di dalam rongga tubuh, menyokong tubuh, dan menjaga kestabilan tubuh.

Terdapat 33 ruas tulang belakang yang membentuk tulang belakang dan melakukan gerakan yang berbeda sesuai letaknya, walaupun mempunyai bentuk dasar yang sama. Tiap ruas mempunyai lubang di tengah. Lubang-lubang ini berhubungan membentuk saluran "spinal". Saluran ini melindungi sumsum tulang di sepanjang tulang tulang belakang. Selain itu, ada bagian-bagian ruas berbentuk duri/taju (tonjolan) yang memperkuat tulang.

Jika diamati akan terlihat bahwa tulang belakang tidak lurus, ada bagian yang melengkung. Lengkung ini sangat penting untuk membantu tubuh dalam menjaga keseimbangan berat kepala, badan, dan anggota gerak.

Struktur dari ruas tulang belakang bervariasi karena mempunyai tugas yang berbeda, yakni:

- a. 7 ruas tulang leher
- b. 12 ruas tulang punggung
- c. 5 ruas tulang pinggang (lumbar)
- d. 5 ruas tulang kelangkang/sakrum bersatu
- e. 3-5 ruas tulang ekor/koksiks bersatu.

Tulang leher memiliki tonjolan yang kecil, sehingga tulang ini agak lentur (fleksibel) dan dapat digerakkan, misalnya untuk gerakan kepala.

Tulang punggung gerakannya kurang fleksibel karena adanya tonjolan dan bagian lain tempat melekatnya tulang rusuk.

Tulang pinggang agak besar ukurannya. Tonjolan pada tulang ini juga agak besar sehingga kokoh dan sukar digerakkan.

Tulang kelangkang bersatu dan tak dapat digerakkan. Tulang ini menjadi bagian dari gelang panggul.

Koksiks (tulang ekor) kecil ukurannya, terdiri atas 3-5 ruas vertebrata yang bersatu dan tak berfungsi; terdapat di ujung belakang.

Tulang rusuk dan tulang dada

Struktur tulang rusuk tersusun dari:

1. 7 pasang rusuk sejati (*kosta vera*)
2. 3 pasang rusuk palsu (*kosta spuria*)
3. 2 pasang rusuk melayang (*kosta fluktuatens*)

Sedangkan struktur tulang dada tersusun dari bagian hulu (*manubrium sterni*), bagian badan (*corpus sterni*), dan taju pedang (*proccesus xyphoigeus*).

Tulang gelang

Terdapat dua macam tulang gelang pada vertebrata, yaitu:

1. gelang bahu yang terdiri dari tulang belikat (*skapula*) yang melekat pada tulang rusuk, dan tulang selangka (*klavikula*) yang melekat pada tulang dada.
2. gelang panggul yang terdiri dari tulang pinggul dan tulang kemaluan.

c. *Tulang anggota tubuh*

Menurut tempatnya, ada dua kelompok tulang anggota, yaitu tulang anggota depan dan tulang anggota belakang.

Pada hewan, tulang anggota depan adalah tungkai depan, sedangkan tulang anggota belakang tungkai belakang. Tulang anggota melekat pada tubuh dengan bantuan rangka gelang. Perlekatan ini, untuk anggota depan, dilekatkan oleh pangkal lengan (humerus); sedangkan untuk anggota belakang dilekatkan oleh tulang paha (femur).

Dari siku, berpangkal dua tulang lengan bawah, yaitu tulang hasta (ulna) dan tulang pengumpil (radius). Radius dapat digerakkan di atas ulna (gerak memutar). Pada anggota belakang setelah femur terdapat tulang tempurung lutut (patella), tulang betis (fibula), dan tulang kering (tibia).

Pada anggota depan, di bawah tulang hasta dan pengumpil terdapat tulang pangkal lengan (karpal), tulang tapak tangan (metakarpal), dan tulang jari tangan (falang). Pada anggota belakang, di bawah tulang betis dan tulang kering terdapat tulang pangkal kaki (tarsal), tulang tapak kaki (metatarsal), dan tulang jari kaki (falang).

Siku dan tangan

Siku merupakan alat yang sangat penting karena dapat melakukan banyak gerakan. Ini dimungkinkan pula oleh susunan tulang-tulang dan ototnya. Tulang pangkal tangan (karpal) memungkinkan terjadinya gerak rotasi.

Ada dua tipe otot yang menggerakkan tangan, sehingga dapat melipat dan melurus. Otot-otot ini tertata pada tulang lengan bawah bagian depan hingga ke jari-jari membentuk tendon yang panjang. Tendon adalah penghubung antara ujung otot dan tulang.

Kamu dapat melihat dan merasakan otot-otot pada lengan bawah jika jari-jari digerakkan. Selain itu terdapat otot-otot kecil pada jari-jari yang menyebabkan gerakan jari-jari itu sendiri.

Kaki

Tungkai didisain untuk 2 fungsi utama:

1. untuk menopang berat tubuh.
2. mengatur gerak tubuh/berjalan.

Jika kaki hanya terdiri dari satu tulang yang kuat, maka dapat menopang berat tubuh, namun tidak ada fleksibilitas untuk gerakan berjalan. Untuk itu, kaki terdiri dari struktur tulang yang kecil untuk menarik otot dan tendon pada bagian muka; dan jari kaki, yaitu bagian untuk mengangkat dan meningkatkan kekuatan gerak.

Ada tiga lengkungan pada kaki; dua diantaranya melengkung di sepanjang kaki, dan yang satu melintang. Lengkungan-lengkungan tulang dibentuk untuk beberapa kepentingan sebagai berikut:

1. membuat gerakan lengkung menjadi lebih stabil, karena pada dasar lengkungan tulang diikat ligamen. Ligamen adalah jaringan ikat yang kuat yang menghubungkan tulang dengan tulang.
2. untuk membantu gerakan mengangkat, karena dasar lengkungan dihubungkan oleh tendon.

Hubungan antar tulang (artikulasi)

Hubungan tulang adalah tempat satu atau lebih ujung tulang bertemu dan dapat mengakibatkan gerak atau tidak. Hubungan tulang yang memungkinkan pergerakan disebut persendian. Persendian ini disusun oleh beberapa bagian yang dapat memperkuat sendi dan mempermudah gerakan, yaitu ligamen, kapsul, cairan sinovial dan membran sinovial.

1. Ligamen

Ujung-ujung tulang diikat bersama dari luar oleh jaringan ikat yang disebut ligamen. Ligamen berfungsi seperti karet gelang yang kuat, mengikat kedua ujung tulang pada satu hubungan tulang, mencegah terkilirnya tulang (dislokasi), namun tetap memberi peluang untuk gerakan tulang.

2. Kapsul

Kapsul merupakan lapisan serabut yang menyelubungi sendi dan menghubungkannya bersama-sama. Di dalam kapsul, sendi membentuk rongga.

3. Membran sinovial dan cairan sinovial

Pada bagian kapsul terdapat selaput yang membatasi permukaan. Dalam selaput ini ada selapis membran tipis yang disebut membran sinovial yang dapat mensekresikan cairan yang disebut cairan sinovial. Cairan sinovial berfungsi untuk melumasi tulang.

4. Tulang rawan hialin

Bagian ujung tulang pada hubungan sinovial ditutupi/dilapisi oleh lapisan tulang bawah hialin. Tulang rawan hialin ini bersama-sama dengan cairan sinovial melindungi bagian-bagian ujung tulang, sehingga dapat menghasilkan gerakan yang bebas.

Berdasarkan dapat dan tidaknya digerakkan, hubungan tulang dibedakan atas diartrosis, amfiartrosis, dan sinartrosis.

1. Diartrosis

Gerak tubuh yang umum adalah gerak karena *hubungan sinovial*. Hampir semua hubungan tulang anggota badan adalah hubungan

sinovial. Hubungan ini didisain untuk dapat digerakkan sebanyak mungkin, walaupun memang ada sebagian hubungan ini yang arah gerakannya tertentu saja.

Diartrosis memudahkan tulang untuk bergerak oleh karena adanya struktur seperti kapsul dan cairan sinovial, juga dimungkinkan oleh adanya bentuk-bentuk tertentu dari ujung-ujung tulang. Hubungan ini disebut persendian. Berdasarkan arah gerakannya, diartrosis dibedakan sebagai berikut:

a. Sendi peluru

Pada kedua ujung tulang terjadi bentuk yang berlawanan, ujung yang satu *berbongkol*, ujung yang lain *berlekuk*. Bentuk bongkol tadi seperti *peluru*, karena itu sendi ini disebut sendi peluru (endartrosis). Bentuk dan ukuran bongkol harus sesuai dengan bentuk dan ukuran lekuk sendi pada ujung tulang yang lain. Bentuk demikian memungkinkan terjadinya gerakan lebih besar ke segala arah. Contohnya terdapat pada gelang bahu, tulang humerus dan gelang panggul, dan tulang femur.

b. Sendi engsel

Pada sendi engsel, ujung tulang yang berhubungan terdiri dari bongkol dan lekuk, tetapi lekuk tidak terlalu dalam. Selain itu bagian tertentu terdapat struktur penganjal, sehingga gerakan yang dilakukan terbatas satu arah. Contohnya pada siku atau lutut.

c. Sendi putar

Ada gerakan tertentu yang disebabkan oleh kedudukan tulang yang satu terhadap tulang yang lain, yaitu gerak rotasi (memutar). Contohnya antara tulang hasta dan pengumpil (gerakan spin); gerakan ini akibat adanya sendi putar.

d. Sendi pelana

Ujung tulang antara ibu jari tangan dan tulang telapak tangan membentuk pelana antara satu dengan yang lain; gerakan yang dilakukan adalah dua arah, ke depan dan ke belakang atau ke kiri dan ke kanan. Hubungan tulang ini disebut sendi pelana.

2. *Amfiartrosis*

Amfiartrosis adalah hubungan tulang yang masih memungkinkan adanya sedikit gerakan. Amfiartrosis dihubungkan oleh kartilago. Contohnya adalah hubungan antara tulang belakang dan tulang iga.

3. *Sinartrosis*

Hubungan di kedua ujung tulang pada sinartrosis ini dipersatukan oleh serabut jaringan ikat. Kemudian hubungan oleh serabut ini

mengalami osifikasi, sehingga persendian sinartrosis ini tidak dapat digerakkan. Contoh hubungan sinartrosis adalah pada tulang tengkorak.

Gangguan dan kelainan tulang

Kelainan dan gangguan pada tulang dapat disebabkan oleh berbagai hal, misalnya akibat infeksi, susunan tulang, defisiensi, dan kebiasaan yang buruk.

a. Gangguan infeksi

Gangguan tulang yang menimbulkan rasa sakit waktu digerakkan antara lain disebabkan oleh radang getah dalam sendi yang terbentuk oleh kerja kuman yang merusak selaput sendi. Keadaan ini disebut *arthritis eksudatif*.

Gangguan lain adalah adanya bunyi ketika tulang digerakkan dan menimbulkan rasa nyeri. Penyebab gangguan ini adalah berkurangnya cairan (minyak) sinovial. Keadaan ini disebut *arthritis sika*. Infeksi lain yang menimbulkan terbentuknya nanah pada sendi dan mengakibatkan kulit berwarna merah adalah infeksi *gonorea*. Biasanya penyakit ini menyerang lutut dan pangkal paha. Selain gonorea, sifilis dapat juga menyerang sendi. Akibat penyakit sendi yang kronis memungkinkan sendi tidak berfungsi dan tak dapat melakukan gerakan (kaku).

b. Kelainan tulang

Fungsi tulang untuk melaksanakan gerak akan terganggu jika terjadi kelainan, seperti selaput tulang rusak dan bergeser, selaput tulang sobek (memar), atau lepasnya ujung tulang dari sendi/urat sendi. Banyak kerusakan pada tulang oleh macam-macam sebab, diantaranya tulang patah (*fraktura*). Tulang patah disebabkan atas:

1. patah tulang tertutup; tulang patah sedangkan kulit tidak terbuka.
2. patah tulang terbuka; tulang patah hingga mencuat keluar dari kulit.

patah tulang terbuka memudahkan terjadinya infeksi.

c. Nekrosa

Nekrosa dikenal sebagai penyakit matinya sel tulang. Di bagian luar tulang terdapat selaput tulang (periosteum) yang berfungsi dalam pertumbuhan tulang, terutama untuk suplai makanan. Jika periosteum rusak, suplai makanan terhenti, maka timbullah *nekrosis*. Selain itu, periosteum dapat mensuplai zat penyembuh untuk menyambung tulang patah yang tidak sampai lepas atau jika tulang hanya retak (*fisura*); peranan periosteum sangat penting untuk menyambunginya kembali.

d. Defisiensi

Kekurangan vitamin D sehingga mengakibatkan tulang kekurangan zat kalsium sehingga membengkok.

e. Kebiasaan buruk

Banyak kelainan tulang akibat kebiasaan buruk yang tidak disadari, sehingga menyebabkan terganggunya gerakan. Kebiasaan buruk yang umumnya dilakukan saat tulang sedang berumbuh mengakibatkan kelainan pada posisi tulang belakang. Kelainan tersebut antara lain:

- * Keadaan tulang belakang melengkung ke depan (*lordosis*).
- * Keadaan tulang belakang melengkung ke belakang (*kiposis*).
- * Keadaan tulang belakang melengkung ke samping (*skoliosis*).

f. Layuh semu

Layuh semu disebabkan oleh rusaknya cakra epifise akibat infeksi sifilis pada anak sejak dalam kandungan. Kadaan rusaknya cakra epifise menyebabkan tulang tidak bertenaga atau menjadi layuh.

9.5.3. Otot

Tulang tak dapat bergerak tanpa otot. Persendian tulang sebagai suatu konstruksi untuk pergerakan dikelilingi oleh otot. Otot mampu menghasilkan gerak karena ada sel otot. Jika ada rangsangan, sel otot dapat berkontraksi; dalam hal ini adalah otot rangka (lurik). Otot yang berkontraksi menjadi pendek dan bagian tengahnya menebal, menyebabkan tulang tempat otot itu bertaut dapat tertarik. Oleh karena kemampuannya menggerakkan tulang, otot disebut alat gerak aktif.

Jaringan otot tersusun dari sejumlah berkas otot yang dibungkus oleh fasia superfisial. Berkas otot tersusun atas serabut otot (benang otot) yang terbentuk oleh sel-sel otot. Sel-sel otot tampak lurik disebabkan oleh susunan protein otot berupa fibril yaitu aktin dan miosin. Protein otot menyebabkan adanya bagian gelap dan terang. Jika diamati dibawah mikroskop, tampak seperti terdapat garis-garis melintang dari sisi satu ke sisi lain. Di sepanjang fibril terdapat miofibril (selubung otot).

Dengan mikroskop cahaya biasa, garis-garis tidak terlalu tampak, sedangkan miofibril tampak sebagai garis tipis. Akan tetapi dengan mikroskop elektron, miofibril tampak jelas. Masing-masing miofibril terbagi menjadi pita gelap dan pita terang. Di tengah pita gelap terdapat bagian terang yang disebut zona *H*. Di tengah zona *H* terdapat garis gelap, yaitu garis *M*. Sementara itu di tengah pita

terang terdapat garis gelap yaitu garis Z. Daerah pada satu miofibril dan garis Z satu ke garis Z lainnya disebut *sarkomer*.

Jenis otot menurut bentuk selnya adalah *otot lurik* dan *otot polos*, menurut sifatnya adalah *otot sadar* dan *otot tak sadar*, menurut lokasi adalah *otot dalam* dan *otot rangka*, menurut tempat melekatnya adalah *otot rangka* dan *otot kulit*.

Otot lurik umumnya merupakan otot sadar yang bekerja berdasarkan perintah otak, misalnya otot yang melekat pada rangka. Sedangkan otot polos merupakan otot tak sadar yang dapat bekerja tanpa perintah otak, yaitu otot pada organ-organ dalam. Ada satu pekecualian pada otot jantung, yaitu bentuk selnya seperti otot lurik, tetapi dapat bekerja secara tak sadar. Fungsi otot lurik untuk melaksanakan kerja, diantaranya: berjalan, memegang dan mengangkat. Sedangkan untuk transpor makanan dan mengalirkan darah oleh sel-sel pembuluh darah dilakukan oleh otot polos. Otot jantung berfungsi menggerakkan jantung untuk memompa darah ke seluruh tubuh.

Otot rangka melekat pada tulang. Ujung otot yang melekat pada tulang yang tetap dalam posisinya (tidak berubah kedudukannya) ketika otot berkontraksi, disebut *origo*. Sedangkan ujung otot lain yang melekat pada tulang yang berubah kedudukannya (bergerak) ketika otot berkontraksi disebut *insesio*. Origo otot rangka berbeda; ada yang dua, seperti otot biseps (*bi=dua, ceps=cephal=kepala*) dan ada yang tiga seperti otot triseps. Origo dan insesio adalah bagian ujung otot (tendon). Ada tendon yang panjang sesuai fungsinya seperti otot penggerak jari.

Mekanisme kontraksi otot

Seperti telah disebutkan bahwa otot bekerja dengan dua cara, yaitu berkontraksi (memendek dan menebal) dan relaksasi (kembali ke keadaan semula). Otot dapat memandek (kontraksi) maksimal, keadaan ini disebut tonus, kemudian relaksasi. Namun, seringkali rangsangan tertentu menyebabkan keadaan tonus tidak diikuti oleh relaksasi keadaan otot seperti itu disebut tetanus (kejang).

a. Sebab terjadinya kontraksi

Telah disebutkan bahwa bagian otot yang berkontraksi sebenarnya adalah sel-sel otot. Pada diagram tentang struktur otot lurik terlihat adanya filamen protein, yaitu aktin yang tipis dan miosin merupakan struktu yang agak tebal yang dihubungkan oleh struktur benang, seperti jembatan.

Rangsangan yang tiba ke sel otot akan mempengaruhi asetilkolin yang peka terhadap rangsangan. Asetilkolin adalah ester asetil dari kolin yang merupakan pemindah rangsang yang diproduksi oleh bagian ujung serabut saraf. Asetilkolin yang lepas akan membebaskan ion kalsium yang berada di antara sel otot. Ion kalsium ini masuk ke dalam otot mengangkut troponium dan tropomisin ke aktin. Kemudian posisi aktin berubah dan mempengaruhi filamen penghubung.

Aktin tertarik mendekati miosin, sehingga aktin dan miosin bertempelan membentuk aktomiosin. Akibatnya benang (sel) menjadi pendek. Pada keadaan inilah otot sedang berkontraksi. Setelah itu ion kalsium masuk kembali ke plasma sel, sehingga ikatan troponium dan ion kalsium lepas, menyebabkan lepasnya perlekatan aktin dan miosin, keadaan inilah yang disebut otot relaksasi.

b. Energi untuk kontraksi otot

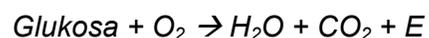
Ingat bahwa kegiatan kontraksi memerlukan energi. Energi yang digunakan disuplai dalam bentuk energi kimia. Energi ini diambil dari molekul ATP (Adenosin Trifosfat dan Kreatinfosfat) yang berenergi tinggi. Energi ini menggerakkan filamen penghubung antara aktin dan miosin. Kreatinfosfat menyumbangkan fosforil pada ADP selama otot berkontraksi. ATP yang dihidrolisis akan terurai menjadi ADP (Adenosin Difosfat) dan mengeluarkan energi. Jika kehabisan ATP dan tinggal ADP, ADP ini juga akan terurai menjadi AMP (Adenosin Monofosfat). Proses perubahan ATP dan ADP menjadi AMP sebagai berikut:



Dalam keadaan seperti ini ($ADP \rightarrow AMP + P + E$), otot tidak dapat berkontraksi lagi, sebab tidak ada energi lagi. Fase ini disebut fase anaerob. ATP harus dibentuk kembali agar otot dapat bergerak.

c. Pembentukan kembali ATP

Di dalam otot tersimpan gula otot, yaitu glikogen. Glikogen akan dilarutkan menjadi laktasidogen (pembentuk asam laktat=asam susu). Laktasidogen kemudian diuraikan menjadi glukosa dan asam susu. Oleh peristiwa respirasi dengan O_2 , glukosa dipecah menjadi H_2O dan CO_2 sambil membebaskan energi. Proses perubahan tersebut tampak sebagai berikut:



Energi ini akan digunakan untuk membentuk ATP. Fase ini disebut fase aerob (menggunakan oksigen).

Menurut sifat kerjanya, gerak dibedakan menjadi dua macam, yaitu antagonis dan sinergis.

a. Kerja yang berlawanan (antagonis)

Kerja otot yang antagonis terjadi bila salah satu otot berkontraksi, sedangkan otot yang lainnya relaksasi, contohnya: otot biseps (kontraksi) dan otot triseps (relaksasi). Arah gerak otot yang antagonis misalnya:

- *ekstensor dan fleksor*; gerak meluruskan dan membengkokkan,
- *abduktor dan adduktor*; gerak menjauhkan dan mendekatkan tungkai dari sumbu tubuh,d
- *epressor dan elevator*; gerak ke bawah dan ke atas,
- *supinator dan pronator*; gerak menengadah dan melungkup.

b. Kerja yang bersamaan (sinergis)

Gerak beberapa otot yang searah, contohnya pronator teres dan pronator kuadratus terdapat pada lengan bawah.

Gangguan pada otot

Gangguan pada otot dapat disebabkan karena faktor luar dan faktor dalam. Faktor luar meliputi kecelakaan dan serangan organisme. Faktor dalam meliputi kesalahan gerak dan tidak pernah melatih otot. Gangguan pada otot antara lain terlihat pada tabel berikut:

	Nama gangguan	Penyebab	Gejala
Karena serangan mikroorganisme	<i>Tetanus</i>	bakteri <i>Clostridium tetani</i>	Tondisi ketegangan otot yang terus menerus (terus berkontraksi)
	<i>Atrofi otot</i>	virus polio	Mengecilnya otot, diikuti dengan kelumpuhan
Karena aktivitas	<i>Kaku leher (stiff)</i>	gerak yang menghentak atau salah gerak	menyebabkan otot trepesius leher meradang dan kaku
	<i>Kram</i>	otot terus menerus melakukan aktivitas	otot menjadi kejang dan tidak mampu lagi berkontraksi
	Atrofi	otot tidak pernah digunakan untuk melakukan aktivitas.	ukuran otot mengecil atau fungsinya turun
Karena hal lain	<i>Distrofi otot karena bawaan</i>	Genetik (sejak di dalam kandungan)	distrofi otot merupakan penyakit kronis melemahnya otot sejak kanak-kanak hingga dewasa
	<i>Hernia abdominal</i>	sobeknya dinding otot perut di dalam rongga perut	usus menjadi masuk ke celah otot dinding perut yang lemah atau robek
	<i>Myastenia gravis</i>	kelainan pada sistem kekebalan tubuh	otot melemah secara berangsur-angsur hingga menyebabkan kelumpuhan

Rangkuman

Tubuh hewan memiliki enam jaringan utama, yaitu jaringan epitel, jaringan ikat, jaringan otot, dan jaringan syaraf. Jaringan epitel melapisi permukaan tubuh sebelah luar (kulit), berbagai rongga, dan saluran di dalam tubuh. Fungsinya sebagai pelindung jaringan yang terdapat di sebelah dalamnya, sebagai bagian dari kelenjar, dan sebagai tempat penyerapan. terdiri dari bentuk pipih, kubus, batang, dan kolumnar. mengikat sel-sel sehingga membentuk suatu jaringan dan mengikat suatu jaringan dengan jaringan lainnya, menyokong dan melindungi bagian-bagian tubuh, mengisi rongga-rongga yang kosong, menyimpan lemak (sumber energi), dan untuk transportasi

Klasifikasi hewan terbagi atas dua bentuk, yaitu invertebrata (hewan tidak bertulang belakang) dan vertebrata (hewan bertulang belakang). Vermes memiliki tubuh simetris bilateral, habitat di perairan dan daratan (tanah), sistem saraf ganglion (tangga tali), sistem respirasi menggunakan permukaan tubuh, *flame cell* (sel api), reproduksi seksual, aseksual dan hermaphrodit. Bersifat parasit dan saprofit, terbagi atas 3 filum, yaitu: Platyhelminthes, Nemathelminthes dan Annelida.

Platyhelminthes terbagi atas tiga kelas, yaitu Turbellaria (*Planaria* sp), Trematoda (*Fasciola hepatica* = cacing hati), dan Cestoda (*Taenia saginata* = cacing usus sapi).

Jenis-jenis dominan sebagai parasit dari Nemathelminthes, diantaranya adalah *Ascaris lumbricoides* (cacing perut), *Ancylostoma* sp dan *Necator* sp (cacing tambang), *Enterobius/Oxyuris vermicularis* (cacing kremi) dan *Wucheria bancrofti* (cacing filaria).

Annelida terbagi atas tiga kelas, yaitu: Polychaeta (*Eunice viridis* (palolo), dimakan. Dan *Lysidice oele* (wawo), dimakan); oligochaeta (*Lumbricus terrestris*, *Pheretima* sp=cacing tanah), dan Hirudinae (*Hirudo medicinalis*, *Haemodipsa* sp).

Diantara vermes yang berperan penting pada bidang pertanian adalah cacing tanah berfungsi untuk menggemburkan tanah pertanian. Beberapa jenis dapat bersifat parasit pada tumbuh-tumbuhan, seperti: *Meloidogyne* sp dan *Heterodera* sp.

Serangga terdiri atas caput (kepala), dada (toraks) dan abdomen (perut). Terdapat membran tympanum sebagai alat pendengaran, tubulus malphigi sebagai alat ekskresi dan ganglion saraf. Sistem pencernaan makanan terdiri tiga, yaitu: *foregut* (mulut, faring, oesofagus, tembolok, dan empedal (*gizzard*) berfungsi untuk menggiling makanan; *midgut* (lambung dengan 8 pasang gastrik

caeca, melakukan proses pencernaan dan penyerapan; dan *hind-gut*, terdiri atas ileum, kolon, rektum, dan anus.

Metamorfosis pada serangga terbagi atas tiga bentuk, yaitu: *ametabola* (tidak ada pergantian bentuk, terjadi pertambahan besar ukuran. Misalnya Colembola dan Thysanura); *hemimetabola* (metamorfosis tidak sempurna), fase dimulai dari telur - larva (nimfa) – dewasa (imago). Misalnya Orthoptera, Hemiptera dan Odonata; dan *holometabola* (metamorfosis sempurna), dimulai dari fase telur – larva – pupa - imago. Misalnya: Coleoptera, Diptera, Hymenoptera, dan Lepidoptera.

Beberapa serangga jenis membantu proses penyerbukan untuk pertanian dan perkebunan, seperti *Apis dorsata*, *A. indica*, *A. mellifera* (*lebah madu*), *Monomorium* sp (semut hitam), *Xylocopa latipes* (*tawon*), Serangga Penyerbuk Kelapa Sawit (SPKS) seperti *Elaeidobius kamerunicus* dan *Thrips hawainensis*, *Forcipomya* sp (penyerbuk tanaman coklat), beberapa Odonata, Coleoptera dan Homoptera bersifat sebagai predator bagi serangga hama lainnya.

Vertebrata terbagi atas 5 kelas, yaitu Pisces, Amfibi, Reptilia, Aves, dan Mamalia. Alat gerak pada vertebrata meliputi tulang dan otot. Tulang merupakan alat gerak pasif, sedangkan otot merupakan alat gerak aktif. Berdasarkan bentuk dan ukurannya, tulang dibedakan atas tulang pendek, tulang panjang, tulang pipih, dan tulang yang tidak beraturan. Sedangkan menurut bahan pembentuknya, tulang dibedakan atas tulang rawan dan tulang. Tulang rawan dibentuk oleh kondroblas, terdapat pada telinga, ujung hidung, dan laring. Tulang dibentuk oleh osteoblas, terdapat pada kebanyakan tulang lainnya.

Tulang sebagai alat gerak pasif, juga berfungsi sebagai tempat pembuatan darah merah dan tempat melekatnya otot. Tulang-tulang dalam tubuh tersusun membentuk rangka dan berfungsi membentuk tubuh serta melindungi bagian atau organ tubuh lainnya.

Persendiaan mempunyai unsur-unsur yang dapat mempermudah gerakan, yaitu ligamen, kapsul, cairan sinovial, dan membran sinovial. Menurut dapat atau tidaknya digerakkan, hubungan antar tulang dapat dibedakan menjadi diartrosis, amfiartrosis, dan sinartrosis.

Otot merupakan alat gerak aktif, yang berfungsi menggerakkan tulang. Otot tersusun dari sel-sel otot, berkas otot, benang serabut otot, dan jaringan otot.

Ada tiga jenis otot, yaitu otot lurik, otot polos, dan otot jantung. Otot lurik merupakan otot sadar yang berkerja atas perintah otak,

terdapat pada otot rangka. Otot polos merupakan otot tak sadar yang bekerja dibawah pengaruh saraf otonom, terdapat pada alat-alat dalam. Otot jantung merupakan otot lurik, tetapi bekerja dibawah pengaruh saraf otonom.

Kerja otot ada dua macam, yaitu kontraksi dan relaksasi. Kontraksi maksimum disebut tonus, dan tonus yang tidak relaksasi disebut tetanus. Jenis kerja otot ada dua, yaitu kerja berlawanan (antagonis) dan kerja bersamaan (sinergis).

Kontraksi otot terjadi karena adanya rangsangan yang menyebabkan asetilkolin membebaskan ion Ca^{2+} . Ion Ca^{2+} masuk ke dalam otot mengangkut troponium dan tropomisin ke aktin.

Sel-sel penyusun embrio hewan tersusun dari tiga lapisan, yaitu *ektoderm*, *mesoderm*, dan *endoderm*, yang masing-masing akan membelah membentuk spesifikasi sel berkembang menjadi organ-organ. Pada hewan kedewasaannya ditandai dengan kemampuan untuk menghasilkan sel kelamin berupa sel telur maupun sel kelamin jantan.

Pertumbuhan hewan meliputi 2 fase, yaitu: fase embrionik (pembelahan, blastulasi, gastrulasi, morfogenesis, induksi embrionik, diferensiasi, organogenesis) dan fase pasca embrionik (metamorfosis, regenerasi). Perkembangan meliputi fertilisasi, pembelahan dari zigot sampai terbentuk jaringan dan organ.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Termasuk jaringan ikat padat adalah jaringan
 - a. tendon
 - b. fibroblast
 - c. fibrosit
 - d. kolagen
 - e. mesenkim
2. Manakah yang dikategorikan sebagai zat pelepas pada otot
 - a. asam fosfat
 - b. glukosa
 - c. asam laktat
 - d. asam lemak
 - e. glikogen
3. Bagian-bagian dibawah ini yang banyak mengandung zat kalsium fosfat dalam keadaan normal adalah

- a. darah
- b. sel saraf
- c. tulang
- d. sel epitel
- e. otot

4. Macam jaringan yang tidak bertambah banyak pada orang dewasa

....

- a. sel saraf
- b. sel trombosit
- c. sel eritrosit
- d. sel leukosit
- e. sel epitel

5. Tenaga untuk kontraksi otot berasal dari

- a. oksidasi asam laktat
- b. pemecahan glikogen jadi asam laktat
- c. sintesis adenosine trifosfat
- d. pemecahan asam laktat
- e. penguraian fosfat organik

6. Otot mampu menjadi alat gerak aktif karena

- a. otot menghasilkan tenaga
- b. adanya serabut-serabut kontraktil
- c. adanya selubung otot
- d. adanya plasma otot
- e. otot bersifat lentur

7. Bukan membedakan antara kartilago dan tulang sejati adalah

- a. kelenturannya
- b. morfologinya
- c. struktur penyusunnya
- d. ada tidaknya matriks
- e. letaknya dalam tubuh

8. Hubungan antartulang yang terdapat pada siku adalah

- a. sendi peluru
- b. sendi pelana
- c. sendi engsel
- d. sendi putar
- e. sendi pergelangan tangan

9. Pada tulang tengkorak terdapat hubungan antar tulang yang tidak dapat digerakkan. Hubungan seperti ini disebut

- a. diartrosis
- b. skoliosis
- c. kiposis
- d. sinfibrosis
- e. amfiartrosis

10. Dari gerak antagonis di bawah ini pasangan yang cocok
- fleksi – ekstensi
 - pronasi – supinasi
 - pronasi – abduksi
 - abduksi – ekstensi
 - rotasi – adduksi
11. Sistem gastrovaskuler pada *Planaria* sp mempunyai kesamaan fungsi dengan sistem
- saraf
 - regulasi
 - ekskresi
 - respirasi
 - transportasi
12. Klitelum dimiliki cacing dari jenis
- cacing pita
 - cacing tambang
 - cacing tanah
 - lintah
 - pacet
13. Seseorang akan terinfeksi cacing pita jika memakan daging sapi yang mengandung
- sistiserkus
 - serkaria
 - proglotid
 - onkosfer
 - skoleks
14. Diantara cacing berikut yang dalam daur hidupnya pernah singgah di jantung dan hati adalah
- F. hepatica* dan *N. americanus*
 - A. duodenale* dan *N. americanus*
 - F. hepatica* dan *O. vermicularis*
 - T. saginata* dan *T. solium*
 - A. lumbricoides* dan *O. vermicularis*
15. Hewan dibawah ini yang bukan termasuk Annelida adalah
- lintah
 - pacat
 - lintah kuning
 - cacing palolo
 - cacing tanah

16. Contoh dibawah ini yang bukan termasuk Diptera adalah
- Culex fatigans*
 - Aedes aegypti*
 - Anopheles ludwi*
 - Ctenocephalus filis*
 - Drosophila melanogaster*
17. Diantara ordo insekta dibawah ini bersifat holometabola adalah
- Diptera
 - Thysanura
 - Orthoptera
 - Siphonoptera
 - Hemiptera
18. Sifat polimorfisme dapat ditemukan pada serangga jenis
- kupu-kupu
 - undur-undur
 - anai-anai
 - lalat buah
 - nyamuk
19. Dibawah ini yang bukan modifikasi tungkai serangga adalah
- natatorial
 - fusorial
 - raptorial
 - saltatorial
 - classing
20. Dibawah ini yang termasuk tipe mulut serangga, kecuali
- | | |
|--------------|-------------|
| a. mengunyah | d. menelan |
| b. menggigit | e. menjilat |
| c. mengisap | |

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Jelaskan dengan singkat siklus hidup:
 - a. *Taenia saginata*
 - b. *Ascaris lumbricoides*
 - c. *Fasciola hepatica*
2. Jelaskan perbedaan antara strobilasi dan metameri!
3. Tuliskan ciri-ciri filum Nematelminthes!
4. Mengapa cacing tanah dapat menyuburkan tanah? Jelaskan pendapat Kalian!
5. Bagaimanakah daur hidup cacing tambang di tubuh manusia?
6. Sebutkan tahapan metamorfosis yang terjadi:
 - a. hewan holometabola
 - b. hewan hemimetabola
 - c. hewan ametabola
7. Banyak serangga yang merusak tan di bidang pertanian, tetapi serangga juga sangat penting dalam pemberantasan secara biologis. Jelaskan dan berikan contohnya!
8. Pterygota meliputi serangga bersayap yang dapat dibedakan menjadi dua kelompok. Jelaskanlah!
9. Apakah yang dimaksud dengan:
 - a. tubulus malpigi
 - b. kopulasi
 - c. spermateka
 - d. trakeol
10. Sebutkan lima jenis serangga yang berguna pada bidang pertanian!
11. Buatlah secara skematis perbedaan otot polos, otot lurik, dan otot jantung!
12. Apakah yang dimaksud dengan osifikasi?
13. Sebutkan pembagian tulang rawan kartilago!

14. Gambarkan satu penampang melintang saraf dengan keterangan yang lengkap!
15. Apakah yang dimaksud dengan:
 - a. Sarkolema
 - b. Ektoflois
 - c. Eukariotik
 - d. Sarkoplasma
16. Apakah yang dimaksud dengan metamorfosis?
17. Jelaskan pertumbuhan pada fase pasca embrionik belalang!
18. Apakah yang dimaksud dengan fase gastrulasi? Jelaskan dengan satu contoh!
19. Sebutkan masa gestasi:
 - a. Kucing
 - b. kambing
 - c. kuda
 - d. gajah
20. Sebutkan perbedaan metamorfosis secara holometabola dan hemimetabola!

BAB X

EKOSISTEM DAN KONSERVASI



Gambar 10.1. Interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya.

Bila ada waktu luang, coba kalian lakukan suatu observasi terhadap kehidupan makhluk hidup yang ada di sekitar lapangan terbuka yang masih alami, halaman sekolah, atau taman rekreasi. Di sana mungkin kalian melihat kupu-kupu yang terbang tinggi dan hinggap dari bunga ke bunga lainnya, capung yang beraneka ragam, laba-laba menyergap mangsa yang terperangkap di bawah jalanya, atau burung-burung yang bertengger di dahan kayu sambil mencari makanannya. Semua itu contoh interaksi antar spesies di alam.

Lingkungan hidup adalah ruang yang ditempati suatu makhluk hidup bersama dengan makhluk hidup (biotik) dan makhluk tak hidup (abiotik). Manusia selalu berinteraksi dengan lingkungan, hewan dan tumbuhan, serta terdapat hubungan saling ketergantungan diantaranya (Gambar 10.1)

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi hubungan antar komponen dalam ekologi, interaksi makhluk hidup dengan lingkungannya, komponen penyusun ekosistem serta peranan manusia dalam menjaga keseimbangan lingkungan.

Kompetensi Dasar

- 10.1. Mengidentifikasi peristiwa interaksi antar komponen biologi.
- 10.2. Memahami hakikat ekologi dan saling ketergantungan antar makhluk hidup.
- 10.3. Mengidentifikasi proses-proses terjadinya perubahan lingkungan.
- 10.4. Mendeskripsikan definisi dan bentuk ekosistem di alam.

- 10.5. Mengidentifikasi jenis dan contoh ekosistem yang terdapat di dunia.
- 10.6 Mengidentifikasi proses suksesi yang terjadi di alam.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari **Makhluk Hidup dan Lingkungan**, kalian diharapkan dapat memahami komponen lingkungan; interaksi antar komponen; peristiwa rantai dan jaring-jaring makanan; piramida energi dengan siklus biogeokimia; proses perubahan yang terjadi di lingkungan; konsep *niche*, habitat, dan ekosistem; tipe-tipe ekosistem; serta proses dan tipe suksesi.

Kata-Kata Kunci

Afotik	Neritik
Amensalisme	Netralisme
Antibiosa	Neuston
Abatial	<i>Niche</i>
Batial	Parasitisme
Bentos	Perifiton
Bioenergi	Piramida biomassa
Biomassa	Piramida energi
Bioma	Piramida jumlah
Ekosistem	Plankton
Ekologi	Predasi
Fagotrof	Profundal
<i>Food chain</i>	Protokooperasi
Fotik	Populasi
Komensalisme	Rodentia
Kompetisi	Saprofit
Komunitas	Siklus biogeokimia
Limnetik	Spektrum biologi
Litoral	
Mutualisme	
Nekton	

10.1. Makhluk hidup dan lingkungan

10.1.1. Interaksi antar komponen

Setiap makhluk hidup berinteraksi dengan lingkungannya. Lingkungan dalam hal ini adalah segala sesuatu yang terdapat di sekeliling makhluk hidup, berupa unsur-unsur biotik maupun unsur abiotik yang mempengaruhi dan dipengaruhi makhluk hidup tersebut. Ruang lingkup ekologi meliputi beberapa unit dalam spektrum biologi.

