Praktis Belajar

Biologi

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

Fictor Ferdinand P.
Moekti Ariebowo

3

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Praktis Belajar

Biologi

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

Fictor Ferdinand P.
Moekti Ariebowo

3

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

Praktis Belajar Biologi 3

untuk SMA/MA Kelas XII
Program Ilmu Pengetahuan Alam

Penulis	:	Fictor Ferdinand P. Moekti Ariebowo
Editor	:	Dadan Ahmad Sobardan
Desain kulit	:	Dasiman
Desain Isi	:	Ade Sutisna
Ilustrator	:	Yudiana
Ukuran Buku	:	21,0 x 29,7 cm

574.07
FIC FICTOR, Ferdinand P
p Praktis Belajar Biologi 3 : untuk Kelas XII Sekolah Menengah Atas / Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Fictor Ferdinand P, Moekti Ariebowo : penyunting Dadan Ahmad Sobardan. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
viii, 194 hlm, : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 193-194
Indeks : hlm. 189
ISBN 978-979-068-823-0 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-826-1

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

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

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009.

Diperbanyak oleh . . .

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 Tanggal 25 Juli 2007.

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

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

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

Jakarta, Juni 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Petunjuk Penggunaan Buku

Bab 1
Pertumbuhan dan Perkembangan

Peta Konsep

Evaluasi Materi
Evaluasi Materi

Buku **Praktis Belajar Biologi** untuk Kelas XII ini terdiri atas delapan bab, yaitu Pertumbuhan dan Perkembangan, Metabolisme, Substansi Genetik, Reproduksi Sel, Pola Pewarisan Sifat Organisme, Mutasi, Evolusi, dan Bioteknologi. Berikut penyajian materi dan pengayaan yang terdapat dalam buku ini.

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

Kata Pengantar

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

Melihat betapa pentingnya Biologi maka perlu adanya peningkatan kualitas pendidikan Biologi di sekolah agar membentuk siswa yang memiliki daya nalar dan daya pikir yang baik, kreatif, cerdas dalam memecahkan masalah, serta mampu mengomunikasikan gagasan-gagasannya. Atas dasar inilah kami menerbitkan buku **Praktis Belajar Biologi** ke hadapan pembaca. Buku ini menghadirkan aspek kontekstual bagi siswa dengan mengutamakan pemecahan masalah sebagai bagian dari pembelajaran untuk memberikan kesempatan kepada siswa membangun pengetahuan dan mengembangkan potensi mereka sendiri.

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

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

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

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

Jakarta, Juni 2007

Penerbit

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

Daftar Isi

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

Semester 1

Bab 1 Pertumbuhan dan Perkembangan 1

A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan 2
B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan 6
Rangkuman 12
Peta Konsep 13
Evaluasi Materi Bab 1 13
Kegiatan Semester 1 16

Bab 2 Metabolisme 17

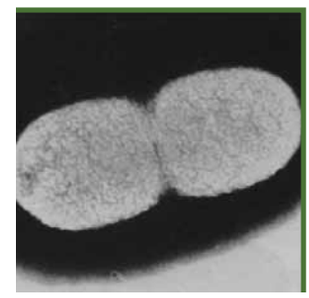
A. Molekul yang Berperan dalam Metabolisme 18
B. Metabolisme Karbohidrat 24
C. Hubungan antara Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein 38
Rangkuman 40
Peta Konsep 41
Evaluasi Materi Bab 2 41

Bab 3 Substansi Genetik 43

A. Kromosom 44
B. Gen 47
C. Alel 49
D. DNA 51
E. RNA 54
F. Kode Genetik 56
G. Sintesis Protein 58
Rangkuman 61
Peta Konsep 62
Evaluasi Materi Bab 3 63

Bab 4 Reproduksi Sel 65

A. Mitosis 66
B. Meiosis 70
C. Pembentukan Gamet (Gametogenesis) 73
Rangkuman 76
Peta Konsep 77
Evaluasi Materi Bab 4 77

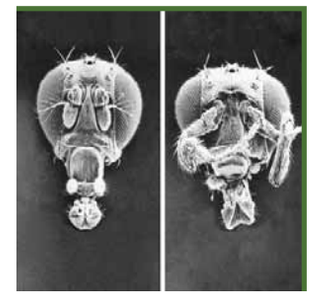


Bab 5 Pola Pewarisan Sifat Organisme 79

A. Pewarisan Sifat 80
B. Pola-Pola Hereditas 81
C. Hereditas dan Penyakit Turunan 99
Rangkuman 106
Peta Konsep 106
Evaluasi Materi Bab 5 107

Bab 6 Mutasi 109

A. Macam-Macam Mutasi 110
B. Penyebab Mutasi 118
C. Dampak Mutasi 119
Rangkuman 120
Peta Konsep 120
Evaluasi Materi Bab 6 121
Evaluasi Materi Semester 1 123



Semester 2

Bab 7 Evolusi 125

A. Teori Evolusi 126
B. Mekanisme Evolusi 134
C. Asal-Usul Kehidupan 142
Rangkuman 150
Peta Konsep 151
Evaluasi Materi Bab 7 151
Kegiatan Semester 2 154

Bab 8 Bioteknologi 155

A. Prinsip Dasar Bioteknologi 156
B. Jenis-Jenis Bioteknologi 157
C. Sifat Dasar Mikroorganisme 158
D. Produk dan Jasa 160
E. Implikasi Bioteknologi 167
Rangkuman 169
Peta Konsep 170
Evaluasi Materi Bab 8 171
Evaluasi Materi Semester 2 173
Evaluasi Materi Akhir Tahun 175
Apendiks 1 179
Apendiks 2 184
Kamus Biologi 185
Indeks 189
Daftar Pustaka 193

Sumber: *The Plant World*, 1995

Bab 1

Pertumbuhan dan Perkembangan

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk melakukan percobaan mengenai pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara merancang percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan dan melaksanakannya. Setelah itu, komunikasikan hasil percobaan Anda.

Apakah Anda pernah memelihara tumbuhan di halaman rumah? Pernahkah Anda memerhatikan pertumbuhan tumbuhan? Misalnya, biji kacang merah. Jika Anda perhatikan, biji kacang merah sekecil itu jika disimpan pada tempat yang lembab dan basah, biji tersebut dapat tumbuh. Mula-mula Anda akan melihat pertumbuhan bakal akar yang tumbuh ke arah bawah biji. Lama-kelamaan, bakal akar tersebut terus memanjang bahkan mampu mengangkat biji dari permukaan tanah. Perkembangan selanjutnya ditandai oleh membukanya kulit biji dan kedua keping biji yang terbentuk seperti daun.

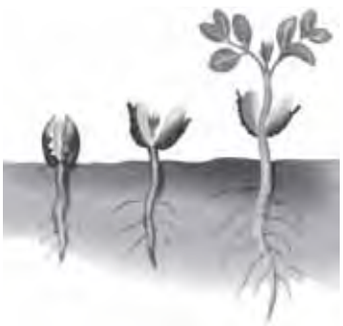
Jika Anda amati lebih lama, pertumbuhan yang terjadi pada biji tersebut akan terus terjadi seperti bertambahnya tinggi tanaman dan terbentuknya helaian daun baru. Sungguh besar kekuasaan Tuhan Yang Maha Esa, biji sekecil itu dapat tumbuh menjadi tumbuhan utuh. Perubahan yang terjadi pada tumbuhan tersebut menandakan bahwa tumbuhan mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Apakah yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan? Faktor apa sajakah yang memengaruhinya?

Pada bab ini, Anda akan mempelajari mengenai pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan. Berdasarkan hal tersebut, Anda diharapkan dapat melakukan sebuah percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan. Anda diharapkan dapat merencanakan, melakukan, dan mengomunikasikan hasil percobaan Anda itu.

A. Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan
B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Soal *Pramateri*

1. Sebutkan contoh pertumbuhan dan perkembangan yang Anda ketahui.
2. Faktor abiotik apa sajakah yang Anda ketahui dapat memengaruhi pertumbuhan tumbuhan?



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 1.1

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Tumbuhan dewasa berasal dari biji yang mengalami pertumbuhan dan perkembangan.

Manakah ciri perkembangan dan ciri pertumbuhan pada tumbuhan tersebut?

Kata Kunci

- Diferensiasi
- Perkembangan
- Pertumbuhan

A Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Pertumbuhan mengandung pengertian pertambahan ukuran, dapat berupa volume, massa, tinggi, dan ukuran lainnya yang dapat dinyatakan dalam bilangan atau bentuk kuantitatif. Adapun **perkembangan** mengandung pengertian bertambah dewasanya suatu individu (**Gambar 1.1**).

Makhluk hidup dikatakan dewasa jika alat-alat reproduksinya telah berfungsi. Tumbuhan akan berbunga dan hewan akan menghasilkan sel-sel kelamin. Ada pula yang mengartikan perkembangan sebagai perubahan akibat proses diferensiasi yang menyebabkan perbedaan struktur dan fungsi organ-organ makhluk hidup sehingga semakin kompleks. Dengan demikian, perkembangan merupakan perubahan kualitas suatu individu.

1. Pertumbuhan

Secara harfiah, pertumbuhan diartikan sebagai perubahan yang dapat diketahui atau ditentukan berdasarkan sejumlah ukuran atau kuantitasnya. Pertumbuhan meliputi bertambah besar dan bertambah banyaknya sel-sel pada jaringan.

Proses yang terjadi pada pertumbuhan adalah suatu kegiatan yang *irreversible* (tidak dapat kembali ke bentuk semula). Akan tetapi, pada beberapa kasus, proses tersebut dapat *reversible* (terbalikkan) karena pada pertumbuhan terjadi pengurangan ukuran dan jumlah sel akibat kerusakkan sel atau dediferensiasi sel. Sebagai contoh, jika Anda akan memperbanyak tumbuhan melalui cara vegetatif, bagian manakah yang akan Anda pakai? Bunga, buah, ataukah batang? Pilihannya tentu akan jatuh pada batang. Walaupun semua organ tersebut memiliki aktivitas pembelahan sel, semuanya disusun oleh jenis sel yang berbeda. Bunga dan buah merupakan organ reproduksi yang disusun oleh sel-sel reproduktif atau embrionik, sedangkan cabang atau batang disusun oleh sel-sel tubuh atau somatik.

Sel-sel tubuh (somatik) memiliki potensi untuk tumbuh kembali membentuk jaringan yang sama, sedangkan sel embrionik tidak. Dengan aktivitas perbanyakan sel tersebut, akan dihasilkan kembali sel-sel meristematis yang akan menjadi batang, akar, daun, dan bagian reproduktif. Adapun sel embrionik akan mati karena tidak ada sokongan sel lainnya. Selama proses tumbuhnya akar, batang, ataupun daun pertumbuhan dapat dikuantifikasi dalam bentuk panjang akar, jumlah daun, tinggi tumbuhan, atau bahkan berat total tumbuhan. Berdasarkan gambaran tersebut, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa pertumbuhan merupakan perubahan kuantitatif dari ukuran sel, organ, atau keseluruhan organisme.

2. Perkembangan

Perkembangan makhluk hidup lebih tepat diartikan sebagai suatu perubahan kualitatif yang melibatkan perubahan struktur serta fungsi yang lebih kompleks. Seperti yang telah Anda ketahui, organ kulit pada manusia tumbuh bersamaan dengan bertambahnya ukuran tubuh. Akan tetapi, ketika mencapai kedewasaan, hanya pada bagian tertentu dari tubuh kita mulai bermunculan rambut tambahan. Selain itu, organ-organ tertentu mulai tumbuh membesar, seperti bagian dada pada perempuan dan jakun pada laki-laki. Mengapa semua itu hanya tumbuh pada masa tertentu saja, tidak bersamaan dengan pertumbuhan organ lainnya? Suatu hal yang patut kita pahami dalam perkembangan adalah adanya **diferensiasi sel**.

Diferensiasi dapat diartikan sebagai perubahan sel menjadi bentuk lainnya yang berbeda baik secara fungsi, ukuran, maupun bentuk. Contoh mudah mengenai diferensiasi dapat Anda temukan pada pembentukan bunga. Amati dari mana bunga tersebut berasal. Apakah sama dengan awal mulanya tumbuh tunas? Mengapa pada bagian tersebut yang tumbuh justru bunga? Diferensiasi juga terjadi pada bagian tubuh manusia, yakni pada pembentukan sel-sel kelamin (gonad) ketika embriogenesis. Contoh lainnya pada proses pembentukan anak ayam dari embrio dalam telur. Pada proses diferensiasi, dapat terjadi dua hal penting, yakni perubahan struktural yang akan mengarah pada pembentukan organ, serta perubahan kimiawi yang dapat meningkatkan kemampuan sel.

Dapatkah Anda menghitung perkembangan yang terjadi, baik dalam jumlah maupun ukuran? Tentu akan sulit, karena semua proses tersebut terjadi secara kualitatif dan hanya dapat dibandingkan secara subjektif tanpa ukuran yang tepat. Proses perkembangan banyak berkaitan dengan faktor internal yang terjadi pada waktu yang tidak bersamaan. Oleh karena itu, perkembangan dapat didefinisikan sebagai suatu proses perubahan yang diikuti oleh pendewasaan dan kematangan sel, serta diiringi oleh spesialisasi fungsi sel.

3. Macam-Macam Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan pada tumbuhan ada yang berupa pertumbuhan primer, ada pula yang berupa pertumbuhan sekunder. Kedua pertumbuhan ini sebenarnya berasal dari jaringan yang sama, yakni **meristem**. Meristem merupakan suatu jaringan yang memiliki sifat aktif membelah. Pertumbuhan primer berasal dari meristem primer, sedangkan pertumbuhan sekunder berasal dari meristem sekunder. Adakah perbedaan lain di antara kedua macam pertumbuhan tersebut?

a. Pertumbuhan Primer

Pertumbuhan yang terjadi selama fase embrio sampai perkecambahan merupakan contoh pertumbuhan primer. Struktur embrio terdiri atas **tunas embrionik** yang akan membentuk batang dan daun, **akar embrionik** yang akan tumbuh menjadi akar, serta **kotiledon** yang berperan sebagai penyedia makanan selama belum tumbuh daun.

Jika biji berkecambah, struktur yang pertama muncul adalah **radikula** yang merupakan **bakal akar primer**. Radikula adalah bagian dari **hipokotil** dan merupakan struktur yang berasal dari akar embrionik. Pada bagian ujung atas, terdapat **epikotil**, yakni bakal batang yang berasal dari tunas embrionik.

Tahap awal pertumbuhan pada tumbuhan monokotil berbeda dengan dikotil. Pada monokotil, akan tumbuh **koleoptil** sebagai pelindung ujung bakal batang. Begitu koleoptil muncul di atas permukaan tanah, pucuk daun pertama akan muncul menerobos koleoptil. Biji masih tetap berada di dalam tanah dan memberi suplai makanan kepada kecambah yang sedang tumbuh. Perkecambahan seperti ini dinamakan perkecambahan **hipogeal** (**Gambar 1.2a**).

Bagaimanakah perkecambahan pada tumbuhan dikotil? Pada dikotil tidak muncul koleoptil. Dari dalam tanah, kotiledonnya akan muncul ke atas permukaan tanah bersamaan dengan munculnya daun pertama. Kotiledon akan memberi makan bakal daun dan bakal akar sampai keduanya dapat mengadakan fotosintesis. Itulah sebabnya, lama-kelamaan kotiledon menjadi kecil dan kisut. Perkecambahan yang kotiledonnya terangkat ke permukaan tanah dinamakan perkecambahan **epigeal**. Perhatikan **Gambar 1.2b** (Moore, *et al*, 1995: 404).

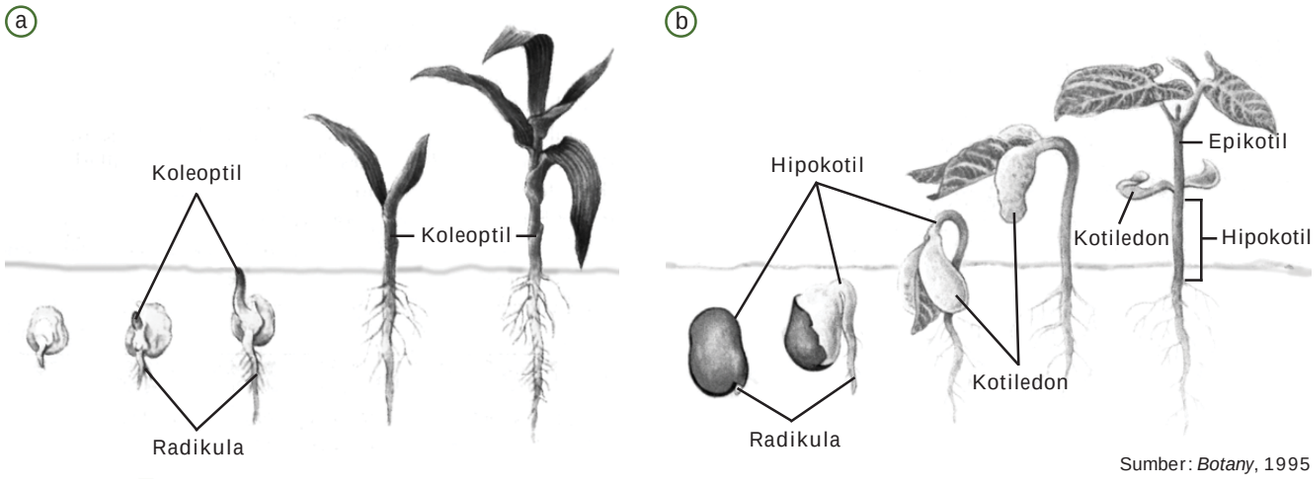
Wawasan Biologi

Tali putri (*Cuscuta* sp.), tumbuhan parasit yang tubuhnya memanjang seperti bakmi, bisa memilih korban dari baunya. Saat tunas barunya muncul dari tanah, tumbuhan tersebut dapat membedakan calon korban dengan mengendus *volatile* atau zat kimia yang dilepaskan tumbuhan lain. Tali putri harus mencari sumber makanan dari tumbuhan lain karena tidak mampu melakukan fotosintesis. Ia juga tidak membentuk akar seperti yang dilakukan tumbuhan pada umumnya.

Sumber: *www.kompas.com*, 02 Oktober 1996

Kata Kunci

- Koleoptil
- Kotiledon
- Meristem
- Perkecambahan
- Pertumbuhan primer

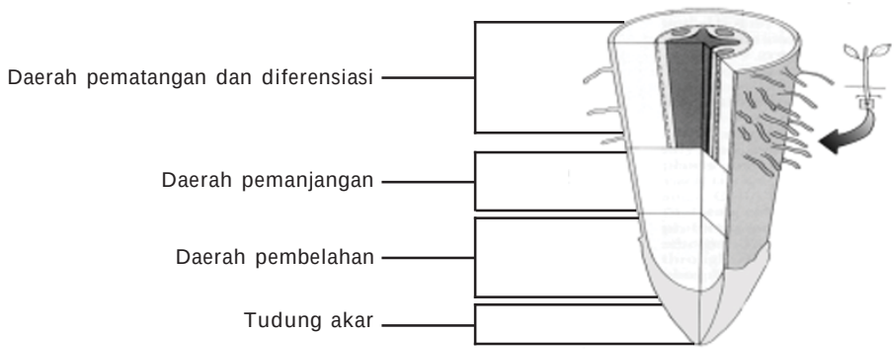


Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 1.2
(a) Perkecambahan hipogeal pada monokotil dan (b) perkecambahan epigeal pada tumbuhan dikotil

Apa saja perbedaan kedua perkecambahan tersebut?

Pada ujung pucuk dan ujung akar, terdapat jaringan yang bersifat meristematik. Jaringan meristem yang terletak di ujung akar menyebabkan pemanjangan akar. Pertambahan panjang akar pada jagung mencapai 1 cm per hari. Ujung akar akan menghasilkan **tudung akar**. Tudung akar akan menghasilkan lendir yang dapat mempermudah akar menembus tanah. Menurut Hopson (1990: 475), pada ujung akar terdapat tiga daerah pertumbuhan berturut-turut dari ujung ke pangkal, yakni **daerah pembelahan**, **daerah pemanjangan**, dan **daerah diferensiasi**. Untuk lebih jelasnya, perhatikan **Gambar 1.3**

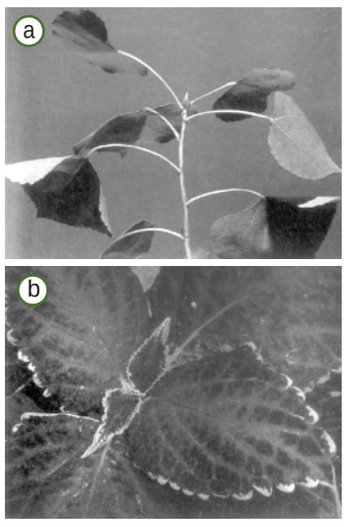


Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 1.3
Daerah pembelahan, daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi terdapat pada ujung akar.