Unit-unit lingkup ekologi tersebut secara hirarki dimulai dari individu, populasi, komunitas, ekosistem dan bioma.

Individu adalah satuan makhluk hidup dari satu spesies tertentu. Misalnya satu tumbuhan rumput, seekor belalang, seekor burung atau seekor ular.

Populasi merupakan sekelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai kumpulan yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu. Misalnya populasi rumput, populasi belalang, populasi puyuh, atau populasi ular.

Komunitas adalah kelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai populasi yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu. Misalnya komunitas padang rumput, meliputi populasi rumput, populasi belalang, populasi burung puyuh, dan populasi ular. Sedangkan komunitas kolam, meliputi populasi ganggang, populasi siput, populasi tanaman air, populasi ikan tertentu.

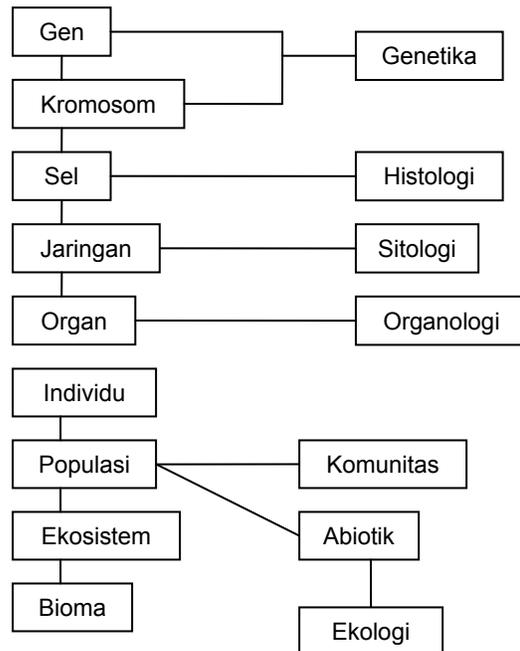
Eksosistem adalah suatu kondisi hubungan interdependensi (saling ketergantungan) antara faktor biotik (jenis-jenis makhluk hidup) dengan faktor abiotik (fisik dan kimiawi) pada suatu tempat dan waktu tertentu. Misalnya ekosistem kolam, ekosistem pantai, atau ekosistem hutan rawa gambut.

Bioma merupakan ekosistem dalam skala besar yang melibatkan iklim akibat perbedaan letak geografis, disebut juga ekosistem klimaks. Misalnya gurun, hutan hujan tropis, hutan gugur, dan tundra.

Ekologi merupakan cabang biologi yang relatif baru, namun banyak kaitannya dengan cabang-cabang ilmu biologi lainnya. Keterkaitan ekologi dengan cabang-cabang biologi lainnya dapat ditunjukkan pada Gambar 10.2.

Pendekatan ekologi adalah memahami faktor-faktor dan proses-proses penting yang melandasi keberadaan dan kelimpahan jenis di tempat hidupnya. Berbagai faktor atau proses penting itu dijadikan sumber informasi dan titik acuan untuk kepentingan manusia.

Makhluk hidup meluangkan waktunya untuk berkompetisi dalam memperoleh makanan, tempat berlindung, dan pasangan kawin. Di dalam lingkungan biotik terdapat interaksi antara individu sejenis maupun antara jenis berbeda. Interaksi antara individu dapat menyebabkan keuntungan, kerugian, atau tidak menimbulkan pengaruh sama sekali seperti terdapat pada Tabel 10.1.



Gambar 10.2. Spektrum biologi.

Beberapa macam hubungan atau interaksi ekologi antar sesama makhluk hidup terjadi dalam bentuk saling merugikan, saling membunuh, atau saling menguntungkan. Berikut ini uraian interaksi antar spesies dalam suatu komunitas.

1. Kompetisi

Beberapa spesies dapat hidup berdampingan di dalam sebuah komunitas sepanjang mereka mempunyai kebutuhan yang berbeda dalam suatu relung ekologi, meskipun relung mereka saling tumpang tindih. Kehidupan demikian dapat terpenuhi selama kebutuhan hidup terhadap sumber yang sama tersedia dalam jumlah yang berlebihan. Akan tetapi jika sumber kebutuhan terbatas, maka hubungan antarspesies akan berubah menjadi suatu bentuk persaingan atau kompetisi. Kompetisi adalah interaksi antara dua makhluk hidup yang mengakibatkan kedua makhluk hidup tersebut mengalami kerugian.

Adapun kebutuhan hidup yang sering diperebutkan antara lain, adalah makanan, tempat berlindung, tempat bersarang, sumber air, dan pasangan untuk kawin. Semakin besar tumpang tindih relung ekologi, semakin sering terjadi kompetisi. Bentuk kompetisi yang terjadi berupa

kompetisi intraspesifik (kompetisi antar anggota satu spesies), contohnya jenis burung di hutan yang memakan serangga yang sama.

Tabel 10.1. Interaksi antara makhluk hidup

Macam hubungan (interaksi)	Pengaruh pada pertumbuhan		Hasil hubungan (interaksi)
	Bila tidak berhubungan	Bila berhu - bungan	
	A B	A B	
1. Kompetisi (A dan B bersaing)	O O	- -	Populasi kalah keluar dari <i>niche</i>
2. Protokooperasi (A dan B bekerjasama)	O O	+ +	Interaksi menguntungkan kedua pihak.
3. Mutualisme (A dan B merupakan partner)	- -	+ +	Interaksi merupakan keharusan untuk 2 pihak.
4. Komensalisme (A=komensal, B=Hospes)	- O	+ O	Interaksi merupakan keharusan bagi A, B tidak berpengaruh.
5. Amensalisme (A=Amensal, B= Antibiotik)	O O	- O	Interaksi merupakan gangguan bagi A, B tidak berpengaruh.
6. Parasitisme (A=Parasit, B=Hospes)	- O	+ -	Interaksi merupakan keharusan bagi A, B terganggu/ terhambat.
7. Predasi (A=Predator, B=Mangsa)	- O	+ -	Interaksi merupakan bagi A, B terganggu/ terhambat.

Kompetisi interpesifik merupakan kompetisi antar anggota yang berbeda spesies. Kompetisi ini terjadi jika dua atau lebih populasi pada suatu wilayah memiliki kebutuhan hidup yang sama, sedangkan ketersediaan kebutuhan tersebut terbatas. Sebagai contoh adalah rusa dan kambing yang sama-sama membutuhkan rumput sebagai pakan di tempat yang sama. (Gambar 10.3). Di alam, persaingan antar individu dalam spesies penting artinya untuk mengatur populasi spesies tersebut sehingga terjadi suatu keseimbangan.



Gambar 10.3. Kompetisi interspesifik antara rusa dan kambing mencari makanan (rerumputan).

2. Simbiosis

Sebuah hubungan yang dekat antara dua spesies makhluk hidup yang berbeda disebut simbiosis, yang berarti hidup bersama. Simbiosis dapat dibedakan menjadi parasitisme, komensalisme, protokeoperasi, dan mutualisme.

Simbiosis parasitisme merupakan bentuk interaksi antara dua jenis populasi dengan satu jenis memperoleh keuntungan sedangkan jenis lain menderita kerugian. Makhluk hidup yang memperoleh keuntungan dari interaksi ini disebut *parasit*, sedangkan makhluk hidup yang dirugikan disebut *inang*.

Parasit memperoleh makanan dari inang (*hospes*). Ada dua jenis parasit, yaitu endoparasit (makhluk hidup yang hidup di dalam jaringan tubuh inangnya, seperti bakteri paru-paru, cacing perut, dan *Plasmodium*) dan ektoparasit (parasit yang hidup dipermukaan tubuh inangnya, seperti kutu daun, hama wereng, benalu).

Parasit dapat hidup pada permukaan kulit, atau dalam tubuh makhluk hidup (*inangnya*). Beberapa contoh hubungan parasitisme adalah : caplak dan pinjal anjing hidup pada permukaan kulit dan menghisap darah anjing; cendawan pada udang; dan *Carapus* sp. (ikan mutiara) hidup pada *Actinopygia* sp. (mentimun laut).

Simbiosis komensalisme adalah bentuk interaksi yang menyebabkan satu individu jenis populasi mendapatkan keuntungan, sedangkan individu jenis yang lain tidak terpengaruh (tidak diuntungkan, maupun dirugikan). Contoh: ikan remora yang melekatkan

diri dengan alat penghisap pada sisi bawah ikan hiu. Ikan remora mendapat makanan dari sisa-sisa makanan hiu, sedangkan hiu tidak dirugikan dengan kehadiran ikan remora.

Simbiosis protokooperasi merupakan bentuk interaksi yang dapat menghasilkan keuntungan secara bersama-sama, tetapi bukan merupakan keharusan bagi kedua populasi untuk selalu saling berhubungan agar dapat hidup. Contoh: burung pemakan kutu dengan kerbau.

Simbiosis mutualisme adalah bentuk interaksi yang menyebabkan kedua spesies sama-sama mendapat keuntungan, disebut juga dengan simbiosis obligat. Contohnya adalah polinasi pada bunga dibantu oleh lebah, kupu-kupu, burung, atau kelewar. Begitu juga interaksi antara semut dengan tumbuhan *Acacia* di daerah tropis.

3. Predasi

Merupakan jenis interaksi makan dan dimakan. Pada predasi, umumnya satu spesies memakan spesies lainnya. Ada juga beberapa hewan memangsa sesama jenisnya (sifat *kanibalisme*). Makhluk hidup yang memakan disebut pemangsa (*predator*), sedangkan makhluk hidup yang dimakan disebut mangsa (*prey*).

Predasi tidak terbatas antar hewan, tetap juga dapat terjadi pada herbivora dan tumbuhan. Pada predasi antar hewan, predator kebanyakan berukuran lebih besar daripada mangsanya.

Ekologi dan saling ketergantungan

Di dalam ekosistem, diantara komponen pembentuknya terdapat hubungan saling ketergantungan, sehingga perubahan pada komponen yang satu akan menyebabkan perubahan pada komponen yang lain. Contoh: Kepadatan suatu tanaman tergantung pada jenis dan kesuburan tanah, sebaliknya keadaan dan kesuburan tanah tergantung juga pada tanaman dan hewan yang hidup di kawasan itu.

Salah satu hubungan saling ketergantungan yang jelas antara komponen pembentuk ekosistem adalah peristiwa makan dan dimakan yang melukiskan suatu rantai makanan atau **jaring-jaring makanan**.

Adanya rantai makanan menyebabkan terjadinya piramida energi, piramida jumlah, piramida biomassa dan aliran materi yang berupa siklus atau daur.

Rantai makanan dan jaring-jaring makanan

Petunjuk yang dapat digunakan sebagai ciri keberadaan sebuah ekosistem adalah energetika (produsen, konsumen dan dekomposer), produktivitas ekosistem, dan daur unsur diantaranya adalah nitrogen, karbon dan fosfor

Dalam ekosistem, produsen yang berupa tumbuhan merupakan makanan dari hewan-hewan herbivora (konsumen primer). Selanjutnya macam-macam herbivora menjadi makanan dari hewan-hewan karnivora (konsumen sekunder). Hewan-hewan karnivora dapat pula menjadi makanan dari hewan karnivora lain (konsumen tersier atau karnivora puncak = *top carnivor*). Proses transfer energi makanan dari sumbernya (tumbuhan) melalui serangkaian proses makan dimakan disebut *rantai makanan (food chain)*.

Pada umumnya jumlah tingkatan dalam rantai makanan terdiri dari 4 atau 5 tingkatan. Masing-masing tingkatan disebut tingkatan tropik (*tropic level*). Tumbuhan menempati tingkatan tropik pertama, hewan-hewan herbivora menempati tingkatan tropik kedua, hewan-hewan karnivora menempati tingkatan tropik ketiga, demikian seterusnya.

Proses saling makan dalam ekosistem biasanya tidak terjadi dalam urutan yang linear, melainkan merupakan proses yang kompleks. Proses saling makan yang kompleks ini disebut **jaring makanan (food web)**. Hal ini disebabkan karena satu makhluk hidup seringkali mempunyai makanan banyak. Misalnya ikan kecil, makan *microcrustaceae*, alga, serangga dan mikroorganisme lainnya. Jadi dalam ekosistem alamiah, sebenarnya rantai makanan yang linear hampir tidak pernah terjadi.

10.1.2. Piramida energi

Materi dan energi kimia potensial ditransfer dari satu tingkatan tropik ke tingkatan tropik yang di atasnya. Dalam proses transfer energi ini tidak pernah 100% efisien. Selalu ada sebagian energi yang hilang ataupun tidak dapat dimanfaatkan. Hal ini dapat dipahami karena masing-masing tingkat tropik melakukan fungsi kehidupan, dan tidak semua anggota tingkatan tropik yang di bawahnya dapat dimanfaatkan oleh anggota tingkat tropik yang di atasnya. Sehubungan dengan itu terjadilah aliran energi, dimana energi berpindah melalui tiap tingkatan tropik yang semakin lama semakin kecil. Energi tidak pernah habis, tetapi berubah menjadi bentuk yang lain, misalnya panas. Berhubungan dengan inilah maka istilah *aliran energi* digunakan dalam ekosistem, bukan siklus energi.

Kalau jumlah energi untuk tiap-tiap tingkatan tropik ini digambarkan dalam suatu histogram dimana tingkatan tropik yang tinggi di sebelah atas maka akan membentuk semacam piramida yang disebut *piramida energi*, yang berarti makin tinggi tingkatan tropiknya, jumlah energinya makin kecil.

Data yang diperoleh **Howard Odum** dari studi ekosistem sungai di Silver Spring, Florida menunjukkan bahwa hanya 17% energi potensial dari produsen yang ditransfer ke herbivora. Konsumen tingkat dua hanya memperoleh 21% dari energi potensial yang ada pada herbivora. Hanya kira-kira 5% energi potensial pada konsumen sekunder yang ditransfer ke konsumen tersier. Dan konsumen tersier hanya menerima kira-kira 0,1% energi potensial yang berasal dari produsen.

Piramida jumlah dan biomassa

Adanya energi yang hilang sepanjang rantai makanan menyebabkan terjadinya piramida jumlah (*pyramide of number*) dan piramida biomassa (*pyramide of biomass*).

Piramida jumlah memberi pengertian bahwa makin rendah tingkatan tropiknya makin besar jumlah individunya, sedangkan makin tinggi tingkatan tropiknya makin sedikit jumlah individunya.

Selanjutnya **piramida biomassa** memberi pengertian bahwa makin rendah tingkatan tropiknya makin besar biomasanya, meskipun jumlah individu mungkin sedikit. *Biomassa* adalah bobot kering makhluk hidup per satuan luas ekosistem.

Produktivitas ekosistem merupakan keseluruhan sistem yang dinyatakan dengan biomassa atau bioenergi dalam kurun waktu tertentu. Produktivitas ekosistem merupakan parameter pengukuran yang penting dalam penentuan aliran energi total melalui semua tingkat trofik dari suatu ekosistem.

Energi matahari memasuki seluruh tingkat trofik dalam suatu ekosistem melalui produsen, tersimpan dalam bentuk senyawa-senyawa organik (hasil fotosintesis). Seluruh senyawa organik yang dikandung dalam produsen dari suatu ekosistem disebut *Produktivitas Primer Kotor (PPK)*. PPK digunakan oleh produsen untuk respirasi (sekitar 35%), sisanya sebagai *Produktivitas Primer Bersih (PPB)*. PPB dari produsen inilah yang digunakan oleh konsumen pertama dan konsumen berikutnya, dengan nilai PPB yang semakin mengecil.

Siklus Materi dalam Ekosistem

Kalau energi yang ada dalam suatu ekosistem itu merupakan aliran maka materi merupakan aliran yang bersiklus. Artinya materi yang berupa air, CO₂, serta mineral-mineral tanah akan berpindah terus-menerus melalui masing-masing tingkatan tropik dan setelah melalui proses mineralisasi oleh pengurai akan dimanfaatkan kembali oleh produsen.

Siklus materi yang terjadi di biosfer disebut *siklus biogeokimia* artinya suatu siklus dari bahan kimia, dari bagian abiotik dalam ekosistem ke komponen biotik, kemudian diuraikan lagi menjadi mineral. Air (H₂O) dalam biosfer mengalami siklus biogeokimia dimana struktur kimianya tidak berubah. Unsur-unsur kimia lain seperti N, P, S, C, di dalam siklus biogeokimia akan berubah-ubah melalui bentuk molekul yang bermacam-macam misalnya unsur C, di dalam siklus biogeokimia terdapat dalam bentuk CO₂, karbonat, atau karbon organik.

Habitat dan *niche*

Habitat adalah tempat hidup asli (di dalam alam) suatu makhluk hidup. Pengertiannya dapat disamakan dengan tempat tinggal atau alamat suatu makhluk hidup di alam. Sebagai contoh, habitat kecebong adalah air yang tergenang, tidak terlalu keruh dan terdapat tumbuh-tumbuhan air.

***Niche* atau relung** yang berasal dari bahasa Prancis (*Niche*) atau bahasa Latin (*Nidus*) yang berarti sarang. Dalam ekologi, *niche* memiliki dua pengertian yang berbeda.

Pertama:

Niche adalah *lingkungan kecil (micro environment)* yang khusus bagi suatu jenis makhluk hidup yang berbeda dengan makhluk hidup yang lain walaupun keduanya terdapat dalam suatu ekosistem.

Kedua:

Niche adalah peranan suatu makhluk hidup dalam komunitas, misalnya sebagai produsen, konsumen atau pengurai. Dalam pengertian ini, *niche dikenal sebagai jabatan, profesi, pekerjaan, ataupun status fungsional.*

Di dalam suatu ekosistem yang stabil, setiap spesies menempati *niche* tersendiri. Kalau dua spesies menempati *niche* yang sama, maka akan terjadi *persaingan* yang sangat besar, karena mereka mempunyai kebutuhan biologi yang sama.

10.2. Komponen penyusun ekosistem

Setiap makhluk hidup berinteraksi dengan lingkungannya. Lingkungan dalam hal ini adalah segala sesuatu yang terdapat di sekeliling makhluk hidup, kecuali makhluk hidup itu sendiri. Ada dua macam faktor, yaitu *biotik* dan *abiotik*.

Faktor biotik (hayati) adalah segala makhluk hidup di sekitar dan di dalam makhluk hidup, misalnya: ayah, ibu, teman sekelas, anjing, pinjal pada anjing, dan pohon sepanjang jalan.

Faktor abiotik adalah segala sesuatu yang bersifat tidak hidup tetapi diperlukan untuk kelangsungan hidup makhluk hidup misalnya air, cahaya, suhu, kelembaban udara, tanah, dan angin

Beberapa makhluk hidup dari spesies yang sama yang menempati suatu kawasan tertentu pada masa tertentu disebut populasi. Contohnya: populasi kambing di suatu desa, populasi cecak di suatu rumah, dan populasi padi di sebidang tanah.

Kepadatan populasi adalah jumlah individu dalam hubungannya dengan ruang yang mereka tempati pada waktu tertentu ($D = N/S$). Satuan untuk makhluk hidup di darat adalah satuan luas, misalnya m^2 , sedangkan untuk makhluk hidup yang hidup di air umumnya dipakai satuan volume, seperti m^3 , dan liter.

Contoh:

Dalam satu kebun yang menempati ukuran 50 m X 100 m terdapat 72 pohon karet, berapakah kepadatan pohon karet dalam kebun tersebut?

Jawab:

Kepadatan pohon karet adalah $72 : (50m \times 100m) = 0.014$ tiap m^2 .

Kepadatan populasi suatu makhluk hidup dalam ruang dan waktu tertentu ditentukan oleh adanya hubungan angka-angka kematian (*mortalitas*), kelahiran (*natalitas*), migrasi (*emigrasi* dan *imigrasi*).

Di alam, kita tidak akan pernah menjumpai sebuah populasi tunggal, melainkan bersama-sama dengan populasi lainnya. Berbagai populasi yang saling berinteraksi dan hidup bersama pada suatu kawasan tertentu dan pada saat tertentu disebut *komunitas*. Komunitas secara sederhana terdiri atas produsen, konsumen dan dekomposer. Contoh: pada sutun padang rumput dapat kita temukan populasi serangga, populasi rumput, dan populasi mikrob tanah. Rumput merupakan produsen, serangga merupakan konsumen, dan mikrob merupakan dekomposer.

Interaksi antara populasi dalam komunitas itu bermacam-macam, ada yang sangat erat, ada yang kurang erat dan ada yang tidak jelas terlihat. Kita dapat mengkategorikan interaksi antar populasi, sebagai berikut:

- a. Netralisme
- b. Kompetisi atau persaingan
- c. Predasi
- d. Parasitisme
- e. Komensalisme
- f. Mutualisme
- g. Antibiosa

Komunitas dengan lingkungan abiotik tempat hidupnya membentuk suatu ekosistem, yaitu suatu sistem ekologi yang terbentuk oleh hubungan timbal balik antara makhluk hidup dengan lingkungannya (faktor biotik dan abiotik). Contoh ekosistem, misalnya: akuarium, kolam, sawah, padang rumput, dan hutan.

10.2.1. Faktor biotik

Komponen biotik terdiri dari berbagai jenis mikroorganisme, cendawan, ganggang, lumut, tumbuhan paku, tumbuhan tingkat tinggi, invertebrata, dan vertebrata serta manusia. Setiap komponen biotik memiliki cara hidup sendiri yang akan menentukan interaksi dengan komponen biotik lainnya dan komponen abiotik. Misalnya tumbuhan hijau melakukan fotosintesis untuk memperoleh makan, herbivora memakan tumbuhan, dan mikroorganisme menguraikan sisa-sisa tumbuhan serta hewan untuk memperoleh energi.

Berdasarkan fungsinya, komponen biotik dapat dibedakan atas:

- a. *Produsen* (berklorofil = autotrof)
- b. *Konsumen* (heterotrof), terdiri atas beberapa tingkat yaitu:
 1. *Konsumen primer* (hewan herbivora).
 2. *Konsumen sekunder* (hewan yang makan hewan herbivora).
 3. *Konsumen tersier* (hewan karnivora).
- c. Pengurai (dekomposer: bakteri, cendawan).

Produsen adalah makhluk hidup yang menyusun senyawa organik atau membuat makanannya sendiri dengan bantuan cahaya matahari. Makhluk hidup yang tergolong produsen, meliputi makhluk hidup yang melakukan fotosintesis (tumbuhan, bakteri fotosintesis, ganggang hijau, ganggang hijau-biru).

Konsumen (makhluk hidup heterotrof) adalah makhluk hidup yang tidak mampu menyusun senyawa organik atau membuat makanannya sendiri. Untuk memenuhi kebutuhan makanannya, makhluk hidup ini

bergantung pada makhluk hidup lain. Hewan dan manusia tergolong sebagai konsumen.

Dekomposer atau detritivora (pengurai) merupakan makhluk hidup yang menguraikan sisa-sisa makhluk hidup mati untuk memperoleh makanan atau bahan organik yang diperlukan. Penguraian memungkinkan zat-zat organik yang kompleks terurai menjadi zat-zat yang lebih sederhana dan dapat dimanfaatkan kembali oleh produsen. Makhluk hidup yang termasuk dekomposer adalah bakteri, cendawan, cacing, beberapa jenis rodent dan serangga tanah.

10.2.2. Faktor abiotik

Faktor abiotik merupakan faktor yang bersifat tidak hidup (non hayati), meliputi faktor-faktor iklim atau *klimatik* (suhu, cahaya, tekanan udara, kelembaban, angin, curah hujan), dan faktor-faktor tanah atau *edafik* (jenis tanah, struktur dan tekstur tanah, derajat keasaman ataupun pH, kandungan mineral dan air, serta dalamnya permukaan air tanah). Masing-masing faktor tersebut dapat diukur dan diketahui pengaruhnya pada makhluk hidup. Faktor abiotik bersifat saling berkaitan dan tidak satu pun bekerja sendiri-sendiri.

Suhu

Suhu atau temperatur adalah derajat energi panas. Sumber utama energi panas adalah radiasi matahari. Suhu merupakan komponen abiotik di udara, tanah, dan air. Suhu sangat diperlukan oleh setiap makhluk hidup, berkaitan dengan reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup. Reaksi kimia dalam tubuh makhluk hidup memerlukan enzim. Kerja suatu enzim dipengaruhi oleh suhu tertentu. Suhu juga mempengaruhi perkembangbiakan makhluk hidup. Contohnya, beberapa jenis burung akan melakukan migrasi menuju ke daerah yang suhunya sesuai untuk berkembang biak.

Cahaya

Sinar matahari menyediakan energi cahaya yang digunakan tumbuhan dalam fotosintesa, tetapi juga menghangatkan lingkungan hidup dan menaikkan suhu air. Selanjutnya akan terjadi penguapan, dan setelah terjadi proses kondensasi dapat turun ke bumi dalam bentuk hujan dan salju. Cahaya matahari terdiri dari beberapa macam panjang gelombang. Panjang gelombang, intensitas cahaya, dan lama penyinaran cahaya matahari berperan dalam kehidupan makhluk hidup. Misalnya tumbuhan memerlukan cahaya matahari dengan panjang gelombang tertentu untuk proses fotosintesis.

Air

Air merupakan pelarut mineral-mineral tanah sangat penting bagi tumbuhan dan keperluan dalam tubuh hewan, serta sebagai medium bagi makhluk hidup. Air dapat berbentuk padat, cair, dan gas. Di alam, air dapat berbentuk padat, misalnya es dan kristal es (salju), serta berbentuk gas berupa uap air. Dalam kehidupan, air sangat diperlukan oleh makhluk hidup karena sebagian besar tubuhnya mengandung air.

Kelembaban

Kelembaban merupakan salah satu komponen abiotik di udara dan tanah. Kelembaban di udara berarti kandungan uap air di udara, sedangkan kelembaban di tanah berarti kandungan air dalam tanah. Kelembaban diperlukan oleh makhluk hidup agar tubuhnya tidak cepat kering karena penguapan. Kelembaban yang diperlukan setiap makhluk hidup berbeda-beda. Sebagai contoh, cendawan dan cacing memerlukan habitat yang sangat lembab.

Udara

Udara terdiri dari berbagai macam gas, diantaranya nitrogen (78.09%), oksigen (20.93%), karbon dioksida (0.03%), dan gas-gas lain. Nitrogen diperlukan makhluk hidup untuk membentuk protein. Oksigen digunakan makhluk hidup untuk bernafas, sedangkan karbondioksida diperlukan tumbuhan untuk fotosintesis.

Garam-Garam Mineral

Garam-garam mineral antara lain ion-ion nitrogen, fosfat, sulfur, kalsium, dan natrium. Komposisi garam-garam mineral tertentu menentukan sifat tanah dan air. Contohnya kandungan ion-ion hidrogen menentukan tingkat keasaman, sedangkan kandungan ion natrium dan klorida di air menentukan tingkat salinitas (kadar garam). Tumbuhan mengambil garam-garam mineral (unsur hara) dari tanah dan air untuk proses fotosintesis.

Tanah

Tanah merupakan hasil pelapukan batuan yang disebabkan oleh iklim atau lumut, dan pembusukan bahan organik. Tanah memiliki sifat, tekstur, dan kandungan garam mineral tertentu. Tanah yang subur sangat diperlukan oleh makhluk hidup untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Tumbuhan akan tumbuh dengan baik pada tanah yang subur.

Setiap makhluk hidup dalam ekosistem menempati suatu tempat yang spesifik. Tempat hidup tersebut antara lain di dasar perairan, di bawah bebatuan, atau di dalam tubuh makhluk lainnya. Itulah sebabnya pada tempat-tempat tertentu kita dapat menemukan makhluk hidup yang khas dan tidak dijumpai di tempat lainnya. Tempat hidup yang spesifik dikenal dengan istilah **habitat**.

Untuk melakukan berbagai aktivitas hidupnya, setiap makhluk hidup membutuhkan energi dan nutrisi. Kebutuhan hidup tersebut dapat dipenuhi melalui berbagai proses yang dapat menentukan kedudukan mereka dalam suatu ekosistem. Dalam hal ini, makhluk hidup dapat berperan sebagai produsen, konsumen, dekomposer, predator, mangsa, parasit, atau pesaing. Masing-masing makhluk hidup dengan peranannya yang berbeda-beda secara bersama-sama dengan lingkungan abiotiknya akan membentuk suatu **relung ekologi**.

Istilah relung (*niche*) dalam ekologi dapat diartikan sebagai tempat atau cara hidup. Relung ekologi setiap spesies meliputi semua macam hubungan antara spesies dengan lingkungannya. Contohnya tikus sawah yang dipengaruhi oleh faktor abiotik, misalnya struktur, air, dan iklim di sawah. Sebaliknya tikus sawah juga mempengaruhi lingkungan abiotik dengan membuat lubang-lubang di pematang sawah tempat berlindung dan menyembunyikan makanan. Cara hidup tikus sawah tersebut tidak akan dapat berlangsung di daerah padang pasir atau habitat lainnya. Setiap spesies memerlukan habitat yang sesuai dengan cara hidupnya. Dengan demikian, *relung ekologi* merupakan cara hidup suatu makhluk hidup pada suatu habitat.

10.3. Tipe-tipe ekosistem

Berdasarkan tempat terjadinya hubungan timbal balik antar komunitas dengan lingkungannya, ekosistem dapat dibedakan atas ekosistem darat, pantai, air tawar dan ekosistem air laut. Seluruh ekosistem yang ada di dunia ini disebut *Biosfer*. Biosfer juga dapat didefinisikan sebagai bagian bumi yang mengandung makhluk hidup-makhluk hidup.

10.3.1. Ekosistem darat (terrestrial)

Berdasarkan perbedaan letak geografis dan fisiografis ekosistem dibedakan atas beberapa bioma atau daerah habitat. **Bioma** secara geografis merupakan daerah luas unit biotik yang merupakan kumpulan besar tumbuhan dan hewan yang bentuk kehidupan dan kondisi lingkungannya sama atau sering pula disebut dengan ekosistem dalam skala besar. Penamaannya berdasarkan vegetasi (tumbuhan) yang dominan. Beberapa bioma darat antara lain: pamah, pegunungan, gurun, padang rumput, hutan basah, hutan gugur, taiga dan tundra.

10.3.1.1. Pamah

Meliputi daerah dengan ketinggian 0-1000 meter di atas permukaan laut, terdiri dari:

a. Hutan rawa air tawar

Terletak di belakang hutan bakau, dengan ketinggian pohon-pohon yang sama dengan perakaran khusus (akar tunjang dan akar lutut). Hutan ini secara teratur digenangi air tawar akibat dari pengaruh pasang surutnya air laut.

b. Hutan rawa gambut

Terletak berdampingan dengan hutan rawa air tawar. Pohon-pohonnya berukuran tinggi, kurus, dengan jumlah jenis sedikit. Tanah mempunyai pH rendah (kurang dari 4) dengan sedikit kandungan unsur hara. Bagian vegetasi yang mati akan terendam air sehingga sukar mengalami proses pelapukan dan akan menjadi lapisan gambut. Gambut yang terbentuk memiliki ketebalan 0.5-20 meter, terbentang dari tepi ke tengah hutan.

c. Hutan tepi sungai

Vegetasi rawa musiman, terletak di sepanjang sungai besar. Umumnya tersusun oleh tumbuhan berkayu. Di Kalimantan, hutan tepi sungai merupakan habitat pohon tengkawang dan kayu lilin.

10.3.1.2. Pegunungan

Terdiri dari komposisi jenis dan tinggi tumbuhan yang bervariasi sehingga membentuk strata kanopi (lapisan tudung) yang jelas. Terbagi atas:

a. Hutan pegunungan bawah

Terletak pada ketinggian 1000-2500 meter di atas permukaan laut. Dominasi vegetasi di hutan ini berbeda-beda, tergantung pada ketinggiannya. Ketinggian 1000-1500 meter didominasi oleh tumbuhan semak, sedangkan pada ketinggian lebih dari 1500 meter didominasi oleh lumut, anggrek, dan tumbuhan paku efit.

b. Hutan pegunungan atas

Meliputi daerah dengan ketinggian 2500-3300 meter di atas permukaan laut. Hutan ini memiliki pohon-pohon dengan tinggi hingga 25 meter dan sangat lebat, tetapi keanekaragaman jenisnya sangat sedikit dibandingkan dengan hutan dibawahnya.

10.3.1.3. Gurun

Biasanya terdapat di daerah tropika (sepanjang garis balik) berbatasan dengan padang rumput. Misalnya gurun Gobi di RRC, Sahara di Afrika Utara, Liano Estacado di Amerika Utara, Kalahari di Afrika Selatan dan Atakama di Amerika Selatan.

Karakteristik gurun adalah

- gersang, curah hujan rendah (± 250 mm/tahun).
- sangat terik, penguapan tinggi, kelembaban udara rendah.
- pada siang hari, suhu sangat tinggi.
- perbedaan suhu siang dan malam sangat besar (siang $\pm 40^{\circ}\text{C}$, malam hari $\pm 20^{\circ}\text{C}$)

Ciri-ciri tumbuhan gurun adalah:

- tanaman semusim dengan daun kecil-kecil, relatif sedikit, berbunga dan berbuah pada waktu hujan datang (tumbuhan evader), berumur relatif pendek.
- tanaman tahunan dengan daun seperti duri atau tak berdaun, dilapis semacam lilin (kutikula), aka berukuran panjang dan mempunyai jaringan untuk menyimpan air (sukulen) , misalnya: kaktus.

Ciri-ciri hewan gurun adalah:

- rodentia (pengerat), ular, kadal, kalajengking dan sebagainya yang mencari mangsa pada pagi atau malam hari. Bahkan juga hewan unta, kodok, dan kumbang dapat beradaptasi dengan lingkungan gurun.

10.3.1.4. Padang rumput

Terdapat di daerah yang terbentang dari daerah tropis ke daerah subtropik. Padang rumput ini diberi nama yang berbeda-beda (Gambar 10.4), disebut *Steppa* (Rusia Selatan), *Puzta* (Hongaria), *Prairi* (Amerika Utara) , dan *Pampa* (Argentina).



Gambar 10.4. Ekosistem padang rumput.

Karakteristik padang rumput adalah :

- curah hujan kurang lebih antara 250-800 mm/tahun.
- hujan turun tidak teratur.
- Porositas (pori tanah) banyak, sehingga aliran udara dalam tanah sangat lancar dan drainase (pengaturan atau peresapan air) berjalan cepat.

Ciri-ciri tumbuhan padang rumput adalah:

- Terdiri atas tumbuhan terna (herba) dan rumput, yang keduanya tergantung pada kelembaban.

Ciri-ciri hewan gurun adalah :

- herbivora, misalnya bison, zebra, kanguru, kijang.
- karnivora, misalnya singa, harimau, dan serigala.
- jenis lainnya, misalnya rodentia, insekta dan burung.

10.3.1.5. Hutan basah/hutan hujan tropis

Terdapat di daerah tropik dan subtropik (Gambar 10.5). Misalnya di berbagai daerah di Indonesia, Papua New Guinea, Australia bagian Utara, lembah Amazon Amerika Selatan, lembah Kongo Afrika, Muang Thai, Malaysia maupun di Amerika Tengah.



Gambar 10.5. Ekosistem hutan hujan tropis

Ciri-ciri hutan hujan tropis adalah :

- curah hujan kurang lebih antara 2000-2250 mm/tahun.
- Keragaman jenis pohon sangat besar, dan berbeda antar hutan pada letak geografis yang berbeda.
- tinggi pohon-pohon utama berkisar antara 50-80 m

- cabang-cabang pohon yang tinggi berdaun lebat sehingga membentuk tudung (kanopi). Berhubungan dengan itu maka di dalam hutan basah terjadi perubahan iklim mikro (iklim yang di sekitar makhluk hidup). Daerah tudung cukup mendapat sinar matahari, sedang dasar hutan selalu gelap, sehingga terbentuk variasi suhu dan kelembaban. Secara umum kelembaban di dalam hutan relatif tinggi, suhu sepanjang hari sekitar 25°C.
- dalam hutan basah tropika sering terdapat tumbuhan yang khas, yaitu:
 - o Liana (tumbuhan memanjat) misalnya rotan.
 - o Epifit (tumbuhan menempel) misalnya anggrek, lumut, paku sarang burung.
- jenis hewan diantaranya adalah kera, burung, babi hutan, kucing hutan, macan tutul, badak, bajing, ular pohon, kadal pohon, katak pohon, serangga, dan lain-lain.

10.3.1.6. Hutan gugur/deciduous forest

Hutan jenis ini terdapat di daerah beriklim sedang yaitu sebagian besar wilayah Eropa dan Cina, sebagian di Amerika Selatan dan dataran tinggi Amerika Tengah, serta Amerika Utara bagian timur.

Karakteristik hutan gugur daun adalah :

- curah hujan merata sepanjang tahun (\pm 750-1000 mm/tahun).
- adanya musim dingin, semi, panas dan gugur.
- spesies pepohonan sedikit, antara 10-20 spesies, dengan jarak antar pepohonan tidak terlalu rapat
 - o Tumbuhan menggugurkan daunnya menjelang musim dingin. Tumbuhan yang umum adalah: Maple (*Acer camestres*), Syeamore (*Acer pseudoplanatus*), Oak (*Quercus robur* dan *Quercus petraea*), Beech (*Fagus sylvatica*), birch (*Betula spp*), dan Ash (*Fraxinus spp*).
- jenis hewan diantaranya rusa, rubah, kijang dan burung pelatuk.

10.3.1.7. Taiga = hutan konifer

Kebanyakan terdapat di belahan bumi sebelah utara, juga terdapat di pegunungan daerah tropik.

Karakteristik hutan konifer adalah:

- suhu di musim dingin rendah.
- curah hujan \pm 350-400 mm/tahun.
- biasanya merupakan hutan yang terdiri dari satu genus, diantaranya adalah Norway spruce (*Picea abies*), Scot pine (*Pinus sylvestris*), birch (*Betula pubescens*)
- semak dan tumbuhan basah sedikit sekali.

- pertumbuhan tanaman terjadi pada musim panas, berlangsung antara 3-6 bulan.
- hewan-hewannya antara lain moose (sejenis rusa), beruang hitam, ajag, musang dan burung-burung yang bermigrasi ke sebelah selatan pada musim gugur.

10.3.1.8. Tundra/Padang lumut

Tundra berarti dataran tanpa pohon, terdapat di belahan bumi sebelah utara di dalam lingkaran kutub utara.