Sel-sel di daerah pembelahan akan membelah secara mitosis sehingga selnya bertambah banyak. Daerah pemanjangan akan membentuk bakal epidermis ke arah luar. Pada daerah diferensiasi, sel-selnya akan berdiferensiasi membentuk komponen pembuluh angkut, epidermis, dan bulu-bulu akar.

Ujung pucuk juga merupakan jaringan meristematik. Jaringan ini akan berdiferensiasi menjadi epidermis, floem, xilem, korteks, dan empulur. Meristem ini dilindungi oleh **primordium daun**. Letak primordium daun pada batang mengikuti pola berhadapan atau pola bergantian yang nantinya akan membentuk rangkaian daun sesuai dengan pola tersebut (**Gambar 1.4**).



Sumber: *Biology*, 1995

Gambar 1.4
(a) Rangkaian daun dengan pola bergantian dan (b) pola berhadapan

b. Pertumbuhan Sekunder

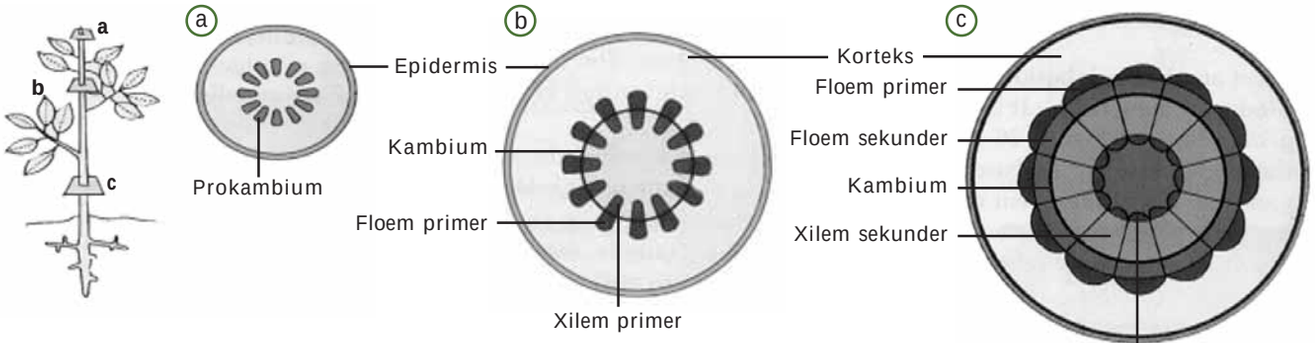
Semakin tua, batang tumbuhan dikotil akan semakin membesar. Hal ini disebabkan adanya proses pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan sekunder ini tidak terjadi pada tumbuhan monokotil. Bagian yang paling berperan dalam pertumbuhan sekunder ini adalah **kambium** dan **kambium gabus** atau felogen. Ke arah dalam, kambium akan membentuk pembuluh kayu (**xilem**), sedangkan ke arah luar kambium akan membentuk pembuluh tapis (**floem**). Kambium pada posisi seperti ini dinamakan **kambium intravaskular**. Sel-sel parenkim yang terdapat di antara pembuluh, lama-kelamaan berubah menjadi kambium. Kambium ini dinamakan **kambium intervaskular**.

Kedua macam kambium tersebut lama-kelamaan akan bersambungan. Posisi kambium yang semula terpisah-pisah, kemudian akan berbentuk lingkaran. Kedua macam kambium ini akan terus berkembang membentuk **xilem sekunder** dan **floem sekunder** sehingga batang menjadi semakin besar. Perhatikanlah **Gambar 1.5**. Akibat semakin besarnya batang, diperlukan jalan untuk mengangkut makanan ke arah samping (lateral). Untuk keperluan tersebut, dibentuklah jari-jari empulur.

Aktivitas kambium bergantung pada keadaan lingkungan. Pada musim kemarau, kambium tidak aktif. Walaupun aktif, kambium hanya akan membentuk sel-sel xilem berdiameter sempit. Ketika air berlimpah, kambium akan membentuk sel-sel xilem dengan diameter besar. Perbedaan ukuran diameter ini akan menyebabkan terbentuknya lingkaran-lingkaran pada penampang melintang batang. Lingkaran ini dikenal dengan **lingkaran tahun**, yang dapat digunakan untuk memperkirakan umur tumbuhan.

Kata Kunci

- Felogen
- Floem
- Kambium
- Lingkaran tahun
- Pertumbuhan sekunder
- Xilem



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 1.5

Perjalanan pertumbuhan batang tampak pada (a) pertumbuhan primer awal, (b) pertumbuhan primer akhir, dan (c) pertumbuhan sekunder.

Apa saja perbedaannya?

Sementara itu, kambium gabus atau felogen juga melakukan aktivitasnya. Felogen ini akan membentuk lapisan gabus. Ke arah dalam, felogen membentuk feloderm yang merupakan sel-sel hidup dan ke arah luar membentuk **felem** (jaringan gabus) yang merupakan sel-sel mati. Lapisan gabus perlu dibentuk karena fungsi epidermis sebagai pelindung tidak memadai lagi. Hal ini diakibatkan oleh pertumbuhan sekunder yang dilakukan kambium mendesak pertumbuhan ke arah luar. Hal tersebut mengakibatkan rusaknya epidermis sehingga kulit batang menjadi pecah-pecah. Adanya lapisan gabus mengakibatkan batang menjadi lebih terlindungi dari perubahan cuaca. Zat suberin pada sel-sel gabus dapat mencegah penguapan air dari batang. Agar pertukaran gas tetap berjalan lancar, di beberapa bagian dari permukaan batang terdapat lentisel. Ingatlah kembali pelajaran tentang jaringan tumbuhan di kelas XI.

Kegiatan 1.1

Pertumbuhan Tumbuhan

Tujuan

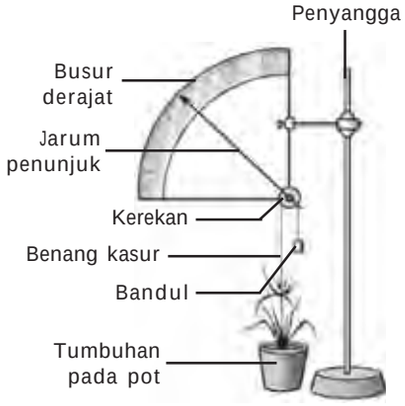
Mengamati pertumbuhan tumbuhan

Alat dan Bahan

Auksanometer, dua buah tumbuhan dalam pot, busur, bandul, jarum, kerekan, dan benang kasur

Langkah Kerja

1. Bersama kelompok Anda, pasangkan auksanometer seperti terlihat pada gambar di samping. Mintalah bantuan guru Anda untuk memasangkan alat tersebut dan memberitahukan cara kerjanya.



2. Setelah alat dan bahan terpasang seperti pada gambar, amatilah pertumbuhan yang terjadi pada tumbuhan yang Anda amati.
3. Amatilah selama satu minggu dan siram tumbuhan tersebut setiap hari. Amati pertumbuhan tumbuhan setiap satu hari sekali.
4. Hitunglah pertumbuhan yang terjadi menggunakan rumus:

$$P = \frac{\alpha}{360} \times 2\pi r$$

P = Panjang tumbuhan hasil pengukuran
α = Sudut yang dibentuk oleh jarum auksanometer
360= Sudut lingkaran
2π = Keliling lingkaran
r = Jari-jari busur

5. Diskusikan hasilnya dengan kelompok Anda, buatlah laporannya dan presentasikan di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.
1. Bagaimanakah pertumbuhan pada tumbuhan yang Anda amati?
2. Apakah pertumbuhan tumbuhan setiap harinya sama ataukah berbeda? Menurut Anda apakah yang menyebabkan terjadinya hal tersebut?
3. Kesimpulan apakah yang Anda dapatkan dari kegiatan ini?

Soal Penguasaan *Materi* 1.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.
1. Apakah perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan?
2. Sebutkan tiga daerah pertumbuhan pada akar.
3. Jelaskan proses pertumbuhan sekunder pada tumbuhan.

B Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Tokoh Biologi

Jan Baptista van Helmont (1579–1644)

Ia merupakan seorang ahli kimia dari Belgia. Ia merupakan orang yang melakukan penelitian awal tentang pertumbuhan pada tumbuhan.

Sumber: *Concise Encyclopedia: Nature*, 1994

Pernahkah Anda memerhatikan pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang berada di daerah berbeda? Walaupun tumbuhan tersebut satu jenis, pertumbuhan dan perkembangannya menunjukkan perbedaan, bukan? Permasalahan tersebut umum kita temukan di bidang pertanian. Meskipun pada prinsipnya pohon kelapa dapat tumbuh di mana saja, tetapi hasil yang diperoleh akan bervariasi jika ditanam bertahap mulai dari daerah pantai (dataran rendah) hingga ke daerah pegunungan (dataran tinggi). Iklim yang sesuai diperlukan oleh tumbuhan agar dapat mengolah makanannya secara optimal dan didukung oleh kondisi tanah yang merupakan sumber makanan selama hidupnya.

Faktor lingkungan yang mendukung, ditambah dengan potensi dari dalam tubuh tumbuhan merupakan kombinasi yang mengoptimalkan produktivitas tumbuhan. Dengan demikian, ada dua hal yang berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, yaitu:
1. **faktor internal**, contohnya hormon yang mengontrol pertumbuhan dan perkembangan;
2. **faktor eksternal**, contohnya kondisi fisik kimia lingkungan, seperti panjang pendeknya hari, temperatur, sumber nutrisi, dan pencahayaan.

Jadi, dapat dikatakan bahwa pertumbuhan dan perkembangan adalah hasil dari interaksi antara faktor internal (potensi genetik) dengan faktor eksternal (kondisi lingkungannya). Hilangnya pertumbuhan suatu organ atau jaringan makhluk hidup dapat disebabkan oleh salah satu faktor di atas saja atau dapat disebabkan oleh kedua-duanya.

Secara genetis, tumbuhan memiliki kloroplas. Akan tetapi, jika tidak ada cahaya, kloroplas tersebut tidak akan terbentuk. Tidak terbentuknya kloroplas dapat disebabkan oleh faktor genetis dan faktor lingkungan. Kloroplas pada tumbuhan dapat tidak terbentuk karena tidak diproduksinya enzim yang diperlukan dalam pembentukan kloroplas atau karena lingkungan tidak menyediakan cahaya atau mineral yang penting dalam pembentukan kloroplas.

Kata Kunci

- Faktor eksternal
- Faktor internal
- Hormon

1. Faktor Internal

Faktor internal dipicu oleh serangkaian proses yang terjadi dalam sel, seperti pembelahan, pemanjangan, dan diferensiasi. Umumnya, faktor-faktor internal yang ada di dalam tubuh ini berupa senyawa biokimia, seperti hormon dan enzim.

Hormon merupakan senyawa kimia yang diproduksi dalam konsentrasi yang kecil oleh tubuh yang akan memengaruhi sel atau organ target. Pada bahasan ini, kita akan mengenal beberapa hormon pada tumbuhan yang membantu dalam proses pertumbuhan dan perkembangan (Moore, *et al*, 1995: 275).

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 1.6

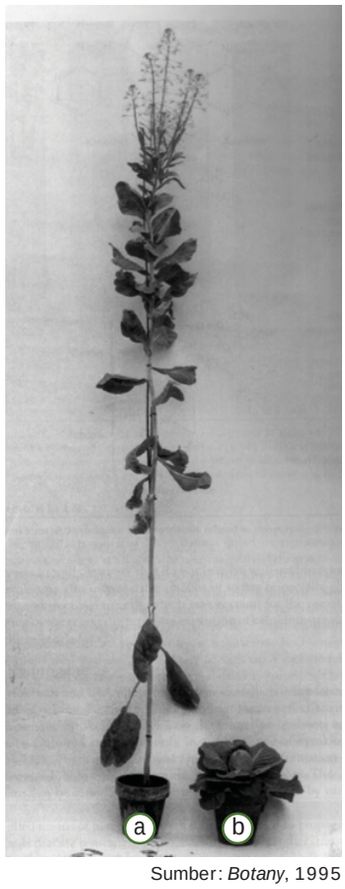
Percobaan yang dilakukan Darwin menunjukkan pertumbuhan koleoptil mengarah ke tempat datangnya cahaya.

a. Auksin

Pada 1800-an, **Charles Darwin** mengamati pertumbuhan rumput yang selalu menuju arah datangnya cahaya matahari. Seorang ahli pertanian, **Ciesielski**, juga mengamati perkembangan akar yang membelok menuju arah bumi. Kedua kejadian ini menghasilkan pertumbuhan ujung-ujung tumbuhan yang berbelok. Hal ini baru dimengerti setelah ditemukan hormon auksin yang bertanggung jawab dalam pemanjangan sel (batang) serta gerakan **tropisme** (gerakan sel bagian tumbuhan sesuai dengan arah datangnya rangsangan) pada tumbuhan. Auksin sangat mudah terurai oleh cahaya sehingga menimbulkan gerakan fototropisme (gerakan yang disebabkan oleh rangsang cahaya), seperti yang terlihat pada **Gambar 1.6**. Auksin yang tidak terurai oleh cahaya dapat menimbulkan pertumbuhan yang cepat di tempat gelap atau disebut **etiolasi**.

Auksin didominasi oleh senyawa golongan IAA (*Indol Asetic Acid*). Dalam konsentrasi sangat sedikit (10^{-5} M), auksin dapat memengaruhi tumbuhan, di antaranya:

1) dapat memicu pembelahan sel dan pemanjangan sel;
2) memengaruhi dalam pembentukan pucuk atau tunas baru dan jaringan yang luka.



Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 1.7

(a) Kubis yang diberi hormon giberelin. Bandingkanlah dengan (b) kubis yang tidak diberi giberelin.

b. Giberelin

Giberelin ditemukan secara tidak sengaja oleh seorang peneliti Jepang bernama **Fujikuro** di tahun 1930-an. Ketika itu, ia sedang mengamati penyakit Banane pada tumbuhan padi. Padi yang terserang oleh sejenis jamur memiliki pertumbuhan yang cepat sehingga batangnya mudah patah. Jamur ini kemudian diberi nama *Gibberella fujikuroi* yang menyekresikan zat kimia bernama giberelin.

Giberelin ini kemudian diteliti lebih lanjut dan diketahui banyak berperan dalam pembentukan bunga, buah, serta pemanjangan sel tumbuhan. Kubis yang diberi hormon giberelin dengan konsentrasi tinggi, akan mengalami pemanjangan batang yang mencolok (**Gambar 1.7**). Beberapa fungsi dari hormon giberelin adalah:

1) berperan dalam dominansi apikal, pemanjangan sel, perkembangan buah, perbungaan, dan mobilisasi cadangan makanan dari dalam biji;
2) ikut berpengaruh terhadap pembentukan akar tumbuhan karena giberelin umum terdapat di bagian meristematik pada akar.

c. Sitokinin

Aktivitas sitokinin pertama kali teramati ketika pembelahan sel oleh **Folke Skoog** dari Universitas Wisconsin, Amerika Serikat. Sitokinin, sesuai dengan namanya (*sito*= sel, *kinin*= pembelahan) berperan dalam pembelahan sel, pemanjangan sel, morfogenesis, dominansi apikal, dan dormansi.

d. Asam absisat

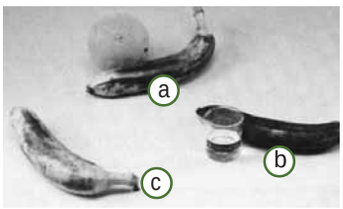
Asam absisat ditemukan oleh peneliti yang bekerja pada penelitian tentang dormansi pohon. Zat kimia yang diambil dari dedaunan sebuah pohon ternyata memengaruhi pertumbuhan pucuk dan menginduksi pembentukan tunas. Asam absisat berperan dalam penuaan, dormansi pucuk, perbungaan, memacu sintesis etilen, dan menghambat pengaruh giberelin.

e. Etilen

Fenomena gas etilen pertama kali diamati oleh ilmuwan mulai abad ke-19. Pada masa itu, sumber penerangan lampu jalanan yang digunakan berasal dari pemanasan oleh batubara. Pepohonan yang berada di sekitar pembuangan gas pembakaran diketahui menggugurkan daunnya secara tidak wajar. Pada tahun 1901, sekelompok peneliti dari Rusia menemukan adanya gas etilen pada pembakaran tersebut dan menyebabkan daun berguguran.

Kini, etilen telah secara luas digunakan sebagai zat pengatur tumbuh pada tumbuhan. Pengaruh etilen ini adalah sebagai berikut.

1) Hormon ini akan menghambat pembelahan sel, menunda perbungaan, dan menyebabkan absisi atau pengguguran daun.
2) Buah terlebih dahulu akan mengalami pematangan sebelum mengalami pengguguran. Jadi, etilen membantu dalam proses pematangan buah. Hal ini ditunjukkan pada **Gambar 1.8**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 1.8
Etilen dapat mematangkan buah pisang yang ditaruh dalam plastik. Hasilnya, (a) pisang matang karena pengaruh etilen dari jeruk, (b) pisang matang karena gas dari zat etilen murni, dan (c) pematangan pisang lambat karena tidak ada pengaruh etilen.

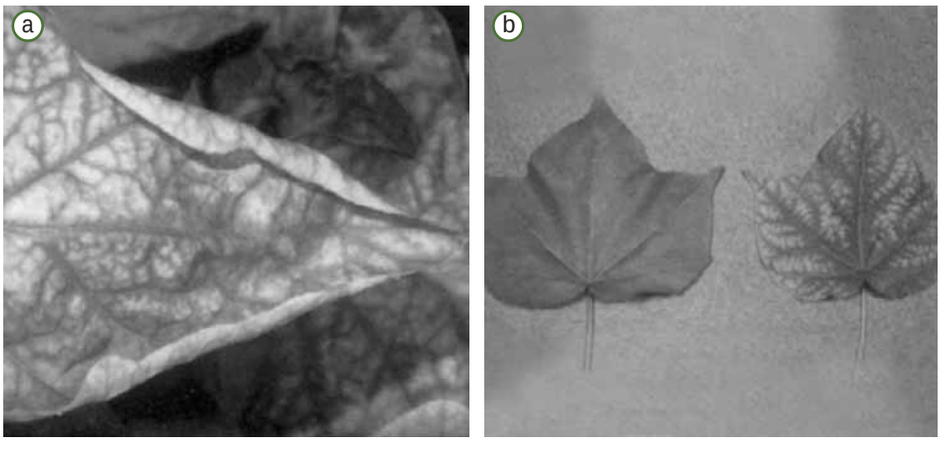
2. Faktor Eksternal

Faktor-faktor eksternal yang berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan di antaranya adalah cahaya, temperatur, kandungan air, dan kesuburan tanah.

Kata Kunci
- Defisiensi
- Elemen makro
- Elemen mikro

a. Makanan (Nutrisi)

Semua makhluk hidup membutuhkan makanan (nutrisi) untuk sumber energi. Unsur yang diperlukan tumbuhan dalam jumlah besar yang disebut **elemen makro** atau unsur makro. Elemen makro terdiri atas karbon, oksigen, hidrogen, nitrogen, sulfur, fosfor, kalium, dan magnesium. Selain itu, ada elemen yang disebut **elemen mikro** atau unsur mikro seperti besi, klor, tembaga, seng, molibdenum, boron, dan nikel. Elemen mikro adalah unsur yang diperlukan tumbuhan dalam jumlah sedikit (Moore, *et al*, 1995: 470).



Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 1.9
Defisiensi unsur (a) fosfor menyebabkan tepi daun menggulung dan (b) defisiensi unsur seng menyebabkan daun berukuran kecil.