Karakteristik tundra adalah :

- suhu sangat rendah
- curah hujan \pm 12 cm/tahun.
- musim dingin yang panjang dan gelap serta musim panas yang panjang dan terang terus menerus.
- terdiri tumbuhan semusim berumur pendek dan berbunga serentak pada musim pertumbuhan pendek \pm 60 hari,
- jenis tumbuhannya: lumut Sphagnum, lichenes, tumbuhan berbiji semusim, tumbuhan kayu yang pendek-pendek dan rumput, tumbuhan tersebut mampu beradaptasi terhadap keadaan dingin.
- jenis-jenis hewan antara lain: sapi, kesturi, rusa, rusa kutub, beruang kutub, cerpelai kutub (lemning), insekta terutama nyamuk dan lalat hitam, burung pinguin, anjing laut dan walrus.

Adaptasi hewan tundra antara lain:

- mempunyai rambut atau bulu yang tebal.
- lapisan lemak yang tebal.
- bulu yang berwarna putih.

Catatan:

Urutan bioma dari ekuator ke kutub (*suksesi latitudinal*) sama dengan urutan bioma dari dataran rendah ekuator ke arah yang lebih tinggi (*suksesi altitudinal*). Urutan bioma dari suatu gunung di daerah tropika ialah hutan gugur, konifer, tundra dan daerah es.

10.3.2. Ekosistem perairan (air tawar)

Terdapat di tempat yang airnya tenang (disebut sebagai perairan lentik), misalnya danau, rawan, kolam dan di tempat yang airnya berganti-ganti atau mengalir (lotik), misalnya sungai.

Ciri-ciri ekosistem air tawar adalah:

- salinitas rendah bahkan lebih rendah daripada protoplasma.
- variasi suhu bergantung pada kedalaman
- adanya aliran air (pada sungai).

- Jenis-jenis tumbuhan bervariasi diantaranya adalah: *Hidrylla sp.*, eceng gondok (*Eichornia crassipes*), kiambang (*Salvinia natans*). Berbagai jenis alga (ganggang) dapat tumbuh pada perairan tawar.

Adaptasi jenis tanaman terhadap kondisi yang selalu berair adalah: anatomi batang banyak berongga, daun lebar, stomata banyak, gutatoda di tepi ujung daun, berkutikula, serta selnya berdinding yang dapat membatasi osmosis ke dalam sel. Sedangkan yang hidup di sungai mempunyai akar atau alat semacam akar yang melekat pada dasar sungai.

Keragaman hewan yang hidup dalam ekosistem air tawar cukup tinggi. Adaptasi jenis hewan terhadap kondisi perairan adalah:

- mensekresikan air yang berlebih.
- sistem ekskresi, pencernaan dan insang berfungsi untuk memelihara keseimbangan air dalam tubuh.
- terhadap aliran air, penyesuaiannya dengan alat pelekat atau otot yang kuat.
- alat gerak umumnya berupa sirip atau serupa sirip.

Makhluk hidup air tawar dikelompokkan berdasarkan 2 bentuk, yaitu:

1. Berdasarkan aliran energi, dibedakan:

- Autotrof* (produsen), yaitu tumbuhan hijau dan mikroorganisme yang melakukan *kemosintesis* dan *fotosintesis*.
- Fagotrof* (makro konsumen), yaitu *herbivora*, *predator* dan *parasit*.
- Saprofit*, yaitu makhluk hidup yang hidup pada substrat sisa-sisa makhluk hidup lainnya.

2. Berdasarkan kebiasaan hidup di lingkungan air, dibedakan:

- Plankton, yaitu hewan atau tumbuhan (mikroorganisme) yang hidup melayang-layang dalam air. Plankton terdiri atas fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton contohnya: alga mikroskopis (*Chlorophyceae*, *Cyanophyceae*, *Diatomae*), sedangkan zooplankton contohnya: Protozoa serta hewan-hewan lain golongan Porifera, Coelenterata, Crustacea, dan lain-lain.
- Nekton, yaitu hewan-hewan yang aktif berenang kian kemari umpama ikan, amfibi dan serangga air.
- Neuston, yaitu jenis hewan yang beristirahat atau berenang di permukaan air. Contohnya: beberapa jenis insekta yang berenang di dalam atau di permukaan air.

- d. Perifiton, yaitu baik tumbuhan maupun hewan yang melekat atau bertengger pada batang, daun, akar tumbuhan atau pada permukaan benda lain. Contohnya: hydra, ganggang dan tiram.
- e. Bentos, yaitu hewan-hewan yang melekat atau beristirahat pada dasar atau hidup pada endapan. Contohnya: siput, kerang, dan cacing.

3. Berdasarkan bagian daerah tempat hidup, dibedakan atas:

- a. *Daerah Litoral*, yaitu daerah yang airnya dangkal (bagian pinggir) dengan sinar matahari sampai pada dasar. Di daerah ini terdapat tumbuh-tumbuhan berakar.
- b. *Daerah Limnetik*, yaitu daerah air terbuka yang mendapat sinar matahari efektif. Di daerah ini terjadi keseimbangan antara fotosintesis dengan respirasi yang dilakukan oleh makhluk hidup-makhluk hidup yang hidup di situ. Komunitas di daerah ini terdiri atas plankton, nekton dan kadang-kadang neuston.
- c. *Daerah Profundal*, yaitu daerah di bawah daerah limnetik sampai pada dasar. Daerah ini sering tidak dijumpai pada setiap kolam.

Selanjutnya, berdasarkan deras aliran, habitat sungai dapat dibedakan menjadi:

- daerah yang deras aliran airnya.
- daerah yang lambat aliran airnya.

10.3.3. Ekosistem Air Laut

Ciri-ciri ekosistem air laut adalah:

- salinitas tinggi di daerah tropik dan rendah di daerah yang jauh dari katulistiwa.
- tidak dipengaruhi oleh iklim dan cuaca.
- pada permukaan laut, perubahan suhu juga sesuai dengan musim.
- di daerah tropik perbedaan suhu air bagian atas dengan dibawahnya tinggi, hal ini menyebabkan air laut tidak dapat bercampur. Batas dari kedua bagian ini disebut *termoklin*. Di daerah dingin, perbedaan suhu air di permukaan dengan suhu air di bawahnya dapat dikatakan tidak ada, akibatnya air dapat bercampur terus.
- hewan tingkat tinggi (misalnya ikan), mempunyai cara menyesuaikan diri terhadap tekanan osmosis air laut adalah dengan jalan:

- banyak minum dan mengeluarkan urine sedikit.
- pengeluaran air dengan cara osmosis melalui insang.
- garam yang berlebih diekskresikan lewat insang secara aktif.

Pembagian Ekosistem Laut

1. Berdasarkan daya tembus sinar matahari ke dalam air laut, dapat dibedakan menjadi daerah:

- a. *fotik*, yaitu daerah yang masih dapat diterangi sinar matahari.
- b. *afotik*, yaitu daerah yang sama sekali gelap.

Diantara kedua daerah ini, terdapat suatu daerah remang-remang yang sering disebut dengan nama *twilight*.

2. Secara fisik, habitat laut dibagi menjadi 4 kelompok berikut:

- a. daerah *litoral*, yaitu daerah yang berbatasan dengan darat.
- b. daerah *neritik*, yaitu daerah yang masih dapat ditembus cahaya matahari sampai pada dasarnya (± 200 m).
- c. daerah *batial*, yaitu daerah yang kedalamannya ± 200 -2500 m.
- d. daerah *abisal*, yaitu daerah yang lebih dalam dan lebih jauh dari pantai.

3. Berdasarkan kebiasaan hidup, makhluk hidup laut

Dibedakan menjadi *plankton*, *perifiton*, *nekton*, *neuston*, dan *bentos*. Di bagian laut yang dalam tidak terdapat produsen. Oleh karena itu dalam proses makan memakan di kalangan hewan-hewan berlaku hukum rimba. Hewan-hewan di lautan yang dalam kebanyakan berwarna hitam atau merah tua dan mempunyai mata yang sangat peka. Sementara itu, hewan-hewan yang terdapat dalam goa yang gelap kebanyakan buta dan putih (kehilangan pigmen).

Rantai makanan di daerah ini terjadi karena adanya gerakan air dari pantai ke tengah, di samping adanya gerakan air dari permukaan ke bawah dan sebaliknya.

10.3.4. Ekosistem Pantai

Karena hampasan gelombang air laut, di daerah pasang surut yang merupakan perbatasan darat dan laut akan terbentuk gundukan pasir. Setelah gundukan ini biasanya terdapat hutan, yang disebut *hutan pantai*.

Ekosistem hutan pantai terdiri atas beberapa formasi. Formasi adalah unit vegetasi yang terbentuk karena habitatnya dan penamaannya disesuaikan dengan tumbuhan yang menyolok. Secara

berurutan, formasi yang terdapat pada ekosistem hutan pantai dari daerah pasang surut ke arah darat adalah:

1. Hutan Mangrove (bakau)

- terdapat di daerah pasang surut
- dibedakan atas:

a. Yang dasarnya dari lumpur.

Tumbuhan khasnya, antara lain: *Rhizophora* (bakau), *Avicennia* (kayu api), *Bruguiera* (bogem), *Acanthus*, *Cerbera* dan *Ceriops*.

b. Yang dasarnya dari beting/pasir koral.

Tumbuhan khasnya ialah *Sonneratio alba* (preparat). Cara tumbuhan beradaptasi antara lain:

- o mempunyai akar nafas (*Aficennia* dan *Sonneratia*).
- o mempunyai akar lutut (*Bruguiera*)
- o mempunyai daun-daun yang tebal dan kaku dengan lapisan kutikula yang tebal untuk mencegah penguapan air yang berlebihan.
- o bijinya berkecambah dalam buah, belum tanggal dari pohon induknya, dan jelas tampak akar yang tumbuh ke bawah, panjangnya mencapai satu meter. Fenomena ini dikenal dengan *vivipari*.

2. Formasi Pes-caprae

- di daerah berpasir garis pantai.
- dicirikan oleh *Ipomea-pes-caprae* (Telapak kambing) sebagai tumbuhan penyusun yang paling menyolok. Di samping itu juga didapati rumput angin (*Spinifex sp.*).

3. Formasi Barringtonia

- terdapat setelah formasi pes-caprae (lebih jauh dari garis pantai).
- daerahnya berpasir/berbatu cadas.
- formasi ini dimulai dari daerah yang ditumbuhi oleh pandan (*Pandanus*), bakung (*Crinum*), dan babakoan. Sedangkan tumbuhan penyusunnya yang paling menyolok adalah pohon *Barringtonia sp.* (keben, butun) dan *Terminalia sp.* (ketapang).

10.3.5. Air Payau (Estuari)

Merupakan wilayah pertemuan antara air tawar dengan air laut atau disebut muara sungai (*estuari*). atau pantai lumpur. Dalam peristiwa inilah air payau terbentuk dengan tingkat salinitas diantara air tawar dan air laut. Vegetasi didominasi oleh tumbuhan bakau dan nipah. Beberapa makhluk hidup laut melakukan perkembangbiakan di wilayah ini, seperti ikan, udang, dan moluska yang banyak dijumpai dan dapat di makan. Berdasarkan kadar garamnya (salinitas), estuari dibedakan atas:

1. *Oligohalin*, yaitu daerah yang berkadar garam rendah ($\pm 0.25\%$)

2. *Mesohalin*, yaitu daerah yang berkadar garam sedang (berkisar antara 0.25-1.6%)
3. *Polihalin*, yaitu daerah dengan kadar garam tinggi (1.6-3%).

10.4. Suksesi dan klimaks

Dalam hidup sehari-hari, Kalian tentu sering melihat hidup matinya tanaman di pekarangan rumah atau hewan yang memakan tumbuhan atau hewan lainnya. Di sekitar kita, cendawan mendaur ulang bahan-bahan kimiawi, penyusun komponen biotik setiap ekosistem. Dalam hal ini ekosistem bersifat dinamis.

Pernahkah kalian melihat bekas areal sawah yang dibiarkan pemilikinya? Atau sebidang halaman rumah yang berumput yang rapi dan teratur sebagai sebuah lingkungan yang stabil. Lingkungan seperti ini tidak menyebabkan terjadinya perubahan komunitas karena rumput dipotong secara rutin. Dalam kondisi alamiah, halaman rumput yang tidak terawat akan banyak ditumbuhi oleh semak. Semak akan tumbuh membentuk hutan. Pada kondisi tertentu, pertumbuhan hutan akan terhenti, dikenal sebagai proses suksesi.

Vegetasi yang pertama muncul dalam proses suksesi pelopor/perintis, biasanya terdiri atas kelompok sianobakteria (alga biru-kehijauan). Kehadiran kelompok ini akan menciptakan kondisi lingkungan yang lebih baik, sehingga memacu perkecambahan dan pertumbuhan kelompok-kelompok lainnya. Suksesi akan mencapai klimaks, bila terbentuk suatu komunitas tertentu yang komposisi populasinya relatif tetap dan stabil. Disebut *komunitas klimaks*.

Komunitas klimaks merupakan akhir dari serangkaian proses suksesi. Artinya, komunitas demikian dapat dicapai setelah melalui beberapa tahap suksesi. Tiap-tiap tahap suksesi disebut tahap *suksesional*, sedangkan seluruh rangkaian tahapan suksesi dikenal dengan istilah *sere*. Beberapa ciri komunitas klimaks antara lain adalah: mampu menyokong kehidupan seluruh spesies yang hidup didalamnya dan mengandung lebih banyak makhluk hidup dan macam interaksi dibandingkan komunitas suksesional. Contoh komunitas klimaks adalah suksesi rawa menjadi daratan.

Tipe komunitas klimaks yang berkembang dibedakan oleh faktor-faktor pembatas lingkungan. Di daerah dimana air merupakan faktor pembatas, komunitas klimaksnya adalah gurun. Pada daerah pegunungan, komunitas klimaksnya terdiri dari lumut kerak dan lumut, jarang terdapat pohon karena faktor pembatasnya adalah suhu, air, dan angin. Sepanjang kondisi lingkungan menjadi konstan, maka komunitas klimaks akan tetap bertahan.

Sebuah tatanan lingkungan yang terbentuk dari ekosistem alami yang mengalami kerusakan disebut *ekosistem suksesi*. Dibedakan atas 2 bentuk, yaitu:

a. Suksesi primer

Terbentuk pada substrat batu, seperti penutupan tanah oleh timbunan abu setelah letusan gunung merapi. Contohnya suksesi Gunung Krakatau dan Gunung Batur. Di Indonesia, proses suksesi primer berhasil diamati di daerah bekas Gunung Krakatau yang meletus dahsyat pada tahun 1883. Kawasan yang sebelumnya tertutup lapisan lahar membatu, mulai muncul makhluk pioner (liken).

b. Suksesi sekunder

Terbentuk pada substrat lama yang telah rusak akibat aktivitas manusia. Misalnya, penebangan hutan di Bukit Lawang atau pembakaran hutan di Kalimantan dan Sumatera pada tahun 2001 dan 2003.

Peristiwa tersebut telah menimbulkan berbagai masalah, baik yang bersifat lokal maupun regional. Asap yang berasal dari kebakaran hutan tersebut dapat menyebabkan udara dipenuhi oleh gas karbondioksida (CO_2), serta gas yang dapat mengganggu sistem pernafasan manusia dan makhluk hidup lainnya. Ratusan jenis tumbuhan dan hewan terbakar. Ribuan plasma nutfah hilang tiada bekas. Selain itu, banyak hewan yang terpaksa meninggalkan habitatnya karena rusak atau sumber makanannya berupa tumbuhan mati terbakar. Tumbuhan dan hewan kehilangan kesempatan untuk hidup, berinteraksi dan berkembang biak.

Selanjutnya hutan tersebut sekarang telah mengalami pemulihan secara bertahap, dari satu vegetasi ke vegetasi lainnya dalam kurun waktu yang cukup panjang. Proses perubahan vegetasi ini berlangsung terus-menerus, dari komunitas sederhana menjadi kompleks, disebut *suksesi sekunder*.

Gangguan yang menyebabkan terjadinya suksesi sekunder dapat berasal dari peristiwa alami atau akibat kegiatan manusia. Gangguan alami misalnya angin topan, erosi, banjir, kebakaran, pohon besar yang tumbang, aktivitas vulkanik, dan kekeringan hutan.

Proses suksesi sangat terkait dengan faktor lingkungan, seperti letak lintang, iklim, dan tanah. Lingkungan sangat menentukan pembentukan struktur komunitas klimaks. Misalnya jika suksesi berlangsung di daerah beriklim kering, maka proses tersebut akan terhenti (klimaks) pada tahap komunitas rumput.

Jika suksesi berlangsung di iklim dingin dan basah maka proses suksesi akan terhenti pada komunitas (hutan) konifer, serta jika berlangsung di daerah iklim hangat dan basah maka kegiatan yang sama akan terhenti pada hutan hujan tropik.

Laju proses suksesi sangat beragam, tergantung kondisi lingkungan. Proses suksesi pada daerah hangat, lembab, dan subur dapat berlangsung selama seratus tahun.

Suksesi pada daerah yang ekstrim, misalnya di puncak gunung, lereng Danau Toba, atau daerah yang sangat kering berlangsung ribuan tahun. Proses suksesi terjadi di daratan dan perairan, pada dua kelompok yaitu tumbuhan dan hewan.

10.5. Perubahan Lingkungan

Perubahan lingkungan dapat terjadi:

- a. Secara alami (misalnya: akibat gempa bumi, gunung meletus, angin ribut dan banjir).
- b. Akibat perbuatan manusia (misalnya: akibat penebangan hutan untuk pertanian, pembangunan rumah, jalan besar, pabrik, dan bendungan).

Perubahan lingkungan secara langsung ataupun tidak langsung akan mempengaruhi kehidupan makhluk hidup. Sehubungan dengan itu, agar makhluk hidup bisa hidup normal maka perubahan lingkungan tidak boleh sampai keluar dari kisaran tertentu.

Manusia dapat menyesuaikan diri terhadap perubahan lingkungan secara aktif karena manusia mempunyai tingkat kemampuan berfikir (kecerdasan) yang lebih tinggi dari makhluk lain. Misalnya bila suhu terlalu rendah, manusia akan memakai pakaian hangat atau membuat api unggun.

Manusia mampu mengubah lingkungan misalnya pemberian pupuk, penghijauan, reboisasi, irigasi dan sebagainya untuk meningkatkan bidang pertanian dan melestraikan lingkungan.

Sedangkan untuk mendukung peningkatan sumber daya perairan, manusia dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas perikanan dengan proses pembibitan, pembudidayaan dan teknik akuakultur ikan di tambak secara tepat guna.

Perubahan lingkungan oleh manusia, walaupun untuk kepentingan manusia sendiri, namun perlu diperhitungkan masak-masak, misalnya

mendirikan pabrik, sehingga tidak menimbulkan dampak negatif dan menurunkan daya dukung lingkungan. Daya dukung lingkungan adalah ketersediaan sumber daya alam cukup ruang untuk memenuhi kebutuhan dasar pada tingkat kestabilan sosial tertentu.



Gambar 10.6. Ekosistem stabil.

Lingkungan yang stabil adalah keseimbangan diantaranya komponen-komponen penyusunnya. Hutan yang tidak terganggu merupakan ekosistem yang stabil, adanya perubahan oleh manusia membuat ekosistem menjadi tidak stabil. (Gambar 10.6).

Kestabilan ekosistem dapat diukur juga pada skala yang lebih sempit. Sebagai contoh adalah habitat cacing tanah (*Pheretima* sp.) yang hidup di tanah yang lembab. Tanah yang lembab memiliki suhu, kelembaban dan kandungan zat organik yang sesuai dengan kebutuhan hidup cacing tanah. Jika tanah tidak terganggu, maka kestabilan tetap terjaga. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dalam sebuah ekosistem terjadi keseimbangan yang dinamis dalam bentuk saling ketergantungan komponen yang satu dengan komponen lainnya dan sebaliknya.

Contoh lain bentuk saling ketergantungan adalah ditemukan sumber alam berupa pupuk yang disebut *guano* di Peru pada akhir abad 19. *Guano* terbentuk akibat adanya *aliran Humbolt*, yaitu aliran air dari kutub selatan ke arah kutub utara sampai ke pantai Peru sehingga membawa banyak mineral fosfat dan nitrat.

Rangkuman

Setiap makhluk hidup berinteraksi dengan lingkungannya. Lingkungan adalah segala sesuatu yang terdapat di sekeliling makhluk hidup, berupa unsur-unsur biotik dan abiotik yang saling mempengaruhi makhluk hidup tersebut. Unit-unit lingkup ekologi tersebut secara hirarki dimulai dari individu, populasi, komunitas, ekosistem dan bioma yang ditunjukkan dalam spektrum biologi.

Pendekatan ekologi adalah memahami faktor-faktor dan proses-proses penting yang melandasi keberadaan dan kelimpahan jenis di tempat hidupnya.

Makhluk hidup meluangkan waktu untuk berkompetisi dalam memperoleh makanan, tempat berlindung, dan pasangan kawin. Didalam lingkungan biotik terdapat interaksi antara individu sejenis maupun antara jenis yang berbeda, terdiri atas kompetisi, dan simbiosis.

Kompetisi terbagi atas: kompetisi intraspesifik (kompetisi antar anggota satu spesies), dan kompetisi interspesifik (kompetisi antar anggota yang berbeda spesies).

Simbiosis terdiri dari amensalisme, protokeperasi, mutualisme, komensalisme, parasitisme, dan predasi. Antara komponen pembentuk ekosistem terdapat hubungan saling ketergantungan, sehingga perubahan pada komponen yang satu akan menyebabkan perubahan pada komponen yang lain.

Peristiwa makan dan dimakan yang melukiskan suatu rantai makanan atau jaring-jaring makanan. Peristiwa rantai makanan menyebabkan terjadinya piramida energi, piramida jumlah, piramida biomassa dan aliran materi yang berupa siklus atau daur materi dalam ekosistem.

Siklus materi yang terjadi di biosfer disebut siklus biogeokimia artinya suatu siklus dari bahan kimia, dari bagian abiotik dalam ekosistem ke komponen biotik, kemudian diuraikan lagi menjadi mineral.

Habitat adalah tempat hidup asli (di dalam alam) suatu makhluk hidup. *Niche* dapat bermakna ganda. Pertama, lingkungan kecil (*micro environment*) yang khusus bagi suatu jenis makhluk hidup. Kedua, peranan suatu makhluk hidup dalam komunitas, misalnya sebagai produsen, konsumen atau pengurai.

Daya dukung lingkungan adalah ketersediaan sumber daya alam cukup ruang untuk memenuhi kebutuhan dasar pada tingkat kestabilan sosial tertentu.

Perubahan lingkungan dapat terjadi secara alami dan buatan manusia. Secara alami, misalnya: akibat gempa bumi, gunung meletus, angin ribut dan banjir. Sedangkan secara buatan akibat aktivitas manusia, misalnya: akibat penebangan hutan untuk pertanian, pembangunan rumah, jalan besar, pabrik, dan bendungan.

Manusia mampu mengubah lingkungan misalnya pemberian pupuk, penghijauan, reboisasi, irigasi dan sebagainya untuk meningkatkan bidang pertanian dan melestarikan lingkungan.

Setiap makhluk hidup berinteraksi dengan lingkungannya. Komponen penyusun ekosistem terdiri atas dua, yaitu biotik dan abiotik. Faktor *biotik (hayati)* adalah segala makhluk hidup di sekitar dan di dalam makhluk hidup, sedangkan abiotik terdiri dari lingkungan, fisik (iklim, suhu, penyinaran, tekanan udara, kelembaban, angin, curah hujan, dan faktor-faktor tanah *edafik*, dan kimia (pH, senyawa kimia, dan lainnya).

Interaksi antar populasi dikategorikan dalam bentuk netral, kompetisi atau persaingan, predasi, parasitisme, komensalisme, mutualisme dan antibiosa.

Seluruh ekosistem yang ada di dunia ini disebut *Biosfer*. Biosfer didefinisikan sebagai bagian bumi yang mengandung makhluk hidup-makhluk hidup. Ekosistem dapat dibedakan atas ekosistem darat, pantai, air tawar dan ekosistem air laut.

Beberapa bioma darat antara lain: pamah, pegunungan, gurun, padang rumput, hutan basah, hutan gugur, taiga dan tundra. Sedangkan bioma pantai terdiri dari mangrove, formasi pes caprae, formasi baringtonia, dan air payau. Ekosistem air tawar dapat dibedakan atas perairan dengan air tenang, misalnya danau, rawan, kolam; serta perairan dengan air mengalir. Berdasarkan bagian daerah tempat hidup, dibagi tiga yaitu litoral, limnetik dan profundal.

Bioma perairan terdiri dari berdasarkan daya tembus sinar matahari ke dalam air laut, terbagi atas fotik dan afotik. Secara fisik, habitat laut dibagi empat yaitu, berupa: litoral, neritik, batial dan abisal.

Berdasarkan kebiasaan hidup, makhluk hidup perairan dibedakan menjadi plankton, perifiton, nekton, neuston, dan bentos.

Sebuah komunitas terbentuk melalui serangkaian proses yang disebut suksesi *suksesi*. Dibedakan atas 2 bentuk, yaitu suksesi primer dan suksesi sekunder.

Suksesi primer terbentuk pada suatu wilayah yang belum pernah terjadi kehidupan sama sekali, sedangkan suksesi sekunder terbentuk pada wilayah yang pernah ada kehidupan kemudian rusak akibat kejadian alam atau akibat aktivitas manusia. Contoh: komunitas yang terbentuk setelah letusan Gunung Krakatau, Gunung Kelud, atau hutan yang terbentuk setelah kebakaran.

Suksesi akan mencapai klimaks, bila terbentuk suatu komunitas tertentu yang komposisi populasinya relatif tetap dan stabil disebut komunitas klimaks

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Bila karbondioksida dalam ekosistem jumlahnya makin berkurang, maka makhluk hidup yang pertama-tama akan mengalami dampak negatif adalah
 - a. pengurai
 - b. produsen
 - c. herbivora
 - d.karnivora
 - e.karnivora puncak
2. Salah satu alasan mengapa kita harus berusaha untuk melestarikan lingkungan adalah untuk
 - a. meningkatkan usaha pariwisata
 - b. melindungi kehidupan margasatwa
 - c. meningkatkan hasil produksi pangan
 - d. menambah devisa negara
 - e. menjaga keseimbangan antara lingkungan biotik dan abiotik
3. Dalam suatu ekosistem yang tercemar DDT hidup berbagai komponen organik, antaranya: rumput, cacing, tikus, ular, burung biji, kelinci, serigala. Akumulasi DDT paling tinggi terdapat pada tubuh
 - a. rumput
 - b. cacing
 - c. kelinci
 - d. serigala
 - e. tikus

4. Didalam suatu ekosistem yang normal, kelompok makhluk hidup yang paling kecil biomasnya adalah
 - a. pengurai
 - b. produsen
 - c. konsumen II
 - d. konsumen III
 - e. konsumen IV
5. Dalam suatu ekosistem kolam terdapat: 1. ikan karnivora, 2. bakteri pengurai, 3. fitoplankton, 4. ikan herbivora, 5. zat-zat organik. Dari komponen ekosistem tersebut dapat disusun suatu mata rantai makanan
 - a. 3-4-5-1-2
 - b. 2-5-3-4-1
 - c. 5-3-4-2-1
 - d. 3-4-1-2-5
 - e. 5-3-4-1-2
6. Iklim di daerah pegunungan berbeda dengan daerah hutan dataran rendah. Penentu iklim dalam hal ini adalah
 - a. letak geografis
 - b. letak topografi
 - c. intensitas cahaya
 - d. suhu
 - e. curah hujan
7. Dalam siklus unsur, di alam sumber oksigen yang utama adalah
 - a. aktivitas produsen
 - b. aktivitas konsumen
 - c. aktivitas dekomposer
 - d. denitrifikasi
 - e. dekomposisi
8. Interaksi yang terjadi antara rayap dan flagelata di dalam ususnya termasuk interaksi
 - a. predasi
 - b. kompetisi
 - c. mutualisme
 - d. parasitisme
 - e. komensalisme
9. Interaksi merupakan gangguan bagi A, B tidak berpengaruh merupakan interaksi bersifat
 - a. amensalisme
 - b. komensalisme
 - c. mutualisme
 - d. parasitisme
 - e. predatorisme
10. Ketersediaan sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan dasar dan tersedianya cukup ruang untuk hidup pada tingkat kestabilan sosial tertentu disebut
 - a. kualitas lingkungan
 - b. kuantitas lingkungan

- c. parameter lingkungan
 - d. daya dukung lingkungan
 - e. siklus lingkungan
11. Adaptasi tumbuhan menahun di gurun mempunyai daun yang
- a. berbentuk duri
 - b. lebar dan tipis
 - c. lebar dan tebal
 - d. kecil dan tipis
 - e. pita dan panjang
12. Adaptasi ikan dengan tekanan osmotik air laut dilakukan dengan cara
- a. sedikit minum, banyak buang urine
 - b. banyak minum, sedikit buang urine
 - c. sedikit membuang urine, banyak buang garam
 - d. banyak membuang urine, dan garam
 - e. garam laut disaing insang secara aktif
13. Jenis ikan pada perairan laut yang memanfaatkan plankton sebagai makanannya, dapat ditemukan pada zona pada
- a. batial
 - b. abisal
 - c. afotik
 - d. pantai
 - e. limnetik
14. Bioma yang paling banyak jenis populasinya adalah
- a. tundra
 - b. hutan gugur
 - c. padang rumput
 - d. taiga
 - e. hutan tropis
15. Tumbuhan semusim berumur pendek dan bijinya akan tumbuh tiap datang musim penghujan, merupakan ciri dari bioma
- a. hutan tropis
 - b. gurun
 - c. hutan gugur
 - d. padang rumput
 - e. taiga
16. Ikan-ikan besar yang hidup di daerah neritik dan litoral perlu mengadakan adaptasi berikut ini, kecuali
- a. fisiologi
 - b. anatomi
 - c. morfologi
 - d. behaviour
 - e. klimatologi
17. Pada perjalanan suatu suksesi, yang biasanya menjadi pelopor adalah
- a. lumut
 - d. tumbuhan berkayu

- b. tumbuhan hijau
- c. bakteri fotosintetik
- e. cendawan

18. Ciri khas suatu rantai makanan adalah
- a. adanya aliran energi: produsen-konsumen
 - b. aliran energi pindah: konsumen-produsen
 - c. adanya materi biotik
 - d. aliran energi yang tetap
 - e. energi selalu berasal dari cahaya matahari
19. Gurun adalah suatu habitat alami yang memiliki sifat suhu yang tinggi pada siang hari, dingin pada malam hari, dan kurang air, sehingga di tempat itu jarang dijumpai
- a. mamalia
 - b. insekta
 - c. rodentia
 - d. ular
 - e. amfibia
20. Untuk beradaptasi dengan defisiensi air, tumbuhan menahun di gurun mempunyai daun yang
- a. menyerupai duri
 - b. lebar dan tebal
 - c. lebar dan tipis
 - d. sempit dan tipis
 - e. tipis sekali

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Tuliskan kedua definisi *niche* yang kalian ketahui!
2. Bagaimanakah hubungan antara transformasi energi dengan energi yang hilang dalam tiap tingkatan tropik?
3. Sebutkan bentuk-bentuk interaksi antara individu sejenis maupun antara jenis yang berbeda!
4. Perubahan lingkungan dapat terjadi disebabkan dua hal. Jelaskanlah!
5. Buatlah satu contoh rantai makanan dalam ekosistem sawah!
6. Jelaskanlah perbedaan antara daur nitrogen, daur karbon dan daur sulfur di alam!
7. Jelaskan perbedaan antara Produksi Primer Bersih (PPB) dan Produksi Primer Kotor (PPK)!
8. Sebutkan definisi dari:

- a. Ekosistem
- b. Komunitas
- c. *Niche*
- d. Populasi

9. Buatlah suatu jaring-jaring makanan dan berikan penjelasannya!
10. Gambarkan bentuk spektrum biologi hubungan ekologi dengan ilmu biologi lainnya!
11. Tuliskan ciri-ciri tumbuhan *hydrofit!*
12. Tuliskan ciri-ciri, tumbuhan dan hewan yang terdapat pada hutan gugur/*deciduous forest!*
13. Secara fisik, habitat laut terbagi 4 bentuk. Jelaskanlah!
14. Apakah yang menjadi syarat-syarat terjadinya suksesi primer dan suksesi sekunder?
15. Pengendalian hama tanaman dapat dilakukan menggunakan predator. Apakah yang dimaksud dengan predator dan berikan beberapa contoh jenis predator!
16. Mengapa ekologi disebut sebagai ilmu multidisipliner? Berikan contoh bidang apakah yang kalian ketahui!
17. Apakah perbedaan antara kompetisi intraspesies dan kompetisi antarspesies? Berikan masing-masing contohnya!
18. Berdasarkan kebiasaan hidup di lingkungan air, makhluk hidup dibedakan menjadi lima kelompok. Sebutkanlah!
19. Tuliskan ciri-ciri tumbuhan hutan hujan tropis!
20. Apakah yang dimaksud dengan
 - a. bioma
 - b. klimaks
 - c. neuston, ferifiton, bentos
 - d. profundal
 - e. formasi
 - f. meso halin
 - g. iklim mikro

BAB XI

PENCEMARAN LINGKUNGAN



Gambar 11.1. Sungai yang bersih.

Pernahkah kalian berjalan-jalan di hutan dan menemukan sungai yang bersih? Sebuah sungai yang mengalir dan bersih merupakan suatu ekosistem (Gambar 11.1). Di dalamnya hidup berbagai organisme, misalnya tanaman air, ikan, udang, ganggang, dan organisme lainnya. Semua organisme tersebut saling berinteraksi dan saling membutuhkan. Manusia juga turut memanfaatkan komponen biotik dan abiotik dari sungai tersebut. Air menjadi kebutuhan pokok yang dimanfaatkan manusia. Ikan dan udang sebagai sumber makanan bagi manusia.

Seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, daerah di sekitar sungai sering menjadi suatu permukiman padat penduduk. Banyak manusia yang tidak peduli akan lingkungannya. Mereka membuang sampah atau limbah rumah tangga ke sungai (Gambar 11.2).



Gambar 11.2. Pencemaran dari limbah rumah tangga.

Pabrik-pabrik membuang limbahnya ke sungai. Sungai yang awalnya bersih menjadi kotor dan penuh bahan-bahan beracun yang membahayakan kesehatan organisme hidup (tumbuhan, hewan dan manusia). Bagaimanakah nasib organisme hidup dalam sungai tersebut? Mungkin tidak ada lagi organisme yang hidup. Manusia pun tidak dapat memanfaatkan air sungai tersebut. Sungai yang semula sebagai sumber kehidupan, sekarang tidak berguna sama sekali. Apakah ini akan dibiarkan dan terjadi pada ekosistem yang lain? Marilah kita pelajari bab Pencemaran Lingkungan ini agar kita memiliki bekal pengetahuan untuk menjaga lingkungan dan ekosistem agar tetap berfungsi sebagaimana mestinya.

Standar Kompetensi

Mendeskripsikan proses pengolahan limbah organik (tumbuhan dan hewan)

Kompetensi Dasar

- 11.1. Mengidentifikasi ciri, sifat, macam polusi dan limbah.
- 11.2. Dampak polusi terhadap kesehatan manusia.
- 11.3. Mengolah limbah organik.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Pencemaran Lingkungan*, kalian diharapkan dapat memahami, menafsirkan, dan mengkomunikasikan pemahaman konsep tentang berbagai macam ciri, sifat, macam polusi dan limbah, pengolahan dan manfaat limbah bagi tumbuhan, hewan, dan manusia.

Kata-Kata Kunci

Biogas	Limbah anorganik
Daur ulang	Limbah organik
Daya dukung	Lingkungan
Daya lenting	Pencemaran/polusi
Efek rumah kaca	<i>Sanitary landfill</i>
Hujan asam	Ozon
Insenerasi	

11.1. Ciri, sifat, macam polusi dan limbah

Lingkungan terdiri dari komponen biotik dan abiotik. Jika komponen biotik berada dalam komposisi yang proporsional antara tingkat trofik dengan komponen abiotik yang mendukung kehidupan

komponen biotik, lingkungan tersebut berada dalam keseimbangan atau stabil.

Contoh lingkungan alami yang seimbang adalah hutan. Di hutan, tumbuhan sebagai produsen ada dalam jumlah yang mencukupi untuk perlindungan dan makanan bagi konsumen tingkat pertama, seperti burung pemakan tumbuhan, rusa dan monyet. Tumbuhan di hutan dapat berkembang dengan baik karena kondisi lingkungan abiotik yang sesuai. Hewan sebagai konsumen tingkat pertama berada dalam jumlah yang mencukupi untuk kehidupan konsumen tingkat kedua, misalnya harimau, musang, dan ular. Jumlah masing-masing komponen biotik tersebut tidak mendominasi satu dengan yang lainnya sehingga terbentuk rantai makanan yang seimbang.

Keseimbangan lingkungan tidak statis, artinya dapat terjadi penurunan atau kenaikan populasi tiap jenis tumbuhan dan hewan serta berbagai komponen biotik. Perubahan komponen biotik dan abiotik dalam batas-batas tertentu tidak mengganggu keseimbangan lingkungan. Sebagai contoh jumlah rusa yang berkurang karena diburu manusia tidak berpengaruh terhadap kelangsungan hidup pemangsanya, misalnya harimau. Selama masih ada hewan lain di hutan, seperti kelinci, tikus, dan ayam hutan maka harimau akan memangsa hewan-hewan tersebut. Jumlah rusa juga dapat berkembang kembali selama perburuan tidak dilakukan terus-menerus.

Kemampuan hutan mendukung kelangsungan hidup harimau dengan adanya hewan mangsa adalah contoh daya dukung lingkungan. **Daya dukung lingkungan** adalah kemampuan lingkungan mendukung kehidupan berbagai makhluk hidup di dalamnya. Bertambahnya kembali jumlah rusa setelah berkurangnya perburuan adalah contoh daya lenting lingkungan. **Daya lenting lingkungan** adalah kemampuan lingkungan untuk pulih kembali pada keadaan seimbang jika mengalami perubahan atau gangguan. Dengan demikian, lingkungan mampu menanggulangi perubahan-perubahan selama perubahan tersebut masih dalam daya dukung dan daya lentingnya.

Keseimbangan lingkungan dapat menjadi rusak, artinya lingkungan menjadi tidak seimbang jika terjadi perubahan yang melebihi daya dukung dan daya lentingnya. Perubahan lingkungan dapat terjadi karena alam maupun aktivitas manusia.

Perubahan lingkungan yang disebabkan oleh manusia dan berakibat pada alam, misalnya penebangan hutan. Penebangan hutan secara besar-besaran mengakibatkan fungsi hutan sebagai penahan air hujan akan berkurang.

Hilangnya pohon-pohon dapat mengakibatkan tidak adanya perakaran yang dapat menahan air hujan. Akibatnya hanya sedikit air yang terserap oleh tanah sehingga sebagian besar air akan mengalir sebagai air permukaan yang dapat mengakibatkan tanah longsor dan banjir.