Keadaan fisiologis berupa kekurangan elemen makro atau mikro disebut **defisiensi**. Defisiensi yang terjadi pada tumbuhan akan berpengaruh terhadap proses pertumbuhan. Contohnya, daun tumbuhan akan menguning jika kekurangan besi (Fe), karena Fe berfungsi dalam pembentukan klorofil. Selain itu, besi merupakan salah satu unsur yang diperlukan pada pembentukan enzim-enzim pernapasan yang mengoksidasi karbohidrat menjadi karbondioksida dan air. Contoh lainnya, jika tumbuhan kekurangan unsur fosfor, tepi daunnya akan menggulung (**Gambar 1.9**). Untuk mengetahui lebih jelas mengenai unsur-unsur yang diperlukan tumbuhan, perhatikanlah **Tabel 1.1**.

Tabel 1.1 Sumber, Fungsi, dan Gejala Kekurangan Beberapa Unsur pada Tumbuhan

Unsur	Senyawa Tersedia bagi Tumbuhan	Fungsi pada Tumbuhan	Gejala Defisiensi
Mikronutrien			
Molibdenum	MoO_4^{2-}	Fiksasi N_2 pada tumbuhan	Klorosis atau daun muda menggulung
Tembaga	Cu^+, Cu^{2+}	Komponen plastosianin, terdapat pada lignin saluran pembuluh, mengaktifkan enzim.	Daun muda berwarna hijau tua, menggulung, dan layu
Seng	Zn^{2+}	Berperan dalam sintesis auksin, menjaga struktur ribosom, mengaktifkan beberapa enzim.	Klorosis, daun mengecil, dan internodus memendek
Mangan	Mn^{2+}	Aktivator enzim, transfer elektron	Klorosis, nekrosis
Boron	H_3BO_3	Pertumbuhan tabung polen, mengatur fungsi enzim, berperan dalam transportasi karbohidrat	Kematian meristem apikal; daun menggulung dan pucat di bagian ujung
Besi	Fe^{3+}, Fe^{2+}	Diperlukan dalam sintesis klorofil; komponen sitokrom dan feredoksin; kofaktor peroksidase dan beberapa enzim	Klorosis, batang pendek, dan menipis
Klorin	Cl^-	Keseimbangan tekanan osmotik, berperan dalam fotosintesis	Daun layu, klorosis, nekrosis, kekerdilan, akar menebal
Makronutrien			
Sulfur	SO_4^{2-}	Bagian dari koenzim A; asam amino sistein, dan metionin	Klorosis
Fosfor	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}	Bagian dari asam nukleat, gula fosfat, dan ATP, fosfolipid pada membran sel, dan koenzim	Kekerdilan, pigmentasi hijau tua, akumulasi pigmen antosianin, menghambat pertumbuhan
Magnesium	Mg^{2+}	Bagian dari klorofil, aktivator enzim, berperan dalam sintesis protein	Klorosis, daun memerah
Kalsium	Ca^{2+}	Menjaga integritas membran pada lamela tengah, sebagai kofaktor enzim	Kematian akar dan ujung batang
Kalium	K^+	Mengatur tekanan osmosik sel tetangga pada stomata, mengaktifkan lebih dari 60 jenis enzim, diperlukan untuk pembentukan pati	Klorosis, nekrosis, akar, dan batang lemah
Nitrogen	NO_3^-, NH_4^+	Bagian dari asam nukleat, klorofil, asam amino, protein, nukleotida, dan koenzim	Klorosis, kekerdilan, keunguan akibat akumulasi pigmen antosianin

Oksigen	O_2, H_2O	Komponen utama molekul organik tumbuhan	Jarang terjadi
Karbon	CO_2	Komponen utama molekul organik tumbuhan	Jarang terjadi
Hidrogen	H_2O	Komponen utama molekul organik tumbuhan	Jarang terjadi

Sumber: *Botany*, 1995

Wawasan Biologi

Tumbuhan dapat melakukan proses fotosintesis karena memiliki zat hijau daun, yang disebut klorofil. Zat tersebut merupakan zat yang memengaruhi warna hijau pada daun. Bagaimanakah dengan daun yang berwarna merah, apakah pada daun tersebut, proses fotosintesis tetap terjadi?

Ternyata daun yang berwarna merah juga melakukan proses fotosintesis. Warna merah pada daun dipengaruhi oleh pigmen antosianin (zat berwarna merah). Semua daun mengandung klorofil yang bermanfaat dalam proses fotosintesis.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

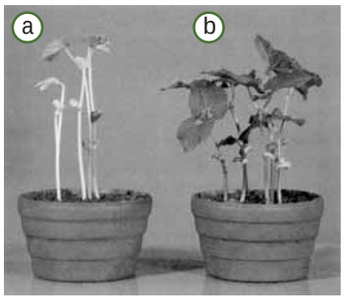
Jadi, media tanam untuk tumbuhan harus memenuhi elemen-elemen yang dibutuhkan tumbuhan. Pemupukan merupakan salah satu cara penambahan nutrisi yang dibutuhkan tumbuhan.

Pengaruh nutrisi tumbuhan dapat terlihat jika bercocok tanam menggunakan hidroponik. **Hidroponik** adalah istilah yang digunakan untuk bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media tanam. Media tanam dapat berupa air, kerikil, pecahan genting, dan gabus putih. Media kultur yang sering digunakan adalah kultur air. Tumbuhan ditanam pada air yang telah dicampurkan berbagai mineral untuk menyuplai kebutuhan tumbuhan. Jika tumbuhan yang ditanam pada kultur air kekurangan nutrisi, tumbuhan tidak akan tumbuh baik.

b. Cahaya

Cahaya merah, biru, hijau, dan biru violet berperan sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis. Makanan hasil fotosintesis yang terdapat pada tumbuhan akan digunakan untuk pertumbuhan. Biji yang ditanam dan ditempatkan di tempat teduh akan tumbuh cepat, tetapi abnormal (tubuh lemah). Peristiwa dinamakan **etiolasi** (lihat **Gambar 1.10**).

Cahaya dapat mengubah leukoplas menjadi kloroplas. Tersedianya cahaya yang memadai akan meningkatkan pembentukan kloroplas. Pada tumbuhan yang sama, tetapi hidup pada tempat yang berbeda pencahayaannya akan menimbulkan perbedaan ukuran daun.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 1.10

Pertumbuhan kecambah (a) di tempat gelap dan (b) di tempat terang

Daun dari tumbuhan yang berada di tempat yang cukup mendapatkan cahaya memiliki ukuran yang lebih sempit, tetapi jaringan mesofilnya lebih tebal daripada daun dari tumbuhan yang berada di tempat yang kurang mendapatkan cahaya. Tinggi tumbuhan pada tempat yang kurang cahaya, lebih tinggi daripada tumbuhan yang hidup pada tempat cukup cahaya. Hal ini disebabkan pada tumbuhan yang hidup pada tempat yang kurang mendapatkan cahaya, transpirasinya rendah sehingga kandungan air lebih tinggi. Tingginya kandungan air memacu pembelahan sel dan pelebaran sel. Akan tetapi, berat tumbuhan menjadi lebih rendah karena aktivitas fotosintesis rendah. Stomata pada tumbuhan yang berada di tempat yang kurang mendapatkan cahaya memiliki jumlah lebih sedikit, tetapi ukurannya besar. Tumbuhan yang berada pada tempat yang mendapatkan cahaya cukup, memiliki jumlah stomata lebih banyak dengan ukuran yang kecil. Sistem perakaran tumbuhan yang hidup pada tempat yang cukup mendapatkan cahaya lebih lebat dibandingkan dengan sistem perakaran tumbuhan yang berada pada tempat kurang mendapatkan cahaya.

Adanya perbedaan letak geografis menyebabkan perbedaan lamanya pencahayaan yang diterima oleh tumbuhan. Pada daerah yang memiliki empat musim, kadang-kadang waktu siang lebih lama daripada waktu malam atau waktu malam lebih lama daripada waktu siang.

Respons tumbuhan terhadap lama pencahayaan dinamakan **fotoperiodisme**. Respons tumbuhan yang dimaksud adalah pertumbuhan, perkembangan, dan produksi. Fotoperiodisme dikendalikan oleh **fitokrom**

yang ditemukan oleh **Sterling B. Hendrik**. Fitokrom adalah suatu protein berwarna biru pucat yang terdistribusikan pada jaringan tumbuhan dengan konsentrasi rendah serta mampu menerima cahaya merah (λ = 660 nm) dan infra merah (λ = 730 nm).

Berdasarkan respon tumbuhan terhadap waktu terang atau waktu gelap, tumbuhan dapat dibedakan menjadi tumbuhan hari pendek (*short-day plant*), tumbuhan hari panjang (*long-day plant*), dan tumbuhan hari netral (*neutral-day plant*). Penggolongan ini sebenarnya bergantung waktu gelap.

Tumbuhan hari pendek adalah tumbuhan yang membentuk bunga jika lamanya waktu malam lebih panjang daripada waktu siang. Tumbuhan yang tergolong hari pendek adalah kedelai, tembakau, stroberi dan *Chrysanthemum indicum*.

Tumbuhan hari panjang adalah tumbuhan yang membentuk bunga jika lamanya waktu malam lebih pendek daripada waktu siang. Tumbuhan yang termasuk *long-day plant* adalah gandum, bit, dan bayam.

Tumbuhan hari netral adalah tumbuhan yang berbunga jika lamanya waktu siang sama dengan waktu malam. Tumbuhan yang tergolong *neutral-day plant* adalah jagung, kacang merah, mentimun, dan kapas.

c. Temperatur

Temperatur sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan. Hal ini karena berkaitan dengan aktivitas enzim dan kandungan air dalam tubuh tumbuhan. Semakin tinggi temperatur, semakin besar pula transpirasi. Akan tetapi, kandungan air dalam tubuh tumbuhan akan semakin rendah sehingga proses pertumbuhan akan semakin lambat. Temperatur yang rendah dapat memecahkan masa istirahat pucuk atau biji. Perlakuan temperatur yang rendah akan memacu pembentukan ruas yang lebih panjang daripada ruas dari tumbuhan yang tumbuh di daerah bertemperatur tinggi. Perlakuan dengan temperatur dapat merangsang perkecambahan biji, peristiwa ini dinamakan **vernalisasi**.

Termoperiodis adalah perbedaan temperatur antara siang dan malam, yang dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan suatu jenis tumbuhan. Tumbuhan tomat akan tumbuh baik jika temperatur siang mencapai 26°C dan temperatur malam mencapai 20°C. Pembentukan buah terjadi jika temperatur malam mencapai 15°C. Akan tetapi, buah tidak terbentuk jika temperatur malam mencapai 25°C.

d. Air

Air merupakan senyawa yang sangat penting bagi tumbuhan. Air berfungsi membantu reaksi kimia dalam sel. Selain itu, air menunjang proses fotosintesis dan menjaga kelembapan.

Kandungan air yang terdapat dalam tanah berfungsi sebagai pelarut unsur hara sehingga unsur hara tersebut mudah diserap oleh tumbuhan. Selain itu, air memelihara temperatur tanah yang berperan dalam proses pertumbuhan. Pertumbuhan akan berlangsung lebih aktif pada malam hari daripada siang hari karena pada malam hari kandungan air dalam tubuh tumbuhan lebih tinggi daripada siang hari.

e. pH

Derajat keasaman tanah (pH tanah) sangat berpengaruh terhadap ketersediaan unsur hara yang diperlukan oleh tumbuhan. Pada kondisi pH tanah netral unsur-unsur yang diperlukan, seperti Ca, Mg, P, K cukup tersedia. Adapun pada pH asam, unsur yang tersedia adalah Al, Mo, Zn, yang dapat meracuni tubuh tumbuhan.

Kata Kunci

- Fitokrom
- Fotoperiodisme
- Tumbuhan hari netral
- Tumbuhan hari panjang
- Tumbuhan hari pendek
- Termoperiodisitas
- Vernalisasi

Tokoh Biologi

Stephen Hales
(1677–1761)

Ia adalah seorang ahli kimia dari Inggris. Ia menerbitkan buku *Vegetable staticks*, buku yang menjelaskan penelitian lengkap mengenai pertumbuhan tumbuhan dan transpirasi.

Sumber: *Concise Encyclopedia: Nature*, 1994

f. Oksigen

Keadaan kadar oksigen yang terdapat dalam tanah selalu berlawanan dengan kadar air dalam tanah. Jika kandungan air tinggi, kandungan udara akan rendah. Kandungan oksigen dalam tanah sangat penting untuk respirasi sel-sel akar yang akan berpengaruh terhadap penyerapan unsur hara.

Tugas Ilmiah 1.1

Ahmad memerhatikan kecambah kacang hijau (taoge) yang ditanam dan ditaruh di dekat jendela, tumbuh mengarah ke arah jendela. Hal ini terjadi pada sekumpulan kecambah. Untuk itu, ia ingin melakukan percobaan mengenai pengaruh arah datangnya cahaya terhadap pertumbuhan kecambah.

Bersama teman kelompok Anda, rencanakanlah sebuah penelitian sederhana pengaruh faktor luar terhadap tumbuhan, seperti yang ingin Anda lakukan. Tentukan judul penelitian, rumusan masalah, latar belakang penelitian, tinjauan pustaka, hipotesis, tujuan manfaat penelitian, dan cara kerja. Guru Anda akan membimbing dalam pengerjaan tugas ini.

Setelah penelitian tersebut dilakukan, buatlah laporan penelitiannya dalam bentuk laporan ilmiah. Bab I adalah Pendahuluan, berisi latar belakang, identifikasi masalah, dan tujuan serta manfaat penelitian. Bab II adalah adalah kajian Teori, berisi teori-teori yang berhubungan dengan parameter penelitian dan hipotesis. Bab III adalah Metodologi Penelitian, berisi metode penelitian yang digunakan, tempat dan waktu, teknik analisis data, alat dan bahan, populasi dan sampel penelitian, serta cara kerja. Bab IV adalah Hasil dan Pembahasan, berisi hasil penelitian (pengukuran dan hasil pengamatan) dan pembahasan berisi argumentasi atau pendapat penelitian terhadap hasil analisis data serta hubungannya dengan kajian teori. Bab V adalah Kesimpulan dan Saran, berisi pernyataan-pernyataan temuan hasil penelitian dan saran yang berisi gagasan untuk penelitian lanjutan. Selain bab-bab tersebut, cantumkanlah daftar pustaka yang Anda gunakan sesuai kaidah penulisan. Selanjutnya, presentasikanlah hasil penelitian kelompok Anda di depan kelas.

Soal Penguasaan *Materi* 1.2

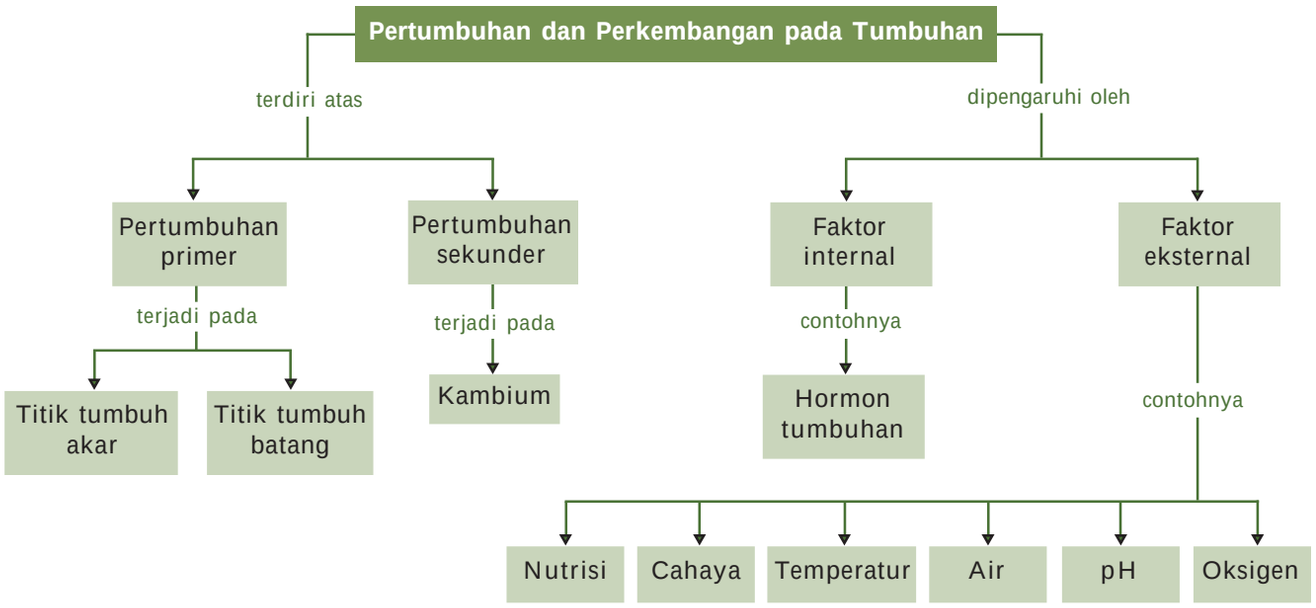
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan faktor-faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.
2. Bagaimanakah pengaruh temperatur terhadap transpirasi?

Rangkuman

1. Pertumbuhan adalah pertambahan ukuran volume, massa, tinggi, atau ukuran lainnya yang dapat dinyatakan dalam bilangan atau secara kuantitatif. Adapun perkembangan adalah perubahan kualitatif yang terjadi pada makhluk hidup.
2. Pertumbuhan pada tumbuhan dapat dibedakan menjadi pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder.
3. Pertumbuhan primer pada tumbuhan adalah pertumbuhan yang terjadi mulai dari fase embrio hinga dewasa. Pertumbuhan primer menghasilkan pemanjangan akar dan batang.
4. Pertumbuhan sekunder terjadi pada tumbuhan yang memiliki kambium. Pertumbuhan sekunder menyebabkan batang dan akar bertambah lebar.
5. Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan dipengaruhi oleh dua faktor. Kedua faktor tersebut adalah faktor internal dan faktor eksternal.
6. Faktor internal di antaranya berpengaruh sebagai pemicu pertumbuhan dan penghambat pertumbuhan. Pemicu pertumbuhan dapat berupa auksin, giberelin, dan sitokinin. Adapun penghambat pertumbuhan, yakni asam absisat dan etilen.
7 Faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan, yakni nutrisi, cahaya, temperatur, air, pH, dan oksigen.

Peta Konsep



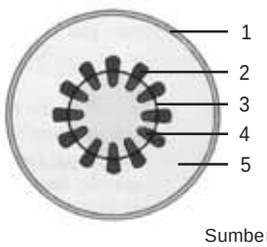
Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Pertumbuhan dan Perkembangan, Anda diharapkan dapat memahami apa yang dimaksud dengan pertumbuhan dan perkembangan serta bagaimana faktor luar dapat memengaruhi kedua hal tersebut. Evaluasilah kemampuan belajar Anda dengan merumuskan materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda.

Evaluasi Materi Bab 1

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

1. Pertumbuhan diartikan sebagai suat proses perubahan ukuran tubuh suatu makhluk. Berikut merupakan salah satu pertumbuhan pada tumbuhan, yakni ....
   a. membesarnya batang
   b. berbunga
   c. berbuah
   d. berkecambah
   e. terbentuknya rambut akar
2. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Aktivitas pertumbuhan sekunder dari bagian bernomor 3 akan menghasilkan ....
   a. felem dan feloderm
   b. ke arah dalam membentuk felem, ke arah luar membentuk felogen
   c. lingkaran tahun dan kambium intravaskuler
   d. ke arah dalam membentuk xilem, ke arah luar membentuk floem
   e. ke arah dalam membentuk floem, ke arah luar membentuk xilem
3. Pengertian dari temperatur optimum pada proses pertumbuhan adalah ....
   a. temperatur tertinggi di mana tumbuhan masih dapat hidup
   b. temperatur tertinggi di suatu daerah di mana tumbuhan tak dapat hidup
   c. temperatur yang dapat memengaruhi tumbuhnya tumbuhan sehingga tumbuhan mudah layu

d. temperatur yang paling sesuai bagi pertumbuhan suatu jenis tumbuhan
e. temperatur terendah di mana tumbuhan masih dapat hidup

4. Suatu tumbuhan mengalami defisiensi unsur Mn^{2+}. Hal yang akan terjadi adalah ....
   a. tumbuh kerdil
   b. batang tumbuh lemah
   c. nekrosis
   d. daun muda menggulung
   e. layu

5. Hormon tumbuhan yang merangsang pertumbuhan sel baru pada jaringan yang luka adalah ....
   a. kaulokalin
   b. auksin
   c. asam traumalin
   d. filokalin
   e. giberelin

6. Ketika tumbuhan mengalami pembelahan sel kelamin pada bunga, tahap tersebut dapat dikatakan sebagai ....
   a. perkembangan
   b. pertumbuhan
   c. regenerasi
   d. etiolasi
   e. reproduksi

7. Perkembangan makhluk hidup dapat diartikan sebagai ....
   a. penambahan bahan dan perubahan substansi yang dapat diukur
   b. penambahan jumlah sel hanya pada titik tumbuh
   c. pertambahan volume yang dapat diukur dan bersifat tidak dapat kembali
   d. menuju kedewasaan dan tidak dapat diukur
   e. perubahan yang berlangsung tanpa batas

8. Dalam perkembangan, tumbuhan dari waktu ke waktu mengalami pertambahan volume dan ukuran. Proses tersebut disebabkan oleh ....
   a. bertambah banyaknya sel di dalam jaringan
   b. bertambah besar dan bertambah banyaknya sel di dalam jaringan
   c. pembesaran dan pemanjangan sel
   d. bertambah panjangnya sel di dalam jaringan
   e. penebalan dinding sel

9. Perkembangan pada makhluk hidup adalah suatu proses ....
   a. menuju pertumbuhan sekunder
   b. pertambahan volume
   c. perubahan substansi
   d. pertambahan jumlah sel
   e. menuju kedewasaan

10. Faktor-faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan adalah ....
    a. temperatur, kelembapan, bibit unggul, tanah
    b. kelembapan, cahaya, temperatur, genetis
    c. cahaya, temperatur, kelembapan, hormon
    d. air, kelembapan, temperatur, udara
    e. hormon, air, kelembapan, tanah

11. Dalam perkecambahan, biji dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor-faktor yang pada umumnya diperlukan untuk perkecambahan adalah ....
    a. oksigen, air, dan keadaan gelap
    b. oksigen, temperatur yang hangat, dan air
    c. oksigen, temperatur yang hangat, dan terang
    d. oksigen, temperatur yang lembap, dan gelap
    e. oksigen, sinar, dan karbonsioksida

12. Selain dapat menghambat pembelahan sel, etilen dapat membantu ....
    a. pengguguran daun
    b. pematangan buah
    c. pembelahan sel
    d. dormansi pucuk
    e. perbungaan

13. Pada tumbuhan yang ditanam di tempat gelap akan memiliki ciri sebagai berikut ....
    a. memiliki daun yang sempit
    b. memiliki jaringan mesofil yang tebal
    c. kloroplas yang cukup
    d. transpirasi yang tinggi
    e. tumbuh cepat, tetapi abnormal

14. Kecambah yang tumbuh di tempat gelap, batangnya lebih panjang daripada yang tumbuh di tempat terang. Oleh karena itu, muncul dugaan bahwa ....
    a. gelap adalah faktor pemacu pertumbuhan
    b. cahaya memicu pertumbuhan
    c. cahaya menimbulkan pembentukan racun
    d. hormon mempercepat pertumbuhan batang
    e. cahaya mempercepat pertumbuhan

15. Auksin yang dibentuk pada ujung kecambah akan dipengaruhi oleh cahaya. Apabila disinari pada satu sisi saja, kecambah tersebut akan ....
    a. tidak tumbuh
    b. tumbuh lurus
    c. tumbuh ke arah datangnya cahaya
    d. tumbuh bengkok
    e. tumbuh berlawanan dengan arah datangnya cahaya

16. Berikut adalah faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan, yakni ....
    a. air
    b. zat hara
    c. hormon
    d. mineral
    e. pupuk

17. Perhatikan gambar di samping. Pemberian hormon giberelin pada gambar tersebut memengaruhi pertumbuhan ....
    a. daun
    b. akar
    c. bunga
    d. buah
    e. batang

Sumber: *Botany*, 1995

18. Berikut *bukan* merupakan faktor eksternal pada pertumbuhan tumbuhan, yakni ....

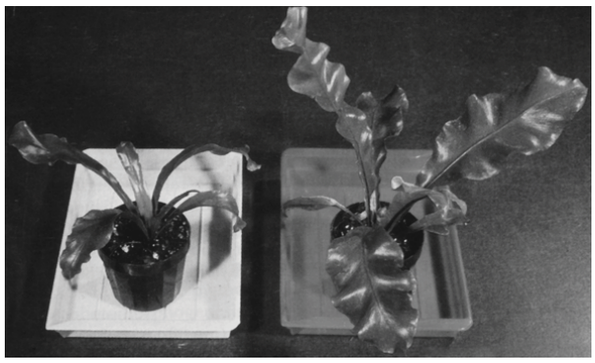
a. cahaya
b. temperatur
c. air
d. kesuburan tanah
e. hormon

19. Tepi daun yang menggulung pada suatu tumbuhan menandakan bahwa tumbuhan tersebut kekurangan unsur ....
a. tembaga
b. mangan
c. besi
d. kalium
e. magnesium

20. Perbedaan antara temperatur siang dan malam dapat berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan. Respons tumbuhan terhadap pencahayaan tersebut dinamakan ....
a. fotoperiodisme
b. *long-day plant*
c. *short-day plant*
d. *neutral-day plant*
e. termodinamika

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

1. Sebutkan faktor internal dan faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan.
2. Apakah perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan? Jelaskan.
3. Tumbuhan berikut ini memiliki umur yang sama, tetapi pola pertumbuhannya berbeda. Hal ini disebabkan tumbuhan sebelah kanan diberi hormon giberelin. Berdasarkan gambar tersebut, jelaskan fungsi giberelin.

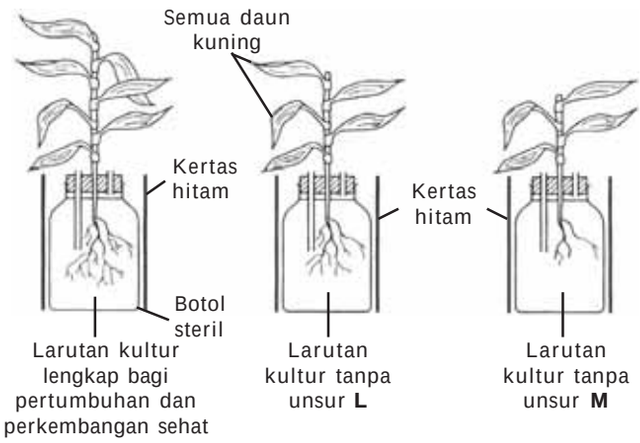


Sumber: *Biology: Discovering Life*,1991

4. Mengapa tumbuhan yang berada di tempat gelap lebih tinggi daripada tumbuhan yang berada di tempat terang?
5. Apakah kaitan antara auksin dan cahaya matahari? Bagaimana pengaruhnya terhadap pertumbuhan?

Soal Tantangan

Tiga bibit tanaman jagung, masing-masing memiliki empat daun hijau, dibersihkan secara hati-hati dan disimpan di botol selai steril. Botol tersebut dibungkus kertas hitam. Selanjutnya, dimasukkan ke dalamnya larutan nutrisi. Berikut ini gambar tanaman setelah tiga minggu kemudian.



Jawablah pertanyaan berikut.

1. Sebutkan tiga kondisi lingkungan yang harus dijaga dan sama selama percobaan.
2. Apa fungsi perlakuan A?
3. Menurut Anda, unsur apakah **L** dan **M**? Jelaskan.
4. Jelaskan mengapa botol harus steril dan ditutup kertas hitam?

Kegiatan Semester 1

Pengaruh Giberelin terhadap Pembentukan Akar

1. Tujuan

Menunjukkan pengaruh giberelin terhadap pembentukan akar pada setek batang

2. Alat dan Bahan

a. Pot 20 buah
b. Sekop kecil
c. Alat penyiram
d. Gunting setek atau pisau
e. Tanah gembur
f. Zat tumbuh giberelin (GA_3)
g. Hasil setek batang tumbuhan mawar atau bunga sepatu

3. Langkah Kerja

a. Buatlah dua kelompok penelitian menjadi kelompok setek batang dengan giberelin (kelompok A) dan kelompok setek batang tanpa giberelin (kelompok B). Untuk setiap kelompok, sediakan sepuluh buah pot yang masing-masing ditanami satu buah potongan batang hasil setek.
b. Perlu diperhatikan bahwa tanah yang digunakan tidak perlu mengandung pupuk atau zat penyubur lainnya. Tumbuhan kelompok A hanya disiram dengan air, sedangkan tumbuhan kelompok B disiram dengan air yang mengandung GA_3 sebanyak 1% (artinya, dalam 1 liter air terkandung 10 mL GA_3).
c. Potong helai daun yang berada di bagian paling bawah setek.
d. Rawatlah kedua kelompok tumbuhan tersebut selama dua minggu, kemudian amatilah hasilnya.
e. Sebagai data pengamatan, bandingkanlah keadaan tumbuhan kelompok A dan kelompok B.

4. Penyusunan Laporan

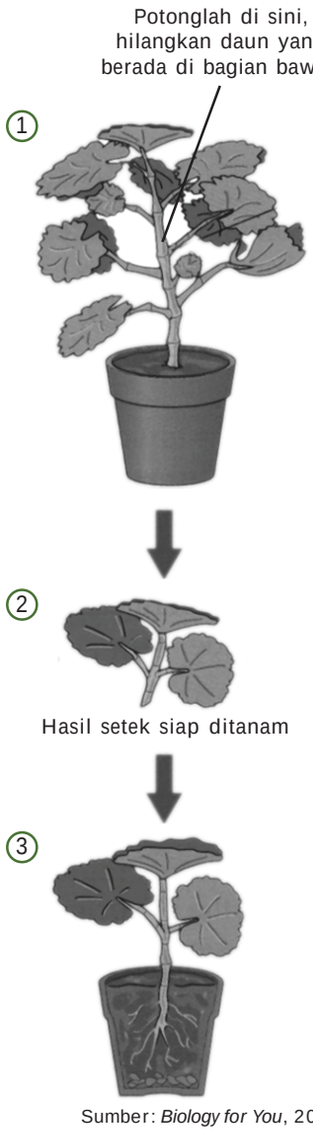
Buatlah hasilnya dalam bentuk tabel pengamatan yang berkaitan dengan pertanyaan berikut.

a. Kelompok manakah yang lebih cepat membentuk akar? Kelompok A ataukah kelompok B? Hitunglah persentase hasil setek tumbuhan kelompok A dan kelompok B yang mengalami pembentukan akar.
b. Bagaimanakah hasil pengamatan mengenai banyaknya akar yang terbentuk, besar kecilnya akar, dan panjangnya akar.

Untuk membantu Anda dalam penulisan laporan **Kegiatan Semester 1** ini, jawablah pertanyaan berikut.

1. Mengingat pengaruh zat tumbuh, keuntungan apakah yang dapat diharapkan melalui penggunaan zat tersebut?
2. Bagaimanakah cara menentukan konsentrasi zat tumbuh yang tepat untuk suatu tujuan?
3. Benarkah giberelin dapat memacu pertumbuhan akar?
4. Kesimpulan apakah yang dapat Anda ambil setelah Anda bandingkan persentase hasil setek yang menghasilkan akar; serta jumlah, besar, dan panjangnya akar yang terbentuk pada percobaan tersebut.

Sebagai bukti etos kerja Anda, buatlah laporan kegiatan sebaik mungkin. Carilah referensi atau informasi pendukung dari berbagai buku ataupun berbagai sumber dari internet. Lakukanlah kegiatan semester ini secara berkelompok dan berdiskusilah dengan teman-teman dan guru Anda.



Sumber: *Biology for You*, 2002

Sumber: *endela ptek*, 1997

Bab 2
Metabolisme

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami pentingnya proses metabolisme pada makhluk hidup. Setelah mempelajari bab ini, Anda akan dapat menjelaskan fungsi enzim dalam proses metabolisme serta mendeskripsikan proses katabolisme dan anabolisme karbohidrat. Selain itu, Anda akan dapat menjelaskan keterkaitan antara proses metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein.

Setelah berlari selama satu jam, sekujur tubuh seorang atlet lari marathon akan dipenuhi dengan keringat. Jantungnya masih berdenyut kencang disertai aliran darah yang mengalir cepat. Suhu tubuhnya meningkat. Selain itu, napasnya pun akan tersengal-sengal untuk mengambil oksigen sebanyak mungkin.

Mengapa tubuh atlet tersebut berkeringat serta napasnya tersengal-sengal ketika melakukan lari marathon? Berasal dari manakah keringat tersebut? Seperti yang Anda ketahui, keringat merupakan usaha tubuh untuk melepaskan panas sebagai hasil metabolisme sehingga suhu tubuh menjadi stabil. Metabolisme tidak hanya dilakukan oleh manusia, tetapi juga dilakukan oleh semua makhluk hidup ciptaan Tuhan Yang Maha Esa.

Dengan mempelajari metabolisme, Anda akan memahami mengapa makhluk hidup memerlukan makanan dan air sebagai kebutuhan dasarnya. Selain itu, Anda akan memahami pentingnya karbohidrat, protein, dan lemak pada makanan yang Anda makan serta pengaruh pada metabolisme jika Anda mengkonsumsi salah satu bahan makanan secara berlebih.

Selain metabolisme pada hewan dan manusia, Anda juga akan mempelajari metabolisme pada tumbuhan dan beberapa jenis bakteri, yaitu fotosintesis dan kemosintesis. Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan dapat memahami materi tentang metabolisme pada makhluk hidup secara menyeluruh.

A. Molekul yang Berperan dalam Metabolisme
B. Metabolisme Karbohidrat
C. Hubungan antara Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

Soal *Pramateri*

1. Apakah yang dimaksud dengan metabolisme?
2. Sebutkan contoh reaksi yang termasuk metabolisme pada makhluk hidup.

Wawasan Biologi

Transformasi energi terjadi pada perubahan energi matahari menjadi ATP dan glukosa oleh tumbuhan. Selanjutnya, glukosa diubah menjadi ATP, energi bagi hewan dan manusia. Hal ini sejalan dengan hukum Termodinamika I. Hukum Termodinamika I yang disebut juga hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lainnya, tetapi tidak akan pernah dapat diciptakan atau dihancurkan.

Sumber: *Biology*, 1998

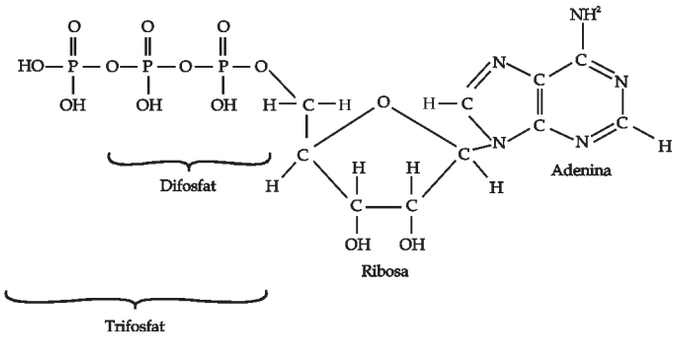
A Molekul yang Berperan dalam Metabolisme

Motor dapat bergerak karena adanya energi. Energi yang didapatkan tersebut berasal dari bensin. Di dalam mesin motor, bensin mendapat energi minimum untuk bereaksi menghasilkan energi dari percikan api yang dipicu oleh busi. Suhu di dalam mesin pun dapat mencapai ratusan derajat celcius.

Energi minimum yang diperlukan suatu substrat untuk bereaksi dinamakan sebagai **energi aktivasi**. Bagaimanakah dengan tubuh manusia atau mahluk hidup lainnya? Tentu kita tidak dapat memenuhi kebutuhan energi pemicu pada keadaan seperti di mesin. Akan tetapi, dengan suhu yang cukup rendah, bahan makanan yang kita makan tetap dapat menghasilkan energi untuk menunjang aktivitas kita. Ternyata, tubuh organisme menyediakan molekul berenergi dan molekul yang dapat mempercepat (mengkatalisasi) terjadinya reaksi kimia dalam tubuh. Molekul tersebut adalah ATP (*Adenosin trifosfat*) dan **enzim**.

1. Molekul Energi

Dalam banyak reaksi tubuh, perpindahan energi dilakukan bersamaan dengan dilepaskan atau dibentuknya senyawa dengan ikatan fosfat. Sumber energi utama yang mengandung senyawa fosfat adalah ATP (*Adenosin trifosfat*) yang memiliki 3 gugus fosfat. Senyawa ini menjadi sumber energi langsung yang dibutuhkan oleh tubuh dalam melakukan usaha (aktivitas) karena pelepasan satu gugus fosfat akan menghasilkan energi yang besar. Pada kondisi laboratorium, satu mol ATP menghasilkan energi sebesar 7,3 kkal. ATP terdiri atas gugus adenin yang mengandung gugus nitrogen, ribosa, menghasilkan 5 molekul karbon gula, serta 3 molekul fosfat (**Gambar 2.1**).



Gambar 2.1
Struktur ATP

Untuk menghasilkan energi, ATP mengalami fosforilasi yang dibantu oleh enzim fosforilase menjadi ADP (*Adenosin difosfat*). Makhluk hidup yang beraktivitas, menggunakan ATP terus-menerus. Akan tetapi, ATP tidak habis karena merupakan sumber daya yang dapat diperbarui dengan menambahkan satu gugus fosfat pada ADP. Hal ini dapat dilakukan melalui respirasi sel pada hewan. Pada tumbuhan digunakan energi cahaya untuk membentuk ATP kembali.

Kata Kunci

- Energi aktivasi
- Enzim
- Substrat

$$\underset{\text{(3 fosfat)}}{\text{ATP}} \xrightarrow{\text{fosforilase}} \underset{\text{(2 fosfat)}}{\text{ADP}} + \text{Pi} + \text{energi}$$

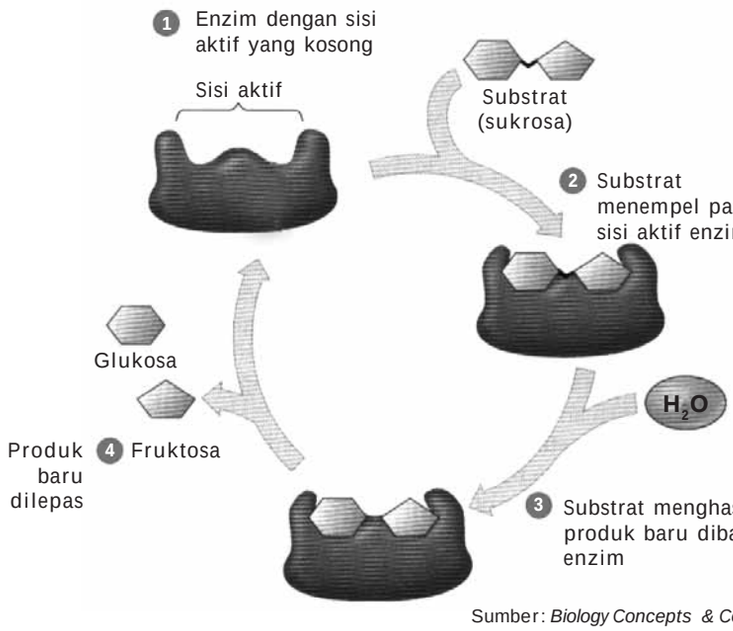
Dalam proses transfer energi, terdapat beberapa jenis molekul energi lainnya yang berperan sebagai molekul penyimpan energi, yakni $NADH_2$, FADH, dan ATP. Semua molekul tersebut memiliki kesetaraan dengan produksi ATP. NADH setara dengan 3 ATP dan FADH setara dengan 2 ATP.

2. Enzim

Enzim merupakan protein pengkatalis. **Katalis** adalah agen kimiawi yang mempercepat laju reaksi tanpa mengubah struktur enzim itu sendiri. Tanpa adanya enzim, reaksi kimia pada jalur metabolisme akan terhenti.

a. Struktur Enzim

Enzim memiliki **sisi aktif**, yakni bagian atau tempat pada enzim yang berfungsi sebagai tempat menempelnya substrat. Kerja enzim sangat spesifik karena sisi aktif dari enzim sangat selektif terhadap bentuk kimia dari substrat yang akan dikatalisis. Ikatan yang terbentuk antara enzim dengan substrat bersifat lemah sehingga reaksi dapat berlangsung bolak-balik. Substrat menempel pada sisi aktif enzim dan akan menghasilkan produk baru. Perhatikan **Gambar 2.2**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 2.2
Substrat menempel pada sisi aktif enzim dan menghasilkan produk baru.