Banjir lumpur panas Sidoarjo, Jawa Timur merupakan kasus menyemburnya lumpur panas yang diduga diakibatkan oleh aktivitas pengeboran untuk eksplorasi gas. Semburan lumpur tersebut menurut data dari pertama kali mencapai volume 5000 meter kubik perhari. Kemudian meningkat menjadi 40.000 meter kubik per hari, dan sekarang ini mencapai 135.000 meter kubik per hari. Sejumlah upaya telah dilakukan untuk menanggulangi luapan lumpur, diantaranya dengan membuat tanggul untuk membendung area genangan lumpur. Namun tanggul akhirnya jebol. Menurut Menteri kelautan dan perikanan, kerugian oleh banjir lumpur panas tersebut mengakibatkan produksi tambak pada lahan seluas 989 hektar di dua kecamatan dan 1600 hektar di pesisir Sidoarjo mengalami kegagalan panen, sehingga kerugian diperkirakan mencapai 10.9 milyar per tahun.

Kegiatan manusia mengubah lingkungan dilakukan karena adanya kebutuhan hidup. Kebutuhan ini akan menjadi semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk. Upaya pemenuhan kebutuhan manusia dipengaruhi oleh perkembangan budaya. Ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai hasil perkembangan budaya digunakan untuk mengembangkan berbagai industri yang dapat memenuhi kebutuhan manusia, antara lain sebagai berikut:

1. Industri primer, mengupayakan kebutuhan dari alam secara langsung, seperti pertanian, pertambangan, perkebunan, kehutanan, peternakan, dan perikanan.
2. Industri sekunder, mengolah hasil industri primer seperti industri makanan, industri tekstil, industri kertas, industri pengolahan minyak bumi, dan industri logam.
3. Industri tersier, menghasilkan jasa atau pelayanan seperti industri informasi dan komunikasi, transportasi, dan perdagangan. Perkembangan industri tidak hanya mengubah lingkungan tetapi juga menimbulkan pencemaran.

Berbagai industri selain menghasilkan produk yang digunakan manusia juga menghasilkan buangan atau limbah.

Limbah adalah suatu benda atau zat yang dapat mengandung berbagai bahan yang membahayakan kehidupan manusia, hewan,

serta makhluk hidup lainnya. Banyak limbah dihasilkan dari aktivitas manusia, termasuk industri dan kegiatan rumah tangga. Masuknya limbah rumah tangga dan industri ke dalam sungai menyebabkan pencemaran atau polusi air sungai. Pencemaran adalah perubahan keadaan lingkungan, baik secara fisik, kimia, atau pun biologi, meliputi udara, daratan, dan air yang tidak diinginkan.

Makhluk hidup, zat, energi, atau komponen penyebab pencemaran disebut **polutan** atau **pencemar**. Contoh polutan makhluk hidup atau polutan biologi ialah bakteri penyebab penyakit pada sampah dan kotoran. Polutan zat kimia disebut polutan kimia, contohnya limbah yang mengandung logam merkuri (Hg), gas CO₂, gas CFC, debu asbes, dan pestisida. Sedangkan polutan energi disebut polutan fisik, misalnya panas dan radiasi. Pencemaran berdasarkan bentuknya terbagi menjadi empat macam, yaitu pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran tanah, dan pencemaran suara.

11.1.1. Pencemaran udara

Pencemaran udara berhubungan dengan pencemaran atmosfer bumi. **Atmosfer** merupakan lapisan udara yang menyelubungi bumi sampai ketinggian 300 km. Sumber pencemaran udara berasal dari kegiatan alami dan aktivitas manusia seperti tercantum pada Tabel 11.1

Tabel 11.1 Bahan pencemar udara dan sumbernya

No	Polutan	Dihasilkan dari
1	Karbon dioksida (CO ₂)	Pemakaian bahan bakar fosil (minyak bumi atau batubara), pembakaran gas alam dan hutan, respirasi, serta pembusukan.
2	Sulfur dioksida (SO ₂) nitrogen monoksida (NO)	Pemakaian bahan bakar fosil (minyak bumi atau batubara), misalnya gas buangan kendaraan.
3	Karbonmonoksida (CO)	Pemakaian bahan bakar fosil (minyak bumi atau batubara) dan gas buangan kendaraan bermotor yang pembakarannya tidak sempurna.
4	Kloro Fluoro Carbon (CFC)	Pendingin ruangan, lemari es, dan perlengkapan yang menggunakan penyemprot aerosol.

Sumber pencemaran udara di setiap wilayah atau daerah berbeda-beda. Sumber pencemaran udara berasal dari kendaraan bermotor, kegiatan rumah tangga, dan industri (Gambar 11.3).



Gambar 11.3. Pencemaran udara dari aktivitas industri.

Dampak pencemaran udara dapat berskala mikro dan makro. Pada skala mikro atau lokal, pencemaran udara berdampak pada kesehatan manusia. Misalnya, udara yang tercemar gas karbon monoksida (CO) jika dihirup seseorang akan menimbulkan keracunan, jika orang tersebut terlambat ditolong dapat mengakibatkan kematian. Dampak pencemaran udara berskala makro, misalnya fenomena hujan asam dalam skala regional, sedangkan dalam skala global adalah efek rumah kaca dan penipisan lapisan ozon.

Karbon dioksida (CO₂)

Pembakaran bahan bakar fosil seperti batubara, minyak, dan gas alam telah lama dilakukan untuk pemenuhan kebutuhan manusia terhadap energi. Misalnya untuk berbagai keperluan rumah tangga, industri, dan pertanian. Ketika bahan bakar minyak tersebut dibakar, karbon dioksida dilepaskan ke udara. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa jumlah karbon dioksida yang dilepaskan ke udara terus mengalami peningkatan. Apakah dampak peningkatan CO₂ terhadap lingkungan?

Karbon monoksida (CO)

Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak berbau, tidak berasa, dan tidak stabil. Karbon monoksida yang berada di kota besar sebagian besar berasal dari pembuangan gas kendaraan bermotor yang gas-gas pembakarannya tidak sempurna. Selain itu, karbon monoksida dapat berasal dari pembakaran bahan bakar fosil serta proses industri.

Karbon monoksida dalam tubuh manusia lebih cepat berikatan dengan hemoglobin daripada oksigen. Jika di udara terdapat karbon

monoksida, oksigen akan kalah cepat berikatan dengan hemoglobin. Beberapa orang akan menderita defisiensi oksigen dalam jaringan tubuhnya ketika haemoglobin darahnya berikatan dengan karbon monoksida sebesar 5%. Seorang perokok haemoglobin darahnya sering ditemukan mengandung karbon monoksida lebih dari 10%.

Defisiensi oksigen dalam tubuh dapat menyebabkan seseorang menderita sakit kepala dan pusing. Kandungan karbon monoksida yang mencapai 0.1.% di udara dapat mengganggu metabolisme tubuh organisme. Oleh karena itu, ketika memanaskan mesin kendaraan di dalam garasi sebaiknya pintu garasi dibuka agar gas CO yang terbentuk tidak terakumulasi di dalam ruangan dan terhirup.

Sulfur dioksida

Sulfur dioksida dilepaskan ke udara ketika terjadi pembakaran bahan bakar fosil dan pelelehan biji logam. Konsentrasi SO_2 yang masih diijinkan ialah antara 0.3 sampai 1.0 mg m^{-3} . Akan tetapi, di daerah yang dekat dengan industri berat, konsentrasi senyawa tersebut menjadi lebih tinggi, yaitu 3.000 mg m^{-3} .

Peningkatan konsentrasi sulfur di atmosfer dapat menyebabkan gangguan kesehatan pada manusia, terutama menyebabkan penyakit bronkitis, radang paru-paru (pneumonia), dan gagal jantung. Partikel-partikel ini biasanya sulit dibersihkan bila sudah mencapai alveoli sehingga menyebabkan iritasi dan mengganggu pertukaran gas.

Pencemaran sulfur (sulfur oksida) di sekitar daerah pencairan tembaga dapat menyebabkan kerusakan pada vegetasi hingga mencapai jarak beberapa kilometer jauhnya. Tumbuhan mengabsorpsi sulfur dioksida dari udara melalui stomata. Tingginya konsentrasi sulfur dioksida di udara seringkali menimbulkan kerusakan pada tanaman pertanian dan perkebunan.

Nitrogen oksida

Nitrogen oksida memainkan peranan penting di dalam penyusunan jelaga fotokimia. Nitrogen dioksida dihasilkan oleh gas buangan kendaraan bermotor. Peroksiasil nitrat yang dibentuk di dalam jelaga sering menyebabkan iritasi pada mata dan paru-paru. Selain itu, bahan polutan tersebut dapat merusak tumbuhan.

Hujan asam

Dua gas yang dihasilkan dari pembakaran mesin kendaraan serta pembangkit listrik tenaga disel dan batubara yang utama adalah sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen dioksida (NO₂). Gas yang dihasilkan tersebut bereaksi di udara membentuk asam yang jatuh ke bumi bersama dengan hujan dan salju. Misalnya, sulfur dioksida berreaksi dengan oksigen membentuk sulfur trioksida.



Sulfur trioksida kemudian bereaksi dengan uap air membentuk asam sulfat.



Uap air yang telah mengandung asam ini menjadi bagian dari awan yang akhirnya turun ke bumi sebagai hujan asam atau salju asam.

Hujan asam dapat mengakibatkan kerusakan hutan, tanaman pertanian, dan perkebunan. Hujan asam juga akan mengakibatkan berkaratnya benda-benda yang terbuat dari logam, misalnya jembatan dan rel kereta api, serta rusaknya berbagai bangunan. Selain itu, hujan asam akan menyebabkan penurunan pH tanah, sungai, dan danau, sehingga mempengaruhi kehidupan organisme tanah, air, serta kesehatan manusia.

Efek rumah kaca (*green house effect*)

Efek rumah kaca merupakan gejala peningkatan suhu dipemukaan bumi yang terjadi karena meningkatnya kadar CO₂ (karbon dioksida) di atmosfer. Gejala ini disebut efek rumah kaca karena diumpamakan dengan fenomena yang terjadi di dalam rumah kaca.

Pada rumah kaca, sinar matahari dapat dengan mudah masuk ke dalamnya. Sebagian sinar matahari tersebut digunakan oleh tumbuhan dan sebagian lagi dipantulkan kembali ke arah kaca. Sinar yang dipantulkan ini tidak dapat keluar dari rumah kaca dan mengalami pemantulan berulang-ulang. Energi yang dihasilkan meningkatkan suhu rumah kaca sehingga rumah kaca menjadi panas.

Di bumi, radiasi panas yang berasal dari matahari ke bumi diumpamakan seperti menembus dinding kaca rumah kaca. Radiasi panas tersebut tidak diserap seluruhnya oleh bumi. Sebagian radiasi dipantulkan oleh benda-benda yang berada di permukaan bumi ke ruang angkasa. Radiasi panas yang dipantulkan kembali ke ruang angkasa merupakan radiasi infra merah. Sebagian radiasi infra merah tersebut dapat diserap oleh gas penyerap panas (disebut: gas rumah kaca). Gas penyerap panas yang paling penting di

atmosfer adalah H₂O dan CO₂. Seperti kaca dalam rumah kaca, H₂O dan CO₂ tidak dapat menyerap seluruh radiasi infra merah sehingga sebagian radiasi tersebut dipantulkan kembali ke bumi. Keadaan inilah yang menyebabkan suhu di permukaan bumi meningkat atau yang disebut dengan pemanasan global (*global warning*).

Kenaikan suhu menyebabkan mencairnya gunung es di kutub utara dan selatan. Kondisi ini mengakibatkan naiknya permukaan air laut, sehingga menyebabkan berbagai kota dan wilayah pinggir laut akan tenggelam, sedangkan daerah yang kering menjadi semakin kering. Efek rumah kaca menimbulkan perubahan iklim, misalnya suhu bumi meningkat rata-rata 3°C sampai 4°C pada abad ke-21, kekeringan atau curah hujan yang tinggi di berbagai tempat dapat mempengaruhi produktivitas budidaya pertanian, peternakan, perikanan, dan kehidupan manusia.

Penipisan lapisan ozon

Lapisan ozon (O₃) adalah lapisan gas yang menyelimuti bumi pada ketinggian ± 30 km di atas bumi. Lapisan ozon terdapat pada lapisan atmosfer yang disebut stratosfer. Lapisan ozon ini berfungsi menahan 99% radiasi sinar Ultra violet (UV) yang dipancarkan ke matahari.

Gas CFC (Chloro Fluoro Carbon) yang berasal dari produk aerosol (gas penyemprot), mesin pendingin dan proses pembuatan plastik atau karet busa, jika sampai ke lapisan stratosfer akan berikatan dengan ozon. CFC yang berikatan dengan ozon menyebabkan terurainya molekul ozon sehingga terjadi kerusakan lapisan ozon, berupa penipisan lapisan ozon.

Penipisan lapisan ozon di beberapa tempat telah membentuk lubang seperti di atas Antartika dan kutub Utara. Lubang ini akan mengurangi fungsi lapisan ozon sebagai penahan sinar UV. Sinar UV yang sampai ke bumi akan menyebabkan kerusakan pada kehidupan di bumi. Kerusakan tersebut antara lain gangguan pada rantai makanan di laut, serta kerusakan tanaman budidaya pertanian, perkebunan, serta mempengaruhi kesehatan manusia.

Radiasi

Makhluk hidup sudah lama menjadi objek dari bermacam-macam bentuk radiasi. Misalnya, radiasi matahari yang mengandung sinar ultraviolet dan gelombang infra merah. Selain berasal dari matahari, radiasi dapat juga berasal dari luar angkasa, berupa sinar kosmis dan mineral-mineral radioaktif dalam batu-batuan. Akan tetapi bentuk radiasi akibat aktivitas manusia akan menimbulkan polusi.

Bentuk-bentuk radiasi berupa kegiatan uji coba bom nuklir dan penggunaan bom nuklir oleh manusia dapat berupa gelombang elektromagnetik dan partikel subatomik. Kedua macam bentuk radiasi tersebut dapat mengancam kehidupan makhluk hidup.

Dampak radiasi dapat dilihat pada tingkat genetik dan sel tubuh. Dampak genetik pada interfase menyebabkan terjadinya perubahan gen pada AND atau dikenal sebagai *mutasi gen*. Dampak somatik (sel tubuh) adalah seseorang memiliki otak yang lebih kecil daripada ukuran normal, cacat mental, dan gangguan fisik lainnya serta leukemia.

11.1.2. Pencemaran tanah

Pencemaran tanah berasal dari limbah rumah tangga, kegiatan pertanian, dan pertambangan.

Limbah rumah tangga

Dalam rumah tangga, air digunakan untuk minum, memasak, mencuci, dan berbagai keperluan lainnya. Setelah digunakan, air dibuang atau mengalir ke selokan. Selanjutnya, air tersebut mengalir ke sungai, danau, dan laut. Air buangan rumah tangga atau dikenal sebagai limbah domestik mengandung 95% sampai 99% air dan sisanya berupa limbah organik .



Gambar 11.4. Pencemaran dari limbah organik.

Sebagian dari air buangan terdiri atas komponen nitrogen, seperti urea dan asam urik yang kemudian akan terurai menjadi amoniak dan nitrit. Pada perairan yang dimasuki oleh limbah rumah

tangga biasanya akan menyebabkan populasi ganggang menjadi meningkat pesat sebagai akibat banyaknya persediaan nutrisi seperti tampak pada Gambar 11.4.

Sebaliknya, persediaan oksigen dalam perairan tersebut semakin berkurang. Di sana dapat ditemukan *Tubifex* sp., hewan air yang mampu hidup dengan baik di bawah kondisi defisiensi oksigen. Semakin ke hilir atau ke arah muara, limbah organik lebih terurai secara sempurna sehingga kandungan oksigen dalam air kembali normal. Hewan dan tumbuhan air dapat tumbuh dengan baik.

Selain itu limbah rumah tangga terpenting adalah sampah. Sampah dalam jumlah banyak seperti di kota-kota besar, berperan besar dalam pencemaran tanah, air, dan udara. Tanah yang mengandung sampah di atasnya akan menjadi tempat hidup berbagai mikroorganisme penyebab penyakit. Pencemaran oleh mikroorganisme dan polutan lainnya dari sampah akan mengurangi kualitas air tanah. Air tanah yang menurun kualitasnya dapat terlihat dari perubahan fisiknya, misalnya bau, warna, dan rasa, bahkan terdapat lapisan minyak. Beberapa jenis sampah, seperti plastik dan logam sulit terurai sehingga berpengaruh pada kemampuan tanah menyerap air.

Limbah pertanian

Dalam kegiatan pertanian, penggunaan pupuk buatan, zat kimia pemberantas hama (pestisida), dan pemberantas tumbuhan pengganggu (herbisida) dapat mencemari tanah, dan air.

Herbisida merupakan pestisida yang 40% produknya sudah digunakan di dunia. Para petani menggunakan herbisida untuk mengontrol atau mematikan sehingga tanaman pertanian dapat tumbuh dengan baik. Percobaan pada kelinci dan kera menggunakan dosis herbisida di atas 25% menunjukkan bahwa pemberian makanan dan minuman yang dicampur herbisida dapat menyebabkan organ hati dan ginjal hewan tersebut mudah terkena tumor dan kanker.

Fungisida merupakan pestisida yang digunakan untuk mengontrol atau memberantas cendawan (fungi) yang dianggap sebagai wabah atau penyakit. Penyemprotan fungisida dapat melindungi tanaman pertanian dari serangan cendawan parasit dan mencegah biji (benih) menjadi busuk di dalam tanah sebelum berkecambah. Akan tetapi, sejak metal merkuri sangat beracun terhadap manusia, biji-bijian yang telah mendapat perlakuan fungisida yang mengandung metal merkuri tidak pernah

dimanfaatkan untuk bahan makanan. Fungisida dapat memberi dampak buruk terhadap lingkungan.

Insektisida merupakan bahan kimia yang digunakan untuk membunuh serangga hama. Jenis pestisida ini sudah digunakan manusia sejak lama. Pestisida dan herbisida memiliki sifat sulit terurai dan dapat bertahan lama di dalam tanah. Residu pestisida dan herbisida ini membahayakan kehidupan organisme tanah. Senyawa organoklorin utama di dalam insektisida adalah DDT (Dikloro Difenil Trikloroetana) dapat membunuh mikroorganisme yang sangat penting bagi proses pembusukan, sehingga kesuburan tanah terganggu. Tanah yang tercemar pupuk kimiawi, pestisida, dan herbisida dapat mencemari sungai karena zat-zat tersebut dapat terbawa air hujan atau erosi.

Penggunaan pupuk buatan secara berlebihan menyebabkan tanah menjadi masam, yang selanjutnya berpengaruh terhadap produktivitas tanaman. Tanaman menjadi layu, berkurang produksinya, dan akhirnya mati. Pencemaran tanah oleh pestisida dan herbisida terjadi saat dilakukan penyemprotan. Sisa-sisa penyemprotan tersebut akan terbawa oleh air hujan, akhirnya mengendap di tanah. Penggunaan bahan-bahan kimiawi secara terus menerus akan mengakibatkan kerusakan tekstur tanah, tanah mengeras, dan akan retak-retak pada musim kemarau (Gambar 11.5)



Gambar 11.5. Pencemaran tanah akibat aktivitas pertanian.

Pertambangan

Aktivitas penambangan bahan galian juga dapat menimbulkan pencemaran tanah. Salah satu kegiatan penambangan yang memiliki pengaruh besar mencemarkan tanah adalah penambangan

emas. Pada penambangan emas, polusi tanah terjadi akibat penggunaan merkuri (Hg) dalam proses pemisahan emas dari bijinya. Merkuri tergolong sebagai bahan berbahaya dan beracun yang dapat mematikan tumbuhan, organisme tanah, dan mengganggu kesehatan manusia.

11.1.3. Pencemaran air

Pencemaran air meliputi pencemaran di perairan darat, seperti danau dan sungai, serta perairan laut. Sumber pencemaran air, misalnya pengerukan pasir, limbah rumah tangga, industri, pertanian, pelebaran sungai, pertambangan minyak lepas pantai, serta kebocoran kapal tanker pengangkut minyak (Gambar 11.6).



a)



b)



c)



d)

Gambar 11.6. Bentuk-bentuk pencemaran perairan:

- a. pengerukan pasir
- b. limbah rumah tangga,
- c. industri, d. pertambangan emas.

Limbah rumah tangga

Limbah rumah tangga seperti deterjen, sampah organik, dan anorganik memberikan andil cukup besar dalam pencemaran air

sungai, terutama di daerah perkotaan (Gambar 11.7). Sungai yang tercemar deterjen, sampah organik dan anorganik yang mengandung mikroorganisme dapat menimbulkan penyakit, terutama bagi masyarakat yang menggunakan sungai sebagai sumber kehidupan sehari-hari. Proses penguraian sampah dan deterjen memerlukan oksigen sehingga kadar oksigen dalam air dapat berkurang. Jika kadar oksigen suatu perairan turun sampai kurang dari 5 mg per liter, maka kehidupan biota air seperti ikan terancam.



Gambar 11.7. Pencemaran dari limbah rumah tangga di perkotaan

Limbah industri

Limbah industri yang mencemarkan air dapat berupa polutan sampah organik dan anorganik. Polutan tersebut berasal dari pabrik pengolahan hasil ternak, polutan logam berat, dan polutan panas yang antara lain berasal dari air pendingin industri. Limbah industri dapat membunuh mikroorganisme air. Akan tetapi, beberapa pabrik tidak mampu menghilangkan unsur kimia atau racun yang dikandungnya. Limbah industri yang dapat mencemari air bergantung pada jenis industrinya. Limbah tersebut berupa organik, anorganik, dan panas.

Sebagian besar industri membuang limbah cairnya ke perairan sungai tanpa diolah terlebih dahulu. Untuk mengendalikan pencemaran air oleh industri, pemerintah membuat aturan bahwa limbah industri harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai. Limbah cair yang telah diolah, sisa olahannya pun masih mengandung bahan beracun dan berbahaya seperti merkuri (Hg), timbal (Pb), krom (Cr), tembaga (Cu), seng (Zn), dan nikel (Ni).

Merkuri dapat berasal dari air limbah penggilingan kertas (pulp = bubur kertas) dan pabrik yang membuat vinil plastik atau berasal dari air hujan. Kebanyakan merkuri terakumulasi di dasar perairan, seperti sungai, danau, dan lautan, kemudian diuraikan menjadi metal merkuri oleh metan yang diproduksi oleh bakteri. Metal merkuri bersifat sangat beracun dan dapat diabsorpsi oleh makhluk hidup

yang berada di perairan. Ikan yang tercemar oleh merkuri jika dikonsumsi oleh ibu yang hamil, keturunannya dapat menderita cacat karena kerusakan pada saraf, bahkan dapat mengakibatkan kematian.

Tembaga dapat masuk ke perairan atau sungai melalui pembuangan air limbah yang berasal dari bijih atau cairan tembaga yang dibuang oleh penambangan tembaga. Tembaga merupakan logam yang sangat beracun. Kadar tembaga yang kurang dari 1 ppm pada perairan dapat mematikan ikan dan hewan air lainnya. Ikan mengabsorpsi tembaga melalui insangnya. Di perairan yang mengandung konsentrasi oksigen terlarut rendah, gerakan membuka dan menutupnya insang berlangsung lebih cepat sehingga proses kematian ikan akibat polusi tembaga menjadi lebih cepat.

Pembakaran bensin pada mesin pabrik menghasilkan lebih dari 80% timah di udara. Timah yang ditambahkan ke dalam bensin adalah timah tetraetil (TEL) yang berfungsi sebagai senyawa *anti knock*. Di daerah pedesaan, kandungan timah di udara yang berasal dari kegiatan manusia sekitar 20%, sedangkan di kota-kota besar lebih dari 50%. Orang yang bekerja memperbaiki kendaraan bermotor di ruangan tertutup, dalam darahnya akan mengandung konsentrasi timah yang lebih tinggi dibandingkan bagi mereka yang bekerja pada ruangan yang terbuka.

Jika suatu perairan mengandung timah yang berasal dari tangki atau pipa saluran air minum dengan konsentrasi lebih dari 0.5 ppm, maka logam tersebut dapat bersifat racun bagi kehidupan ikan di perairan. Hanya beberapa ganggang dan serangga yang mampu hidup di perairan tersebut. Jika ikan yang tercemar tersebut dikonsumsi manusia, akan membahayakan kesehatan manusia.

Limbah pertanian

Kegiatan pertanian dapat menyebabkan pencemaran air terutama karena penggunaan pupuk buatan, pestisida, dan herbisida. Pencemaran air oleh pupuk, pestisida, dan herbisida dapat meracuni organisme air, seperti plankton, ikan, hewan yang meminum air tersebut dan juga manusia yang menggunakan air tersebut untuk kebutuhan sehari-hari. Residu pestisida seperti DDT yang terakumulasi dalam tubuh ikan dan biota lainnya dapat terbawa dalam rantai makanan ke tingkat trofik yang lebih tinggi, yaitu manusia.

Selain itu, masuknya pupuk pertanian, sampah, dan kotoran ke bendungan, danau, serta laut dapat menyebabkan meningkatnya zat-zat hara di perairan. Peningkatan tersebut mengakibatkan pertumbuhan ganggang atau enceng gondok menjadi pesat (*blooming*).

Pertumbuhan ganggang atau enceng gondok yang cepat dan kemudian mati membutuhkan banyak oksigen untuk menguraikannya. Kondisi ini mengakibatkan kurangnya oksigen dan mendorong terjadinya kehidupan organisme anaerob. Fenomena ini disebut sebagai *eutrofikasi*.

Limbah pertambangan

Pencemaran minyak di laut terutama disebabkan oleh limbah pertambangan minyak lepas pantai dan kebocoran kapal tanker yang mengangkut minyak. Setiap tahun diperkirakan jumlah kebocoran dan tumpahan minyak dari kapal tanker ke laut mencapai 3.9 juta ton sampai 6.6 juta ton. Tumpahan minyak merusak kehidupan di laut, diantaranya burung dan ikan. Minyak yang menempel pada bulu burung dan insang ikan mengakibatkan kematian hewan tersebut.

11.1.4. Pencemaran Suara (Kebisingan)

Ancaman serius lain bagi kualitas lingkungan manusia adalah pencemaran suara. Bunyi atau suara yang dapat mengganggu dan merusak pendengaran manusia disebut kebisingan. Tingkat kebisingan terjadi bila intensitas bunyi melampaui 50 desibel (db). Oleh karena kebisingan dapat mengganggu lingkungan, kebisingan dapat dimasukkan sebagai pencemaran.

Suara dengan intensitas tinggi, seperti yang dikeluarkan oleh mesin industri, kendaraan bermotor, dan pesawat terbang secara terus-menerus dalam jangka waktu yang lama dapat mengganggu manusia, bahkan menyebabkan cacat pendengaran yang permanen. Oleh karena itu, bunyi dapat dianggap sebagai bahan pencemar serius yang mengganggu kesehatan manusia.

11.2. Dampak polusi terhadap kesehatan manusia

1. Defisiensi oksigen dalam tubuh dapat menyebabkan seseorang sakit kepala dan pusing. Udara yang tercemar gas karbon monoksida (CO) jika dihirup seseorang akan menimbulkan keracunan, jika orang tersebut terlambat ditolong dapat mengakibatkan kematian. Kandungan karbon monoksida yang mencapai 0.1.% di udara dapat mengakibatkan kematian.

2. Penipisan lapisan ozon dapat menyebabkan terjadinya kanker kulit (terutama untuk orang yang berkulit putih) dan kerusakan mata (katarak).
3. Limbah rumah tangga yang dibuang ke sungai dapat menimbulkan berbagai macam penyakit, diantaranya ialah penyakit kulit, kolera, dan disentri.
4. Ketika menghirup udara yang tercemar timah, maka timah dapat terabsorpsi ke dalam darah dan terakumulasi di dalam hati, ginjal, dan tulang yang akan mengganggu proses metabolisme tubuh, bahkan dapat menimbulkan kematian.
5. Konsentrasi merkuri tertinggi terdapat di ginjal, hati, dan otak, sehingga dapat menyebabkan manusia mengalami kehilangan sensasi, menjadi buta yang berasal dari ikan yang dikonsumsi dari teluk Minamata di Jepang, bahkan dapat menyebabkan cacat janin pada ibu hamil yang mengkonsumsi ikan tersebut.
6. Kadmium yang masuk ke tubuh manusia melalui udara (pernafasan) menyebabkan kerusakan ginjal dan meningkatnya tekanan darah (hipertensi).

Parameter kualitas limbah

Pencemaran lingkungan dapat diukur dengan parameter kualitas limbah. Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat pencemaran yang sudah terjadi di lingkungan. Beberapa parameter kimia kualitas air yang perlu diketahui antara lain adalah BOD, COD, DO, dan pH. Pengukuran fisik dapat dilakukan dengan memperhatikan warna, bau, dan rasa air sungai, kecepatan laju air dengan bola pingpong, penetrasi cahaya, dalam dan lebar sungai dan lainnya.

Manakala pengukuran biologi dilakukan dengan menghitung indeks keanekaragaman dan kelimpahan organisme air seperti plankton, benthos, serangga air, moluska, ikan dan lainnya sehingga diperoleh data yang valid. Pengukuran ketiga metode (faktor fisik, kimia dan biologi) merupakan metode paling tepat dan akurat dalam menentukan parameter kualitas perairan.

BOD (*Biochemical oxygen demand*)

BOD adalah ukuran kandungan oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme yang hidup di perairan untuk menguraikan bahan organik yang ada di dalamnya. Apabila kandungan oksigen dalam air menurun, maka kemampuan mikroorganisme aerobik untuk menguraikan bahan organik tersebut juga menurun.

BOD ditentukan dengan mengukur jumlah oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme selama kurun waktu dan pada temperatur tertentu (biasanya lima hari pada suhu 20°C). Nilai BOD diperoleh dari selisih oksigen terlarut awal dengan oksigen terlarut akhir. BOD merupakan ukuran utama kekuatan limbah cair.

COD (*Chemical oxygen demand*)

COD merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi. Indikator ini umumnya digunakan pada limbah industri.

DO (*Dissolved oxygen*)

DO adalah kadar oksigen terlarut dalam air. Penurunan DO dapat diakibatkan oleh pencemaran air yang mengandung bahan organik sehingga menyebabkan organisme air terganggu. Semakin kecil nilai DO dalam air, tingkat pencemarannya semakin tinggi. DO penting dan berkaitan dengan sistem saluran pembuangan maupun pengolahan limbah.

pH

Nilai pH limbah cair adalah ukuran kemasaman atau kebasaaan limbah. Air yang tidak tercemar memiliki pH antara 6.5-7.5. Sifat air bergantung pada besar kecilnya pH. Air yang memiliki pH lebih kecil dari pH normal akan bersifat masam, sedangkan air yang memiliki pH lebih besar dari pH normal akan bersifat basa. Perubahan pH air tergantung pada polutan air tersebut. Air yang memiliki pH lebih kecil atau lebih besar dari kisaran pH normal tidak sesuai untuk kehidupan bakteri asidofil atau organisme lainnya.

Penanganan limbah

Kegiatan yang dilakukan makhluk hidup banyak menghasilkan limbah. Produksi limbah yang berlebihan dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berdasarkan komponen penyusunnya, limbah dibedakan menjadi dua jenis, yaitu limbah organik dan limbah anorganik. Limbah organik ialah limbah yang dapat diuraikan oleh organisme detritivor karena berasal dari bahan-bahan organik. Contoh limbah organik ialah limbah yang berasal dari tumbuhan dan hewan, misalnya kulit pisang, atau kotoran ayam.

Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat diuraikan oleh organisme detritivor atau diuraikan tetapi dalam jangka waktu yang lama. Bahan yang diuraikan berasal dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, seperti mineral, minyak bumi dan berasal dari proses industri, seperti botol, plastik, dan kaleng. Limbah organik dapat dimanfaatkan baik secara langsung (contohnya untuk

makanan ternak) maupun secara tidak langsung melalui proses daur ulang (contohnya pengomposan dan biogas).

Limbah anorganik yang dapat di daur ulang, antara lain adalah plastik, logam, dan kaca. Namun, limbah yang dapat didaur ulang tersebut harus diolah terlebih dahulu dengan cara *sanitary landfill*, pembakaran (*incineration*), atau penghancuran (*pulverisation*).

11.3. Pengelolaan Limbah Organik

Pengelolaan limbah yang berasal dari tumbuhan dapat dijadikan sebagai makanan ternak, kompos, dan di daur ulang sebagai bahan kerajinan.

11.3.1. Makanan Ternak

Di Indonesia, sampah organik seperti sayur-sayuran (contohnya wortel, kubis, kol, kentang, selada air, kangkung, dan sawi) ataupun buah-buahan (kulit pisang, kulit nenas, kulit jeruk) biasanya dimanfaatkan untuk makanan kelinci, kambing, ayam, atau itik. Hal ini sangat menguntungkan karena selain mengurangi jumlah sampah, juga mengurangi biaya pakan untuk hewan ternak. Sampah organik yang mudah rusak dapat dimanfaatkan untuk makanan ternak. Namun, sampah organik ini harus dibersihkan dan dipilih terlebih dahulu sebelum dikonsumsi ternak. Penanganan sampah organik terpisah dengan sampah anorganik. Jika sampah organik bercampur dengan sampah yang mengandung logam-logam berat, maka dapat terakumulasi di dalam tubuh ternak yang akan membahayakan manusia jika dikonsumsi daging ternak tersebut.

11.3.2. Pengomposan (*Composting*)

Pengomposan merupakan upaya pengelolaan limbah dari tumbuh-tumbuhan dengan menggunakan prinsip penguraian bahan-bahan organik menjadi bahan-bahan anorganik oleh aktivitas organisme. Proses pengomposan menghasilkan kompos yang dapat menyuburkan tanah. Organisme yang berperan dalam proses pengomposan ialah bakteri, cendawan, khamir, dan hewan seperti serangga, serta cacing. Agar pertumbuhan organisme dalam pengomposan optimum maka diperlukan beberapa kondisi yang sesuai, diantaranya ialah campuran nutrisi yang seimbang, suhu, kelembaban, udara, dan kandungan oksigen yang cukup. Unsur hara dalam pupuk kompos lebih tahan lama jika dibandingkan dengan pupuk buatan. Sistem pengomposan memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah:

- Kompos merupakan jenis pupuk yang ekologis dan tidak

- merusak lingkungan.
- Bahan yang dipakai tersedia.
- Masyarakat dapat membuatnya sendiri (tidak memerlukan peralatan yang mahal)

11.3.3. Daur Ulang (*Re-Cycle*)

Masyarakat Indonesia secara tradisional memiliki kebiasaan melakukan daur ulang, misalnya pemulungan sampah. Daur ulang merupakan salah satu cara untuk mengolah sampah organik maupun anorganik menjadi benda-benda yang bermanfaat. Daur ulang memiliki potensi yang besar untuk mengurangi timbunan, biaya pengolahan, dan tempat pembuangan akhir sampah. Manfaat dari daur ulang adalah berikut ini.

1. Menghindari pencemaran atau kerusakan lingkungan.
2. Melestarikan kehidupan makhluk hidup di suatu lingkungan.
3. Menjaga keseimbangan ekosistem.
4. Mengolah sampah organik dan anorganik.
5. Mendapatkan produk hasil yang berguna.
6. Memperoleh tambahan penghasilan.

Daur ulang diperoleh setelah melalui tiga tahapan berikut ini:

1. Pemisahan bahan-bahan organik (sampah tumbuh-tumbuhan dan hewan) dan anorganik (seperti kaleng, tembaga, botol, dan plastik).
2. Penyimpanan bahan-bahan dari sampah tumbuhan dan hewan yang dapat dijadikan kompos dan pengolahan kaleng, plastik, dan botol bekas.
3. Pengiriman/penjualan kepada pemulung atau pun pabrik.

Salah satu contoh sampah yang dapat di daur ulang adalah sampah kertas. Sampah kertas berasal dari rumah tangga maupun industri, misalnya dari kegiatan administrasi perkantoran, pembungkus makanan, dan media cetak. Sampah kertas dapat dimanfaatkan menjadi tempat surat, keranjang sampah, tas, tempat buku, rak kecil, dan lainnya yang memiliki nilai jual tinggi bila mendapat sentuhan teknologi dan seni.

Selain itu, bahan gelas yang pecah dapat di daur ulang menjadi botol kecap, botol sirup, piring dan gelas yang baru. Aluminium dapat didaur ulang menjadi kaleng pengemas, sementara baja dijadikan bahan baku pembuatan baja baru, dan plastik dimanfaatkan menjadi aneka produk seperti tas, botol minuman, wadah minyak pelumas, botol minuman, dan botol shampo.

Macam-macam limbah lainnya dapat dimanfaatkan secara langsung tanpa menunggu dan melakukan proses daur ulang, seperti:

1. Ampas tahu menjadi bahan makanan ternak (pakan ternak) yang menambah bobot tubuh hewan ternak secara langsung karena mengandung protein yang tinggi.
2. Enceng gondok dapat diolah menjadi barang kerajinan seperti tas, sepatu, tempat kosmetik dan lainnya.
3. Sampah organik seperti daun-daun dan kotoran ternak dijadikan pupuk hijau dan kompos.

11.3.4. Biogas

Gas-gas yang dihasilkan dari proses pembusukan sampah organik secara anaerobik dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Bahan bakunya dapat diambil dari kotoran hewan, sisa-sisa tanaman, atau campuran keduanya. Secara garis besar, biogas dapat dibuat dengan cara memcampur sampah organik dengan air kemudian dimasukkan kedalam tempat yang kedap udara. Selanjutnya campuran tersebut dibiarkan selama kurang lebih dua minggu. Biogas memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

- Mengurangi jumlah limbah.
- Menghemat energi.
- Sumber energi yang tidak merusak lingkungan.
- Nyala api bahan bakar biogas lebih terang/bersih.
- Residu dari biogas dapat dimanfaatkan untuk pupuk.

Limbah anorganik sangat sulit diuraikan oleh alam, oleh karena itu penanganan limbah tersebut dilakukan dengan 3 cara berikut ini.

1. Sanitary Landfill

Merupakan salah satu metode pengolahan sampah organik atau sampah campuran terkontrol dengan sistem sanitasi yang baik. Sampah organik dan sampah campuran dibuang di suatu tempat, kemudian dipadatkan dengan traktor. Selanjutnya sampah organik dan sampah campuran ditutup tanah. Pada bagian dasar tempat tersebut dilengkapi sistem saluran yang berfungsi sebagai saluran limbah cair sampah yang harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke sungai atau lingkungan. Selain itu, pada sistem ini juga dipasang pipa gas untuk mengalirkan gas hasil aktivitas penguraian sampah organik dan sampah campuran. Cara ini sangat menguntungkan karena menghilangkan polusi udara.