Tubuh enzim terdiri atas beberapa bagian. Bagian utama enzim berupa protein yang disebut **apoenzim**. Bagian lainnya adalah bagian yang tersusun atas materi anorganik, seperti senyawa logam yang disebut **gugus prostetik**. Beberapa enzim memerlukan molekul yang membantu kerja enzim menguatkan ikatan dengan substrat, yakni **kofaktor**. Banyak molekul logam anorganik yang berfungsi sebagai kofaktor, seperti ion logam Fe^{2+}, Cu^{2+}, dan Mg^{2+}.

Beberapa komponen kimia enzim yang tersusun atas molekul organik nonprotein disebut **koenzim**. Koenzim membawa atom fungsional ketika enzim bereaksi. Contoh koenzim yang berada pada bagian gugus prostetik enzim adalah **koenzim A**, yang membawa sumber karbon ketika memecah piruvat dan asam lemak. Ikatan antara apoenzim dan kofaktor disebut **holoenzim**.

Kata Kunci
- Apoenzim
- Gugus prostetik
- Holoenzim
- Koenzim
- Kofaktor

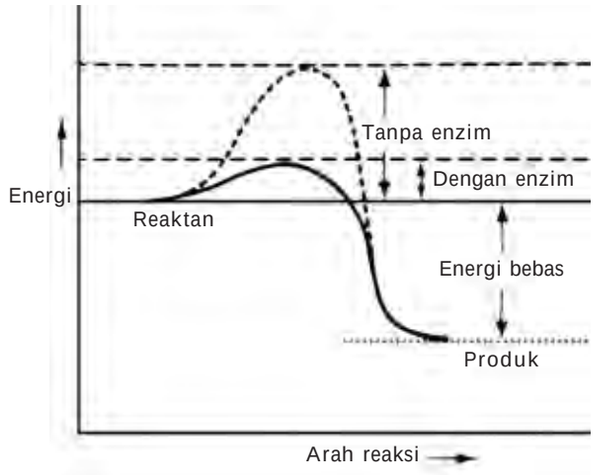
b. Sifat Enzim

Enzim bekerja dengan cara menurunkan energi aktivasi sehingga energi awal minimun untuk sebuah reaksi dapat diperkecil. Untuk memahaminya, perhatikanlah **Gambar 2.3** berikut.

Wawasan Biologi

Pada malam hari, kunang-kunang, beberapa kumbang, dan beberapa organisme lainnya dapat memancarkan cahaya. Kemampuan ini disebut bioluminesensi. Hal ini terjadi ketika enzim lusiferase memicu elektron protein lusiferin untuk pindah ke lapisan energi lebih tinggi. Lusiferin adalah salah satu kelompok zat yang sangat floresen. Ketika elektron yang terpacu kembali ke lapisan energi rendah secara cepat, protein lusiferin akan melepaskan energi dalam bentuk cahaya.

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



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.3
Enzim bekerja dengan cara menurunkan energi aktivasi.

Enzim bukanlah penambah energi awal dalam bereaksinya substrat, tetapi hanya sebagai pengikat sementara sehingga reaksi dapat berlangsung pada keadaan di bawah energi aktivasinya. Hal ini menyebabkan reaksi akan berjalan lebih cepat. Enzim merupakan protein yang dapat terdenaturasi (struktur dan sifatnya berubah) oleh suhu, pH, atau logam berat.

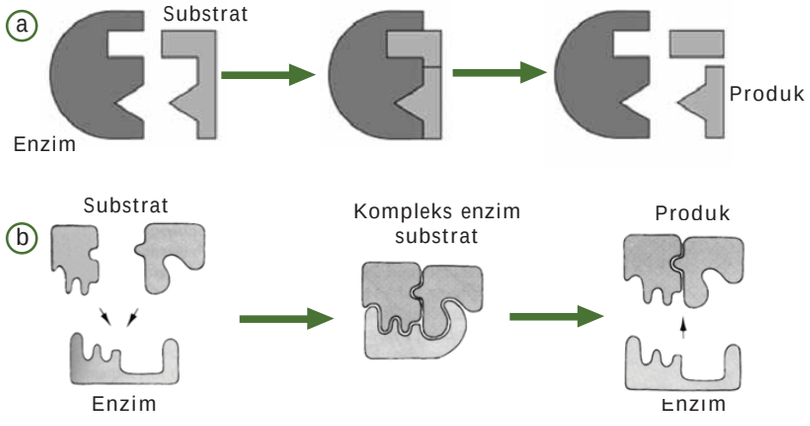
Empat sifat umum enzim sebagai berikut.

1) Enzim bukanlah penyebab reaksi, namun enzim hanya mempercepat reaksi. Tanpa adanya enzim, suatu reaksi tetap dapat terjadi. Akan tetapi, diperlukan energi yang besar dan berlangsung sangat lambat.
2) Enzim tidak berubah secara permanen atau habis bereaksi. Enzim yang sama dapat digunakan berulang-ulang.
3) Enzim yang sama dapat digunakan untuk reaksi kebalikannya. Suatu enzim dapat mengubah substrat A menjadi molekul B dan C. Enzim yang sama dapat bekerja sebaliknya membentuk substrat A dari molekul B dan C.
4) Setiap jenis enzim hanya bekerja pada zat tertentu saja.

Kata Kunci
- Endoenzim
- Eksoenzim
- Teori *induced fit*
- Teori *lock and key*

c. Cara Kerja Enzim

Terdapat dua teori yang menerangkan cara kerja enzim, yakni teori *lock and key* dan teori *induced fit*. **Teori** *lock and key* menganalogikan mekanisme kerja enzim seperti kunci dengan anak kunci. Substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim. Jadi, sisi aktif enzim seolah-olah kunci dan substrat adalah anak kunci. Adapun **teori** *induced fit* mengemukakan bahwa setiap molekul substrat memiliki permukaan yang hampir pas dengan permukaan sisi aktif enzim. Jika substrat masuk ke dalam sisi aktif enzim, akan terbentuk kompleks enzim substrat yang pas (Keeton and Gould, 1986: 79). Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.4
(a) Teori *lock and key* (b) Teori *induced fit*
Apakah perbedaannya?

d. Penamaan Enzim

Penamaan enzim umumnya disesuaikan dengan substrat yang diuraikan, lalu dibubuhi akhiran **ase**. Sebagai contoh, enzim amilase menguraikan amilum menjadi maltosa di mulut. Enzim lipase bekerja menguraikan lipid (lemak) menjadi asam lemak.

e. Jenis enzim

Berdasarkan lokasi kerjanya, enzim dapat dibagi menjadi dua jenis, sebagai berikut.

1) **Eksoenzim**, yakni enzim yang bekerja di luar sel, contohnya:
   amilum $\xrightarrow{\text{amilase}}$ maltosa
   maltosa $\xrightarrow{\text{maltase}}$ glukosa
2) **Endoenzim**, yakni enzim yang bekerja di dalam sel, contohnya:
   glukosa $\xrightarrow{\text{heksokinase}}$ glukosa-6-Phospat

f. Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

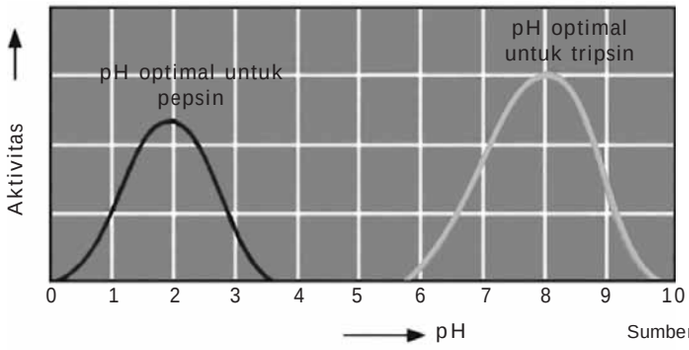
Seperti halnya protein yang lain, sifat enzim sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungannya. Kondisi yang tidak sesuai dapat menyebabkan kerja enzim terganggu. Berikut adalah beberapa faktor yang memengaruhi kerja enzim.

1) Temperatur

Enzim memiliki rentang temperatur tertentu agar dapat bereaksi dengan optimal. Pada temperatur yang tinggi, enzim akan rusak (terdenaturasi) sebagai sifat umum dari protein. Pada kondisi ini, struktur enzim sudah berubah dan rusak sehingga tidak dapat digunakan lagi. Adapun pada temperatur yang rendah, enzim berada pada kondisi inaktif (tidak aktif). Enzim akan bekerja kembali dengan adanya kenaikan temperatur yang sesuai. Semua enzim memiliki kondisi temperatur yang spesifik untuk bekerja optimal. Enzim memiliki kecenderungan semakin meningkat seiring dengan kenaikan temperatur hingga pada batas tertentu. Setelah itu, enzim kembali mengalami penurunan kinerja. Pada saat kerja enzim optimal maka dapat dikatakan bahwa pada temperatur tersebut temperatur optimum (**Gambar 2.5**).

2) pH

Seperti halnya temperatur, pH dapat memengaruhi optimasi kerja enzim. Setiap enzim bekerja pada kondisi pH yang sangat spesifik. Hal ini berkaitan erat dengan lokasi enzim yang bekerja terhadap suatu substrat. Pada umumnya, enzim akan bekerja optimum pada pH 6-8 (**Gambar 2.6**). Perubahan pH lingkungan akan mengakibatkan terganggunya ikatan hidrogen yang ada pada struktur enzim. Jika enzim berada pada kondisi pH yang tidak sesuai, enzim dapat berada pada keadaan inaktif. Dengan adanya kondisi pH yang spesifik ini, enzim tidak akan merusak sel lain yang berada di sekitarnya. Contohnya, enzim pepsin yang diproduksi pankreas untuk mencerna protein dalam lambung, tidak akan mencerna protein yang ada di dinding pankreas karena enzim pepsin bekerja pada pH 2-4. Perhatikan **Gambar 2.6**.

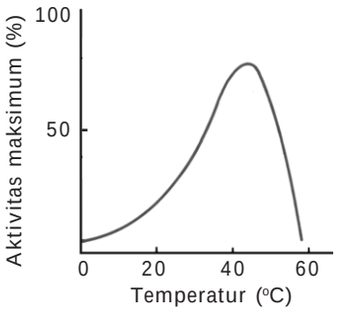


Sumber: *Biology*, 1998

Wawasan Biologi

Respon negatif terhadap obat pada penduduk Indonesia cukup tinggi. Dari penelitian respon obat tidur dan obat antidepresi terhadap lima kelompok etnis terbesar di Indonesia (Melayu, Sunda, Jawa, Bugis, dan Benoaq Dayak) menunjukkan tingkat respon buruk terhadap obat itu tergolong tinggi. Penelitian tersebut meneliti reaksi enzim CYP2C19 yang memetabolisme obat tidur diasepam, antidepresi, dan obat sakit mag. Jika seseorang memiliki tipe gen buruk yang enzimnya tidak mampu atau tidak baik dalam memetabolisme obat-obatan itu, maka obat itu akan menumpuk dalam darah atau tubuh hingga bersifat tosik.

Sumber: *www.kompas.com*, 21 April 2006



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.5

Setiap enzim akan bekerja optimal pada temperatur tertentu.

Apa yang terjadi pada en im tersebut jika suhu melebihi °C?

Gambar 2.6

Setiap enzim akan bekerja pada pH yang berbeda.

Kegiatan **2.1**

Aktivitas Enzim

Tujuan

Mengetahui efek asam, basa, dan air terhadap enzim pada apel

Alat dan Bahan

Lima potong buah apel, cuka, air jeruk, air soda, air susu, air bening, dan sebelas gelas kecil/gelas plastik air mineral

Langkah Kerja

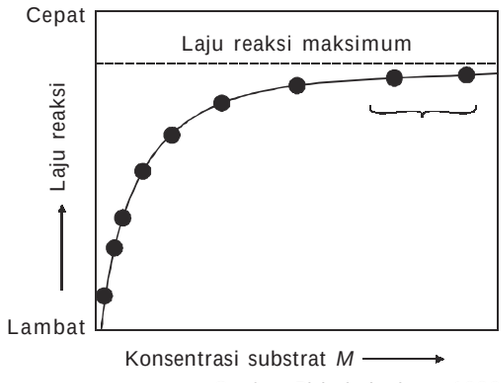
1. Bersama kelompok Anda, beri label pada setiap gelas; A–cuka, B–air jeruk, C–air soda, D–susu, E–air, dan F-kontrol tanpa perlakuan.
2. Masukkan setiap bahan (cuka, air, jeruk, soda, susu, dan air) sebanyak 20 ml ke dalam tiap gelas menurut labelnya.
3. Masukkan potongan apel ke dalam setiap gelas selama beberapa menit. Kemudian, pindahkan potongan apel tersebut ke dalam gelas kosong.
4. Biarkan potongan apel selama satu hari (24 jam). Catat hasil yang didapat dan diskusikan dengan teman kelompok Anda. Buat laporannya dan presentasikan di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Perubahan apakah yang terjadi pada apel? Dapatkah apel diganti dengan buah lain dalam percobaan ini? Mengapa demikian?
2. Berdasarkan hasil percobaan, bahan manakah yang menyebabkan perubahan warna pada apel? Bandingkan juga dengan kontrol.
3. Apakah asam, basa, atau air dapat menghentikan aktivitas enzim pada apel?
4. Jika Anda membiarkan sebuah apel yang telah dikupas selama beberapa menit, apel tersebut berubah warna menjadi kehitaman. Adakah kaitan antara peristiwa tersebut dengan percobaan ini?

3) Konsentrasi Substrat dan Konsentrasi Enzim

Kerja enzim sangat cepat maka untuk mengoptimalkan hasilnya, perlu perbandingan jumlah atau konsentrasi antara substrat dengan enzim yang sesuai. Jumlah substrat yang terlalu banyak dan konsentrasi enzim sedikit akan menyebabkan reaksi tidak optimal. Perhatikan **Gambar 2.7**.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.7
Laju reaksi dibatasi oleh jumlah enzim yang akan mengubah substrat.

Konsentrasi enzim membatasi laju reaksi. Enzim akan "jenuh" jika sisi aktif semua molekul enzim terpakai setiap waktu. Pada titik jenuh, laju reaksi tidak akan meningkat meskipun substrat ditambahkan. Jika konsentrasi enzim ditambahkan, laju reaksi akan meningkat hingga titik jenuh berikutnya.

4) Kofaktor

Kofaktor dapat membantu enzim untuk memperkuat ikatan dengan substrat atau kebutuhan unsur anorganik, seperti karbon. Selain itu, kofaktor juga membantu proses transfer elektron.

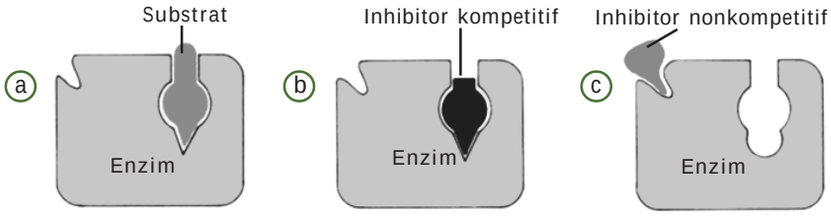
5) Inhibitor Enzim

Inhibitor mengganggu kerja enzim. Berdasarkan pengertian dari kata dasarnya (*inhibit* artinya menghalangi), inhibitor merupakan senyawa yang dapat menghambat kerja enzim. Inhibitor secara alami dapat berupa bisa (racun) yang dikeluarkan oleh hewan, seperti ular atau laba-laba. Inhibitor akan mencegah sisi aktif untuk tidak bekerja. Beberapa obat-obatan juga berfungsi sebagai inhibitor, seperti penisilin yang berguna menghambat kerja enzim pada mikroorganisme.

Inhibitor terbagi atas dua macam, yakni **inhibitor kompetitif** dan **inhibitor nonkompetitif**. Pada inhibitor kompetitif, inhibitor ini akan bersaing dengan substrat untuk bergabung dengan enzim sehingga kerja enzim akan terganggu. Sementara itu, inhibitor nonkompetitif tidak akan bersaing dengan substrat untuk bergabung dengan enzim karena memiliki sisi ikatan yang berbeda (Keeton and Gould, 1986: 81).

Kata Kunci

- Inhibitor kompetitif
- Inhibitor nonkompetitif



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.8

(a) Kompleks enzim substrat tanpa inhibitor (b) inhibitor kompetitif (c) inhibitor nonkompetitif.

Apa perbedaan kedua inhibitor tersebut?

6) Kadar Air

Kerja enzim sangat dipengaruhi oleh air. Rendahnya kadar air dapat menyebabkan enzim tidak aktif. Sebagai contoh, biji tanaman yang dalam keadaan kering tidak akan berkecambah. Hal ini disebabkan oleh tidak aktifnya enzim sebagai akibat dari rendahnya kadar air dalam biji. Biji akan berkecambah jika direndam. Kadar air yang cukup dapat mengaktifkan kembali enzim.

Soal Penguasaan *Materi* 2.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan faktor-faktor yang memengaruhi kerja enzim.
2. Mengapa enzim tidak cocok bekerja pada temperatur tinggi?
3. Apakah fungsi ATP?

Tokoh Biologi

Hans Krebs
(1900–1981)

Ahli biokimia Jerman, Hans Krebs, (1900–1981) menemukan bahwa glukosa secara perlahan dipecahkan di dalam sel, dengan suatu siklus reaksi yang dinamakan daur asam sitrat atau daur Krebs. Pada daur ini, dinyatakan bahwa dalam setiap tahap, sejumlah kecil energi dilepaskan dan disimpan dalam sel.

Sumber: *endela ptek: ehidupan* 1997

Kata Kunci

- Autotrof
- Glikolisis
- Heterotof
- Metabolisme
- Respirasi

B Metabolisme Karbohidrat

Keseluruhan reaksi kimia di dalam tubuh organisme yang melibatkan perubahan energi disebut **metabolisme**. Sebagai makhluk hidup, energi dapat dihasilkan dari sebuah proses, atau suatu proses justru memerlukan energi. Pada umumnya, energi dilepaskan ketika tubuh organisme mencerna molekul kompleks menjadi molekul yang sederhana. Proses tersebut dinamakan **katabolisme**. Adapun proses pembentukan senyawa kompleks dari unsur-unsur penyusunnya dan reaksi tersebut memerlukan energi dinamakan **anabolisme**.

1. Katabolisme Karbohidrat

Katabolisme merupakan reaksi penguraian atau pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana untuk menghasilkan energi. Proses katabolisme yang terjadi pada makhluk hidup dibedakan menjadi **respirasi aerob** dan **respirasi anaerob**. Apakah yang membedakan respirasi aerob dengan respirasi anaerob?

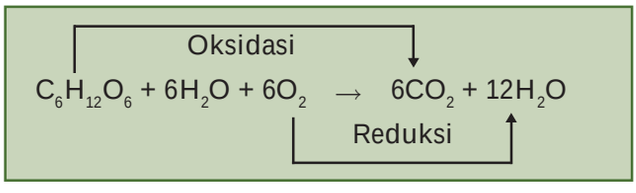
Berdasarkan perubahan energinya, reaksi kimia dapat dibedakan menjadi reaksi **eksergonik** dan reaksi **endergonik**. Pada reaksi eksergonik, terjadi pelepasan energi. Katabolisme merupakan reaksi eksergonik. Jika energi yang dilepaskan berupa panas, disebut reaksi **eksoterm**. Adapun pada reaksi endergonik, terjadi penyerapan energi dari lingkungan. Anabolisme termasuk reaksi endergonik karena memerlukan energi. Jika energi yang digunakan dalam bentuk panas, disebut reaksi **endoterm.**

a. Respirasi Aerob

Respirasi bertujuan menghasilkan energi dari sumber nutrisi yang dimiliki. Semua makhluk hidup melakukan respirasi dan tidak hanya berupa pengambilan udara secara langsung. Respirasi dalam kaitannya dengan pembentukan energi dilakukan di dalam sel. Oleh karena itu, prosesnya dinamakan **respirasi sel**. Organel sel yang berfungsi dalam menjalankan tugas pembentukan energi ini adalah mitokondria.