2. Pembakaran pada suhu dan tekanan tinggi(*insenerasi*)

Sampah anorganik dibakar di dalam *insinator*. Hasil pembakaran adalah gas dan residu pembakaran. Penurunan

volume sampah anorganik hasil pembakaran dapat mencapai 70%. Namun, cara ini relatif membutuhkan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan *sanitary landfill*, yaitu sekitar tiga kali lipatnya.

3. Penghancuran (*Pulverisation*)

Penghancuran sampah organik maupun sampah campuran dilakukan di dalam mobil pengumpul sampah yang telah dilengkapi alat pelumat sampah. Sampah organik dan sampah campuran langsung dihancurkan menjadi potongan-potongan kecil yang dapat dimanfaatkan untuk menimbun tanah yang letaknya rendah.

Kerugian Ekonomi Akibat Pencemaran

Biaya yang dikeluarkan untuk pengelolaan limbah cair maupun limbah padat sangat besar. Di Jakarta, berdasarkan data statistik tahun 1990, kerugian yang disebabkan oleh pencemaran air ditaksir oleh Bank Dunia sebesar 300 juta dolar AS. Udara juga tidak luput dari pencemaran yang berat.

Menurut Bank Dunia, biaya kesehatan karena pencemaran udara di Jakarta sekitar 200 Juta dolar AS per tahun. Kesehatan masyarakat akibat pencemaran udara menyebabkan meningkatnya kematian yang diakibatkan penyakit yang berhubungan dengan lingkungan. Penyakit tersebut yaitu gangguan pernafasan dan kanker. Contoh-contoh tersebut menunjukkan dengan jelas bahwa pembangunan yang tidak ramah lingkungan menyebabkan kerusakan lingkungan hidup semakin meningkat yang sangat mempengaruhi kehidupan manusia itu sendiri.

Ada tiga prinsip dasar yang perlu dilakukan untuk menjaga kelestarian, mencegah dan menanggulangi pencemaran, yaitu:

1. Penanggulangan secara administratif

Secara administratif pemerintah dapat mengeluarkan kebijakan dengan menerbitkan peraturan dan undang-undang untuk mencegah pencemaran dan mencegah eksploitasi yang berlebihan terhadap sumber daya alam. Peraturan dan undang-undang itu adalah:

- a. Pelarangan pembuangan limbah oleh industri ke lingkungan sebelum diolah terlebih dahulu, atau dinetralkan.
- b. Cerobong asap pabrik harus dilengkapi dengan saringan udara.
- c. Produk-produk industri harus ramah lingkungan, misalnya menghentikan gas CFC (Chloro fluoro karbon) dan digantikan senyawa lain yang lebih ramah terhadap lingkungan.
- d. Setiap industri harus memiliki instalasi pengolahan limbah cair sendiri.

- e. Pengembang harus melakukan studi analisis mengenai dampak lingkungan (AMDAL) sebelum membangun pabrik.
- f. Pembangunan pabrik atau industri harus jauh dari daerah pemukiman.
- g. Menerbitkan panduan baku mutu lingkungan dan sosialisasi konsep pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*)

2. Penanggulangan secara teknologis

Beberapa industri perlu mengadakan unit pengolah limbah. Pengolahan limbah dapat di lakukan secara biologis dengan menggunakan mikroorganismes dengan teknik filter, dan insenerator.

Cara lain membuat jalur hijau dan taman kota di daerah perkotaan atau daerah industri yang bertujuan untuk menghasilkan oksigen yang bersih, keindahan kota, dan tempat rekreasi.

3. Penanggulangan secara edukatif

Kegiatan yang dilakukan diantaranya ialah mengadakan penyuluhan kepada masyarakat untuk ditanamkan sifat positif dan meningkatkan kesadaran dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Program Pembersihan Kali dan Sungai (Prokasih) merupakan upaya pemberdayaan masyarakat untuk menjaga kelestarian lingkungannya (Gambar 11.8 dan 11.9).



Gambar 11. 8. Program prokasih.



Gambar 11.9. Pembersihan sungai tercemar dari limbah rumah tangga.

Program edukatif diantaranya adalah himbauan agar tidak mencemari lingkungan, tidak membuang sampah di sembarang tempat, jangan menggunakan kertas secara berlebihan, dan jangan membuang plastik serta kaleng ke tempat sampah, melainkan sebaiknya ditanam.

Penggunaan pestisida secukupnya sesuai takaran dan aturan yang ditentukan. Sebaiknya jangan mencuci peralatan penyemprot lahan pertanian di sungai, sumur, atau parit. Menghindari erosi dengan membuat sengkedan pada lahan pertanian miring dan reboisasi pada lahan kritis dengan menanam tanaman tahunan dari jenis lokal. Taman jenis lokal selain cocok dengan kondisi tanah setempat, juga membantu program pemeliharaan biodiversitas dan konservasi organisme lokal. Contohnya penanaman *Albizia sp.* (pohon sengon).

Disamping itu mengembalikan kesuburan tanah dengan cara pemupukan (pemberian zat hara yang dibutuhkan tanaman), rotasi tanaman (menanam lahan pertanian dengan jenis tanaman berbeda secara bergantian), tumpang sari, dan penghijauan agar tidak mudah terjadi longsor, banjir, dan erosi (Gambar 11.10 dan 11.11)



Gambar 11.10.
Sistem tumpang sari



Gambar 11.11. Banjir di Tapanuli Utara akibat illegal logging (Mei 2007)

Rangkuman

Ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai hasil perkembangan budaya digunakan untuk mengembangkan berbagai industri yang dapat memenuhi kebutuhan manusia, seperti industri primer, sekunder, dan tersier.

Berbagai industri selain menghasilkan produk yang dihasilkan manusia juga menghasilkan buangan atau limbah. Makhluk hidup, zat, energi, atau komponen penyebab pencemaran disebut polutan. Polutan makhluk hidup atau polutan biologi, contohnya bakteri pada sampah dan kotoran. Polutan zat kimia seperti merkuri (Hg), gas CO₂, gas CFC, debu asbes, dan pestisida, sedangkan polutan fisik adalah panas dan radiasi.

Pencemaran berdasarkan bentuknya terbagi empat, yaitu pencemaran udara, pencemaran air, pencemaran tanah, dan pencemaran suara. Pencemaran udara dapat berasal dari karbon monoksida, karbondioksida, nitrogen oksida, sulfur dioksida, hujan asam, efek rumah kaca, penipisan lapisan ozon, dan radiasi. Pencemaran air meliputi pencemaran di perairan, seperti danau, sungai, serta laut. Sumber pencemaran air berasal dari aktivitas limbah rumah tangga, industri, pertanian, pertambangan minyak lepas pantai, serta kebocoran kapal tanker pengangkut minyak. Pencemaran tanah berasal dari limbah rumah tangga, kegiatan pertanian, dan pertambangan. Ancaman serius lain bagi kualitas lingkungan manusia adalah pencemaran suara. Bunyi atau suara yang dapat mengganggu dan merusak pendengaran manusia disebut kebisingan bila intensitas bunyi melebihi 50 desibel.

Dampak polusi terhadap kesehatan manusia adalah berikut ini: dapat menyebabkan seseorang sakit kepala dan pusing,

menimbulkan keracunan, jika orang tersebut terlambat ditolong dapat mengakibatkan kematian, kanker kulit, katarak, infeksi saluran pernafasan, penyakit kulit, kolera, disentri, hati, ginjal, dan tulang, cacat pada saraf mata, kerusakan hati, ginjal, dan tulang, buta, dan hipertensi.

Parameter kimiawi penentuan kualitas air yang perlu diketahui antara lain adalah BOD, COD, DO, dan pH. Pengukuran fisik dapat dilakukan dengan memperhatikan warna, bau, dan rasa air sungai, kecepatan laju air dengan bola pimpong, penetrasi cahaya, dalam dan lebar sungai dan lainnya. Manakala pengukuran biologi dilakukan dengan menghitung indeks keanekaragaman dan kelimpahan mikroorganisme air seperti plankton, benthos, serangga air, moluska, ikan dan lainnya sehingga diperoleh data yang valid.

Limbah anorganik sangat sulit diuraikan oleh alam, maka dilakukan pengelolannya dengan cara: *sanitary landfill*, pembakaran sampah (insenerasi) dan penghancuran (*pulveration*). Manfaat dari daur ulang adalah: menghindari pencemaran atau kerusakan lingkungan, melestarikan kehidupan makhluk hidup di suatu lingkungan, menjaga keseimbangan ekosistem, mengolah sampah anorganik, mendapatkan produk hasil yang berguna, dan memperoleh tambahan penghasilan.

Ada tiga prinsip dasar yang perlu dilakukan untuk menjaga kelestarian, mencegah dan menanggulangi pencemaran, yaitu penanggulangan secara administratif, teknologis, dan edukatif.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Keseimbangan lingkungan dapat menjadi rusak akibat
 - a. perubahan tidak melebihi daya dukung dan adanya lenting
 - b. perubahan melebihi daya dukung
 - c. perubahan melebihi daya lenting
 - d. perubahan yang statis
 - e. b dan c benar
2. Berikut ini gas yang dapat menyebabkan hujan asam adalah
 - a. SO_3
 - b. SO_2
 - c. H_2SO_4
 - d. NH_4
 - e. CO_2

3. Polusi udara berhubungan dengan polusi atmosfer bumi. Berikut ini polusi udara yang terjadi akibat kegiatan manusia, kecuali
- kegiatan pabrik yang menimbulkan gas beracun dan berbahaya
 - penggunaan knederaan bermotor
 - kegiatan pembukaan lahan dengan cara pembakaran hutan
 - kegiatan rumah tangga menimbulkan limbah
 - konsumsi masyarakat terhadap produk industri yang menghasilkan gas CFC
4. Berikut ini merupakan efek pemanasan global adalah
- kabut
 - hujan asam
 - penipisan lapisan ozon
 - mencairnya es kutub
 - a, b, dan c benar
5. Pencemaran air tanah di kawasan permukiman biasanya akan segera dirasakan oleh penduduk setempat. Tanda yang akan segera diamati dalam bentuk
- tanah berubah warna
 - air tanah menjadi berbau tidak sedap
 - banyak tanaman yang mati
 - keluar uap air dari dalam tanah
 - kualitas air tanah menurun
6. Tidak semua bahan pencemar adalah zat asing tetapi dapat zat yang secara alami ada di lingkungan. Contoh zat pencemar udara yang secara alami sebenarnya terdapat di udara adalah
- O_2
 - CO
 - CO_2
 - SO_2
 - NO_2
7. Sampah yang tidak dapat diuraikan secara biologis adalah
- material tanaman
 - makanan
 - plastik
 - kertas koran
 - bangkai hewan

8. Apabila pemerintah telah memutuskan suatu tempat digunakan sebagai lahan atau tempat pembuangan akhir (TPA) sampah, teknologi yang seharusnya disiapkan adalah
 - a. *sanitary landfill*
 - b. insenerasi
 - c. *pulverisation*
 - d. *recycling*
 - e. *composting*

9. Pertambangan emas sangat berpotensi mencemari lingkungan dalam skala luas dan memberikan dampak dalam jangka panjang. Dalam proses penambangan emas, bahan berbahaya yang digunakan adalah
 - a. HCl
 - b. merkuri
 - c. timbal
 - d. DDT
 - e. CFC

10. Adanya mikroorganisme pada pembuatan kompos berfungsi untuk
 - a. menyuplai ketersediaan oksigen
 - b. mengurangi aerasi pada sampah
 - c. meningkatkan keasaman sampah
 - d. membantu penguraian sampah
 - e. menurunkan kebasaan sampah

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Mengapa kadar CO yang lebih tinggi dibandingkan O₂ di udara berbahaya bagi manusia?
2. Apakah akibat pemanasan global yang berpengaruh pada manusia?
3. Mengapa aktivitas pertanian dan perindustrian mempengaruhi peningkatan efek rumah kaca?
4. Lihatlah di sekitar rumahmu, seperti dapur, kamar mandi, kamar, dan garasi. Berapa banyak produk aerosol yang kalian beli? Apa bahayanya menggunakan produk ini?
5. Tuliskan bentuk-bentuk pengolahan limbah peternakan ditemukan di sekitar kalian!

6. Salah satu pencemaran serius adalah pencemaran suara. Jelaskan kriteria pencemaran suara dan bagaimanakah dampak pencemaran tersebut bagi manusia?
7. Lingkungan pertanian sering diidentifikasi sebagai lingkungan yang aman bagi lingkungan. Akan tetapi, sebenarnya lingkungan pertanian modern tidak sepenuhnya aman. Identifikasikan minimal tiga sumber polutan yang dihasilkan dari lingkungan pertanian dan dampaknya bagi lingkungan sekitarmu!
8. Mengapa perusakan hutan hujan tropis mempengaruhi penemuan obat untuk penyembuhan penyakit?
9. Jelaskan cara penanganan limbah anorganik!
10. Tuliskan manfaat penggunaan biogas dalam kehidupan!

BAB XII

EVOLUSI

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi proses terbentuknya spesies baru dari penemuan ilmuwan yang dikaitkan dengan teori asal usul kehidupan dan penemuan fosil. Di samping itu juga dapat memahami proses-proses terjadinya kesetimbangan gen menggunakan hukum Hardy-Weinberg.

Kompetensi Dasar

- 12.1. Menyebutkan pencetus teori evolusi.
- 12.2. Memahami penggunaan Hukum Hardy-Weinberg.
- 12.3. Mendeskripsikan terbentuknya spesies baru, teori asal usul kehidupan dan penemuan fosil.
- 12.4. Memahami proses-proses terjadinya kesetimbangan gen berdasarkan hukum Hardy Weinberg.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Evolusi*, kalian diharapkan dapat memahami proses terbentuknya spesies baru, pencetus teori evolusi, teori asal usul kehidupan, penemuan fosil dan penggunaan Hukum Hardy-Weinberg.

Kata-Kata Kunci

Abiogenesis	Isolasi tingkah laku
Aliran gen	Isolasi ekologi
Biogenesis	Isolasi gamet
Evolusi	Isolasi mekanik
Fosil	Isolasi temporal
Generatio spontanea	Kawin acak
Hanyutan gen	Seleksi alam

Evolusi berarti perubahan pada makhluk hidup berdasarkan waktu, yang mengubah makhluk hidup di bumi dari bentuk sebelumnya menjadi bentuk yang ada sekarang ini. Studi evolusi berusaha memahami faktor-faktor yang mendorong terbentuknya berbagai makhluk hidup yang ada di dunia saat ini, mempelajari bagaimana berbagai spesies tumbuhan dan hewan dapat memunculkan spesies baru seiring dengan berjalannya waktu, dan

bagaimana spesies-spesies yang berbeda dapat memiliki kekerabatan.

Seperti halnya berbagai konsep di dalam ilmu, ide utama Darwin yang mengatakan bahwa:

- spesies yang hidup sekarang berasal dari bentuk kehidupan sebelumnya
- spesies berubah dengan berjalannya waktu

Sejak abad ke-6 sebelum Masehi, banyak ahli yang telah berusaha mengemukakan pendapatnya tentang asal usul berbagai jenis makhluk hidup yang ada di dunia dan banyak ahli yang pendapatnya kemudian menjadi fondasi dalam teori evolusi. Di antara para ahli tersebut ialah:

1. *Anaximander (500 SM)*

Seorang filsuf Yunani yang mengemukakan bahwa kehidupan berawal di dalam air dan bentuk kehidupan yang kompleks berasal dari kehidupan yang lebih sederhana.

2. *Aristoteles*

Seorang filsuf Yunani; pendapatnya sangat berpengaruh terhadap kebudayaan Barat: spesies tetap atau tidak berubah, dan tidak mengalami evolusi. Ide Aristoteles ini selama 6000 tahun mendominasi kaum intelektual Barat.

3. *Georges Buffon (pertengahan abad 17)*

Berdasarkan studi fosil, naturalis berkebangsaan Perancis ini mengemukakan bahwa umur bumi kemungkinan lebih tua dari 6000 tahun. Lebih lanjut, ia mengatakan bahwa kemungkinan fosil merupakan bentuk purba dari spesies yang ada sekarang.

4. *Sir Charles Lyell (1797-1875)*

Lyell adalah seorang ahli Biologi Skotlandia yang berpendapat bahwa permukaan bumi terbentuk melalui proses bertahap dalam jangka waktu yang lama. Pendapatnya ini bertentangan dengan pendapat para ahli lainnya, yang menganggap bumi masih berusia muda. Lyell menerbitkan teorinya dalam buku *Principles of Geology*. Hasil karyanya ini mempengaruhi pemikiran Charles Darwin dan Lyell menjadi salah satu pendukung Darwin.

Setelah itu bermunculan pendapat para ahli biologi lainnya. Para ahli biologi menyatakan bahwa makhluk hidup senantiasa mengalami perubahan bentuk morfologi, anatomi, dan tingkah laku secara berangsur-angsur dalam waktu yang sangat lama. Perubahan-

perubahan ini mengakibatkan munculnya sifat-sifat baru, yang nantinya akan menunjukkan penyimpangan sedikit saja dari nenek moyangnya. Kemudian pada generasi selanjutnya, penyimpangan-penyimpangan itu semakin banyak sehingga muncul spesies baru. Hal ini yang menjadi dasar teori evolusi.

12.1. Pencetus teori evolusi

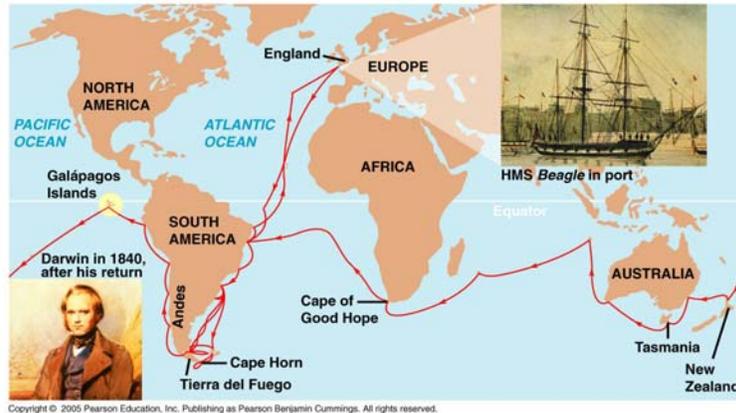
1. J.B. Lamarck

Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) seorang ahli Biologi Perancis, mengemukakan hubungan fosil dengan makhluk hidup yang ada sekarang dapat dijelaskan jika 'kehidupan mengalami evolusi'. Lamarck menjelaskan bagaimana spesies berevolusi sebagai berikut:

- Individu yang menggunakan bagian tubuh maupun tidak menggunakan bagian tubuh akan mewariskan sifat tertentu ke keturunannya. Sebagai contoh, nenek moyang jerapah mempunyai leher panjang akibat berusaha mencapai daun di pohon yang tinggi.
- Berdasarkan hal ini Lamarck menyimpulkan bahwa evolusi spesies merupakan hasil interaksi dengan lingkungan.

2. Charles Darwin

Charles Robert Darwin (1809-1882) adalah seorang peminat ilmu alam dari Inggris. Darwin lahir pada tanggal 12 Februari 1803. Pada tahun 1831, Darwin mengikuti kapal HMS Beagle untuk memetakan jalur pelayaran di Amerika Selatan. Darwin banyak mengumpulkan fosil, batuan, dan mengamati berbagai makhluk hidup yang dijumpai. Ketika Beagle merapat di Kepulauan Galapagos yang terpencil (1050 km dari daratan utama Amerika Selatan), Darwin menemukan hewan dan tanaman yang memiliki kemiripan dan juga perbedaan dari hewan dan tanaman di daratan Amerika Selatan. Selama pelayaran, Darwin membaca buku hasil karya *Charles Lyell, Principles of Geology*. Dari buku ini Darwin dapat memahami bahwa kekuatan alami secara bertahap mengubah permukaan bumi dan hal ini masih terjadi sampai sekarang.



Gambar 12.1. Rute pelayaran Darwin.

Di awal 1840, Darwin menulis esai panjang yang menjelaskan teori evolusinya. Ia sadar bahwa teori ini akan menggemparkan masyarakat sehingga publikasi teori evolusi ditangguhkan. Sebelum Darwin mempublikasikan ide tentang evolusi secara luas, ia membaca karya ilmiah dari **Alfred Robert Wallace** (1823-1913) yang melakukan penelitian di Indonesia. Tulisan Wallace tersebut hampir identik dengan ide Darwin sehingga mereka memutuskan untuk menerbitkan tulisan bersama-sama pada tahun 1858. Buku Darwin, *The Origin of Species by Means of Natural Selection*, diterbitkan setahun setelah itu.

Di dalam The origin of Species terdapat 2 hal penting:

- a) Darwin mengemukakan fakta bahwa spesies yang hidup saat ini merupakan keturunan dari spesies yang ada sebelumnya (nenek moyang). Sejarah evolusi ini disebut '*descent with modification*' (pewarisan dengan modifikasi).
- b) Mekanisme dalam evolusi disebut seleksi alam (*natural selection*)

3. August Weismann

Weismann (1834-1914) berpendapat bahwa sel-sel tubuh tidak dipengaruhi oleh lingkungan. Ia membuktikan pendapatnya dengan mengawinkan 2 tikus yang dipotong ekornya. Sampai generasi ke-21, semua anak tikus yang dilahirkan dari keturunan 2 tikus tadi berekor panjang. Weismann berkesimpulan:

1. Perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan ke generasi berikutnya. Hal ini membuktikan bahwa teori evolusi Lamarck tidak benar.
2. Evolusi berkenaan dengan pewarisan gen-gen melalui sel gamet.

12.2 Hukum Hardy-Weinberg

Seorang profesor Matematika dari Inggris **Goodfrey Harold Hardy** dan dokter Jerman, **Wilhelm Weinberg** secara terpisah mempublikasikan mengenai kesetimbangan gen dalam populasi yang dikenal sebagai Hukum Hardy-Weinberg di tahun 1908.

Mereka menyatakan bahwa populasi dapat tetap stabil/konstan dan tetap berada dalam kesetimbangan Hardy-Weinberg dengan syarat:

1. populasi besar
2. tidak ada aliran gen; hal ini berarti tidak ada migrasi individu maupun gamet dari dan atau ke dalam populasi
3. tidak ada mutasi (perubahan di dalam gen)
4. perkawinan acak (*random mating*).
5. tidak ada seleksi alam; semua individu mempunyai keberhasilan reproduksi yang sama

Mari kita bayangkan satu populasi burung bubi yang mempunyai anggota berselaput renang dan tidak berselaput pada kakinya. Selaput renang ini dikontrol oleh gen tunggal. Kita asumsikan alel untuk kaki tidak berselaput (W) bersifat dominan terhadap alel kaki berselaput (w). Berdasarkan hal ini kita membayangkan bahwa dari generasi ke generasi akibat perkawinan seksual alel dominan akan mendominasi populasi. Pada kenyataannya hal tersebut tidak terjadi. Percampuran alel yang menyertai reproduksi seksual tidak mengubah komposisi gen dalam populasi. Dengan kata lain reproduksi seksual saja tidak menyebabkan evolusi. Berapa kalipun alel berpisah (bersegregasi) ke gamet yang berbeda akibat meiosis dan mitosis, lalu bersatu (dalam kombinasi yang berbeda) melalui fertilisasi, frekuensi alel akan konstan kecuali ada faktor lain. Prinsip ini disebut sebagai 'kesetimbangan Hardy-Weinberg'.

Jika frekuensi alel A di dalam populasi diumpamakan p, sedangkan frekuensi alel a diumpamakan q, maka kemungkinan kombinasi spermatozoa dan sel ovum pada perkawinan individu heterozigot Aa x Aa yaitu:

$$\begin{array}{l} \text{P.} \quad \text{Aa} \quad \quad \text{X} \quad \quad \text{Aa} \\ \text{G} \quad \text{A ; a} \quad \quad \quad \quad \quad \text{A ; a} \\ \text{F1.} \quad \text{AA (p}^2\text{)} \quad : \quad 2 \text{Aa (pq)} \quad : \quad \text{aa (q}^2\text{)} \end{array}$$

$$\text{Jumlah} \quad = \quad \text{p}^2 \text{ (AA)} \quad : \quad \text{pq (2 Aa)} \quad : \quad \text{q}^2 \text{ (aa)}$$

$$\text{Karena } (p+q)^2 = 1, \text{ maka } p+q = 1, \text{ sehingga } p = 1 - q$$

Untuk mencari frekuensi dua buah alel di dalam suatu populasi digunakan Hukum Hardy-Weinberg:

$$p^2 (AA) + 2pq (Aa) + q^2 (aa)$$

$$(p+q)^2 = 1,$$

sehingga $(p+q) = 1, p = 1 - q$

12.2.1. menghitung frekuensi gen kodominan

Dari 1000 orang penduduk yang diperiksa golongan darahnya berdasarkan sistem MN, ditemukan 640 orang bergolongan M, 320 orang MN dan 40 orang N. Berapakah frekuensi alel L^M dan L^N dalam populasi itu?

Penyelesaian:

misal p = frekuensi untuk alel L^M, q = frekuensi untuk alel L^N, maka menurut Hukum Hardy-Weinberg:

$$p^2 L^M L^M + 2pq L^M L^N + q^2 L^N L^N$$

$$q^2 = 40/1000 = 0.04 \quad q = \sqrt{0,04} = 0.2$$

$$p + q = 1 \quad p = 1 - 0.2 = 0.8$$

Jadi : frekuensi alel L^M = p = 0.8
 frekuensi alel L^N = q = 0.2

12.2.2. menghitung frekuensi gen jika ada dominansi

Di dalam satu populasi didapatkan 64% perasa PTC, 36% bukan perasa PTC. Bagaimana perbandingan frekuensi genotipe yang terdapat dalam populasi?

Penyelesaian:

Genotipe kelompok bukan perasa PTC diberi simbol tt; genotipe kelompok perasa PTC diberi simbol TT atau Tt.

Frekuensi genotipe tt = 36% atau 0,36%.

Jadi frekuensi gen t dalam populasi = $\sqrt{0,36} = 0.6$.

T + t = 1, maka T = 1 - 0.6 T = 0.4.

Frekuensi genotipe dapat dihitung sebagai berikut:

	0.4 T	0.6 t
0.4 T	0.16 TT	0.24 Tt
0.6 t	0.24 Tt	0.36 tt

Jadi, perbandingan frekuensi genotipe yang terdapat didalam populasi adalah:

$$\begin{aligned} TT : Tt : tt &= 16 : 48 : 36 \\ &= 4 : 12 : 9 \end{aligned}$$

12.2.3. menghitung frekuensi alel ganda

Persamaan $(p + q) = 1$, hanya berlaku apabila terdapat dua alel pada suatu lokus autosomal. Apabila lebih banyak alel ikut terlibat maka dalam persamaan harus digunakan lebih banyak simbol. Misalnya pada golongan darah sistem ABO dikenal tiga alel, yaitu I^A , I^B , I^O .

Misalnya: p = frekuensi alel I^A
 q = frekuensi alel I^B
 r = frekuensi alel i

Maka persamaan menjadi $(p + q + r) = 1$.

Hukum Keseimbangan Hardy-Weinberg untuk golongan darah sistem ABO berbentuk sebagai berikut:

$$p^2 I^A I^A + 2pr I^A I^O + q^2 I^B I^B + 2qr I^B I^O + 2pq I^A I^B + r^2 I^O I^O$$

Misalnya 1000 orang siswa di SMA Reksana diperiksa golongan darahnya menurut sistem ABO. Ditemukan 320 siswa golongan A, 150 golongan B, 40 golongan AB, dan 490 golongan O.

- berapakah frekuensi alel $I^A I^B$ dan I^O ?
- berapakah jumlah siswa golongan darah A homozigot ?
- berapakah jumlah siswa golongan darah heterozigot ?

Penyelesaian :

misal p = frekuensi alel I^A
 q = frekuensi alel I^B
 r = frekuensi alel I^O

menurut Hukum Hardy-Weinberg:

$$\begin{aligned} \text{a.} \quad & p^2 (I^A I^A) + 2pr (I^A I^O) + q^2 I^B I^B + 2pq (I^A I^B) + r^2 (I^O I^O) \\ & r^2 = \text{frekuensi golongan darah O} \\ & = 490/1000 = 0.49 \\ & r = \sqrt{0,49} = 0.7 \end{aligned}$$

$$(p + r)^2 = \text{frekuensi golongan A + golongan O} = \frac{320 + 490}{1000} = 0.81$$

$$(p + r) = \sqrt{0,81} = 0.9$$

$$p = 0.9 - 0.7 = 0.2 \text{ oleh karena } (p + q + r) = 1 \text{ maka, } q = 1 - (p + r) = 1 - (0.2 + 0.7) = 0.1$$

Jadi : frekuensi alel $I^A = p = 0.2$
 frekuensi alel $I^B = q = 0.1$
 frekuensi alel $I^O = r = 0.7$

- frekuensi genotipe $I^A I^A = p^2 = (0.2)^2 = 0.04$.
Jadi dari 320 siswa golongan darah A diperkirakan homozigot $I^A I^A = 0.04 \times 1000 = 40$ orang siswa.
- frekuensi genotipe $I^B I^O = 2pr = 2(0.1 \times 0.7) = 0.14$.
Jadi dari 150 siswa golongan darah B diperkirakan heterozigotik $I^B I^O = 0.14 \times 1000 = 140$ orang siswa.

12.2.4. menghitung frekuensi gen terpaut-X

Bagaimana menghitung frekuensi gen terpaut kromosom X?

- * untuk laki-laki = $p + q$ karena genotipe laki-laki = $X^A Y$ dan $X^a Y$
- * untuk perempuan = $p^2 + 2pq + q^2$, genotipenya = $X^A X^A$, $X^A X^a$ dan $X^a X^a$.

Contoh: 6% dari laki-laki di suatu daerah menderita penyakit buta warna merah hijau.

Hitung:

- frekuensi dari perempuan di daerah itu yang diduga normal
- frekuensi dari perempuan yang buta warna

Penyelesaian:

Menurut Hukum Hardy-Weinberg untuk menghitung frekuensi gen yang terangkai pada kromosom X

- * frekuensi gen buta warna $c = q = 0.06$
- * frekuensi gen normal $(C) = p = 1 - 0.06 = 0.94$

- frekuensi perempuan diduga normal adalah $(CC \text{ dan } Cc) = p^2 + 2pq = (0.94)^2 + 2(0.94)(0.06) = 0.9964$.
- frekuensi perempuan diduga buta warna $(cc) = q^2 = (0.06)^2 = 0.0036$.

Hukum Hardy-Weinberg ternyata mempunyai aplikasi yang luas. Para peneliti kesehatan masyarakat menggunakan hukum ini untuk mengestimasi berapa banyak manusia pembawa alel penyakit yang diwariskan secara genetik seperti buta warna, fenilketonuria/PKU (individu tidak mempunyai kemampuan untuk memecah asam amino fenilalanin).

12.3. Selain seleksi alam, hanyutan gen dan aliran gen dapat berkontribusi terhadap evolusi

Penyimpangan dari kondisi kesetimbangan Hardy-Weinberg dapat menyebabkan perubahan dalam *gene pool*. Tiga penyebab utama perubahan tsb yaitu: hanyutan gen, aliran gen dan seleksi alam. Dari ketiga hal ini, hanya seleksi alam yang menyebabkan evolusi adaptif.

Hanyutan gen (*genetic drift*) yaitu perubahan dalam *gene pool* di dalam populasi yang disebabkan oleh 'peluang'. Semakin kecil populasi (jumlah anggota sedikit) semakin besar peluang populasi tsb mengalami hanyutan gen. Frekuensi alel di dalam populasi lebih stabil dari satu generasi ke generasi berikutnya, jika populasi tsb besar (jumlah anggota banyak). Dengan berjalannya waktu hanyutan gen menyebabkan penurunan variasi genetik.

Aliran gen; suatu populasi akan kehilangan alel maupun mendapat alel baru jika individu fertil masuk atau ke luar populasi atau pada saat gamet (serbuk sari tumbuhan) bertukar antar populasi. Aliran gen cenderung menurunkan perbedaan di antara populasi-populasi. Sebagai contoh: sekarang ini, manusia bergerak dengan mudah ke belahan bumi manapun, hal ini aliran gen merupakan agen penting dalam perubahan secara evolusi.

Seleksi alam; individu dengan karakter yang mampu beradaptasi baik dengan lingkungan akan mempunyai kesuksesan reproduksi tertinggi. Dalam kondisi kesetimbangan Hardy-Weinberg, seleksi alam tidak berlaku, hal ini berarti semua individu di dalam populasi 'sama' di dalam kemampuan bereproduksi. Kondisi seperti ini tidak mungkin kita temui di alam. Jika kita kembali ke contoh penjelasan dominan-resesif pada burung bubi, maka kita dapat membayangkan bahwa populasi burung bubi dengan selaput renang di kakinya akan bertahan dan menghasilkan keturunan lebih banyak. Mengapa ? Burung bubi dengan selaput renang akan lebih efisien dalam berenang dan mencari makan.

12.4. Terbentuknya spesies baru

Teori Darwin mengenai evolusi sebagian besar memberi penekanan pada seleksi alam dan adaptasi populasi secara bertahap terhadap lingkungannya. Proses ini disebut mikroevolusi. Jika mikroevolusi benar-benar terjadi maka bumi akan dihuni oleh makhluk hidup yang sangat adaptif dibandingkan makhluk hidup sebelumnya.

Spesiasi – asal-usul spesies baru – berada pada pusat dari evolusi. Pada saat spesiasi terjadi maka keanekaragaman hayati meningkat. Bagaimana keanekaragaman makhluk hidup yang luar biasa dapat terjadi ?

Makroevolusi menyebabkan perubahan biologis secara dramatis dan hal ini dimulai dengan munculnya spesies baru. Jika ada dua varietas dari suatu spesies mendiami dua habitat yang sangat berbeda tanpa dapat melakukan perkawinan antar keduanya, dan selanjutnya mengalami perubahan morfologi, anatomi, dan tingkah laku, maka akhirnya dapat membentuk satu spesies baru.

12.4.1. Penghalang reproduktif (*reproductive barriers*) mempertahankan terpisahnya spesies

Suatu penghalang reproduktif adalah karakter-karakter dari makhluk hidup yang menghalangi populasi saling kawin meskipun mempunyai habitat yang tumpang tindih. Ada dua macam penghalang reproduktif yaitu:

1. Penghalang prezigotik; mencegah perkawinan atau fertilisasi antar spesies

a. isolasi musim (temporal)

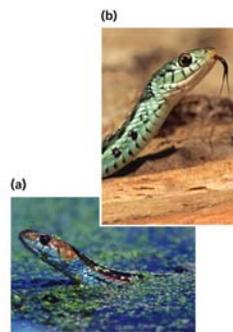
Spesies pinus *Pinus radiata* dan *P. muricata* hidup di area yang sama di Kalifornia Tengah. Kedua spesies ini tidak dapat saling kawin karena *P. radiata* melepaskan serbuk sari pada bulan Februari, sedangkan *P. muricata* pada bulan April. Sigung dari bagian Timur (Gambar 12.c) dan sigung dari bagian Barat (Gambar 12.d) padang rumput di Amerika, mempunyai musim kawin yang berbeda, sehingga tidak dapat saling kawin.



Gambar 12.2. Sigung.

b. isolasi habitat

Dua spesies yang berkerabat dekat, seperti ular *garter* di Amerika Utara bagian Barat yang hidup di darat dan air, tidak mungkin saling kawin.



Gambar 12.3. Ular garter.

c. isolasi tingkah laku

Tidak ada ketertarikan seksual di antara jantan dan betina pada spesies yang berbeda. Sinyal khusus yang mengawali terjadinya perkawinan merupakan hal unik di dalam satu spesies (Gambar 12.4e).

Biasanya hewan jantan memberi tanda atau sinyal tertentu dalam bentuk tingkah laku, seperti mengeluarkan suara, melakukan ritual, tarian atau mengekskresikan zat kimia. Contohnya burung bower jantan akan menghiasi sarangnya dengan ranting berwarna biru, menari dan berkicau untuk menarik perhatian betina. Setelah proses ritual selesai, maka akan terjadi perkawinan.

(e)

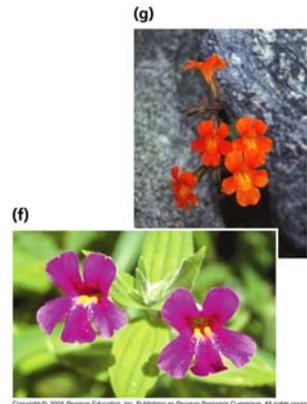


Gambar 12.4. Burung bower.

d. isolasi mekanik

Perkawinan tidak dapat terjadi akibat organ seksual eksternal yang tidak cocok satu sama lain.

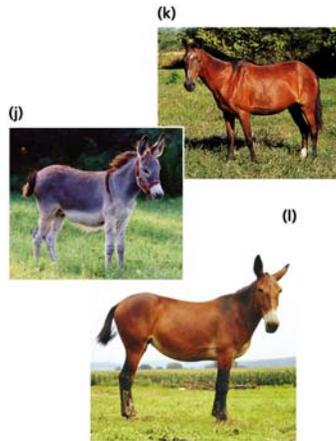
Organ kopulasi pada banyak insekta jantan hanya sesuai untuk betina dari spesies yang sama. Banyak spesies tumbuhan mempunyai struktur bunga yang beradaptasi dengan polinator tertentu (insekta/hewan lain misal burung) (Gambar 12.5 f dan g): tanaman sage hitam memiliki bunga kecil, penyerbukan dilakukan oleh lebah kecil. Sage putih memiliki struktur bunga yang besar sehingga penyerbukan hanya dapat dilakukan oleh lebah besar.



Gambar 12.5. Bunga.

- e. isolasi gametik

Jantan dan betina dari spesies yang berbeda dapat melakukan perkawinan, tetapi pembuahan yang terjadi tidak akan menghasilkan zigot. Hal ini berlaku pada pembuahan internal maupun eksternal; pada banyak mamalia sperma tidak dapat bertahan hidup di dalam saluran reproduksi betina spesies lain; jantan dan betina bulu babi mengeluarkan sperma dan telur di laut. Fertilisasi dapat berlangsung jika molekul pada permukaan sperma dan telur dapat bersatu.
2. Penghalang poszigotik; mencegah perkembangan makhluk hidup dewasa yang fertil; zigot yang dihasilkan disebut hibrid zigot. Ada tiga macam penghalang poszigotik:
 - a. Ketidakmampuan hibrid untuk berkembang (*hybrid inviability*); misal katak dari genus *Rana* yang hidup di habitat sama dapat saling kawin tetapi hibrid tidak dapat berkembang sempurna atau menjadi individu yang lemah.
 - b. Sterilitas hibrid (*hybrid sterility*); hibrid yang dihasilkan dari perkawinan dua spesies berbeda, bersifat steril, oleh karena itu hibrid ini tidak dapat mewariskan sifat tetuanya; misalnya hibrid (Gambar 12.6j; disebut bagal) antara kuda (Gambar 12.6k) dan keledai (Gambar 12.6l).



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved. Gambar 12.6. Sterilitas hybrid.