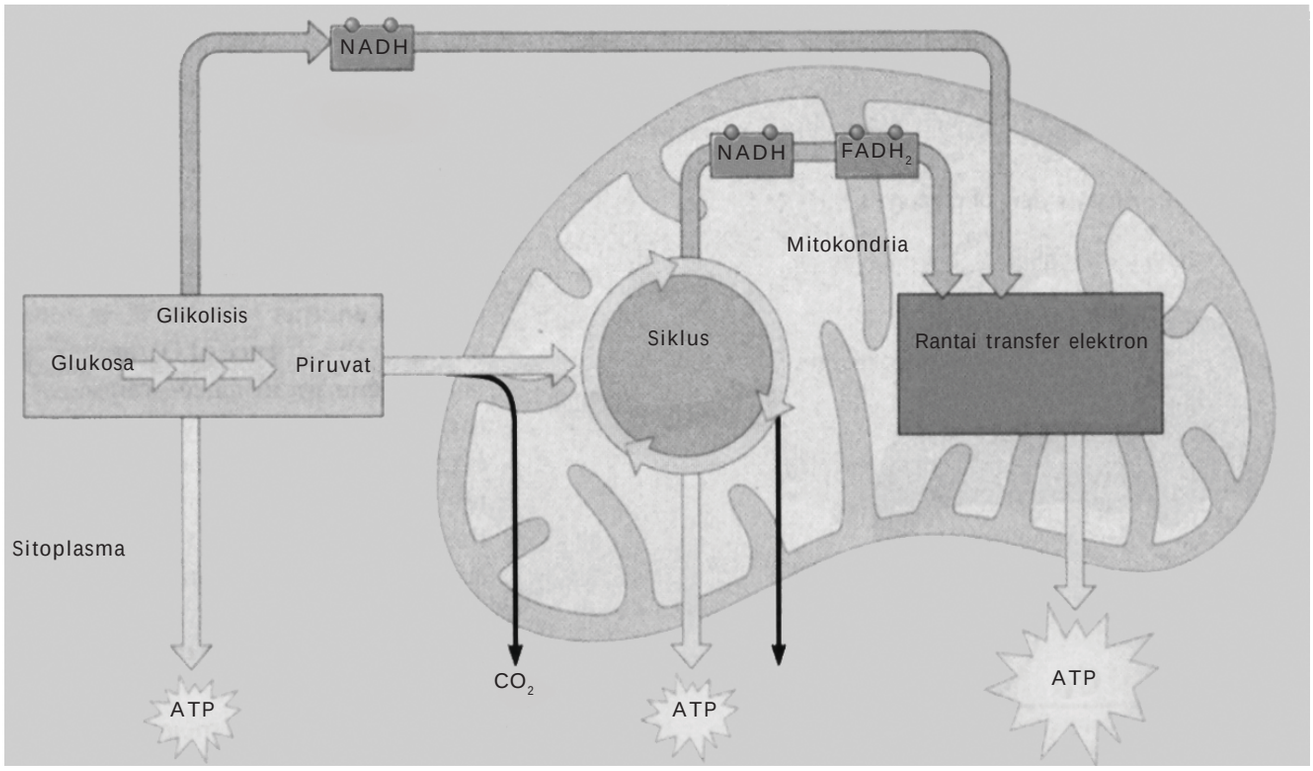
Respirasi termasuk ke dalam kelompok katabolisme karena di dalamnya terjadi penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana, diikuti dengan pelepasan energi. Energi yang kita gunakan dapat berasal dari hasil metabolisme tumbuhan. Oleh karena itu, tumbuhan merupakan organisme **autotrof**, yang berarti dapat memproduksi makanan sendiri. Adapun konsumen, seperti hewan dan manusia, yang tidak dapat menyediakan makanan sendiri disebut organisme **heterotrof**.

Proses respirasi erat kaitannya dengan pembakaran bahan bakar berupa makanan menjadi energi. Kondisi optimal akan tercapai dalam kondisi aerob (ada oksigen). Secara singkat, proses yang terjadi sebagai berikut.



Pembentukan energi siap pakai akan melalui beberapa tahap reaksi dalam sistem respirasi sel pada mitokondria. Menurut Campbell, *et al*, (2006: 93) reaksi-reaksi tersebut, yaitu:

1) glikolisis, yakni proses pemecahan glukosa menjadi asam piruvat;
2) dekarboksilasi oksidatif asam piruvat, yakni perombakan asam piruvat menjadi asetil Co-A;
3) daur asam sitrat, yakni siklus perombakan asetil Ko-A menjadi akseptor elektron dan terjadi pelepasan sumber energi;
4) transfer elektron, yakni mekanisme pembentukan energi terbesar dalam proses respirasi sel yang menghasilkan produk sampingan berupa air.

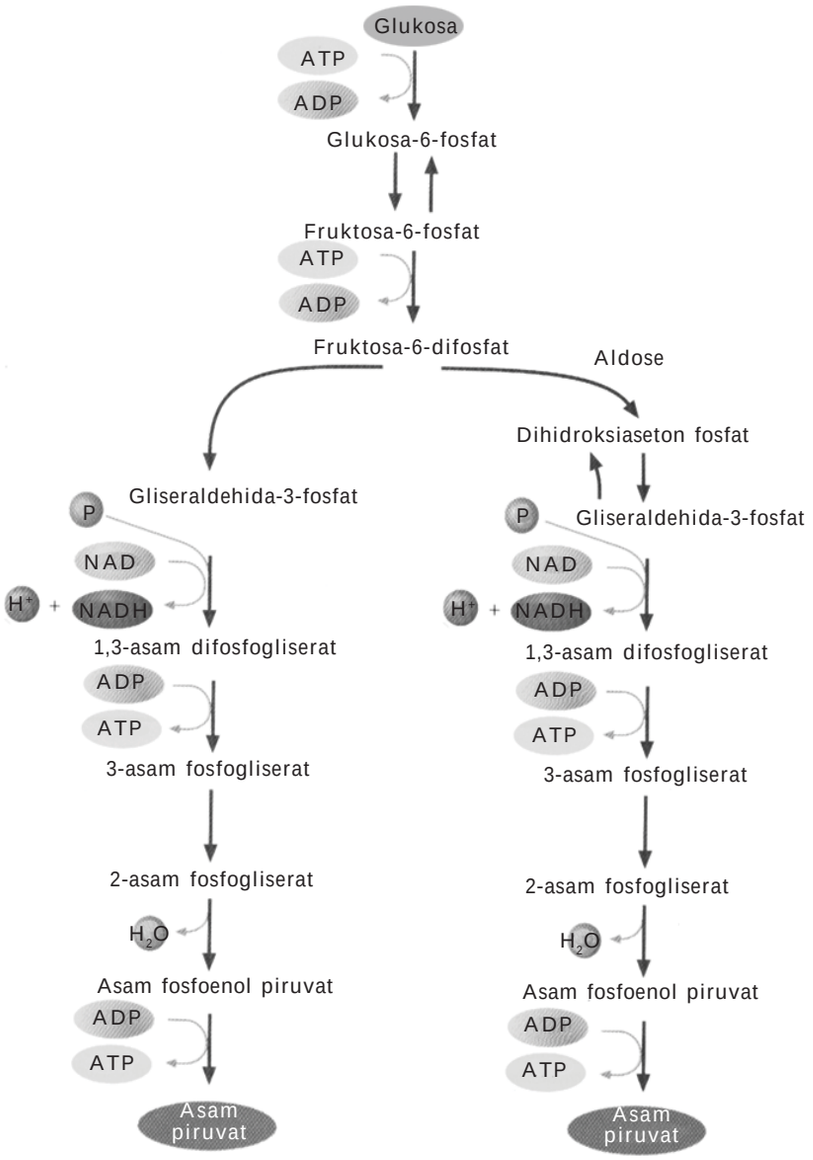


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 2.9
Energi yang dihasilkan dari respirasi sel adalah ATP.

1) Glikolisis

Tahap ini merupakan awal terjadinya respirasi sel. Molekul glukosa akan masuk ke dalam sel melalui proses difusi. Agar dapat bereaksi, glukosa diberi energi aktivasi berupa satu ATP. Hal ini mengakibatkan glukosa dalam keadaan terfosforilasi menjadi glukosa-6-fosfat yang dibantu oleh enzim heksokinase. Secara singkat, glukosa-6-fosfat dipecah menjadi 2 buah molekul gliseraldehid-3-fosfat (PGAL) dengan bantuan satu ATP dan enzim fosfoheksokinase. Proses selanjutnya merupakan proses eksergonik. Hasilnya adalah 4 molekul ATP dan hasil akhir berupa 2 molekul asam piruvat (C3). Secara lengkap, proses glikolisis yang terjadi sebagai berikut (**Gambar 2.10**).



Gambar 2.10
Proses glikolisis berlangsung dalam sembilan tahap.
Berapa jumlah ATP yang dihasilkan dari proses ini?

Sumber: *Biochemistry*, 1996

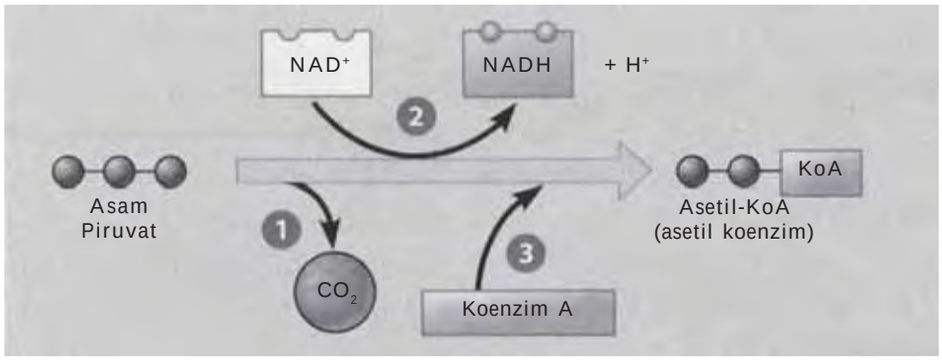
Walaupun empat molekul ATP dibentuk pada tahap glikolisis, namun hasil reaksi keseluruhan adalah dua molekul ATP. Ada dua molekul ATP yang harus diberikan pada fase awal glikolisis. Tahap glikolisis tidak memerlukan oksigen.

Kata Kunci
- Asetil-KoA
- Dekarboksilasi oksidatif

2) Dekarboksilasi Oksidatif

Setiap asam piruvat yang dihasilkan kemudian akan diubah menjadi Asetil-KoA (koenzim-A). Asam piruvat ini akan mengalami dekarboksilasi sehingga gugus karboksil akan hilang sebagai CO_2 dan akan berdifusi keluar sel. Dua gugus karbon yang tersisa kemudian akan mengalami oksidasi sehingga gugus hidrogen dikeluarkan dan ditangkap oleh akseptor elektron NAD^+. Perhatikan **Gambar 2.11**. Gugus yang terbentuk, kemudian ditambahkan **koenzim-A** sehingga menjadi **asetil-KoA**. Hasil akhir dari proses dekarboksilasi oksidatif ini akan menghasilkan 2 asetil-KoA dan 2

molekul NADH. Pembentukan asetil-KoA memerlukan kehadiran vitamin B1. Berdasarkan hal tersebut, dapat diketahui betapa pentingnya vitamin B dalam tubuh hewan maupun tumbuhan.

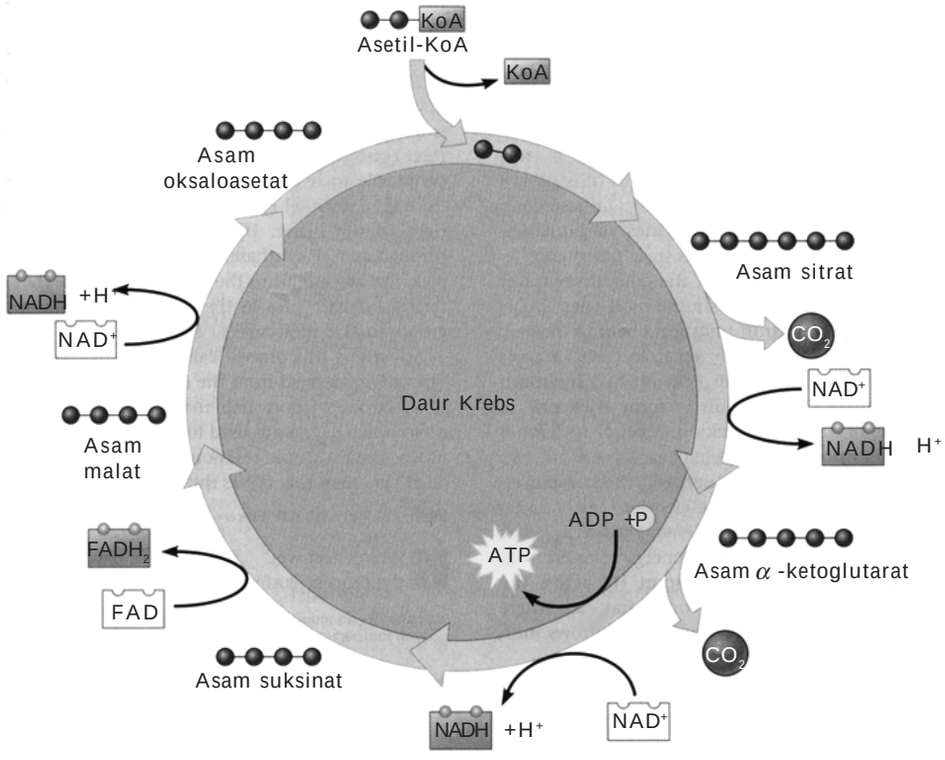


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 2.11
Dekarboksilasi oksidatif asam piruvat menghasilkan CO_2, 2 asetil- KoA, dan 2 molekul NADH.

3) Daur Asam Sitrat

Proses selanjutnya adalah daur asetil-KoA menjadi beberapa bentuk sehingga dihasilkan banyak akseptor elektron. Selain disebut sebagai daur asam sitrat, proses ini disebut juga **daur Krebs**. **Hans A. Krebs** adalah orang yang pertama kali mengamati dan menjelaskan fenomena ini pada tahun 1930.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Kata Kunci
- Daur asam sitrat
- Asam sitrat

Gambar 2.12
Dekarboksilasi oksidatif asam piruvat menghasilkan CO_2, 2 asetil- KoA, dan 2 molekul NADH.

Setiap tahapan dalam daur asam sitrat dikatalis oleh enzim yang khusus. Berikut adalah beberapa tahapan yang terjadi dalam daur asam sitrat. (**Gambar 2.12**).

a) Asetil-KoA akan menyumbangkan gugus asetil pada oksaloasetat sehingga terbentuk asam sitrat. Koenzim A akan dikeluarkan dan digantikan dengan penambahan molekul air.

b) Perubahan formasi asam sitrat menjadi asam isositrat akan disertai pelepasan air.
c) Asam isositrat akan melepaskan satu gugus atom C dengan bantuan enzim asam isositrat dehidrogenase, membentuk asam α-ketoglutarat. NAD^+ akan mendapatkan donor elektron dari hidrogen untuk membentuk NADH. Asam α-ketoglutarat selanjutnya diubah menjadi suksinil KoA.
d) Asam suksinat tiokinase membantu pelepasan gugus KoA dan ADP mendapatkan donor fosfat menjadi ATP. Akhirnya, suksinil-KoA berubah menjadi asam suksinat.
e) Asam suksinat dengan bantuan suksinat dehidrogenase akan berubah menjadi asam fumarat disertai pelepasan satu gugus elektron. Pada tahap ini, elektron akan ditangkap oleh akseptor FAD menjadi $FADH_2$.
f) Asam Fumarat akan diubah menjadi asam malat dengan bantuan enzim fumarase.
g) Asam malat akan membentuk asam oksaloasetat dengan bantuan enzim asam malat dehidrogenase. NAD^+ akan menerima sumbangan elektron dari tahap ini dan membentuk NADH.
h) Dengan terbentuknya asam oksaloasetat, siklus akan dapat dimulai lagi dengan sumbangan dua gugus karbon dari asetil KoA.

4) Transfer Elektron

Selama tiga proses sebelumnya, dihasilkan beberapa reseptor elektron yang bermuatan akibat penambahan ion hidrogen. Reseptor-reseptor ini kemudian akan masuk ke transfer elektron untuk membentuk suatu molekul berenergi tinggi, yakni ATP.

Reaksi ini berlangsung di dalam membran mitokondria. Reaksi ini berfungsi membentuk energi selama oksidasi yang dibantu oleh enzim pereduksi. Transfer elektron merupakan proses kompleks yang melibatkan NADH (*Nicotinamide Adenine Dinucleotide*), FAD (*Flavin Adenine Dinucleotide*), dan molekul-molekul lainnya. Dalam pembentukan ATP ini, ada akseptor elektron yang akan memfasilitasi pertukaran elektron dari satu sistem ke sistem lainnya.

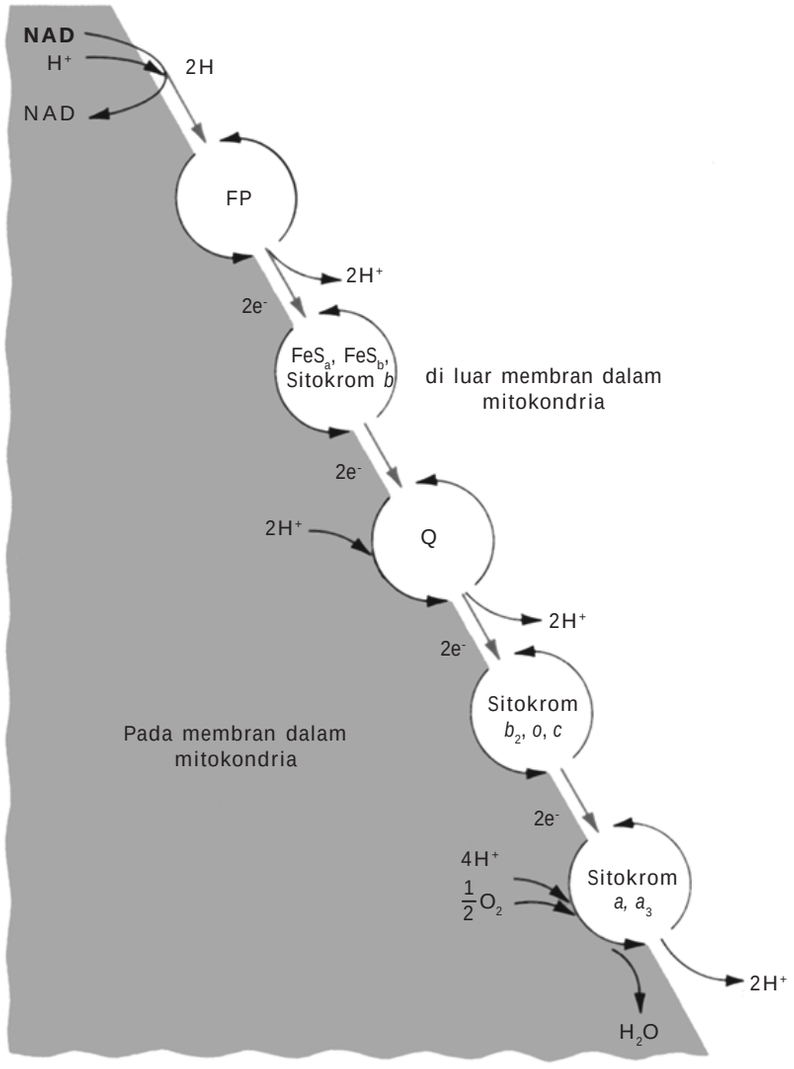
a) Enzim dehidrogenase mengambil hidrogen dari zat yang akan diubah oleh enzim (substrat). Hidrogen mengalami ionisasi sebagai berikut.

$$2H \longrightarrow 2H^+ + 2e$$
elektron

Kata Kunci
- FAD
- FMN
- Transfer elektron

Proton hidrogen mereduksi koenzim NAD melalui reaksi $NAD + H^+ \longrightarrow NADH + H^+$. NADH dari matriks mitokondria masuk ke ruang intermembran melewati membran dalam, kemudian memasuki sistem rantai pernapasan.

b) NADH dioksidasi menjadi NAD^+ dengan memindahkan ion hidrogen kepada flavoprotein (FP), flavin mononukleotida (FMN), atau FAD yang bertindak sebagai pembawa ion hidrogen. Dari flavoprotein atau FAD, setiap proton atau hidrogen dikeluarkan ke matriks sitoplasma untuk membentuk molekul H_2O.
c) Elektron akan berpindah dari ubiquinon ke protein yang mengandung besi dan sulfur (FeS_a dan FeS_b) $\longrightarrow$ sitokrom b $\longrightarrow$ koenzim quinon $\longrightarrow$ sitokrom b_2 sitokrom o $\longrightarrow$ sitokrom c $\longrightarrow$ sitokrom a $\longrightarrow$ sitokrom a_3, dan terakhir diterima oleh molekul oksigen sehingga terbentuk H_2O perhatikan **Gambar 2.13**.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 2.13
Sistem transfer elektron membentuk energi selama oksidasi yang dibantu oleh enzim pereduksi.
apankah digunakan?