- c. Kegagalan rantai pewarisan pada hibrid (*hybrid breakdown*); generasi hibrid pertama fertil dan mampu berkembang, tetapi jika hibrid ini saling kawin maka atau hibrid kawin dengan tetua maka hibrid keturunannya bersifat steril.

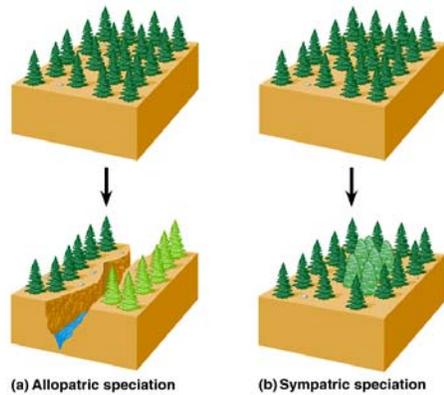
12.4.2. Isolasi geografik dapat menyebabkan spesiasi (pembentukan spesies baru)

Kunci asal-usul spesies adalah pemisahan populasi satu dengan yang lainnya, dalam hal ini pemisahan *gene pool*. Perubahan frekuensi alel yang disebabkan oleh seleksi alam, hanyutan gen (*genetic drift*), dan mutasi tidak dipengaruhi oleh aliran gen (*gen flow*) dari populasi lain. Pada pembentukan spesies baru, penghalang aliran gen antar populasi yang utama yaitu penghalang geografis (*geographic barrier*). Spesiasi semacam ini disebut spesiasi alopatrik (*allopatric speciation*), populasi yang terbentuk disebut populasi alopatrik. Proses geologi dapat menyebabkan populasi terfragmentasi menjadi satu atau lebih populasi yang terisolasi. Isolasi geografik memberi peluang terjadinya spesiasi tetapi belum tentu terjadi spesies baru. Spesies baru terjadi jika adanya penghalang reproduksi antara populasi terisolasi dengan populasi induk.



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved. Gambar 12.7. Isolasi geografik.

Tidak semua spesies terbentuk sebagai akibat dari isolasi geografik. Pada spesiasi simpatrik (*sympatric speciation*), isolasi reproduksi terjadi dan spesies baru terjadi tanpa pembatas geografik.



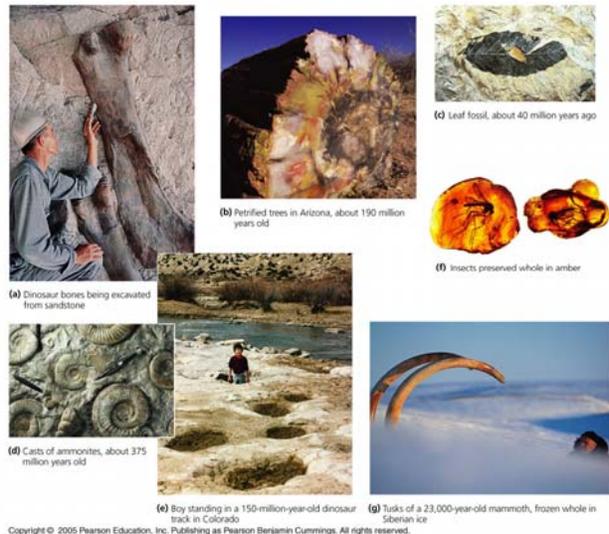
Gambar 12.8 Spesiasi, (a) allopatric, (b) sympatric.

12.5. Fosil

Informasi yang diperoleh dari para ahli antropologi dan paleontologi dari fosil dan peninggalan-peninggalan masyarakat purba memungkinkan para ilmuwan untuk mempersiapkan suatu bagan silsilah spesies manusia.

Spesies manusia berkembang secara perlahan-lahan dalam pengertian biologis maupun kultural. Hal ini diketahui berdasarkan fosil dari genus *Homo* yang ditemukan di India, Cina, Eropa, dan Afrika. Kata fosil berasal dari bahasa Latin, *fossilis* yang artinya menggali. Istilah fosil diartikan sebagai sisa-sisa hewan, tumbuhan, atau manusia yang telah membatu. Ilmu yang mempelajari tentang kehidupan purba melalui fosil disebut *Paleontologi*. *Paleoantropologi* yaitu ilmu yang mempelajari asal usul manusia serta evolusinya.

Sejumlah karakter turunan yang membedakan manusia dari hominoid lain (*hominid* : spesies yang lebih dekat kekerabatannya dengan manusia daripada simpanse) seperti: bipedal, rahang yang pendek, wajah yang rata. Selain itu manusia mempunyai otak lebih besar, mempunyai kemampuan menggunakan bahasa, mengartikan simbol serta mampu menggunakan alat.



Gambar 12.9. Contoh fosil-fosil makhluk hidup.

Berdasarkan catatan fosil, hominid tertua yaitu *Sahelanthropus tchadensis*, yang hidup sekitar 7-6 juta tahun lalu. Keanekaragaman hominid meningkat dramatis dalam kurun waktu 4-2 juta tahun yang lalu, dan kelompok ini disebut *Australopith*.

- *Australopith* mulai dikenal sejak ditemukannya *Australopithecus africanus* ('kera dari Afrika Selatan') di Afrika Selatan pada tahun 1924. Spesies ini hidup sekitar 3-2.4 juta tahun yang lalu.
- Tahun 1974 di daerah Afar, Etiopia, ahli paleoantropologi menemukan 40% rangka utuh berumur 3.24 juta tahun lalu, diberi nama *Lucy* atau *Australopithecus afarensis*. Fosil menunjukkan bahwa spesies ini berjalan dengan dua kaki.
- Bipedalisme merupakan karakter hominid yang sangat tua. *Australopithecus anamensis* mempunyai tulang kaki yang menunjukkan sifat bipedal. Tahun 1978, Mary Leakey seorang antropologis Inggris menemukan jejak kaki hominid di dalam debu vulkanik di Tanzania, Afrika Timur berumur 3.5 juta tahun yang lalu.

Hominid-hominid awal ini menunjukkan bahwa bipedalisme berevolusi jutaan tahun lalu sebelum berkembangnya ukuran otak.

12.5.1. Kapan dan di mana *Homo sapiens* muncul ?

- Fakta dari studi fosil dan DNA mendukung hipotesis bagaimana spesies manusia, *Homo sapiens* muncul dan menyebar di dunia. Saat ini sudah jelas bahwa nenek moyang manusia berasal dari Afrika. Spesies yang lebih tua (mungkin *H. ergaster* atau *H.*

- erectus*) berkembang menjadi *H. heidelbergensis* (asal Afrika; berumur 600 ribu tahun) dan pada akhirnya menjadi *H. sapiens*.
- Fosil manusia tertua ditemukan di Etiopia, berumur 160 ribu – 195 ribu tahun. Hal ini mendukung hipotesis bahwa spesies manusia muncul di Afrika, menyebar ke Asia, lalu ke Eropa dan Australia.
 - Fosil manusia tertua di luar Afrika berumur 50 ribu tahun.
 - Tahun 2004, peneliti melaporkan penemuan rangka hominid dewasa berumur 18 ribu tahun di pulau Flores.

Beberapa fosil temuan para ahli :

1. *Australopithecus* (*Australo* = Selatan, *pithecus* = kera), memiliki kepurbaan berkisar antara 2-5 juta tahun (zaman Pliosen). Fosil-fosilnya pertama kali ditemukan pada tahun 1924 di Afrika Selatan oleh **Raymond Dart**. Ada empat spesimen teridentifikasi, yaitu:
 - a. *Australopithecus africanus*, berevolusi menjadi manusia bipedal, menghabiskan sebagian besar waktunya di tanah, memakai batu, tulang, dan kayu sebagai senjatanya.
 - b. *Australopithecus robustus*, hidup di Afrika Selatan dengan usia yang lebih muda dari *A. africanus*.
 - c. *Australopithecus boisei*, ciri yang menonjol adalah gigi dan tulang rahang menjadi lebih kuat, berbadan kekar, dan berasal dari Afrika Timur.
 - d. *Australopithecus habilis*, ramping, intelegensinya lebih tinggi, disebut homo purba.
2. *Pithecanthropus* (*pithecus* = kera, *anthropus* = manusia), memiliki kepurbaan berkisar antara 2-0.2 juta tahun. Di Jawa ada 3 jenis yang teridentifikasi, yaitu:
 - a. *Pithecanthropus robustus (modjokertoensis)*, ditemukan di Perung, Mojokerto, Jawa Timur pada tahun 1936 oleh *Cokrohandoyo* (seorang mantri geologi) berupa tengkorak anak usia 6 tahun. Kemudian fosil-fosil lainnya yang sejenis ditemukan di Sangiran, Jawa Tengah.
 - b. *Pithecanthropus erectus*, ditemukan di Trinil, Jawa Timur pada tahun 1891 oleh *Eugene Dubois* dengan tungkai yang lebih modern, berotak primitif dengan rongga otak mencapai setengah dari *Homo sapiens*.

- c. *Pithecanthropus soloensis*, ditemukan di Ngandong, Blora, Jawa Tengah pada tahun 1932 oleh *Oppenoarth* merupakan tipe peralihan antara *P. Erectus* dan *Homo sapiens*.

Selain itu, ditemukan pula tiga spesies lainnya di dunia, yaitu:

- a. *Meganthropus palaejavanicus*, hingga sekarang masih dipertanyakan kelompoknya masuk ke *Meganthropus* atau *Pithecantropus*.
- b. *Homo neanderthalensis*, fosilnya banyak ditemukan di daratan Eropa dan Asia Barat, tetapi tidak dijumpai di Indonesia. Memiliki peradaban di tahun 200.000-40.000 SM. Merupakan makhluk yang ulet, tidak begitu liar, dan mempunyai rongga otak hampir sama dengan manusia modern.
- c. *Homo wadjakensis* (manusia wajak) ditemukan di Wajak, Tulungagung, Jawa Timur pada tahun 1889 oleh *Eugene Dubois*, berusia kira-kira 40.000 tahun.

Kemudian ditemukannya manusia dari Stabat, Gilimanuk, dan Plawangan. Selanjutnya hasil identifikasi menunjukkan penemuan *Homo sapiens* modern yang sudah melakukan cara bercocok tanam, menjinakkan binatang dan lebih berbudaya.

12.6. Teori asal usul kehidupan: bagaimana kehidupan bermula ?

Dari zaman Yunani kuno sampai abad 19, pendapat umum mengatakan bahwa sesuatu yang hidup berasal dari material tak hidup. Banyak orang percaya bahwa, lalat muncul dari daging yang busuk, ikan berasal dari lumpur di lautan, dan mikroorganisme berasal dari kaldu daging.

Sekitar abad 16, percobaan menunjukkan bahwa makhluk hidup besar seperti insekta tidak dapat muncul dari material tidak hidup. Meskipun begitu, perdebatan mengenai makhluk hidup mikroskopik berlanjut sampai tahun 1860-an. Tahun 1862, ilmuwan Perancis *Louis Pasteur* memastikan bahwa: semua kehidupan termasuk mikroba, berasal dari hasil reproduksi makhluk hidup sebelumnya,

Dalam Biologi dikenal tiga teori asal usul kehidupan yaitu:

12.6.1. Teori abiogenesis (generatio spontanea)

Aristoteles (384-322 SM), seorang ahli filsafat dan ilmu pengetahuan Yunani kuno, mengemukakan konsep bahwa *kehidupan berasal dari makhluk tak hidup*. Teori ini kita kenal dengan nama *generatio spontanea* atau *teori abiogenesis*. Dari hasil penelitian

Aristoteles tentang hewan-hewan yang hidup di air, ternyata ikan-ikan tertentu melakukan perkawinan kemudian bertelur. Dari telur-telur tersebut lahirlah ikan-ikan yang sama dengan induknya. tetapi ada juga percaya bahwa ikan-ikan tertentu dibentuk dari lumpur. Contoh orang yang percaya abiogenesis adalah **Nedham**, ilmuwan Inggris pada tahun 1700. Nedham melakukan penelitian dengan merebus kaldu dalam wadah selama beberapa menit lalu memasukkannya dalam botol dan di tutup dengan gabus. Setelah beberapa hari ternyata tumbuh bakteri dalam kaldu tersebut. Oleh karena itu Nedham menyatakan bahwa bakteri berasal dari kaldu. Namun, teori Nedham ini dapat dipatahkan oleh **Spallanzani** yang menggunakan air kaldu sebagai bahan penelitian.

Pada abad ke-17, **Antonie van Leeuwenhoek** berhasil membuat mikroskop. Dengan menggunakan mikroskop ia menemukan adanya benda-benda aneh yang sangat kecil dalam setetes air rendaman jerami. Penemuan Leuwenhoek ini merangsang kembali para peneliti lainnya untuk membuktikan kebenaran dari teori generatio spontanea, bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk tak hidup.

12.6.2. Teori biogenesis

Eksperimen terkenal yang menentang teori abiogenesis dilakukan antara lain oleh: **Fransesco Redi** (Itali), **Lazzaro Spalanzani** (Italia), dan **Louis Pasteur** (Perancis).

a. Percobaan Fransisco Redi

Fransisco Redi (1626 – 1698), fisikawan Italia, merupakan orang pertama yang melakukan penelitian untuk membantah teori generatio spontanea. Redi melakukan serangkaian penelitian menggunakan daging segar, ulat yang akan menjadi lalat dan lalat selalu ditemukan tidak jauh dari sisa- sisa daging.

b. Percobaan Lazzaro Spalanzani

Pada tahun 1765, biologiwan Italia yang bernama **Lazzaro Spalanzani** melakukan percobaan yang berlawanan dengan teori Nedham. Spalanzani menyatakan bahwa Nedham tidak merebus tabung cukup lama sampai semua makhluk hidup terbunuh dan Nedham juga tidak menutup leher tabung dengan rapat sekali sehingga masih ada makhluk hidup yang masuk dan tumbuh.

Dari percobaan yang di lakukannya Spalanzani menyimpulkan *timbulnya suatu kehidupan hanya mungkin jika telah ada suatu bentuk kehidupan sebelumnya*. Mikroorganisme yang terdapat dalam kaldu percobaan timbul karena adanya mikroorganisme yang telah lebih dulu tersebar sebelumnya di udara.

c. Percobaan Louis Pasteur

Louis Pasteur pada tahun 1864 melakukan percobaan menggunakan tabung berbentuk leher angsa. Pasteur sendiri meyakini bahwa sebuah sel pasti berasal dari sel sebelumnya. Pasteur dalam percobaannya merebus kaldu hingga mendidih kemudian mendinginkannya. Udara mampu masuk ke dalam tabung, namun partikel debu akan menempel pada leher tabung. Setelah sekian lama, ternyata tidak ada bakteri yang tumbuh. Namun setelah Pasteur memiringkan tabung leher angsa, air kaldu di dalam tabung kemudian ditumbuhi oleh mikroba. Hal ini membuktikan bahwa kehidupan yang ada berasal dari kehidupan sebelumnya.

Selanjutnya teori biogenesis dikenal dengan istilah "*omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo*", yang artinya kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari suatu kehidupan. Atau disebut juga *omne vivum ex vivo*, yang artinya adanya kehidupan karena telah ada kehidupan sebelumnya.

12.6.2. Teori pembentukan senyawa organik secara abiotik

Pencetus teori ini adalah **A.I. Oparin**, Harold Urey, dan **Stanley Miller**. Pada tahun 1953, Miller yang berusia 23 tahun menjadi mahasiswa pasca sarjana di laboratorium Harold Urey, Universitas Chicago. Saat itu, Miller mengadakan percobaan yang menunjukkan bahwa asam amino dan molekul organik lain dapat terbentuk secara abiotik. Percobaan Miller ini merupakan pengujian hipotesis mengenai asal-usul kehidupan yang dikembangkan di tahun 1920 oleh ahli biokimia Rusia A. I. Oparin dan ahli genetika Inggris, J. B. S. Haldane. Saat ini Miller menjadi profesor di Universitas Chicago, San Diego.

Percobaan A.I. Oparin

A.I. Oparin mengemukakan bahwa atmosfer primitif berisi gas metana, amonia, hidrogen dan air. Reaksi kimia yang terjadi membentuk molekul organik pertama. Hipotesis ini mendapat perhatian yang luar biasa tetapi tanpa pengujian tidak dapat diterima dengan baik.

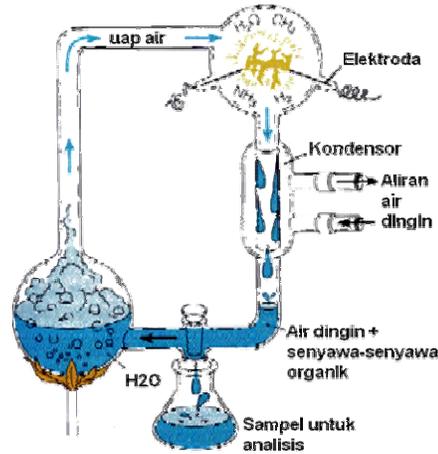
Percobaan Harold Urey dan Stanley Miller

Pembentukan molekul kompleks dari molekul sederhana membutuhkan energi. Miller dan Urey berpendapat bahwa sumber energi melimpah di lingkungan bumi purba. Miller dan Urey memprediksi bahwa molekul organik dapat terbentuk dari molekul anorganik dalam kondisi serupa itu. Percobaan Miller-Urey di

laboratorium merupakan simulasi bumi purba menggunakan apparatus dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Atmosfer mengandung uap air, gas hidrogen (H_2), metana (CH_4), dan amonia (NH_3).
2. Energi yang timbul dari aliran listrik seperti layaknya halilintar merupakan energi dalam reaksi kimia molekul-molekul
3. Kondensor mendinginkan uap air di dalam campuran gas-gas tersebut menyebabkan hujan (berisi gas terlarut)
4. Terbentuknya molekul organik sederhana

Sejak tahun 1950-an, Miller bersama peneliti lain menggunakan modifikasi apparatus untuk menghasilkan 20 macam asam amino, gula, lipid, nitrogen pembentuk DNA dan RNA bahkan ATP.



Gambar 12.10. Simulasi bumi purba menurut Miller.

Rangkuman

Proses kompleks pewarisan sifat makhluk hidup yang berubah dari generasi ke generasi dalam kurun waktu jutaan tahun disebut evolusi. Tiga tokoh pencetus teori evolusi adalah J. B. Lamarck, Charles Darwin, dan August Weismann.

Evolusi berdasarkan suatu gagasan bahwa perubahan pada suatu individu disebabkan oleh lingkungan dan bersifat diturunkan disebut teori Lamarck, dengan contoh jerapah memiliki leher yang panjang untuk mencapai daun-daun di pohon yang tinggi.

Ide-ide Charles Darwin dari buku *The Origin of Species by Means of Natural Selection* adalah makhluk hidup bervariasi dengan sifat yang dapat diturunkan; jumlah individu yang dilahirkan lebih banyak dari yang dapat bertahan hidup; individu-individu berkompetisi untuk memperoleh sumber daya agar mampu bertahan hidup; dimana sifat-sifat yang diwariskan milik individu membuat mereka dapat bertahan hidup dan bereproduksi pada keadaan lingkungan tertentu; dan sebagai akibat dari seleksi lingkungan, hanya individu dengan sifat yang adaptif terhadap lingkungan dapat hidup dan menurunkan sifat tersebut pada keturunannya. Seleksi alam akhirnya akan mengubah sifat dalam populasi, bahkan menghasilkan spesies baru.

August Weismann menyimpulkan bahwa: perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan ke generasi berikutnya, dan evolusi adalah masalah pewarisan gen-gen melalui sel gamet.

Frekuensi alel atau genotipe dalam populasi dapat stabil dan tetap berada dalam kesetimbangan Hardy-Weinberg dari suatu generasi ke generasi dengan syarat: populasi besar; tidak ada aliran gen; tidak ada mutasi (perubahan di dalam gen); terjadi perkawinan acak (random); tidak ada seleksi alam.

Penghalang reproduktif (*reproductive barriers*) mempertahankan terpisahnya spesies. Ada dua macam penghalang reproduktif yaitu:

1. Penghalang prezigotik; mencegah perkawinan atau fertilisasi antar spesies seperti isolasi musim (temporal), isolasi habitat, isolasi tingkah laku, isolasi mekanik, isolasi gametik
2. Penghalang poszigotik; mencegah perkembangan makhluk hidup dewasa yang fertil; zigot yang dihasilkan disebut hibrid zigot. Ada tiga macam penghalang poszigotik: Ketidakmampuan hibrid untuk

berkembang (*hybrid inviability*), sterilitas hibrid (*hybrid sterility*), kegagalan rantai pewarisan pada hibrid (*hybrid breakdown*)

Ilmu yang mempelajari tentang kehidupan purba melalui fosil disebut *Paleontologi*. *Paleoantropologi* yaitu ilmu yang mempelajari asal usul manusia serta evolusinya.

Dalam biologi dikenal tiga teori asal usul kehidupan yaitu: *teori abiogenesis (generatio spontanea)* oleh Aristoteles, Nedham, dan Anthonie van Leeuwenhoek. Eksperimen terkenal yang menentang teori abiogenesis dilakukan antara lain oleh: Francesco Redi (Itali), Lazzaro Spalanzani (Italia), dan Louis Pastur (Perancis) dengan teori biogenesisnya. Teori biogenesis dikenal dengan istilah "*omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo*", yang artinya kehidupan berasal dari telur, dan telur berasal dari kehidupan. Atau disebut juga *omne vivum ex vivo*, yang artinya kehidupan karena telah ada kehidupan sebelumnya.

Percobaan Harold Urey dan Stanley Miller menguji hipotesis mengenai asal-usul kehidupan dari A. I. Oparin mendapatkan bahwa pembentukan molekul kompleks dari molekul sederhana dengan bantuan energi.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Proses kompleks pewarisan sifat makhluk hidup yang berubah dari generasi ke generasi dalam kurun waktu jutaan tahun disebut
 - a. adaptasi
 - b. aklimatisasi
 - c. ekologi
 - d. domestikasi
 - e. evolusi
2. Permukaan bumi terbentuk melalui proses bertahap dalam jangka waktu yang lama dikemukakan oleh
 - a. Harold Urey
 - b. Stanley Miller
 - c. Lazzaro Spalanzani
 - d. Sir Charles Lyell
 - e. Melvin Calvin
3. Frekuensi alel/gen dalam populasi dapat stabil dan tetap berada dalam kesetimbangan dari suatu generasi ke generasi merupakan bunyi hukum dari
 - a. Mendel I
 - b. Mendel II
 - c. Hardy-Weinberg
 - d. Avogadro
 - e. Genetika populasi

4. Perubahan sel tubuh karena pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan ke generasi berikutnya adalah pendapat dari
 - a. August Weisman
 - b. Stanley Miller
 - c. A.I. Oparin
 - d. Nedham
 - e. Aristoteles

5. Dibawah ini adalah fosil yang diidentifikasi di Indonesia, kecuali
 - a. *Pithecantropus erectus*
 - b. *Australopithecus boisai*
 - c. *Pitheantropus robustus*
 - d. *Homo sapiens*
 - e. *Homo neanderthalis*

6. "Omne vivum ex ovo, omne ovum ex vivo", dikemukakan dalam teori
 - a. generatio spontanea
 - b. biogenesis
 - c. nebula
 - d. abiogenesis
 - e. evolusi kimia

7. Di bawah ini yang bukan pencetus teori asal-usul kehidupan adalah
 - a. Harold Urey
 - b. Stanley Miller
 - c. A.I. Oparin
 - d. Melvin Calvin
 - e. Aristoteles

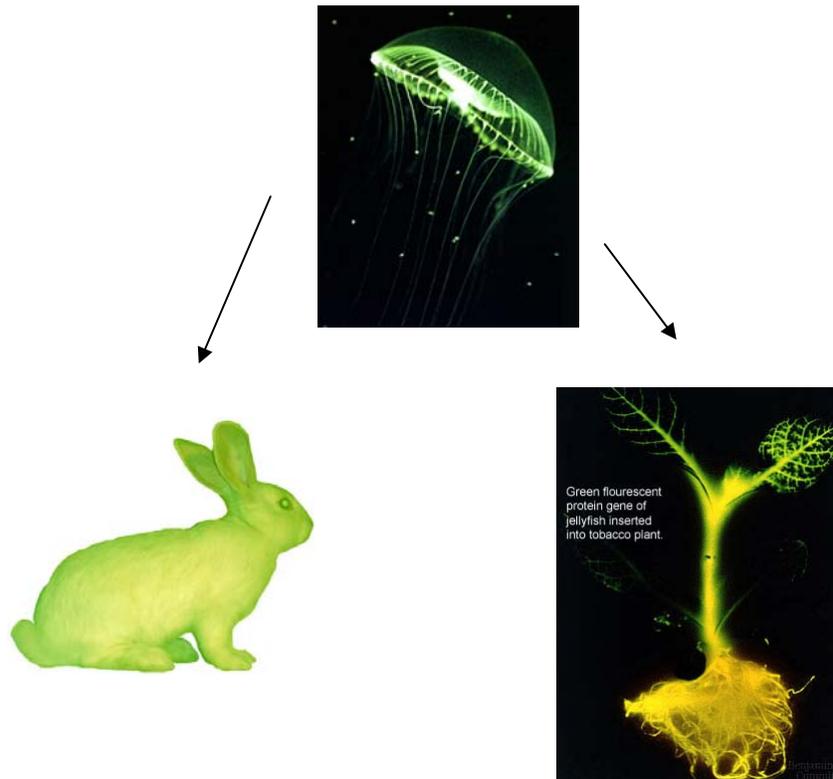
B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Tuliskan 5 bentuk ide-ide Charles Darwin yang dituliskannya dalam buku *The Origin of Species by Means of Natural Selection!*
2. Sebutkan perbedaan teori evolusi J.B. Lamarck dengan teori evolusi Charles Darwin!
3. Hukum Hardy-Weinberg berlaku dalam populasi dengan lima syarat. Jelaskanlah!
4. Apakah yang dimaksud dengan penghalang reproduksi? Jelaskan!
5. Apakah kalian setuju bahwa manusia berasal dari monyet? Berikan alasan kalian!
6. Jika dalam satu populasi terdapat 81% perasa PTC, 36% bukan perasa PTC. Hitunglah perbandingan frekuensi genotipe yang terdapat dalam populasi?

7. Dari 1000 orang penduduk yang diperiksa golongan darahnya berdasarkan sistem ABO, ditemukan 640 orang bergolongan A dan B, 320 orang AB, dan 40 orang O. Berapakah frekuensi alela I^A dan I^B dalam populasi itu?

BAB XIII

BIOTEKNOLOGI DAN PERANANNYA BAGI KEHIDUPAN



Gambar 13.1. Kelinci (a) dan Tanaman (b) yang dapat berpendar seperti ubur-ubur (c).

Coba kalian lihat foto kelinci dan tanaman yang dapat berpendar seperti hewan ubur-ubur pada Gambar 13.1. Ahli biologi molekular telah mengembangkan makhluk hidup yang dapat memancarkan cahaya seperti makhluk hidup laut ubur-ubur. Para peneliti memasukkan DNA dari makhluk hidup laut yang bertanggung jawab dalam memancarkan cahaya ke dalam zigot kelinci atau kromosom tanaman. Akibatnya, dihasilkan kelinci ataupun tanaman yang mengalami perubahan genetik sehingga dapat berpendar hijau pada keadaan tertentu. DNA kelinci ataupun tanaman yang dapat berpendar hijau ini merupakan hasil rekayasa genetik menggunakan teknologi DNA rekombinan. Rekayasa genetik merupakan bagian bioteknologi modern yang belakangan ini berkembang sangat pesat.

Praktek bioteknologi sebenarnya telah berlangsung sejak berabad-abad yang lalu, yaitu melalui bioteknologi tradisional. Contohnya penggunaan mikroba untuk membuat minuman anggur dan keju, serta pemuliaan atau penangkaran hewan ternak dan tanaman.

Standar Kompetensi

Mengidentifikasi pengembangan bioteknologi dan dampaknya bagi kehidupan

Kompetensi Dasar

- 13.1. Mengidentifikasi ciri dan sifat mikroorganisme dalam proses bioteknologi.
- 13.2. Mengidentifikasi dampak pengembangan bioteknologi.
- 13.3. Mengidentifikasi peranan bioteknologi bagi pertanian sampai kesehatan manusia.

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari *Bioteknologi dan Peranannya Bagi Kehidupan*, kalian diharapkan dapat memahami, menafsirkan, dan mengkomunikasikan pemahaman konsep, penerapan dan pengembangan bioteknologi dalam kehidupan.

Kata-Kata Kunci

Antiserum	Mikoprotein
Bioteknologi	Makhluk hidup transgenik
Bioteknologi modern	Pencucian mikrobial
Bioteknologi tradisional	Penguraian lumpur
Bakteri Mesofil	Plasmid
Bakteri Psikrofil	Protein Kristal Insektisida
Bakteri Toksoid	Protein Sel Tunggal
Eksplan	Rekayasa genetik
Enzim ligase	Termofil
Enzim restriksi endonuklease	Toksitas selektif antibiotik
Fertilisasi invitro	Vaksin atenuasi

13.1. Ciri dan sifat mikroorganisme

Bioteknologi secara harafiah berarti ilmu yang menerapkan prinsip-prinsip biologi. Pengertian bioteknologi yang lebih lengkap adalah pemanfaatan teknik rekayasa terhadap makhluk hidup, sistem, atau proses biologis untuk menghasilkan atau meningkatkan potensi makhluk hidup maupun menghasilkan produk dan jasa bagi kepentingan hidup manusia.

Bioteknologi tidak terlepas dari mikroorganisme sebagai subyek (pelaku). Mikroorganisme yang dimaksud adalah virus, bakteri, cendawan, alga, protozoa, tanaman maupun hewan. Mikroorganisme menjadi subyek pada proses bioteknologi karena beberapa hal berikut ini:

1. Reproduksi yang sangat cepat.
Dalam hitungan menit telah dapat berkembang biak sehingga merupakan sumber daya hayati yang sangat potensial. Mikroorganisme dapat memproses bahan-bahan menjadi suatu produk dalam waktu yang singkat.
2. Mudah diperoleh dari lingkungan kita.
3. Memiliki sifat tetap, tidak berubah-ubah.
4. Melalui teknik rekayasa genetik para ahli dapat dengan cepat memodifikasi/ mengubah sifat mikroorganisme sehingga dapat menghasilkan produk yang sesuai dengan yang kita inginkan.
5. Dapat menghasilkan berbagai produk yang dibutuhkan oleh manusia dan tidak tergantung musim/iklim.

Pemanfaatan mikroorganisme untuk bioteknologi sangat membantu manusia untuk mengatasi berbagai masalah, misalnya di bidang makanan, pertanian, pengobatan, limbah, industri, dan lainnya.

Sejak tahun 6000 SM, orang telah mengenal proses fermentasi pada bahan makanan misalnya untuk membuat bir. Namun, bukti bahwa mikroorganisme inilah yang melakukan fermentasi baru diketahui setelah penelitian yang dilakukan oleh Louis Pasteur (1857-1876). Saat ini, teknologi produksi bahan makanan melalui fermentasi dikategorikan dalam bioteknologi konvensional/klasik. Coba kalian sebutkan produk/bahan makanan atau minuman yang diproduksi melalui proses fermentasi.

Teknologi yang telah diterapkan untuk menghasilkan produk dalam skala industri dengan menggunakan makhluk hidup, sistem atau proses bioteknologi dikategorikan sebagai bioteknologi modern. Bioteknologi modern ini sangat tergantung pada mikrobiologi, biokimia, dan rekayasa genetika.

13.2 Ilmu-ilmu yang digunakan dalam bioteknologi

Dewasa ini, setiap perkembangan ilmu yang dihasilkan manusia pasti diikuti dengan penerapannya dalam kehidupan. Ilmu tersebut dikembangkan dengan metode ilmiah dan diterapkan dalam bentuk teknologi.

Hal ini terjadi juga pada biologi. Biologi telah berkembang dengan pesat, terutama cabang-cabang mikrobiologi dan genetika, serta cabang kimia yaitu biokimia. Cabang-cabang biologi dan kimia ini kemudian diterapkan dalam bentuk bioteknologi. Disamping itu perkembangan ilmu

komputer juga mendukung pengembangan bioteknologi menjadi cabang ilmu bioinformatika.

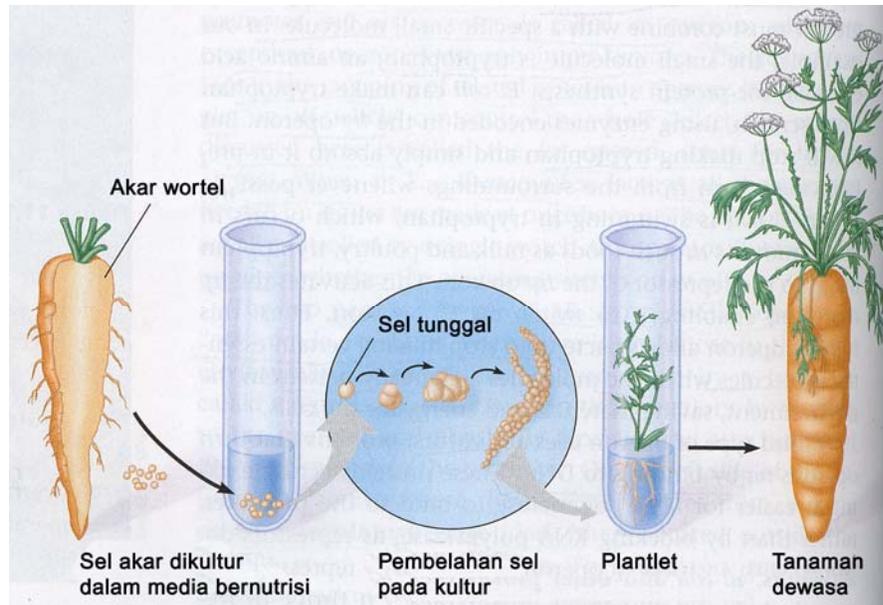
13.2.1. Mikrobiologi

Mikrobiologi merupakan cabang biologi yang mempelajari tentang mikroba atau jasad renik. Pengaturan sifat-sifat dan struktur mikroba mendukung kemajuan bioteknologi. Misalnya, mikroba berupa bakteri dapat tumbuh pada kisaran suhu tertentu. Bakteri dapat digolongkan sebagai psikrofil yang tumbuh pada suhu 0°C hingga 30°C , mesofil yang tumbuh pada suhu 25°C hingga 40°C , dan termofil yang tumbuh pada suhu 50°C atau lebih. Pengetahuan mengenai bakteri ini dapat digunakan saat membuat *yogurt*. *Yogurt* dibuat dari susu yang difermentasikan dengan menggunakan bakteri *Lactobacillus bukgaricus* pada suhu 40°C selama 2.5 sampai 3.5 jam.

13.2.2. Biologi Sel

Biologi sel merupakan cabang biologi yang mempelajari sel. Pengetahuan mengenai sifat-sifat dan struktur sel akan mendukung aplikasi bioteknologi. Pengetahuan mengenai sifat protoplasma suatu sel yang dapat berfusi atau bergabung dengan protoplasma sel lain pada spesies yang sama, bermanfaat bagi aplikasi fusi sel di bidang pemuliaan tanaman sehingga dapat menghasilkan tanaman yang lebih unggul karena semua bagian sel bergabung, tidak seperti melakukan perkawinan antara bunga jantan dan betina.

Selain itu pengetahuan mengenai sifat totipotensi pada sel-sel tanaman sangat bermanfaat untuk pengembangan kultur jaringan. Totipotensi merupakan kemampuan sel-sel tanaman hidup untuk berdefrisiensi menjadi berbagai organ tanaman yang baru bahkan menjadi tanaman lengkap (Gambar 13.2).



Gambar 13.2. Kemampuan totipotensi tanaman.

13.2.3. Genetika

Genetika merupakan cabang biologi yang mempelajari sifat-sifat genetik makhluk hidup dan sistem pewarisannya dari satu generasi ke generasi berikutnya. Pemahaman mengenai bentuk dan karakteristik DNA (gen) yang berperan dalam mengontrol suatu sifat akan membantu percepatan kemajuan bioteknologi. Beberapa penemuan seperti tanaman tomat yang tidak mudah busuk, insulin yang dihasilkan oleh mamalia dan diperlukan untuk pengobatan diabetes telah dapat disintesis dengan memasukkan gen yang bertanggung jawab untuk insulin ke dalam bakteri *Escherichia coli* dan memproduksinya. Hal ini merupakan salah satu penerapan ilmu genetika dalam bioteknologi.

13.2.4. Biokimia

Biokimia merupakan cabang ilmu kimia yang mempelajari makhluk hidup dari aspek kimianya. Biokimia menganggap hidup adalah menyangkut proses kimia, sehingga dengan pengetahuan biokimia maka ahli bioteknologi memperlakukan makhluk hidup sebagai bahan kimia yang dapat dipadukan dan direaksikan.

Selain mikrobiologi, biologi sel, dan biokimia, ilmu-ilmu lain juga digunakan dalam bioteknologi. Contohnya virologi (ilmu mengenal virus), teknologi pangan, biologi pertanian, biologi kedokteran, biologi kehutanan dan ilmu komputer.

13.3. Dampak pengembangan bioteknologi

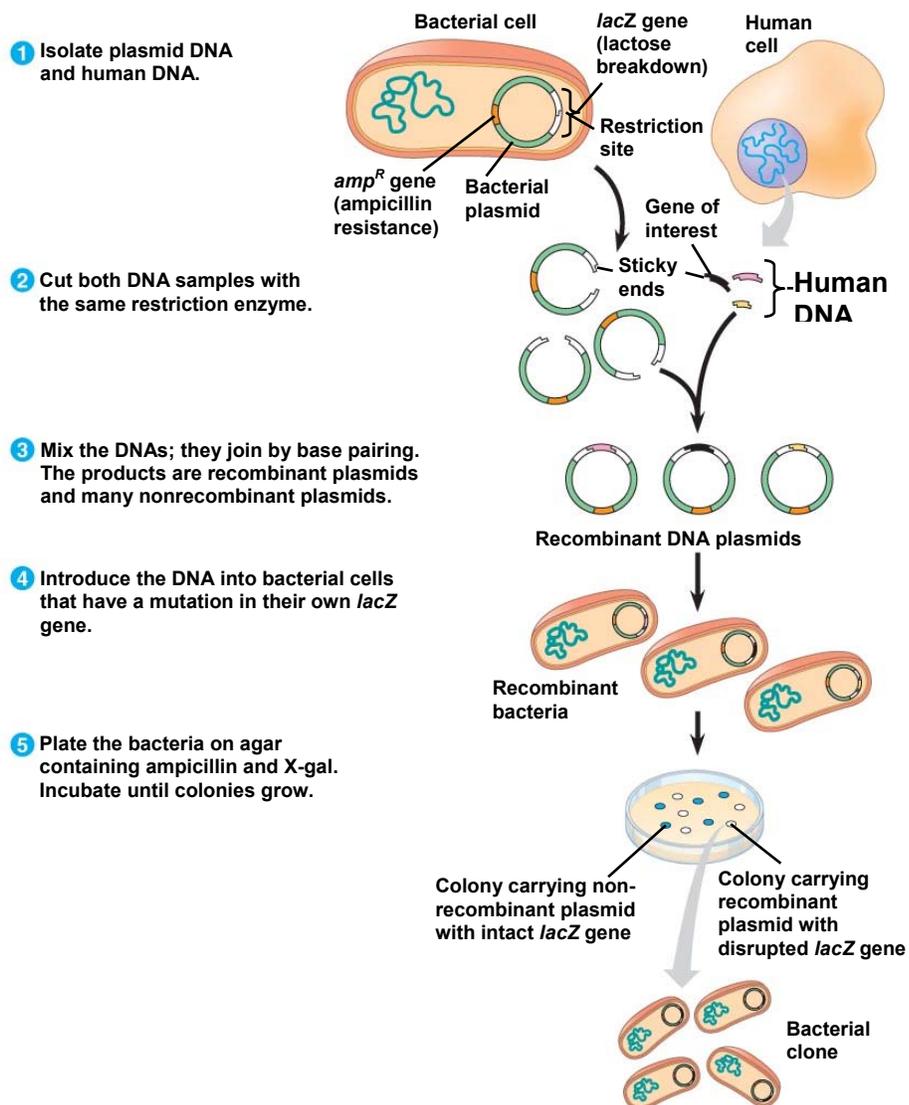
Perkembangan bioteknologi telah melalui sejarah yang panjang sebelum manipulasi genetik mulai berkembang. Secara tidak langsung masyarakat telah banyak melakukan kegiatan bioteknologi, walaupun tanpa sebutan bioteknologi, seperti: memanfaatkan mikroba pada proses fermentasi untuk membuat minuman, roti, keju. Proses seleksi tanaman yang dilakukan oleh para petani untuk mendapatkan tanaman unggul maupun melalui persilangan juga merupakan kegiatan bioteknologi, demikian juga dengan penangkaran hewan. Kegiatan seperti diatas ini juga disebut sebagai bioteknologi tradisional.

Sebaliknya, bioteknologi modern yang menggunakan proses rekayasa genetika mulai berkembang setelah penemuan struktur DNA sekitar tahun 1950, yang diikuti dengan penemuan-penemuan lainnya, seperti: enzim pemotong DNA (enzim restriksi endonuklease), enzim yang dapat menggabungkan DNA (enzim ligase). Selanjutnya ditunjukkan dengan keberhasilan menciptakan DNA rekombinasi melalui penggabungan DNA dari dua makhluk hidup yang berbeda. Teknologi DNA rekombinasi atau yang juga dikenal dengan teknik kloning merupakan contoh bioteknologi modern.

Bioteknologi pada saat ini lebih didasarkan kepada teknik manipulasi atau rekayasa DNA. Manipulasi DNA dimulai dengan mengisolasi DNA yang bertanggung jawab untuk sifat tertentu dengan bantuan enzim pemotong DNA, selanjutnya digabungkan dengan bantuan enzim ligase dan memindahkannya pada makhluk hidup yang berbeda seperti bakteri, hewan dan tumbuhan (Gambar 13.3). Hasil dari teknik tersebut diantaranya adalah insulin manusia yang dihasilkan dengan bantuan bakteri *E. coli*, kloning domba Dolly, tanaman kapas tahan insektisida.

13.3.1 Aplikasi bioteknologi

Selama kurang lebih empat dasawarsa terakhir, kita melihat begitu pesatnya perkembangan bioteknologi tradisional maupun modern diberbagai bidang. Pesatnya perkembangan bioteknologi ini sejalan dengan tingkat kebutuhan hidup manusia di muka bumi. Hal ini dapat dipahami, mengingat bioteknologi menjanjikan suatu revolusi pada hampir semua aspek kehidupan manusia, mulai dari bidang pertanian, peternakan hingga kesehatan dan pengobatan maupun ketahanan negara (HANKAM).



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Gambar 13.3. Teknologi DNA rekombinan.

13.3.1.1. Bioteknologi tradisional

Aplikasi bioteknologi tradisional mencakup berbagai aspek pada kehidupan manusia, seperti aspek pangan, pertanian, peternakan, hingga kesehatan dan pengobatan.

13.3.1.1.1. Bidang pangan

Mikroorganisme dapat menjadi bahan pangan ataupun mengubah bahan pangan menjadi bentuk lain. Proses yang dibantu oleh mikroorganisme misalnya melalui fermentasi, seperti keju, yoghurt, dan berbagai makanan lain termasuk kecap dan tempe. Pada masa mendatang diharapkan peranan mikroorganisme dalam penciptaan makanan baru seperti mikroprotein dan protein sel tunggal. Mengetahui sifat dan cara hidup mikroorganisme juga akan sangat bermanfaat dalam perbaikan teknologi pembuatan makanan.

1. Pembuatan roti

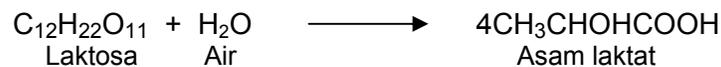
Pada pembuatan roti, biji-bijian sereal dipecah dahulu untuk membuat tepung terigu. Selanjutnya oleh enzim amilase tepung dirubah menjadi glukosa. Selanjutnya khamir *Saccharomyces cerevisiae*, yang akan memanfaatkan glukosa sebagai substrat respirasinya sehingga akhirnya membentuk gelembung-gelembung yang akan terperangkap pada adonan roti. Adanya gelembung ini menyebabkan roti bertekstur ringan dan mengembang. Sedangkan jika ditambah protease maka roti yang dihasilkan akan bertekstur lebih halus.

2. Pengolahan hasil susu

Susu dapat diolah dengan bioteknologi sehingga menghasilkan produk-produk baru, seperti keju, mentega dan yogurt.

a. Keju

Pada pembuatan keju, kelompok bakteri yang dipergunakan adalah bakteri asam laktat. Bakteri ini berfungsi memfermentasikan laktosa dalam susu menjadi asam laktat menurut reaksi berikut.



Bakteri asam laktat yang bisa digunakan adalah *Lactobacillus* dan *Streptococcus*. Di dalam proses pembuatan keju, susu terlebih dahulu di panaskan 90°C atau dipesteurisasikan melalui pemanasan sebelum kultur bakteri asam laktat dinokulasikan (di tanam). Akibat aktivitas bakteri, pH menjadi turun dan mengakibatkan susu terpisah menjadi dadih padat dan cairan *whey*; proses ini disebut pepadahan. Kemudian ditambahkan enzim renin dari lambung sapi muda untuk menggumpalkan dadih. Pada saat ini, enzim rennin dari sapi sudah digantikan dengan enzim buatan yaitu kimosin. *Whey* yang terbentuk dimanfaatkan sebagai makanan sapi, sedangkan dadih yang terbentuk dipanaskan dengan suhu 32-42°C sehingga menghasilkan keju. Selain itu pada

pembuatan keju juga digunakan cendawan agar kualitas lebih baik. Ada 4 macam jenis keju, yaitu :

1. keju sangat keras, contoh: keju Romano, keju Permesan.
2. keju keras , contoh: keju Cheddar, keju Swiss.
3. keju setengah lunak, contoh: keju Requefort (keju biru).
4. keju lunak, contoh: keju Camembert.

b. Yoghurt

Pada yoghurt, susu dipasteurisasi dahulu, lalu sebagian besar lemak dibuang. Mikroorganime yang digunakan adalah bakteri asam laktat, yaitu *Lactobaphillus* dan *Streptococcus thermophilus*. Kedua bakteri ini ditambahkan pada susu dengan jumlah yang seimbang, lalu disimpan dalam suhu 45°C selama 5 jam. Dalam penyimpanan ni pH turun jadi 4,0 akibat didinginkan dan bisa ditambahkan cita rasa buah jika diinginkan.

Yoghurt berasal dari bahasa Turki serta memiliki nama lain seperti *mast* (Iran), *kiselmleka* (Balkan), *mauzun* (Armenia), *cieddu* (Italia). Yoghurt yang cukup terbaik adalah tanpa rasa tanpa warna (cukup ditambah gula saja).

c. Mentega

Pada pembuatan mentega, mikroorganime yang digunakan adalah *Streptococcuslactis* dan *Leuconostoc cremoris* yang membantu proses pengasaman. Setelah itu, susu ditambah dengan cita rasa tertentu, kemudian lemak mentega dipisahkan. Pengadukan lemak mentega menghasilkan mentega yang siap makan.

3. Produk makanan lain

Pengolahan produk makanan lain dapat berupa sayur, buah dan sebagainya. Di antaranya akan dijelaskan berikut ini:

a. Sauerkraut

Sauerkraut adalah sayuran yang diasamkan agar dapat awet di simpan. Cara membuatnya, sayuran seperti kol atau sawi diirisi kemudian dicampur dengan garam lalu di tekan dalam tempat penyimpanan untuk mengeluarkan udara. Kemudian di tambahkan bakteri asam laktat. Aktivitas bakteri ini meurunkan pH menjadi 5.0. pH ini mencegah mikroorganime lain tumbuh, selain itu dapat menimbulkan cita rasa unik akibat akumulasi zat organik yang oleh bakteri.

- b. Penyimpanan zaitun dan timun
Zaitun dan timun dapat diawetkan dengan menyimpannya dalam larutan garam yang ditambah bakteri asam laktat. Dalam kondisi anaerob, bakteri tumbuh dengan subur dan menurunkan pH hingga 4.0. Dengan pH rendah ini aktivitas mikroba lain dapat dicegah.
- c. Tahu kuning, tahu putih, dan tempe dibuat dari kedelai menggunakan cendawan *Rhizopus* (Gambar 13.4)



Gambar 13.4. Produk tahu 2 bentuk dan 2 warna.

- d. Oncom, dibuat dari bungkil kacang tanah menggunakan cendawan *Neurospora sithopila*.
- e. Tapai, dibuat dari ketela pohon dengan menggunakan khamir *Saccharomyces cereviceae*.

13.2.1.1.2. Bidang pertanian

Beberapa contoh bioteknologi tradisional di bidang pertanian ialah:

1. Hidroponik, merupakan cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai tempat menanam tanaman (Gambar 13.5).



Gambar 13.5. Hidroponik tanaman selada air.

2. Seleksi tanaman yang memiliki karakter yang unggul seperti biji besar atau tinggi maupun produksi yang besar.

13.2.1.1.3. Bidang peternakan

Beberapa contoh bioteknologi tradisional di bidang peternakan misalnya pada:

1. Domba ankon, merupakan domba berkaki pendek dan bengkok, hasil mutasi alami.
2. Sapi "Jersey" yang diseleksi oleh manusia agar menghasilkan susu berkrim banyak (Gambar 13.6).



Gambar 13.6. Sapi bersusu krim tinggi.

13.2.1.1.4. Kesehatan dan pengobatan

Beberapa contoh bioteknologi tradisional di bidang pengobatan, misalnya:

1. Antibiotik yang digunakan manusia untuk pengobatan diisolasi dari bakteri dan jamur (Gambar 13.7)



Gambar 13.7. Cendawan penghasil penisilin.

2. Vaksin merupakan mikroorganismenya atau bagian mikroorganismenya yang sifat virulensinya telah dimatikan, bermanfaat untuk meningkatkan imunitas.

13.2.1.2. Bioteknologi modern

Aplikasi bioteknologi modern juga mencakup berbagai aspek kehidupan manusia, misalnya pada aspek pangan, pertanian, peternakan hingga kesehatan dan pengobatan.

13.2.1.2.1. Pangan

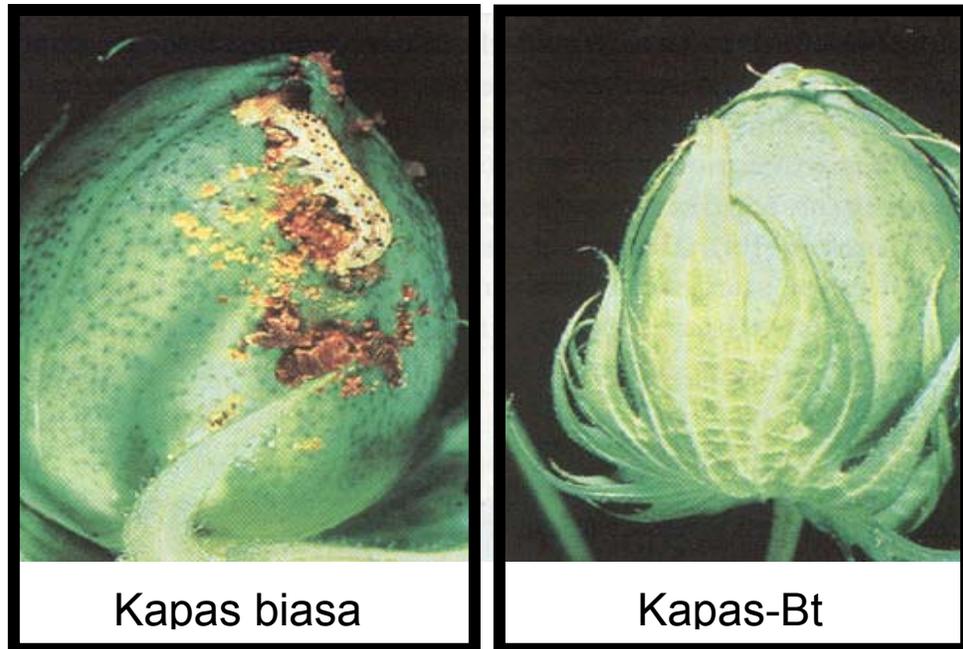
Beberapa contoh bioteknologi modern di bidang pangan, misalnya:

1. Kandungan vitamin A pada tanaman padi *Golden rice*.
2. Kentang yang telah mengalami mutasi genetik sehingga kadar pati kentang meningkat 20% dari kentang biasa.

13.2.1.2.2. Bidang pertanian

Beberapa contoh bioteknologi modern di bidang pertanian, misalnya:

1. Tanaman jagung, kapas dan tomat yang resisten terhadap serangan penyakit gen tertentu (setelah gennya dimanipulasi menggunakan teknologi DNA rekombinan) (Gambar 13.8).



Gambar 13.8. Kapas resisten serangan serangga (Kapas BT)

3. Tanaman padi tahan genangan air. (Gambar 13.9).



Gambar 13.9. Tanaman padi tahan genangan air.

4. Pohon jati 10 bulan dengan tinggi 7 m dari teknik kultur jaringan/mikropropagasi (Gambar 13.10).



Gambar 13.10. Ketinggian pohon jati super.

13.2.1.2.3. Bidang peternakan

Beberapa contoh bioteknologi modern di bidang peternakan, yaitu:

1. Pembelahan embrio secara fisik (*splitting*) (Gambar 13.11) mampu menghasilkan kembar identik pada domba, sapi, babi, dan kuda.



Gambar 13.11. *Splitting* pada domba.

2. Ternak unggul hasil manipulasi genetik, contohnya unggul pada daging dan susunya
3. Ikan salmon yang disisipkan hormon pertumbuhan menjadi 2 kali lipat besarnya (Gambar 13.12)



Gambar 13.12. Ikan salmon yang ditambahkan gen hormon pertumbuhan.

13.2.1.2.4. Kesehatan dan pengobatan

Beberapa contoh bioteknologi modern di bidang kesehatan dan pengobatan antara lain:

1. Hormon insulin manusia yang dihasilkan dengan bantuan *Escherichia coli* (Gambar 13.13)
2. manipulasi produk vaksin dengan menggunakan *E. coli* agar lebih efisien.

13.3. Bioteknologi dengan menggunakan mikrobiologi

Bioteknologi tradisional maupun modern telah menggunakan mikroorganisme sebagai bagian suatu proses untuk meningkatkan produk dan jasa. Bioteknologi umumnya menggunakan mikroorganisme seperti bakteri, khamir (yeast), dan kapang, dengan alasan:

1. pertumbuhannya cepat.
2. sel-selnya mempunyai kandungan protein yang tinggi.
3. dapat menggunakan produk-produk sisa sebagai substratnya misalnya dari limbah pertanian.
4. menghasilkan produk yang tidak toksik.
5. sebagai makhluk hidup, reaksi biokimianya dikontrol oleh enzim makhluk hidup itu sendiri sehingga tidak memerlukan tambahan reaktan dari luar.



Gambar 13.13. hormon insulin yang diproduksi menggunakan bakteri *E. Coli*.

Bioteknologi yang menggunakan mikroorganisme antara lain penemuan dan penyelesaian masalah pangan, obat-obatan, pembasmian hama tanaman, pencemaran, dan pemisahan logam dari bijih logam.

13.3.1. Mikroorganisme pengubah dan penghasil makanan atau minuman

Mikroorganisme dapat mengubah nilai gizi makanan atau minuman dalam proses fermentasi. Proses fermentasi merupakan perubahan enzimatik secara anaerob dari senyawa organik menjadi produk organik yang lebih sederhana. Aktivitas mikroorganisme tersebut antara lain dalam fermentasi yang mengubah ampas tahu atau kacang kedelai menjadi oncom, kacang kedelai menjadi tempe atau putih menjadi arak hitam atau putih. Mikroorganisme pada proses fermentasi menyebabkan:

- a. perubahan senyawa-senyawa kompleks pada makanan atau minuman menjadi senyawa yang lebih sederhana.
- b. peningkatan cita rasa dan aroma makanan atau minuman. Misalnya oncom dapat dibuat dari ampas tahu, kelapa atau kacang tanah dengan penambahan mikroorganisme berupa *Neuspora*. *Neuspora* mengeluarkan enzim amilase, lipase, dan protease yang aktif selama proses fermentasi, juga menguraikan bahan-bahan dinding sel ampas kacang kedelai atau kelapa. Fermentasi pada pembuatan oncom juga menyebabkan terbentuknya sedikit alkohol dan berbagai ester yang beraroma sedap.

Mikroorganisme dapat dijadikan langsung sebagai sumber pembuatan makanan. Hal ini disebabkan:

- a. massa mikroorganisme tumbuh menjadi dua kali lipat dalam waktu satu jam, sedangkan massa tumbuhan atau hewan memerlukan waktu berminggu-minggu.

- b. massa mikroba minimal mengandung 40% protein serta mempunyai kandungan vitamin dan mineral yang tinggi. Pada tabel 15.1 berikut terlihat bahwa protein yang dihasilkan setiap hari dari 1000 biomassa (kg) bakteri mencapai nilai tertinggi dibandingkan produksi protein oleh hewan ternak, tanaman kacang kedelai, dan khamir.

Tabel 13.1 produksi protein oleh berbagai jenis makhluk hidup.

Makhluk hidup	Protein yang dihasilkan setiap hari dari 100 g sampai biomasa (kg)
Hewan ternak	1
Tanaman kacang kedelai	100
Khamir	100000
Bakteri	1.000.000.000.000.000.

Makanan yang berasal dari mikroorganisme disebut protein sel tunggal (PST) atau disebut juga *single-cell* (SCP). Tunggal merupakan makanan kaya protein yang berasal dari mikroorganisme.

Awalnya, sekitar tahun 1960-an mikroorganisme protein sel tunggal ditumbuhkan dalam medium yang mengandung minyak. Namun, meningkatnya harga minyak pada tahun 1970 menyebabkan produksi protein sel tunggal ditumbuhkan di dalam sirup glukosa, ampas buah-buahan, dan sisa berbagai produk pertanian.

Contoh mikroorganisme protein sel tunggal yaitu cendawan *Fusarium gramineum* yang mengandung protein 45% dan lemak 13%. *Fusarium* sangat bergizi, disebut sebagai mikroprotein. Merek dagang mikroprotein disebut *Quorn*. *Quorn* merupakan produk seperti lembaran adonan kue. *Quorn* yang ditambah dengan berbagai warna dan aroma dapat menghasilkan berbagai macam makanan, juga dapat digunakan sebagai pengganti daging sapi dan ayam. *Quorn* juga sering digunakan sebagai campuran untuk membuat sosis (Gambar 13.14).



Gambar 13.14. Beberapa produk hasil bioteknologi: a. sosis b. ikan c.daging, d. Mie, e.kultur sel hewan f. Tape.

13.3.2. Mikroorganisme penghasil obat

Mikroorganisme merupakan agen yang dapat membantu bidang pengobatan. Mikroorganismenya tersebut misal digunakan untuk membuat antibiotik dan vaksin, seperti yang akan dibahas berikut ini.

13.3.2.1. Antibiotik

Merupakan senyawa yang dihasilkan oleh suatu mikroorganisme untuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme lain. Banyak ditemukan mikroorganisme yang mengandung substansi dengan aktivitas antibiotik.

13.3.2.2. Penisilin

Diproduksi secara komersial dicampurkan dengan berbagai senyawa, namun komponen utama berupa penisilin. Komponen utama penisilin tersebut merupakan penisilin G yang dapat diubah menjadi bentuk-bentuk lain dengan aktivitas yang sedikit berbeda. Penisilin G terdegradasi oleh asam lambung sehingga penisilin ini lebih baik diberikan melalui suntikan.

Contoh lain adalah penisilin yang tidak dapat dipengaruhi oleh asam lambung sehingga dapat dikonsumsi dalam bentuk sirup maupun tablet. Adanya kisaran pada penisilin memungkinkan staf kesehatan untuk memilih jenis pengobatan yang paling sesuai dengan penyakit tertentu. Pilihan-pilihan ini juga membantu menuntaskan perkembangan resistansi penyakit terhadap obat.

13.3.2.3. Sefalosporin

Dihasilkan oleh jamur *Chepalosporium* yang dijemukan pada tahun 1984. Sefalosporin aktif untuk bakteri yang mempunyai karakter dengan kisaran yang kurang lebih sma dengan penisilin. Sefalosporin terbaru sangat efektif untuk melawan bakteri yang resisten terhadap penisilin.

13.3.2.4. Tetrasiklin

Dihasilkan oleh bakteri *Sterptomycin aureofaciens*. Berbagai bentuk tetrasiklin aktif melawan bakteri yang mempunyai karakter dengan dengan kisaran kurang lebih sama dengan penisilin. Walau demikian, berkembangnya resistensi telah mengurangi efektivitas antibiotik ini. Tetrasiklin mengikat kalsium dan diakumulasi dalam tulang dan gigi yang sedang berkembang.

13.3.2.5. Eritromisin

Mempunyai kisaran yang sama dengan penisilin. Eritromisin bermanfaat untuk melawan bakteri yang resisten terhadap penisilin atau dapat digunakan untuk pasien yang alergi terhadap penisilin.

Pada antibiotik berarti bakteri dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan namun, tidak menyebabkan kerusakan pada sel-sel inang atau sel-sel tubuh manusia. Antibiotik mempunyai target tertentu yang hanya terdapat pada sel bakteri, misalnya penisilin dan sefalosporin mampu menghambat biosintesis sel bakteri.

13.3.2.6. Vaksin

Merupakan mikroorganisme atau bagian mikroorganisme yang telah dilemahkan. Vaksin dimasukkan (dengan disuntikkan atau oral) ke dalam tubuh manusia agar sistem kekebalan tubuh manusia aktif melawan mikroorganisme tersebut. Vaksin telah membantu berjuta-juta orang di dunia dalam pencegahan serangan penyakit yang serius. Vaksin berasal dari sumber-sumber berikut.

a. Mikroorganisme yang telah mati

Penggunaan mikroorganisme yang telah mati antara lain digunakan untuk menghasilkan vaksin batuk rejan dari bakteri penyebab batuk rejan. Bakteri tersebut dimatikan dengan pemanasan atau penggunaan senyawa kimia untuk mendenaturasi enzimnya.

b. Mikroorganisme yang telah dilemahkan

Vaksin yang dihasilkan dari mikroorganisme yang sudah dilemahkan disebut sebagai *atermsi*. Vaksin yang melawan aktivitas bakteri secara cepat merupakan vaksin *atenuasi*. Contoh vaksin yang menggunakan sumber tersebut adalah vaksin difteri dan tetanus yang dihasilkan dari substansi toksin yang sudah tidak berbahaya dari bakteri. Toksoid bertujuan untuk merangsang produksi toksin, namun mengurangi resiko terinfeksi oleh bakteri dari jenis tertentu.

13.3.3. Mikroorganisme pembasmi hama tanaman

Mikroorganisme di alam dapat dijadikan sebagai agen pengendali hayati, yaitu pengendalian terhadap hama dengan menggunakan musuh alami. Misalnya pengendalian hama serangga pada tanaman pertanian dengan menggunakan bakteri patogen serangga, yaitu *Bacillus thuringiensis* (Bt).

Bakteri Bt dapat ditemukan di tanah dan tanaman *Bacillus thuringiensis* merupakan spesies bakteri yang dikembangkan menjadi insektisida mikrobial. Bakteri Bt menghasilkan protein kristal yang dapat membunuh serangga maupun larva atau ulat serangga. Aktivitas Bt pada tanaman misalnya membunuh ngengat yang menjadi hama pada buah apel, dan pir, ulat pada kol (kubis), brokoli, dan kentang.

Bt yang telah dikembangkan dalam jumlah besar dicampur dengan cairan tertentu berfungsi sebagai perekat dan langsung dapat disemprot pada tanaman pertanian. *Bacillus thuringiensis* yang berbeda akan menghasilkan protein kristal yang toksik untuk kelompok makhluk hidup yang berbeda. Bt telah dijual di Amerika Utara sebagai insektisida mikrobial komersial sejak tahun 1960, dan dijual dengan berbagai nama merk dagang. Bt dapat digunakan dengan cara penyemprotan konvensional pada tanaman pertanian.

Beberapa Bt yang tersedia secara komersial dengan hama targetnya adalah sebagai berikut.

- *Bacillus thuringiensis* varietas *Tenebrionis* menyerang kumbang kentang Colorado dan larva kumbang daun.
- *Bacillus thuringiensis* varietas *Kurstaki* menyerang berbagai jenis ulat tanaman pertanian.
- *Bacillus thuringiensis* varietas *Israelensis* menyerang nyamuk dan lalat hitam.
- *Bacillus thuringiensis* varietas *Aizawai* menyerang larva ngengat dan berbagai ulat, terutama ulat ngengat diamondback.

Protein kristal Bt akan berpengaruh efektif terhadap larva, ulat serangga, dan serangga bila Bt yang dikonsumsi dalam jumlah yang mencukupi dan pH usus serangga berada pada kondisi alkali (basa).

13.3.4. Mikroorganisme pengelola limbah

Mikroorganisme membantu pengelolaan berbagai jenis limbah, terutama dalam penguraian limbah organik. Limbah organik dari rumah tangga, pasar atau industri sering dibuang langsung ke sungai, yang mengakibatkan pencemaran di sungai atau timbulnya limbah cair. Tujuan utama pengelolaan limbah cair dengan mikroorganisme adalah untuk mengurangi kandungan BOD dan bahan padat tersuspensi. Pengelolaan limbah cair juga dibutuhkan untuk menghilangkan pupuk yang masuk saluran air bahan kimia beracun, dan padatan terlarut.

Mikroorganisme mengelola limbah cair melalui proses penguraian secara aerob dan anaerob. Pada pemrosesan aerob terdapat berbagai mikroorganisme (bakteri, protista dan cendawan) yang menguraikan materi organik dari limbah menjadi mineral-mineral, gas-gas dan air. Aktivitas ini membutuhkan banyak oksigen. Bioteknologi modern juga memanfaatkan makhluk hidup dalam tingkat seluler/molekuler, diantaranya kultur jaringan, rekayasa genetik, dan kloning.

13.4. Kultur sel dan jaringan

Kultur jaringan merupakan teknik perbanyak tanaman secara vegetatif buatan yang didasarkan pada sifat totipotensi tumbuhan. Totipotensi adalah kemampuan sel/jaringan makhluk hidup untuk tumbuh menjadi individu baru. Totipotensi tumbuhan membuat sel tumbuhan dalam proses kultur jaringan dapat berkembang menjadi tumbuhan lengkap jika ditumbuhkan pada kondisi yang memungkinkan. Dengan kultur jaringan, dalam waktu yang bersamaan dapat diperoleh bibit tanaman dalam jumlah banyak.

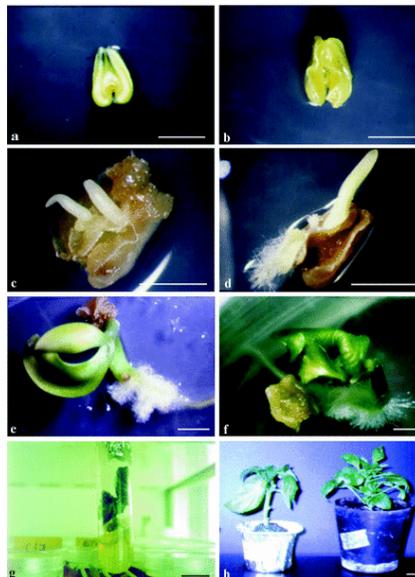
Kultur jaringan memiliki manfaat berikut ini:

- a. Melestarikan sifat tanaman induk.
- b. Menghasilkan tanaman yang memiliki sifat seragam
- c. Menghasilkan tanaman baru dalam jumlah besar
- d. Dapat menghasilkan tanaman yang bebas virus.
- e. Dapat dijadikan sarana untuk melestarikan plasma nutfah
- f. Untuk menciptakan varietas baru melalui rekayasa genetika. Sel yang telah direkayasa dikembangkan melalui kultur sel sehingga menjadi tanaman baru secara lengkap.

13.4.1. Macam-macam kultur jaringan

Berbagai tanaman dapat digunakan sebagai eksplan dalam kultur jaringan, antara lain:

- a. Kultur meristem, menggunakan jaringan meristem (akar, batang, daun) yang muda/ merismatik .
- b. Kultur antera, menggunakan kepala sari sebagai eksplan
- c. Kultur embrio, menggunakan embrio. Misalnya pada embrio kelapa kopyor yang sulit dikembangbiakkan secara alamiah.
- d. Kultur protoplas, menggunakan sel jaringan hidup sebagai eksplan tanpa dinding.
- e. Kultur pollen, menggunakan serbuk sari sebagai eksplannya



Gambar 13.15. Tahapan Kultur antera.

13.4.2. Prosedur kultur jaringan terdiri dari:

1. *Persiapan*

Medium cair dan padat disiapkan dalam botol Erlenmeyer yang ditutup dengan kain kasa steril dan aluminium foil. Botol yang berisi medium disterilkan dengan memanaskannya dalam autoklaf yang bersuhu 120°C dan tekanan 1.5 kg/m² selama 20 menit. Setelah disterilkan, medium kultur disimpan dalam tempat steril atau kulkas. Ruangan dan peralatan harus disterilkan dengan larutan antiseptik (alkohol atau sodium hipoklorit). Lampu UV dalam ruangan *entkas* atau *laminar air flow* dinyalakan satu jam sebelum digunakan, tujuannya untuk mensterilkan ruangan tersebut.

2. *Pengambilan dan perawatan eksplan*

Eksplan (bahan tanaman) dapat diambil dari tunas pucuk, ketiak daun, ujung akar, atau daun muda. Bahan eksplan disterilkan dengan cara merendamnya dalam larutan kalsium hipoklorit 5% selama 5 menit. Setelah itu eksplan dibilas beberapa kali menggunakan akuades yang steril. Bahan eksplan yang sudah steril dan botol erlenmeyer berisi medium padat atau cair dimasukkan ke dalam entkas.

Bagian luar eksplan dikupas memakai pisau yang tajam yang steril sampai eksplan berukuran 1-1.5 mm. Setelah eksplan siap tanam, tutup botol Erlenmeyer di buka dan eksplan di tanam memakai pinset lalu dimasukkan kedalam medium cair atau padat, tergantung penggunaan jenis eksplannya. Botol yang sudah ditanami eksplan ditutup kembali menggunakan kain steril dan aluminium foil.

3. *Pengocokan*

Botol yang sudah ditanami eksplan diletakkan di atas meja pengocok (shaker) yang sudah dinyalakan jika menggunakan medium cair, frekuensi pengocokan sekitar 60-70 kali per menit. Pengocokan dilakukan 6 jam sehari selama 1.5-2 bulan. Tujuan pengocokan adalah sebagai berikut:

- Menggiatkan kontak antara permukaan eksplan dengan larutan medium.
- Memudahkan peresapan larutan nutrisi ke dalam jaringan eksplan.
- Melancarkan sirkulasi udara, sehingga udara bisa masuk ke dalam medium.
- Merangsang terpisahnya PLB yang terbentuk.

Dalam medium cair, dari eksplan akan tumbuh PLB dan lama kelamaan PLB akan lepas dari eksplan. PLB yang terbentuk dapat dipisah-pisahkan dan dapat dipindahkan ke dalam botol lain sehingga dihasilkan banyak PLB. PLB yang terbentuk dapat dipindahkan ke dalam medium padat dan dikulturkan dalam ruangan yang steril. Suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya ruangan harus diatur. Dalam medium, PLB akan tumbuh menjadi tanaman lengkap (planlet).

Setelah menghasilkan daun atau membentuk tanaman sempurna planlet harus dipindahkan kedalam botol lain yang berisi media padat. Populasi planlet dikurangi sesuai dengan tingkat pertumbuhannya. Akhirnya, planlet dipindahkan ke dalam kelompok yang terdiri dari campuran tanah dan kosmos atau pupuk kandang, dan diletakkan

dalam rumah kaca. Setelah pertumbuhannya sempurna, plantet dipindahkan ke dalam pot, satu pot berisi satu tanaman baru.

4. *Medium*

Medium tanaman terdiri dari dua jenis, yaitu medium cairan dan medium padat. Medium cair untuk menumbuhkan eksplan sampai terbentuk PLB. Medium padat digunakan untuk menumbuhkan PLB sampai terbentuk planlet. Medium padat dibuat dengan melarutkan nutrisi dan agar-agar kedalam akuades yang disterilkan.

Media kultur harus mengandung nutrisi lengkap yang terdiri dari unsur makro, unsur mikro, vitamin, gula, dan ZPT (Zat Pengatur tumbuh tanaman) seperti auksin, sitokinin, dan giberalin.

Zat pengatur tumbuh yang akan digunakan dapat dipilih dari bahan-bahan di bawah ini:

- a. IAA (Indole Asetic Acid/Asam Indol Asetat).
- b. IAAld (Indole Acet Aldehyde/Indol Asetat Dehida).
- c. IAN (Indole Aceton Nitrile/Indol Aseto Nitril).
- d. IAEt (Ethylene Doleacetate/Etilendol Asetat).
- e. IpyA (Indolepyruvic Acid/Asam Indol Piruvat).

Ada banyak medium kultur jaringan yang penamaannya diambil dari nama penemunya, antara lain:

1. *Murashige and Skoog (1962)* dapat digunakan hampir untuk semua jenis kultur, terutama untuk tanaman herba.
2. *White (1934)*, sangat cocok untuk kultur tanaman tomat.
3. *Wacin and Went*, dapat digunakan untuk kultur jaringan anggrek.
4. *Nitch and Nitsch*, biasanya digunakan dalam kultur serbuk sari dan kultur sel.
5. *Scenk and Herberlandt (1972)*, cocok untuk kultur jaringan tanaman monokotil.



Gambar 13.16. Penyimpanan tanaman di ruang kultur.

13.5. Rekayasa Genetik

Rekayasa genetik atau penggunaan teknologi DNA rekombinan sangat bermanfaat pada berbagai bidang kehidupan manusia. Misalnya bidang kedokteran dan farmasi, peternakan dan pertanian, serta perindustrian.

13.5.1. Bidang Kedokteran dan farmasi

***) Pembuatan insulin manusia oleh bakteri**

Insulin merupakan suatu protein yang bertugas mengatur metabolisme gula di dalam tubuh manusia. Penderita diabetes tidak mampu membentuk insulin dalam jumlah yang dibutuhkan. Penderita diabetes akut harus menerima suntikan insulin setiap hari. Biasanya untuk memperoleh 0.45 kg insulin yang dibutuhkan oleh 750 pasien diabetes selama satu tahun, diperlukan 3600 kg kelenjar pankreas yang berasal dari 23.000 ekor hewan.

Dengan teknik rekayasa genetika, para peneliti berhasil menyisipkan DNA pengendali insulin ke dalam bakteri sehingga bakteri mampu untuk membentuk insulin yang mirip sekali dengan insulin manusia dan insulin yang dihasilkan dapat diterima lebih baik oleh tubuh manusia. Biaya pembuatan insulin ini pun jauh lebih murah. Sehingga penderita diabetes dapat tertolong.

***) Terapi gen manusia**

Teknologi DNA rekombinan dapat digunakan untuk membantu kelainan genetik yang disebabkan oleh alel tunggal melalui penyisipan gen pada sel "*stem cell*" yang menghasilkan semua sel darah dan sistem imun. *Stem cell* merupakan kandidat utama sel yang menerima alela normal. Sebagian besar percobaan saat ini masih dalam taraf pendahuluan yang didesain untuk menguji keamanan dan kelayakan prosedur, bukan untuk penyembuhan.

***) Antibodi monoklonal**

Antibodi merupakan protein yang dihasilkan oleh sistem imunitas vertebrata sebagai sistem pertahanan untuk melawan infeksi. Antibodi memiliki keunikan dibandingkan protein lainnya karena terdapat berjuta-juta antibodi dengan bentuk-bentuk yang berbeda. Masing-masing antibodi tersebut mempunyai tempat pengikatan yang spesifik, yang hanya mengenali molekul target yang juga spesifik (antigen).

Antibodi dapat dihasilkan dengan menyuntikkan beberapa kali suatu sample yang berisi antigen ke dalam seekor hewan kelinci, kambing, atau marmot. Kemudian serum darah hewan tersebut

diambil karena banyak mengandung antibodi (anti serum). Antiserum tersebut mengandung campuran antibodi yang dihasilkan oleh limfosit-B.

13.5.2. Bidang peternakan, perikanan, dan pertanian

*) Transfer gen pada hewan

Bakteri bukan satu-satunya makhluk hidup yang dapat dimodifikasi dengan teknologi DNA rekombinan atau yang dikenal rekayasa genetika. Rekayasa genetika juga dapat mentransfer gen-gen tertentu ke tumbuhan berbunga, jamur, dan mamalia yang mengakibatkan perubahan genotipe makhluk hidup tersebut atau disebut *makhluk hidup transgenik*. Makhluk hidup transgenik merupakan makhluk hidup yang menerima gen-gen dari spesies lain yang sama sekali berbeda tetapi masih dalam satu kingdom ataupun dapat juga dari kingdom yang berbeda. Hewan maupun tumbuhan transgenik (Gambar 13.17) dihasilkan dengan berbagai teknik, misalnya perpindahan gen menggunakan bantuan bakteri *Agrobacterium*, mikroinjeksi, penembakan gen, kloning embrio.



Gambar 13.17 Beberapa produk transgenik: a. Babi hasil kloning embrio, b. Tanaman pepaya tahan virus ring spot.