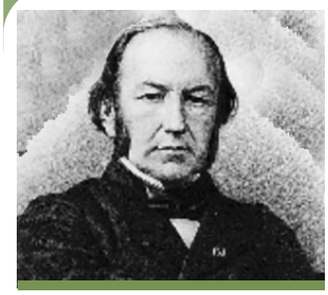
Di dalam rantai pernapasan, 3 molekul air (H_2O) dihasilkan melalui NADH dan 1 molekul H_2O dihasilkan melalui FAD. Satu mol H_2O yang melalui NADH setara dengan 3 ATP dan 1 molekul air yang melalui FAD setara dengan 2 ATP.

Tabel 2.1 Tahap Reaksi pada Respirasi

No	Proses	Akseptor	ATP
1.	Glikolisis $\rightarrow$ 2 asam piruvat	2 NADH	2 ATP
2.	Siklus Krebs		
	2 asam piruvat $\rightarrow$ 2 asetil KoA + $2CO_2$	2 NADH	2ATP
	2 asetil KoA $\rightarrow$ $4CO_2$	6 NADH	
3.	Rantai transfer elektron		
	10 NADH + $50_2 \rightarrow$ 10 NAD+ + 10 H_2O		30ATP } 34
	2 $FADH_2$ + $O_2 \rightarrow$ 2 FAD + $2H_2O$		4ATP }

Walaupun ATP total yang tertera pada **Tabel 2.1** adalah 38 ATP, jumlah total yang dihasilkan pada proses respirasi adalah 36 ATP. Hal tersebut disebabkan 2 ATP digunakan oleh elektron untuk masuk ke mitokondria.

Tokoh Biologi



Louis Pasteur
(1821–1902)

Louis Pasteur memberikan banyak jasa dalam memajukan mikrobiologi (ilmu yang mempelajari mikro-organisme). Ia memperlihatkan bahwa mikroorganisme yang terdapat pada ragi dapat mengubah gula menjadi alkohol melalui fermentasi.

Sumber: *endela ptek: Imu edokteran*, 1997

b. Respirasi Anaerob

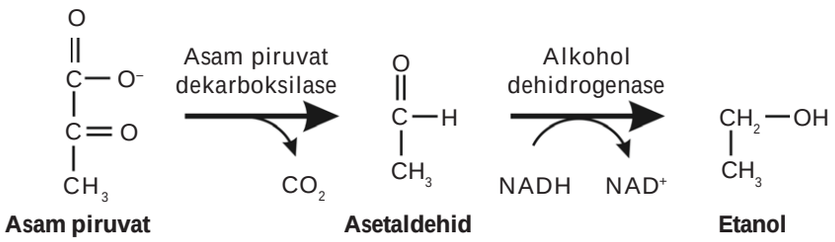
Setelah berolahraga atau mengerjakan suatu pekerjaan berat, napas Anda menjadi terengah-engah karena suplai oksigen yang masuk tubuh menjadi berkurang. Tubuh mengatasi keadaan ini dengan memperpendek jalur pembentukan energi melalui proses respirasi anaerob. Cara ini ditempuh agar tubuh tidak kekurangan pasokan energi ketika melakukan suatu aktivitas berat. Respirasi anaerob dikenal juga dengan istilah **fermentasi**.

Fermentasi adalah perubahan glukosa secara anaerob yang meliputi glikolisis dan pembentukan NAD. Fermentasi menghasilkan energi yang relatif kecil dari glukosa. Glikolisis berlangsung dengan baik pada kondisi tanpa oksigen. Fermentasi dibedakan menjadi dua tipe reaksi, yakni **fermentasi alkohol** dan **fermentasi asam laktat**.

Fermentasi alkohol maupun fermentasi asam laktat diawali dengan proses glikolisis. Pada glikolisis, diperoleh 2 NADH + H^+ + 2 ATP + asam piruvat. Pada reaksi aerob, hidrogen dari NADH akan bereaksi dengan O_2 pada transfer elektron. Pada reaksi anaerob, ada akseptor hidrogen permanen berupa asetildehida atau asam piruvat.

1) Fermentasi Alkohol

Pada fermentasi alkohol, asam piruvat diubah menjadi etanol atau etil alkohol melalui dua langkah reaksi. Langkah pertama adalah pembebasan CO_2 dari asam piruvat yang kemudian diubah menjadi asetaldehida. Langkah kedua adalah reaksi reduksi asetaldehida oleh NADH menjadi etanol. NAD yang terbentuk akan digunakan untuk glikolisis (**Gambar 2.14)** .



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 2.14
Pada langkah pertama fermentasi alkohol, terjadi pembebasan CO_2.
Apa hasil akhir reaksi ini?

Sel ragi dan bakteri melakukan respirasi secara anaerob. Hasil fermentasi berupa CO_2 dalam industri roti dimanfaatkan untuk mengembangkan adonan roti sehingga pada roti terdapat pori-pori.

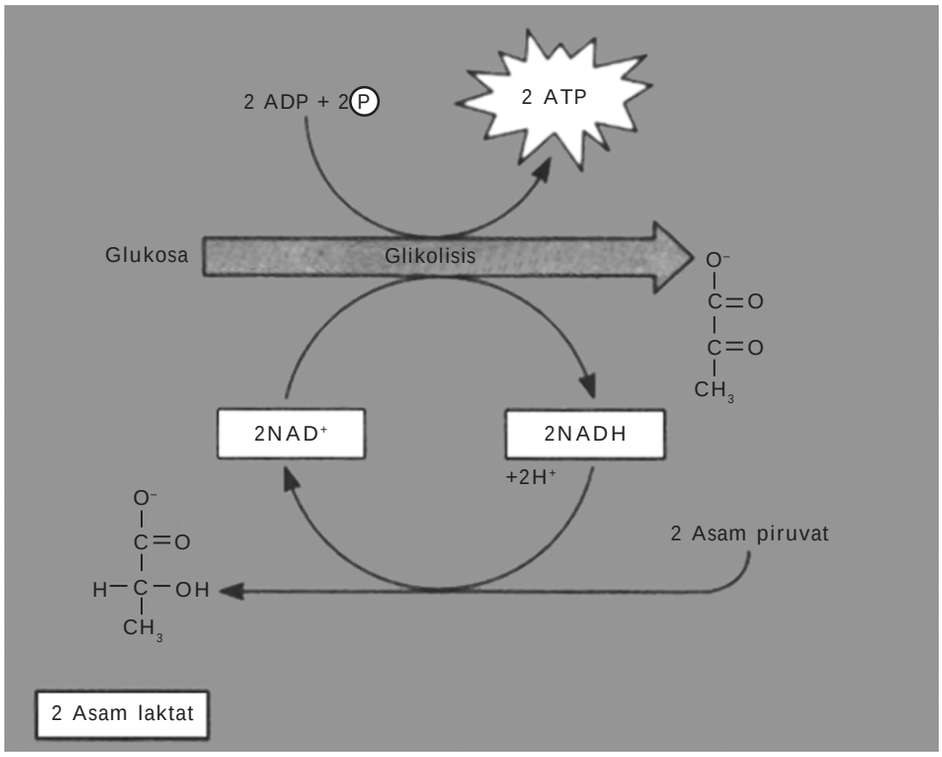
2) Fermentasi Asam Laktat

Fermentasi asam laktat adalah fermentasi glukosa yang menghasilkan asam laktat. Fermentasi asam laktat dimulai dengan glikolisis yang menghasilkan asam piruvat, kemudian berlanjut dengan perubahan asam piruvat menjadi asam laktat (**Gambar 2.15**). Pada fermentasi asam laktat, asam piruvat bereaksi secara langsung dengan NADH membentuk asam laktat. Fermentasi asam laktat dapat berlangsung ketika pembentukan keju dan yoghurt.

Pada sel otot manusia yang bersifat fakultatif anaerob, terbentuk ATP dari fermentasi asam laktat jika kondisi kandungan oksigen sangat sedikit. Pada pembentukan ATP yang berlangsung secara aerob, oksigennya berasal dari darah. Sel mengadakan perubahan dari respirasi aerob menjadi fermentasi. Hasil fermentasi berupa asam laktat akan terakumulasi dalam otot sehingga otot menjadi kejang. Asam laktat dari darah akan diangkut ke dalam hati yang kemudian diubah kembali menjadi asam piruvat secara aerob. Fermentasi pada sel otot terjadi jika kandungan O_2 rendah dan kondisi dapat pulih kembali setelah berhenti melakukan olahraga.

Kata Kunci

- Fermentasi alkohol
- Fermentasi asam laktat



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 2.15
Fermentasi asam laktat diawali dengan proses glikolisis yang menghasilkan asam piruvat.

Kegiatan **2.2**

Simulasi Katabolisme

Tujuan

Memahami proses katabolisme melalui simulasi

Alat dan Bahan

Karton dan spidol

Langkah Kerja

1. Siswa dibagi menjadi 4 kelompok besar.
2. Kelompok 1 terdiri atas 20 orang. Kelompok ini berperan sebagai proses glikolisis dengan 10 tahap dan 9 enzim yang terlibat. Pada setiap tahap, diupayakan siswa menjelaskan proses glikolisis sebagai narasinya.
3. Kelompok 2 terdiri atas 5 orang. Kelompok ini berperan sebagai tahap awal siklus Krebs. Siswa berperan sebagai produk glikolisis yang bereaksi untuk tahap selanjutnya. Siswa menjelaskan setiap proses yang terjadi secara narasi.
4. Kelompok 3 terdiri atas 8–10 orang. Kelompok ini berperan sebagai siklus Krebs. Siswa berperan sebagai komponen-komponen yang terlibat di dalam siklus Krebs.
5. Kelompok 4 terdiri atas 5 orang. Kelompok ini berperan sebagai rantai transpor. Siswa berperan sebagai komponen-komponen yang terlibat di dalam rantai transpor elektron.
6. Pelaksanaan simulasi ini dapat diulang sampai setiap siswa benar-benar memahaminya. Lakukan simulasi ini secara menyenangkan. Sebaiknya, setiap siswa diberi label pada karton untuk peran atau komponen yang dilakukannya.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Di manakah katabolisme glukosa terjadi?
2. Dalam berapa tahap katabolisme glukosa terjadi?
3. Tahapan apa saja yang terjadi di dalam glikolisis?

2. Anabolisme Karbohidrat

Anabolisme merupakan proses penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa yang kompleks. Proses tersebut berlangsung di dalam tubuh makhluk hidup. Anabolisme merupakan kebalikan dari katabolisme. Proses anabolisme memerlukan energi, baik energi panas, cahaya, atau energi kimia.

Anabolisme yang menggunakan energi cahaya disebut **fotosintesis**, sedangkan anabolisme yang menggunakan energi kimia disebut **kemosintesis**. Berikut ini akan dijelaskan mengenai fotosintesis dan kemosintesis.

a. Fotosintesis

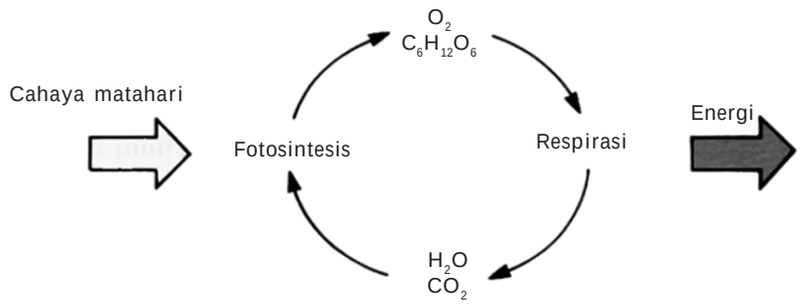
Jika Anda pernah memasuki suatu daerah hutan atau jalanan yang memiliki pepohonan rindang, tentu Anda akan merasa segar pada siang hari yang panas. Akan tetapi, jika Anda melewati bagian yang telah gundul atau tidak terdapat pepohonan, Anda akan lebih mudah merasa gerah. Semua itu mungkin terjadi begitu saja tanpa Anda sadari. Proses apakah yang sebenarnya sedang terjadi? Mengapa hal tersebut dapat tejadi?

Tumbuhan di sekitar kita mungkin hanyalah suatu makhluk tanpa daya bagi sebagian orang. Akan tetapi, jika Anda telah mengetahui peristiwa menakjubkan di dalamnya, Anda mungkin akan berubah pikiran mengenai betapa pentingnya pepohonan dan hutan bagi kehidupan manusia di bumi.

Dari cahaya matahari yang menyinari bumi, dimulailah suatu proses transfer energi di alam. Melalui daun-daunnya, tumbuhan hijau menangkap cahaya tersebut sebagai bahan bakar pembuatan makanan. Air dan gas CO_2 yang ditangkap, diolah menjadi sumber energi bagi kita dan konsumen lainnya di planet bumi ini. Produk itu dapat berupa buah yang kita makan, daun-daunan, ataupun bagian lain dari tumbuhan, seperti umbi dan bunga. Satu hal yang tidak kalah pentingnya adalah tumbuhan menghasilkan oksigen dalam proses fotosintesis (**Gambar 2.16**).

Kata Kunci

- Fotosintesis
- Kemosintesis
- Kloroplas
- Mesofil



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 2.16
Cahaya matahari merupakan sumber energi terbesar yang dibutuhkan oleh organisme.

1) Perangkat Fotosintesis

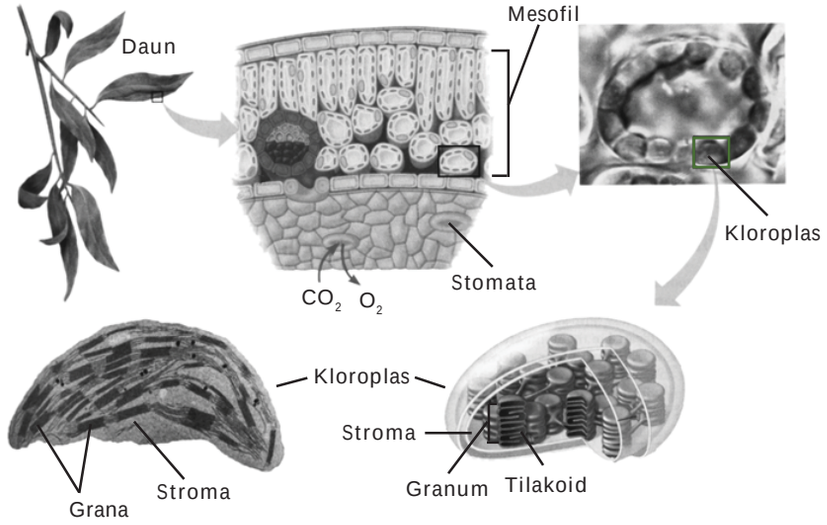
Perangkat fotosintesis terdiri atas kloroplas, cahaya matahari dan klorofil. Bagaimanakah peran ketiga perangkat fotosintesis tersebut?

a) Kloroplas

Seluruh bagian dari tumbuhan, termasuk batang dan buah, memiliki **kloroplas**. Akan tetapi, daun merupakan tempat utama berlangsungnya fotosintesis pada tumbuhan. Warna pada daun disebabkan adanya **klorofil**, pigmen berwarna hijau yang terletak di dalam kloroplas. Klorofil dapat menyerap energi cahaya yang berguna dalam sintesis molekul makanan pada tumbuhan. Kloroplas banyak ditemukan pada **mesofil**. Setiap sel mesofil dapat mengandung 10 hingga 100 butir kloroplas.

Kloroplas sebagai tempat klorofil berada, merupakan organel utama dalam proses fotosintesis. Jika dilihat menggunakan mikroskop SEM (*Scanning Electrone Microscope*), dapat diketahui bentuk kloroplas yang berlembar-lembar dan dibungkus oleh membran. Bagian di sebelah dalam membran dinamakan

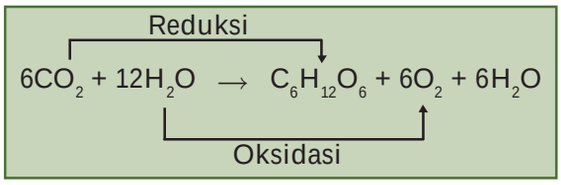
stroma, yang berisi enzim-enzim yang diperlukan untuk proses fotosintesis. Di bagian ini, terdapat lembaran-lembaran datar yang saling berhubungan, disebut **tilakoid**. Beberapa tilakoid bergabung membentuk suatu tumpukan yang disebut **grana**. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.17
Proses fotosintesis terjadi di kloroplas.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

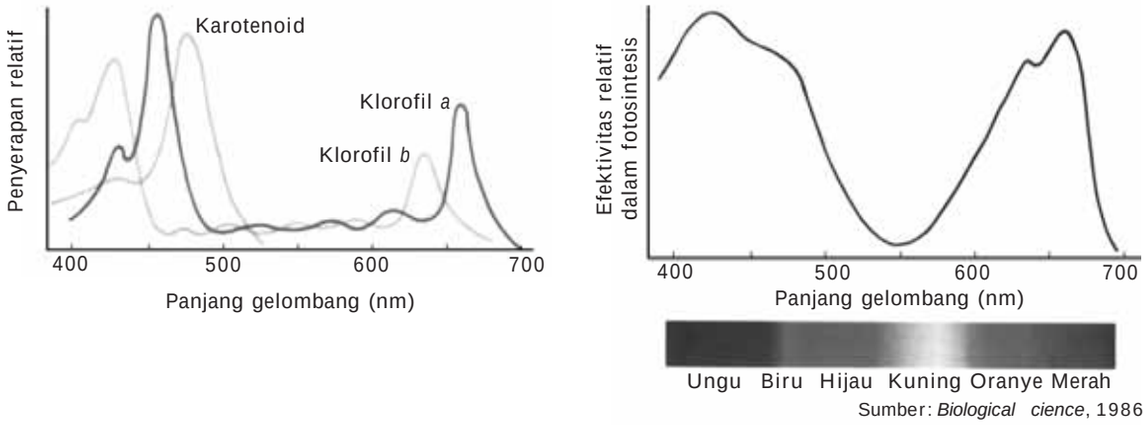
Seperti halnya respirasi sel, reaksi dari fotosintesis ini merupakan reaksi reduksi dan oksidasi. Reaksi umum yang terjadi pada proses fotosintesis sebagai berikut.



b) Cahaya matahari

Sumber energi alami yang digunakan pada fotosintesis adalah cahaya matahari. Cahaya matahari memiliki berbagai spektrum warna. Setiap spektrum warna memiliki panjang gelombang tertentu. Setiap spektrum warna memiliki pengaruh yang berbeda terhadap proses fotosintesis (perhatikan **Gambar 2.18**). Sinar yang efektif dalam proses fotosintesis adalah merah, ungu, biru, dan oranye. Sinar hijau tidak efektif dalam fotosintesis. Daun yang terlihat hijau oleh mata karena spektrum warna tersebut dipantulkan oleh pigmen fotosintesis. Sinar infra merah berperan dalam fotosintesis dan berfungsi juga meningkatkan suhu lingkungan.

Gambar 2.18
Setiap spektrum warna memiliki pengaruh yang berbeda terhadap proses fotosintesis.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Tokoh Biologi

Julius Von Sachs

Pada 1862, seorang ahli botani Jerman Julius Von Sachs, menemukan organel berbentuk kacang hijau dalam daun. Organel ini kini kita kenal sebagai kloroplas. Setiap kloroplas terdiri atas setumpuk piringan bulat yang sangat kecil yang disebut tilakoid. Kloroplas mengandung suatu pigmen hijau, yang dinamakan klorofil. Permukaan tilakoid akan mengubah energi sinar menjadi energi kimia sebagai pendorong proses fotosintesis.

Sumber: *endela ptek: lmu edokteran*, 1997

c) Klorofil

Proses fotosintesis terjadi pada pigmen fotosintesis. Tanpa pigmen tersebut, tumbuhan tidak mampu melakukan fotosintesis. Secara keseluruhan, fotosintesis terjadi pada **kloroplas** yang mengandung pigmen klorofil. Pada tubuh tumbuhan, fotosintesis dapat terjadi pada batang, ranting, dan daun yang mengandung kloroplas.

Klorofil merupakan pigmen fotosintesis yang paling utama. Klorofil dapat menyerap cahaya merah, oranye, biru, dan ungu dalam jumlah banyak. Adapun cahaya kuning dan hijau diserap dalam jumlah sedikit. Oleh karena itu, cahaya kuning dan hijau dipantulkan sehingga klorofil tampak berwarna hijau. Terdapat beberapa jenis klorofil, yakni klorofil a, b, c, dan d. Dari semua jenis klorofil tersebut, klorofil a merupakan pigmen yang paling utama dan hampir terdapat disemua tumbuhan yang melakukan fotosintesis.