Contoh transfer gen pada hewan adalah domba Tracey. Tracey merupakan domba betina yang sehat dan normal, namun DNA-nya telah disisipi oleh gen manusia. Gen manusia tersebut mengkode produksi protein alfa-1-antitripsin (ATT) berkhasiat untuk mengobati penyakit paru-paru pada manusia, misalnya fibrosistik dan emfisema (menggelembungnya membran alveoli hingga pecah yang dapat menyebabkan bronkitis kronis).

a. Kloning embrio

Kloning embrio telah digunakan untuk produksi hewan ternak, misalnya sapi atau domba yang secara genetik identik. Pada sapi atau domba, setiap kehamilan hanya mengandung seekor anak saja. Dengan teknik kloning embrio akan memungkinkan bagi peternak untuk meningkatkan jumlah hewan ternaknya.

b. Transfer nukleus

Transfer nukleus (gen inti) adalah dengan memasukkan donor DNA dari hewan yang karakternya diinginkan kedalam sel telur hewan yang intinya (DNA-nya) telah dihilangkan (Gambar 13.18). Setelah terbentuk embrio lalu embrio ditanamkan ke rahim induk hewan yang akan membesarkannya. Contohnya adalah domba Dolly.

Kloning pada hewan merupakan proses yang mahal dengan kelebihan yang terbatas dibandingkan dengan teknik reproduksi lainnya. Kloning pada hewan menimbulkan pertanyaan tentang kemungkinan kloning pada manusia. Banyak negara yang melarang percobaan kloning manusia, selain bertentangan dengan agama, juga dianggap melanggar estetika dan prinsip ilmu dan hukum kedokteran.

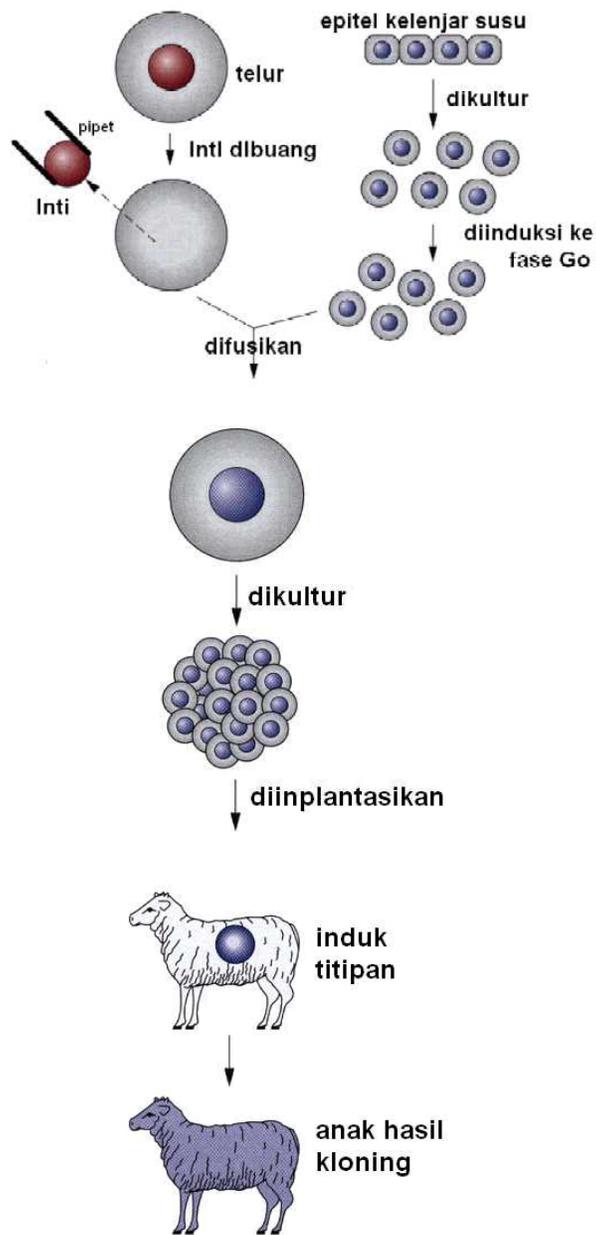
Saat ini kloning pada hewan belum dimanfaatkan secara maksimal karena mahal dan sulit dikerjakan. Kloning pada mamalia akan dikombinasikan dengan bioteknologi lain untuk menghasilkan organ-organ tubuh hasil klon dan jaringan yang digunakan untuk transplantasi.

*) Transgenik pada tanaman

Agrobacterium tumefaciens merupakan bakteri tanah penyebab infeksi tumor *crown gall* pada beberapa tanaman dan dimanfaatkan sebagai alat untuk melakukan proses transfer gen pada tanaman.

Tanaman transgenik direkayasa menggunakan bantuan *Agrobacterium tumefaciens* untuk memperoleh sifat-sifat berikut:

- * Penundaan pematangan pada tanaman tomat. Tomat hasil rekayasa (*tomat flavor savor*) dapat bertahan beberapa minggu lebih lama dibandingkan dengan tomat biasa (Gambar 13.19).



Gambar 13.18. Tahapan transfer nukleus pada kloning embrio.



Gambar 13.19. Tanaman Tomat transgenik yang membawa gen penunda pematangan buah.

- * Resistensi/ketahanan terhadap insektida yaitu tanaman dapat mensintesis protein kristal insektisidal (Insectisidal Crystal Protein = ICP) yang berasal dari *Bacillus thuringensis*. Protein kristal insektisida mempengaruhi usus hama seperti ulat atau serangga tertentu yang makan tanaman ini sehingga hama mati.
- * Resistensi terhadap kondisi lingkungan. Misalnya transfer gen dapat menghasilkan:
 1. Tanaman yang tahan kering karena mempunyai lapisan kutikula yang lebih tebal sehingga tumbuh baik di daerah kering (Gambar 13.20).



Gambar 13.20. Tanaman bunga matahari tahan kering.

3. Tanaman yang tahan terhadap angin.
Contohnya adalah tanaman kedelai yang telah dimanipulasi agar mempunyai batang yang lebih kuat dengan tingi yang seragam sehingga tahan terhadap angin kencang.

13.6. Penanggulangan dampak negatif bioteknologi

Bioteknologi telah menghasikan produk-produk yang bermanfaat untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Namun perlu juga diperhatikan dampak negatif dari perkembangan bioteknologi tersebut. Beberapa dampak negatif yang mungkin timbul akibat perkembangan bioteknologi adalah berikut ini:

1. Alergi

Gen asing yang disisipkan pada makhluk hidup yang menjadi makanan manusia dapat menyebabkan alergi terhadap individu tertentu. Untuk mencegahnya perlu dilakuakn pengujian dalam jangka waktu yang lama untuk memastikan ada tidaknya efek negatif tersebut terhadap konsumen. Selain itu, produk yang mengandung makhluk hidup hasil rekayasa genetik bioteknologi harus diberi label dengan jelas guna memberi informasi kepada konsumen mengenai produk yang dikonsumsi.

2. Hilangnya plasma nutfah

Akibat budidaya hewan dan tumbuhan unggul atau pertanian konvensional yang monokultur dapat mengakibatkan plasma nutfah atau keanekaragaman makhluk hidup dapat musnah. Kepunahan plasma nutfah dapat diatasi dengan melakukan pemeliharaan berbagai jenis hewan dan tumbuhan di situs konservasi tertentu. Selain itu penggunaan yang terus menerus dari tanaman unggul tahan herbisida, insektisida juga ditakutkan dapat menyebabkan munculnya gulma maupun hama baru.

3. Rusaknya ekosistem

Tanaman kapas Bt selain menyebabkan matinya hama ulat yang memakannya, juga diduga menyebabkan larva kupu-kupu ikut mati. Akibat gangguan dan perubahan kondisi lingkungan yang tidak seimbang dapat menyebabkan rusaknya suatu ekosistem.

Rangkuman

Bioteknologi merupakan pemanfaatan prinsip-prinsip Biologi dan teknologi rekayasa terhadap makhluk hidup, sistem, atau proses biologis, untuk menghasilkan atau meningkatkan potensi makhluk hidup maupun menghasilkan produk dan jasa bagi kepentingan hidup manusia. Bioteknologi berkaitan dan berkembang seiring kemajuan ilmu mikrobiologi, biologi sel, genetika, dan biokimia.

Bioteknologi yang sudah dikenal atau diterapkan sejak dahulu disebut bioteknologi tradisional, yang memanfaatkan mikroba, proses biokimia dan genetik secara alami, misalnya pada pembuatan tempe, oncom, tape, dan asinan. Sebaliknya bioteknologi modern berhubungan dengan manipulasi (rekayasa) DNA (gen) dan transfer DNA antar makhluk hidup dengan menggunakan teknologi DNA rekombinan. Misalnya produksi insulin manusia dengan bantuan bakteri *E. coli*, yang telah membawa DNA rekombinan yang mengandung gen insulin, kloning domba Tracey, domba Dolly, dan kapas transgenik tahan pestisida. Aplikasi bioteknologi tradisional maupun modern dapat mencakup bidang pangan, peternakan, kesehatan, dan pengobatan.

Bioteknologi tradisional dengan menggunakan mikroorganisme mencakup mikroorganisme pengubah dan penghasil makanan atau minuman, misalnya oncom, tempe, kecap, minuman anggur, dan protein sel tunggal. Mikroorganisme penghasil obat, misalnya antibiotik dan vaksin. Mikroorganisme pembasmi hama tanaman, misalnya kristal protein bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt).

Bioteknologi dengan menggunakan kultur jaringan merupakan teknik kloning menggunakan sel somatik. Bioteknologi dengan rekayasa genetik mencakup teknik pembuatan DNA rekombinan yang bermanfaat bagi manusia di bidang: kedokteran dan farmasi, misalnya pada pembuatan insulin manusia oleh bakteri, terapi gen manusia, dan antibodi monoklonal. Peternakan dan pertanian, misalnya adanya makhluk hidup transgenik baik hewan maupun tumbuhan yang bermanfaat bagi manusia.

Soal Latihan

A. Berilah tanda silang (x) pada huruf a, b, c, d, atau e untuk jawaban yang tepat!

1. Mikroorganisme yang bukan digunakan untuk bioteknologi adalah
 - a. *Rhizopus oryzae*
 - b. *Sacharomyces cereviceae*
 - c. *Streptococcus thermophilus*
 - d. *Acetobacter xylinum*
 - e. *Salmonella thyposa*

2. Penerapan bioteknologi untuk mendapatkan varietas-varietas unggul akan menjurus pada
 - a. meningkat jenis hama tanaman
 - b. meningkat keanekaragaman genetik
 - c. meningkat keanekaragaman ekologi
 - d. menurunkan kualitas produk pertanian
 - e. menurunkan kualitas lingkungan

3. Suatu perkebunan besar di Kalimantan memerlukan bibit unggul yang seragam dan dalam jumlah beasr. Teknik perbanyakan tanaman yang dapat dilakukan untuk memenuhi permintaan tersebut adalah
 - a. stek
 - b. menempel
 - c. DNA rekombinan
 - d. kultur jaringan
 - e. menyambung

4. Salah satu hasil rekayasa genetik di bidang pertanian yang merupakan sumber daya hayati adalah
 - a. kelapa hibrida
 - b. mangga harum manis
 - c. mangga golek
 - d. durian Lampung
 - e. salak manis

5. Pemuliaan tanaman untuk mendapatkan bibit unggul dengan cara memindahkan gen tertentu dari suatu spesies lain dengan perantara mikroorganisme dikenal sebagai
 - a. kultur jaringan
 - b. rekayasa genetik
 - c. transplantasi
 - d. radiasi induksi
 - e. mutasi buatan

6. Dibawah ini yang bukan pemanfaatan bioteknologi di bidang peternakan adalah
 - a. kloning embrio
 - b. domba cloning Tracey
 - c. kloning transfer inti
 - d. domba kloning Dolly
 - e. tomat dan wortel mini

7. Rekayasa genetik dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas sumber daya hayati. Salah satu diantaranya adalah
 - a. kedelai muria hasil radiasi
 - b. jambu tanpa biji hasil okulasi
 - c. jeruk manis hasil penyilangan
 - d. semangka manis hasil stek
 - e. tanaman padi tahan kekeringan

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar!

1. Jelaskan keuntungan teknik kultur jaringan!
2. Coba kalian jelaskan beberapa cara menghasilkan hewan transgenik!
3. Apakah manfaat bioteknologi tradisional pada bidang pangan dan pertanian!
4. Apakah keuntungan insulin manusia yang diproduksi dengan bantuan *E. coli*?
5. Apakah yang dimaksud dengan makhluk hidup transgenik?
6. Identifikasi dan jelaskan masalah sosial yang akan muncul berkaitan dengan bioteknologi pada bidang pertanian!
7. Apa yang kalian ketahui tentang GMPlants (Genetically Modified Plants)?
8. Sebutkan 3 contoh dari hasil produk protein sel tunggal!
9. Sebutkan manfaat penggunaan mikroorganisme dalam pemanfaatan bioteknologi pada hewan!
10. Apakah yang dimaksud dengan:
 - a. otipotensi sel
 - b. resistensi
 - c. transgenik
 - d. bioteknologi

DAFTAR PUSTAKA

- Abas M, Yadi R, Imam S, Sri N, Sutarto, Murtiningsih, Parlan, Retno N, Soewarni, Ispondia, Suradi. 2002. *Panduan Belajar Biologi I A dan IB*. Yudhistira, Jakarta.
- Alberts B. 1994. *Biologi Molekuler Sel, Edisi Kedua*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M. 1996. *Introductory Mycology*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Beckett B & Gallagher RM. 1990. *All About Biology*. Oxford University Press, UK-England.
- Bold HC & Wynne MJ. 1978. *Introduction to the Algae*. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Booolootian RA. 1979. *Zoology*. The Macmillan Company, London.
- Madigan MT, Martinko JM, Parker J. 2006. *Brock, Biology of Microorganisms, 10th ed*. Prentice Hall. New Jersey.
- Brum G. 1994. *Biology: Exploring Life*. Johns Wiley and Sons, Inc., New York.
- Campbell NA. Mitchell LG, Reece JB. 1997. *Biology, 2nd ed*. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Redword City, England.
- Campbell NA. Mitchell LG, Reece JB, Taylor MR, Simon EJ. 2006. *Biology, 5th ed*. Benjamin Cummings Publishing Company, Inc., Redword City, England.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 1999. *Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (GBPP) Mata Pelajaran Biologi*. Depdikbud, Jakarta.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 2004. *Kurikulum Sekolah Menengah Kejuruan (GBPP) Mata Pelajaran Biologi*. Depdikbud, Jakarta.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 2004. *Standar Kompetensi. Mata Pelajaran Biologi Sekolah Menengah Kejuruan*. Depdikbud, Jakarta.

- Frandsen RD. 1992. *Anatomi dan Fisiologi Ternak*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Green NPO. 1986. *Biological Sciences II*. Cambridge University Press, London.
- Haynes NL. 1973. *Biological Science and Ecological Approach (BSCS Green Version)*. Rand McNally and Company, Chicago.
- Imms A. 1960. *A General Textbook of Entomology*. Methuen & Co, London.
- Jeffrey C. 1982. *An Introduction to Plant Taxonomy*. Cambridge University Press, New York.
- Johnson WH. 1965. *General Biology*. Holt, Reinhard and Winston, Inc, USA.
- Jones KC. 1977. *Introductory Biology*. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- Keeton WT & Gould JL. 1996. *Biological Science, 5th ed*. W.W. Norton & Company, Inc.USA.
- Kimball JW, Tjitrosomo SS, Soegiri N. 1996. *Biology Jilid I, II, III*. Erlangga, Jakarta.
- Kondo. 1982. *The New Book of Popular Science*. Grolier Int. Inc., New York.
- Lederer RJ. 1984. *Ecology and Field Biology*. The Benjamin Cummings, California.
- Luria SE, Gould SJ & Singer S. *A View of Life*. Harper Collins Publishers, New York.
- Mackean DG. 1991. GCSE. *Introduction to Biology*. John Murray, London.
- Marshall AJ & Williamms WD. 1981. *Textbook of Zoology*. Vol I: Invertebrates. Macmillan Press, Australia.
- Mix MC. 1992. *Biology*. The Network of Life. Harper Collins Publishers, New York.
- Monger G & Sangster M. 1988. *Systematics and Classification*. Longman Group, London.

- Moore-Landecker E. 1996. *Fundamentals of the Fungi*. 4th ed. Prentice Hall. New Jersey.
- Mukayat DB. 1990. *Zoologi Dasar*. Erlangga, Jakarta.
- Neushul M. 1974. *Botany*. Hamilton Publishing Co., California.
- Nuswamarheni S, Diah P & Endang PS. 1993. *Mengenal Buah Unggul Indonesia*. Penerbit Swadaya, Jakarta.
- Oram, Hammer, Smoot. 1986. *Biology Living Systems*, 5th ed. Charles E. Merrit Publishing Company, Columbia, Ohio.
- Pelczar MJ & Chan ECS. *Dasar-Dasar Mikrobiologi*. 1986. Penerbit universitas Indonesia, Jakarta.
- Philips WD & Chilton TJ. 1989. *A Level Biology*. Oxford University Press, Oxford.
- Purves WK. *Life the Science of Biology*, 7th ed. Sinauer associations, inc. WH Freeman and company, USA.
- Radioputra. 1983. *Zoologi*. Erlangga, Jakarta.
- Raven PH & Johnson GB. 2005. *Biology*, 2nd ed. Times/Mirror/Mosby College Publishing, Toronto.
- Resosoedarmo RS. 1993. *Pengantar Ekologi*. PT Remaja Rosdakarya, Bandung.
- Roberts MBV & Monger G. 1993. *Biology: A Functional Approach*. Thomas Nelson and Sons Ltd, London.
- Rochyadi Y. 1986. *Pegangan Biologi*. Armico, Bandung.
- Sastrapradja SD. 1989. *Mengenal Sumber Pangan Hayati dan Plasma Nutfahnya*. Puslitbang Bioteknologi-LIPI, Bogor.
- Smith GM. 1983. *Cryptogamic Botany Algae and Fungi Vol. I*. Tata McGraw Hill, New Delhi.
- Smith RL. 1992. *Elements of Ecology*. 3rd ed. Harpercollins Pub, New York.
- Starr C & Taggart R. 1984. *The Unity and Diversity of Life*, 3rd ed. Wadsworth Publishing Co, California.

- Storer T & Usinger R. 1961. *Element of Zoology*, 2nd ed. McGraw Hill Book Publishing Co., New York.
- Solomon. 1993. *Biology*, 3rd ed. Saunders College Publishing, Fort Worth.
- Tjitrosomo SS. 1984. *Botani Umum 3*. Penerbit Angkasa, Bandung.
- Torrance J. 1991. *Standard Grade Biology*. Hodder & Stoughton, London.
- Wallace RA. 1992. *Biology. The World of Life*, 6th ed. Harpen Collins, New York.
- Watson JD, David JT & Kurtz T. 1998. Alih Bahasa Wisnu Gunarso. *DNA Rekombinan*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Weier E. 1982. *Botany: An Introduction to Plant Biology*. 6th ed. John Wiley Sons, Singapore.
- Winatasasmita D & Sukarno. 1993. *Biologi 1 untuk SMU*. Depdikbud, Jakarta.
- Yatim W. 1983. *Genetika*. Tarsito, Bandung.
- Yayasan Studi Kurikulum Biologi. 1987. *Biologi Umum 1, 2, 3*. PT Gramedia, Jakarta.
- Yudianto SA. 1992. *Pengantar Cryptogamic*. Tarsito, Bandung.
- Zottoli R. 1983. *Pengantar Biologi Laut*. Mosby Company, London.

DAFTAR ISTILAH (GLOSARI)

Abisal	: daerah yang lebih dalam dan lebih jauh dari pantai
Afotik	: daerah yang sama sekali gelap
Akinet	: sel yang tidak aktif akan membentuk trikoma baru setelah masa dorman selesai
Alel	: gen-gen yang berada pada lokus yang setentang/selevel/bersesuaian pada kromosom yang sehomolog
Alogami	: serbuk sari berasal dari individu lain yang spesiesnya sama
Ametabola	: tidak ada pergantian bentuk dan hanya dapat dilihat pertambahan besar ukuran
Amfiartrosis	: hubungan tulang yang masih memungkinkan adanya sedikit gerakan.
Amnensalisme	: Interaksi merupakan gangguan bagi satu makhluk hidup tapi tidak berpengaruh pada makhluk hidup lainnya
Anabolisme	: penyusunan senyawa-senyawa organik dari senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks menggunakan energi
Anatomi	: susunan tubuh makhluk hidup
Aneuploidi	: perubahan set kromosom
Aneusomi	: jumlah autosom maupun gonosomnya dapat berkurang atau bertambah dari normal
Autosom	: sel tubuh manusia
Autopoliploidi	: genom (N) sendiri yang berganda karena gangguan waktu meiosis
Amfiksisi	: kandung lembaga berasal dari hasil peleburan ovum dan sperma
Applied Science	: ilmu terapan
Apomiksisi	: kandung lembaga bukan berasal dari hasil peleburan ovum dan sperma.
Aporogami	: inti sperma masuk tidak melalui mikropil, misalnya melalui kalaza
Autogami	: serbuk sari berasal dari bunga yang sama, proses penyerbukan terjadi selagi bunga belum mekar
Angiospermae	: tumbuhan berbiji tertutup
Apterygota	: serangga tidak bersayap
Asimilasi	: proses sintesis senyawa-senyawa an-organik untuk disusun menjadi senyawa-senyawa organik
Askokarp	: tubuh buah yang mengandung askospora pada Ascomycota
Artospora	: spora yang dihasilkan dari pemisahan hifa

Autotrop	: makhluk hidup yang dapat membuat makanan sendiri
Bakteriofag	: virus yang menyerang bakteri
Batial	: daerah yang kedalamannya \pm 200-2500 m
Bentos	: hewan-hewan yang melekat atau beristirahat pada dasar atau hidup pada endapan
Biogas	: pembuatan gas yang memanfaatkan mikroorganisme
Biokatalisator	: sifat enzim yang mempercepat suatu reaksi tetapi tidak ikut bereaksi
Bioenergi	: energi hasil dari proses biologi
Biomassa	: bobot makhluk hidup persatuan luas ekosistem
Bioma	: ekosistem dalam skala besar yang melibatkan iklim akibat perbedaan letak geografis
Blastospora	: spora aseksual yang dihasilkan dengan cara berkuncup, contohnya pada khamir
Breeding	: proses perkawinan silang pada makhluk hidup
Daur ulang	: salah satu cara untuk mengolah sampah organik dan anorganik menjadi benda-benda yang bermanfaat
Daya dukung	: ketersediaan sumber daya alam, cukup ruang untuk memenuhi kebutuhan dasar pada tingkat kestabilan sosial tertentu
Daya lenting	: kemampuan lingkungan untuk pulih kembali pada keadaan seimbang jika mengalami perubahan atau gangguan.
Determinasi	: membandingkan ciri-ciri morfologi makhluk hidup yang berlawanan
Diploblastik	: dinding tubuh terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan luar dan dalam
Dendrit	: bagian saraf-saraf memanjang penerima rangsang
Dihibrida	: suatu persilangan (pembastaran) dengan dua sifat beda
Diferensiasi	: proses pembentukan organ-organ tubuh makhluk hidup secara spesialisasi
Difusi	: pergerakan molekul-molekul zat dari daerah berkonsentrasi lebih tinggi (hipertonis) ke daerah berkonsentrasi lebih rendah (hipotonis)
Diploid	: memiliki 2 set kromosom yang homolog (2n)
Dikotomi	: pembeda memiliki dua pilihan yang berlawanan
Dikotil	: tumbuhan berkeping dua
Double helix	: tangga tali berpilin pada kromosom
Dominan	: sifat yang utama
Dispersal	: pemencaran alat-alat perkembangbiakan
Dikogami	: masaknya serbuk sari dan putik tidak bersamaan
Delesi	: kehilangan gen

Duplikasi	: penggandaan gen
Efek rumah kaca	: Merupakan gejala peningkatan suhu dipermukaan bumi yang terjadi karena meningkatnya kadar CO ₂ (karbon dioksida) di atmosfer
Ekosistem	: suatu kondisi hubungan interaksi antara faktor biotik dengan faktor abiotik
Ekologi	: ilmu yang mempelajari hubungan makhluk hidup dengan lingkungannya
Elastis	: bersifat lentur
Esionom	: gerak berupa reaksi terhadap rangsang dari luar
Endonom	: gerak bagian tubuh tumbuhan yang disebabkan oleh rangsangan dari dalam
Endospora	: spora yang dihasilkan di dalam sel
Ekstravaskuler	: pengangkutan air dan garam mineral di luar berkas pembuluh, berlangsung dari sel ke sel secara horizontal
Embrionik	: proses pembentukan dan perkembangan embrio pada makhluk hidup
Enzim	: katalis protein yang dihasilkan oleh sel dan bertanggung jawab untuk laju dan bersifat khusus yang tinggi dari satu atau lebih reaksi biokimia intraseluler atau ekstraseluler
Epistasis	: faktor yang membawa sifat yang menutup
Epiteka	: bagian tutup dari alga diatomae
Etiolasi	: batang tumbuhan lemas karena kekurangan sinar matahari
Eukariotik	: makhluk hidup yang memiliki membran inti sel
Fagotrof	: makhluk hidup makro konsumen
Faset	: mata yang terdapat pada serangga
Fenotipe	: sifat-sifat yang tampak pada makhluk hidup, seperti warna kulit, tinggi, jenis rambut
Fermentasi	: perubahan enzimatik dan anaerob dari substansi organik oleh mikroorganisme untuk menghasilkan zat organik yang lebih sederhana
Fertilisasi in vitro	: proses pembuahan yang terjadi di luar tubuh
Fisura	: retak tulang
Flame Cell	: sel-sel api
Floem	: pembuluh tapis
Fotik	: daerah yang masih dapat diterangi sinar matahari
Fototropisme	: gerak tumbuh bagian tubuh tumbuhan karena rangsang cahaya
Fotosintesis	: asimilasi karbon yang menggunakan cahaya sebagai energi.
Food chain	: Proses transfer energi makanan dari sumbernya (tumbuhan) melalui serangkaian makhluk hidup yang makan dan dimakan

Fraktura	: patah tulang terbuka dan tertutup
Gastrulasi	: fase perkembangan embrio setelah pembelahan dan perubahan dari blastula ke gastrula
Genom	: set kromosom
Genotipe	: sifat-sifat yang dibawa gen
Geitonogami	: serbuk sari berasal dari bunga lain pada satu individu
Gestasi	: masa kehamilan hewan
Gizzard	: organ tubuh berfungsi untuk menggiling makanan.
Gutasi	: peristiwa pengeluaran air dalam bentuk tetes-tetes air melalui celah yang terdapat pada tepi daun
Gymnospermae	: tumbuhan berbiji terbuka
Haustorium	: cabang khusus suatu hifa yang berguna sebagai alat melekat dan menghisap pada bagian luar tumbuhan, atau menyerap makanan di dalam sel
Hemimetabola	: metamorfosis tidak sempurna pada serangga
Holometabola	: metamorfosis sempurna pada serangga
Herba	: tanaman yang memiliki batang berair atau berbatang lunak, misalnya bayam
Heterotrof	: makhluk hidup tidak berklorofil dan tidak menghasilkan bahan organik sendiri
Hibridisasi	: proses perkawinan
Higroskopis	: gerak karena perbedaan kadar air yang tidak merata pada bagian tubuh tumbuhan.
Hipotesis	: dugaan sementara
Heterosista	: dinding sel-sel tertentu pada sianobakteri menebal dan berfungsi untuk mengikat nitrogen
Hiperparasit	: parasit yang hidup pada parasit lainnya, contoh <i>Vicum</i> sp pada benalu
Hujan asam	: sulfur dioksida (SO ₂) dan nitrogen dioksida (NO ₂) bereaksi di udara membentuk asam yang jatuh ke bumi bersama dengan hujan dan salju
Identifikasi	: menelaah sifat-sifat suatu makhluk hidup untuk menentukan namanya dari hasil pengamatan morfologi (pencandraan)
Imbibisi	: kemampuan dinding sel dan plasma sel untuk menyerap air dari luar sel
Inhibitor	: zat penghambat enzim
Incineration	: proses penghancuran sampah padat dibakar di dalam alat insinerator
Insectivor	: tumbuhan yang dapat menangkap serangga sebagai sumber nitrogen
Involunter	: mekanisme kerja saraf tidak sadar
Irreversibel	: kemampuan dinding sel dan plasma sel menyerap air dari luar sel

Isogami	: penyatuan dua sel kelamin (gamet) yang sama bentuk dan ukurannya
Kalus	: bagian sel yang mempunyai kemampuan membelah terus menerus pada kultur jaringan
Katabolisme	: penguraian senyawa-senyawa organik kompleks menjadi sederhana dengan melepaskan energi yang digunakan makhluk hidup untuk berbagai kegiatan
Kariogami	: persatuan inti dari dua individu
Kapsomer	: virus yang memiliki lipoprotein, bahan dari lemak dan protein
Kapsid	: kapsul protein yang mengelilingi asam nukleat virus
Kartilago	: tulang rawan
Kemosintesis	: makhluk hidup yang melakukan asimilasi Karbon dengan menggunakan energi yang berasal dari reaksi-reaksi kimia
Khamir	: cendawan (fungi) uniseluler yang berkuncup, contohnya Saccharomyces
Klasifikasi	: Proses pengaturan atau penggolongan makhluk hidup dalam kategori golongan yang bertingkat
Kranium	: tulang tengkorak
Kromatin	: benang-benang pembawa sifat keturunan
Kromosom	: pembawa sifat menurun, terdapat dalam inti sel, perkembangan dari kromatin, tampak pada saat sel membelah
Kromosom homolog:	kromosom yang saling berpasangan pada sel diploid
Kromosom seks	: kromosom yang menentukan jenis kelamin jantan atau betina
Komensalisme	: hubungan simbiosis antara dua makhluk hidup, satu makhluk hidup mendapat keuntungan sedangkan pasangannya tidak terpengaruh
Kompetisi	: persaingan antar anggota satu spesies atau yang berbeda spesies
Komunitas	: sekelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai populasi yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu.
Konyugasi	: penggabungan materi DNA
Kopulasi	: transfer sel sperma atau sel telur ke makhluk hidup lain
Lentik	: ekosistem air tawar yang airnya tenang
Lokus	: lokasi gen terletak pada satu tempat yang sama dalam kromosom
Lotik	: ekosistem air tawar yang berganti-ganti antara air tenang dan deras

Limbah anorganik	: limbah yang dihasilkan dari bahan-bahan anorganik, yang tidak dapat diolah, contohnya plastik, kaleng, aluminium
Limbah organik	: limbah yang dihasilkan dari bahan-bahan organik, dapat diolah kembali.
Lingkungan	: interaksi antara faktor biotik dan abiotik dengan makhluk hidup
Limnetik	: daerah air terbuka yang mendapat sinar matahari efektif
Litoral	: daerah yang berbatasan dengan darat.
Lisis	: proses perusakan dinding sel inang oleh virus
Membran timpanum	: alat pendengaran pada serangga
Meristem	: jaringan muda yang sel-selnya aktif membelah diri
Metabolisme	: reaksi kimia untuk pembentukan dan perombakan bahan organik
Metagenesis	: proses pergiliran keturunan pada makhluk hidup, dimana reproduksi vegetatif bergantian dengan reproduksi generatif
Metamorfosis	: proses perubahan bentuk serangga melalui beberapa fase
Multiseluler	: tubuh makhluk hidup yang tersusun atas beberapa sel
Mutualisme	: hubungan yang saling menguntungkan kedua pihak
Monokotil	: tumbuhan berkeping biji satu
Mutagen	: penyebab mutasi
Mutan	: makhluk hidup yang mengalami mutasi
Mutasi letal	: mutasi yang menyebabkan kematian
Modifikasi	: proses perubahan bentuk morfologi dan anatomi secara bertahap
Monohibrida	: perkawinan tumbuhan/hewan dengan satu sifat beda
Morfologi	: ilmu yang mempelajari struktur luar suatu tanaman, hewan atau manusia.
Morfogenesis	: proses pembentukan organ-organ tubuh pada makhluk hidup
Mutasi	: perubahan organisasi materi genetika yang dapat diwariskan kepada generasi berikutnya
Mutasi somatik	: mutasi yang terjadi dalam tubuh yang tidak diwariskan
Nekton	: hewan-hewan yang aktif berenang seperti ikan, amfibi dan serangga air
Neritik	: daerah yang masih dapat ditembus cahaya matahari sampai dasar (± 200 m)
Neuston	: jenis hewan yang beristirahat atau berenang di permukaan air

Netralisme	: interaksi yang tidak mempengaruhi kedua pihak (bersifat netral)
Nekrosis tulang	: sel-sel mati pada jaringan tulang
Nits	: lingkungan kecil (mikro environment) yang khusus bagi suatu jenis makhluk hidup
Nukleosida	: nukleotida tanpa fosfat
Nullisomi	: mutasi yang terjadi karena individu kehilangan dua buah kromosom
Oculus	: mata semu pada serangga
Osteosit	: tulang sejati
Osifikasi	: peristiwa peresapan bagian tulang yang rusak dan pergantian sel tulang baru
Osteoklast	: jaringan lama akan diserap jaringan tulang berinti banyak
Ovipositor	: peletak telur pada serangga
Ozon	: lapisan gas yang menyelimuti bumi pada ketinggian ± 30 km diatas bumi.
Parasitisme	: makhluk hidup yang merugikan makhluk inangnya
Parasit Fakultatif	: makhluk hidup saprofit yang dapat juga berperan sebagai parasit dalam keadaan lingkungan tertentu, contohnya cendawan pada tanaman tembakau atau tomat
Parasit Obligat	: parasit yang hanya dapat hidup pada makhluk hidup yang lain, contoh tali putri
Parenkima	: jaringan dasar yang menempati suatu tempat, terdiri dari sel-sel hidup
Partenokarpi	: merangsang pembentukan buah tanpa adanya penyerbukan
Partenogenesis	: ovum yang tidak dibuahi dapat menjadi individu baru
Porogami	: bila inti sperma masuk melalui mikropil
Pencandraan	: mengenali ciri-ciri makhluk hidup melalui pengamatan visual
Pencemaran	: perubahan yang tidak diinginkan pada lingkungan yang meliputi udara, daratan, air secara fisik, kimia, atau pun biologi
Perifiton	: tumbuhan maupun hewan yang melekat atau bertengger pada batang, daun, akar tumbuhan atau pada permukaan benda lain
Piknidium	: tubuh buah yang terdapat pada cendawan bermitospora
Pilus	: saluran penghubung dalam transfer DNA dalam berkonjugasi pada bakteri
Piramida biomassa	: makin rendah tinggkatan tropiknya makin besar biomasnya, meskipun jumlah individu mungkin sedikit

Piramida energi	: proses perpindahan energi melalui tiap tingkatan tropik yang semakin lama semakin kecil
Piramida jumlah	: makin rendah tingkatan tropiknya makin besar jumlah individunya
Polusi	: pencemaran
Plankton	: mikroorganisme yang hidup melayang-layang di air
Plasmogami	: peleburan plasma dari dua sel, yang disusul oleh kariogami
Predasi	: interaksi antar spesies, satu spesies yaitu predator memangsa (memakan) spesies yang lainnya yaitu mangsa
Polisom	: kumpulan ribosom
Populasi	: sekelompok makhluk hidup terdiri atas berbagai kumpulan yang saling berinteraksi sesamanya pada suatu tempat dan waktu tertentu
Progametangium	: cabang lateral pada cendawan (fungi) yang membengkok sebagai stimulus akibat pertemuan hifa (+) dan hifa (-), yang kemudian tumbuh menjadi "suspensor" dan gametangium multinukleat
Prokariotik	: sel yang belum memiliki membran inti sehingga materi genetiknya berada dalam sitoplasma
Proliferasi	: pertumbuhan disebabkan oleh pembelahan sel, bukan karena bertambah besarnya sel
Profag	: DNA bakteriofag lamda yang menyisip pada materi genetik sel inang
Profundal	: daerah di bawah daerah limnetik sampai pada dasar
Protokooperasi	: interaksi menguntungkan kedua pihak
Protista	: merupakan makhluk hidup eukariotik uniseluler atau multiseluler
Pseudoselom	: rongga tubuh semu pada Nematelminthes
Pterigota	: serangga bersayap
Replikasi	: peristiwa perbanyakan DNA
Regenerasi	: peristiwa memperbanyak keturunan
Respirasi	: proses pernafasan makhluk hidup
Rodentia	: hewan pengerat
Sanitary landfill	: metode pengolahan sampah terkontrol dengan sistem sanitasi yang baik
Saprofit	: makhluk hidup yang hidup dari bahan organik mati
Sarkolema	: selaput otot
Sarkoplasma	: plasma yang terdapat pada jaringan otot
Sekresi	: (1) proses pengeluaran zat yang disintesis oleh sel, (2) pada ginjal vertebrata, pelepasan limbah dari darah ke dalam filtrat yang berasal dari tubul nefron.

Siklus biogeokimia	: siklus materi yang melibatkan senyawa-senyawa kimia yang berinteraksi dengan faktor fisik, terjadi di alam
Sinartrosis	: gerak yang dilakukan sebanyak mungkin karena adanya struktur seperti kapsul dan cairan sinovial
Sinergis	: gerak beberapa otot yang searah
Senositik	: hifa yang tidak bersekat, sel multinukleat
Skoliosis	: keadaan tulang belakang melengkung ke samping
Sklereid	: sel batu, bentuk bulat, pada tempurung kelapa
Sporulasi	: pelepasan merozoit dari sel darah merah yang terinfeksi <i>Plasmodium</i> sp
Sterigma	: tangkai kecil menyerupai paku yang menyangga sporangium, konidium, atau basidiospora
Takson	: tingkatan pengelompokan makhluk hidup
Transduksi kapsid	: pemindahan materi genetik dari sel bakteri yang satu ke sel bakteri yang lain dengan melalui perantara (berupa bakteriofag)
Transformasi	: pemindahan materi genetik berupa DNA dari satu sel bakteri ke sel bakteri lain
Transpirasi	: pengeluaran air tumbuhan yang berbentuk uap air ke udara bebas
Transport aktif	: proses pengangkutan makanan yang terjadi pada tumbuhan secara aktif
Triploblastik	: tubuh terdiri dari 3 lapisan yaitu lapisan luar, tengah, dan dalam
Uniseluler	: makhluk hidup bersel tunggal
Vaksin	: varian patogen yang sudah dilemahkan atau bagiannya yang digunakan untuk menstimulasi sistem imunitas makhluk hidup inang untuk melawan patogen
Vaskuler	: pengangkutan air dan garam-garam mineral melalui pembuluh pengangkut
Variabel	: suatu faktor yang mempengaruhi suatu percobaan
Virion	: virus tunggal raksasa yang berstruktur lengkap
Virulen	: virus yang sifat penyerangan terhadap sel inangnya sangat aktif dan ganas sehingga sel inang tersebut cepat mati
Volunter	: mekanisme kerja otot sadar

ISBN 978-602-8320-15-3
ISBN 978-602-8320-18-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 13,706,00