Pada tumbuhan, terdapat dua pusat reaksi fotosintesis yang berbeda, yakni **fotosistem I** dan **fotosistem II**. Keduanya dibedakan berdasarkan kemampuannya dalam menyerap cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda. Perbedaan kemampuan tersebut disebabkan oleh perbedaan kombinasi antara klorofil a dan klorofil b. Perbedaan kombinasi antara klorofil a dan klorofil b berpengaruh terhadap panjang gelombang yang diterima oleh klorofil. Fotosistem I dapat menerima cahaya dengan panjang gelombang antara 680–700 nm, sedangkan fotosistem II dapat menerima cahaya dengan panjang gelombang antara 340–680 nm.

2) Mekanisme Fotosintesis

Fotosintesis meliputi dua tahap reaksi, yakni tahap **reaksi terang** yang diikuti dengan tahap **reaksi gelap**. Reaksi terang membutuhkan cahaya matahari, sedangkan reaksi gelap tidak membutuhkan cahaya. Secara keseluruhan, fotosintesis berlangsung dalam kloroplas.

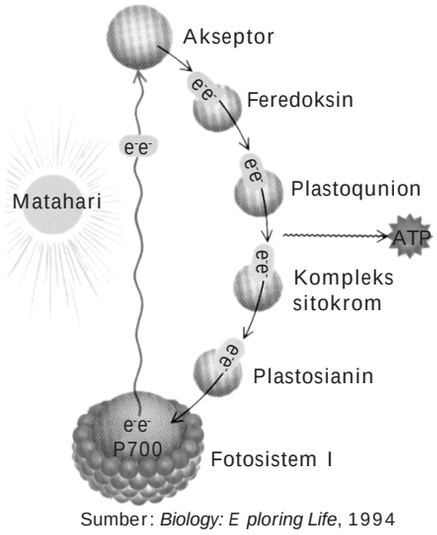
a) Reaksi Terang

Reaksi terang merupakan salah satu langkah dalam fotosintesis untuk mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Reaksi terang ini berlangsung di dalam grana. Perlu diingat bahwa cahaya juga memiliki energi yang disebut **foton**. Jenis pigmen klorofil berbeda-beda karena pigmen tersebut hanya dapat menyerap panjang gelombang dengan besar energi foton yang berbeda.

Klorofil berfungsi menangkap foton dari cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi penggerak elektron. Pada proses ini, terjadi pemecahan molekul air oleh cahaya sehingga dilepaskan elektron, hidrogen dan oksigen. Proses ini dinamakan **fotolisis**.

(1) Reaksi Siklik

Pada fotosistem I (P700), terjadi perputaran elektron yang dihasilkan dan ditangkap oleh akseptor sebagai hasil dari reaksi reduksi dan oksidasi. Elektron yang dieksitasikan oleh P700 akan dipindahkan ke setiap akseptor hingga akhirnya kembali ke sistem P700. Beberapa akseptor elektron yang terlibat dalam fotosistem adalah **feredoksin** (fd), **plastoquinon** (pq), **sitokrom** (cyt), dan **plastosianin** (pc). Proses ini menghasilkan ATP sebagai hasil penambahan elektron pada ADP atau dikenal dengan nama **fotofosforilasi**. Perputaran elektron pada fotosistem I ini disebut sebagai **fotofosforilasi siklik**. Fotosistem I ini umumnya ditemukan pada bakteri dan mikroorganisme autotrof lainnya. Sistem fotosintesis dengan menggunakan fotofosforilasi siklik diduga sebagai awal berkembangnya proses fotosintesis yang lebih kompleks (**Gambar 2.19**).



Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

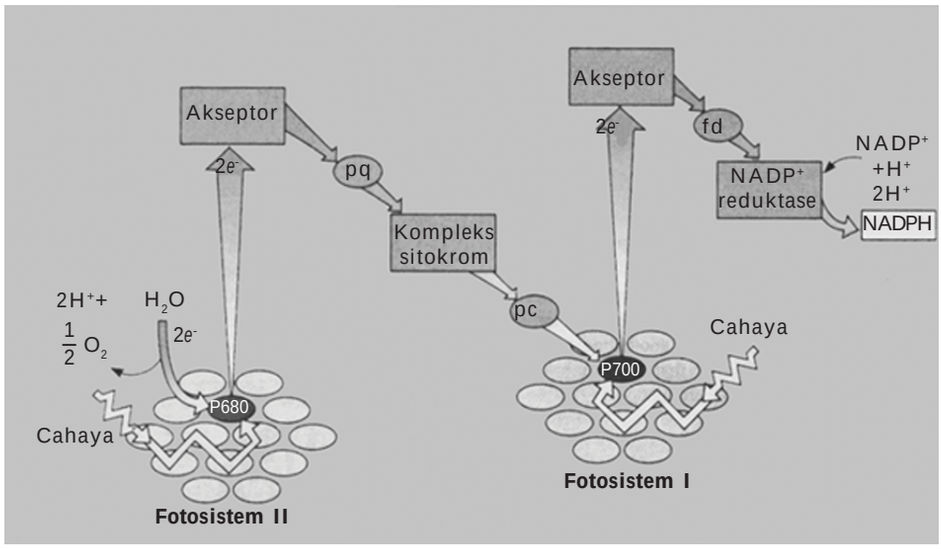
Gambar 2.19

Reaksi siklik hanya memiliki fotosistem I.

(2) Reaksi Nonsiklik

Reaksi nonsiklik ini memerlukan tambahan berupa fotosistem II (P680). Sumber elektron utama diperoleh dari fotolisis air yang akan digunakan oleh klorofil pada fotosistem II (P680). Reaksi ini menghasilkan dua elektron dari hasil fotolisis air. Elektron ini akan diterima oleh beberapa akseptor elektron, yakni **plastoquinon** (pq), **sitokrom** (cyt), dan **plastosianin** (pc). Akhirnya, pompa elektron menggerakan satu elektron H^+ yang akan digunakan pada pembentukan ATP dari ADP atau fotofosforilasi. Pembentukan ATP ini dibantu dengan adanya perbedaan elektron pada membran tilakoid.

Beberapa akseptor elektron juga terlibat dalam fotosistem II, seperti **ferodoksin** (fd) untuk menghasilkan NADPH dari NADP. Dengan demikian, pada proses ini akan dihasilkan energi berupa satu ATP dan satu NADPH (**Gambar 2.20**).



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 2.20

Reaksi nonsiklik diawali dari fotosistem II dan terjadi fosforilasi fotosintesis.

Mengapa rangkaian reaksi ini disebut reaksi nonsiklik?

b) Reaksi Gelap (Fiksasi CO_2)

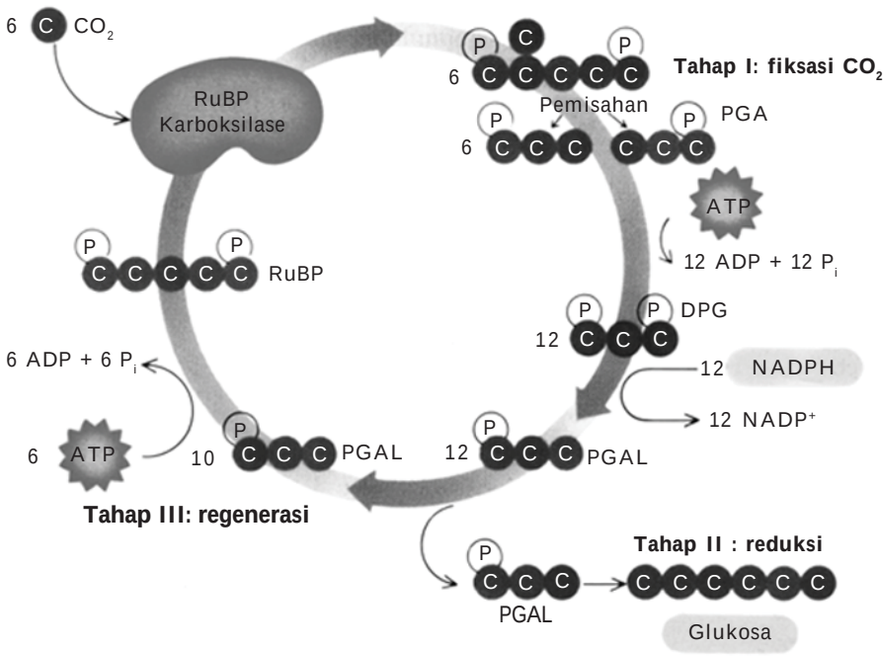
Reaksi gelap merupakan tahap sebenarnya dalam pembuatan bahan makanan pada fotosintesis. Energi yang telah dihasilkan selama reaksi terang akan digunakan sebagai bahan baku utama pembentukan karbohidrat proses fiksasi CO_2 di stroma.

Tumbuhan mengambil karbon dioksida melalui stomata. Anda tentu masih ingat fungsi utama stomata dalam pertukaran gas pada tumbuhan. Karbon dioksida diikat oleh suatu molekul kimia di dalam stroma yang bernama ribulosa bifosfat (RuBP). Karbon dioksida akan berikatan dengan RuBP yang mengandung 6 gugus karbon dan menjadi bahan utama dalam pembentukan glukosa yang dibantu oleh enzim rubisko. Reaksi ini pertama kali diamati oleh **Melvin Calvin** dan **Andrew Benson** sehingga reaksi ini disebut juga dengan **siklus Calvin-Benson**.

RuBP yang berikatan dengan karbon dioksida akan menjadi molekul yang tidak stabil sehingga akan membentuk fosfogliserat (PGA) yang memiliki 3 gugus C. Energi yang berasal dari ATP dan NADPH akan digunakan oleh PGA menjadi fosfogliseraldehid (PGAL) yang mengandung 3 gugus C. Dua molekul PGAL ini akan menjadi bahan utama pembentukan glukosa yang merupakan produk utama fotosisntesis, sedangkan sisanya akan kembali menjadi RuBP dengan bantuan ATP. Jadi, reaksi gelap terjadi dalam tiga tahap, yakni fiksasi CO_2, reduksi, dan regenerasi. Perhatikan **Gambar 2.21**.

Kata Kunci

- Fotolisis
- Fotosistem
- Reaksi gelap
- Reaksi terang
- Siklus Calvin-Benson



Gambar 2.21
Reaksi gelap terjadi dalam tiga tahap.

Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

3) Faktor-Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis

Dengan mengetahui beberapa faktor yang terlibat dalam proses fotosintesis ini, dapat diketahui beberapa hal yang menjadi faktor pembatas fotosintesis, seperti faktor hereditas dan lingkungan.

a) Faktor Hereditas

Faktor hereditas merupakan faktor yang paling menentukan terhadap aktivitas fotosintesis. Tumbuhan memiliki kebutuhan yang berbeda terhadap kondisi lingkungan untuk menjalankan kehidupan normal. Tumbuhan yang berbeda jenis dan hidup pada kondisi lingkungan sama, memiliki perbedaan faktor genetis atau hereditas. Ada beberapa jenis tumbuhan tidak mampu membentuk kloroplas albino. Hal tersebut disebabkan adanya faktor genetis yang tidak memiliki potensi untuk membentuk kloroplas.

b) Faktor Lingkungan

Aktivitas fotosintesis sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, seperti temperatur, intensitas cahaya matahari, kandungan air dan mineral, serta kandungan CO_2 dan O_2.

(1) Temperatur

Aktivitas fofosintesis merupakan reaksi yang menggunakan enzim, sedangkan kerja enzim dipengaruhi oleh temperatur. Aktivitas fotosintesis tidak berlangsung pada suhu di bawah 5°C dan di atas 50°C. Mengapa demikian? Temperatur optimum fotosintesis sekitar 28–30°C. Tumbuhan yang hidup di daerah tropis memiliki enzim yang bekerja secara optimum karena tumbuh di lingkungan yang memiliki kisaran suhu optimum.

(2) Intensitas Cahaya Matahari dan Lama Pencahayaan

Semakin tinggi intensitas cahaya matahari, semakin tinggi pula aktivitas fotosintesis. Hal ini terjadi jika ditunjang oleh tersedianya CO_2, H_2O, dan

temperatur yang sesuai. Kenaikan aktivitas fotosintesis tidak akan terus berlanjut, tetapi akan berhenti sampai batas keadaan tertentu karena tumbuhan memiliki batas toleransi. Lama pencahayaan sangat berpengaruh terhadap fotosintesis. Pada musim hujan, lama pencahayaan menjadi pendek sehingga aktivitas fotosintesis akan berkurang.

(3) Kandungan Air dalam Tanah

Air merupakan bahan dasar pembentukan karbohidrat ($C_6H_{12}O_6$). Air merupakan media tanam, penyimpan mineral dalam tanah, dan mengatur temperatur tumbuhan. Berkurangnya air dalam tanah akan menghambat pertumbuhan tumbuhan. Kurangnya air juga akan menyebabkan kerusakan pada klorofil sehingga daun menjadi berwarna kuning.

(4) Kandungan Mineral dalam Tanah

Mineral berupa Mg, Fe, N, dan Mn merupakan unsur yang berperan dalam proses pembentukan klorofil. Tumbuhan yang hidup pada lahan yang kekurangan Mg, Fe, N, Mn, dan H_2O akan mengalami klorosis atau penghambatan pembentukan klorofil yang menyebabkan daun berwarna pucat. Rendahnya kandungan klorofil dalam daun akan menghambat terjadinya fotosintesis.

(5) Kandungan CO_2 di Udara

Kandungan CO_2 di udara, sekitar 0,03%. Peningkatan konsentrasi CO_2 hingga 0,10% meningkatkan laju fotosintesis beberapa tumbuhan hingga dua kali lebih cepat. Akan tetapi, keuntungan ini terbatas karena stomata akan menutup dan fotosintesis terhenti jika konsentrasi CO_2 melebihi 0,15%.

(6) Kandungan O_2

Rendahnya kandungan O_2 di udara dan dalam tanah akan menghambat respirasi dalam tubuh tumbuhan. Rendahnya respirasi akan menyebabkan rendahnya penyediaan energi. Hal ini mengakibatkan aktivitas metabolisme akan terlambat khususnya fotosintesis.

b. Kemosintesis

Selain melalui fotosintesis, reaksi pembentukan (anabolisme) molekul berenergi pada beberapa makhluk hidup dapat juga terjadi melalui kemosintesis. Hal ini terutama dilakukan oleh bakteri kemoautotrof. Berbeda dengan fotosintesis yang mendapatkan energi dari sinar matahari, kemosintesis mendapatkan energi dari reaksi molekul anorganik. Beberapa organisme kemosintesis mereaksikan CO_2 dengan H_2 berenergi tinggi untuk menghasilkan metana dan air melalui reaksi sebagai berikut.

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$$

Hasil reakasi ini berupa energi ikatan H_2 yang dilepaskan dan dapat digunakan sebagai sumber energi bagi sel. Reaksi yang menghasilkan energi lainnya, menggunakan sulfur untuk melepaskan energi ikatan H_2. Hal ini dilakukan oleh bakteri sulfur yang terdapat di kawah-kawah gunung. Reaksi ini menghasilkan gas hidrogen sulfida (H_2S). Berikut ini rangkuman reaksi yang terjadi.

$$H_2 + S \longrightarrow H_2S + \text{energi}$$

Pertumbuhan makhluk hidup kemoautotrof terjadi secara lambat, karena reaksi ini hanya menghasilkan sedikit energi. Tempat hidup bakteri kemoautotrof lebih banyak dilingkungan yang sulit ditempati makhluk lain, seperti di kawah-kawah gunung dan rekahan dasar laut.

Kegiatan **2.3**

Fotosintesis

Tujuan

Menyimpulkan pengaruh warna cahaya pada fotosintesis

Alat dan Bahan

4 buah gelas kimia, 4 buah tabung reaksi, 4 buah lampu meja, kertas karton hitam, plastik mika atau kertas minyak warna merah, kuning, dan hijau, serta tumbuhan air (*Hydrilla*).

Langkah Kerja

1. Bersama kelompok Anda siapkan dua gelas kimia dan isikan dengan air.
2. Masukkan *Hydrilla* dalam tabung reaksi seperti gambar. Hati-hati jangan sampai ada gelembung terperangkap di dalamnya. Mengapa hal tersebut jangan sampai terjadi?
3. Buatlah silinder kertas karton selebar gelas kimia dengan tinggi 20 cm. Simpan setiap gelas dalam silinder. Sinari dengan lampu meja yang telah ditutupi plastik atau kertas warna merah, kuning, atau hijau.
4. Amati gelombang yang terbentuk dalam tabung reaksi. Catat tinggi udara yang terbentuk dalam 20 menit.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Apa yang terjadi dalam tabung rekasi?
2. Jika terdapat gelembung udara dari *Hydrilla*, menandakan peristiwa apakah hal tersebut?
3. Jika *Hydrilla* diganti dengan tumbuhan darat, apakah percobaan tersebut dapat berhasil?
4. Mengapa percobaan ini memakai kertas minyak yang berwarna-warni?
5. Gelas manakah yang paling cepat laju fotosintesisnya? Mengapa?
6. Zat apakah gelembung udara tersebut? Pada reaksi fotosintesis manakah zat tersebut dihasilkan? Bandingkan percobaan ini dengan percobaan lain yang setema pada buku sumber yang berbeda untuk memperkaya wawasan anda.

Soal Penguasaan *Materi* 2.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan anabolisme?
2. Apakah saja yang dibutuhkan tumbuhan agar fotosintesis dapat berlangsung?
3. Faktor apa sajakah yang memengaruhi fotosintesis?

C Hubungan antara Katabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

Kata Kunci

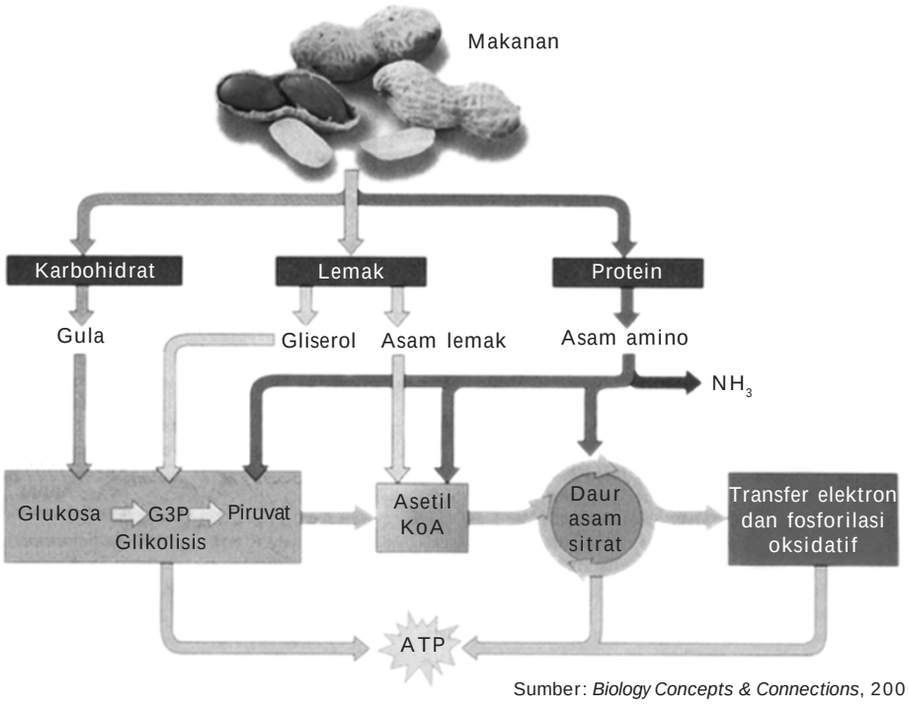
- Katabolisme lemak
- Katabolisme protein

Sebelumnya, Anda telah mengetahui bahwa glukosa merupakan bahan baku utama dalam respirasi sel. Akan tetapi, molekul glukosa umumnya tidak dapat diperoleh dari makanan secara langsung. Biasanya pada makanan terdapat lemak, protein, dan karbohidrat berupa disakarida dan polisakarida. Semua molekul tersebut dapat diperoleh jika Anda mengonsumsi makanan, misalnya kacang atau jagung.

Pada **Gambar 2.22**, dijelaskan bagaimana sel menggunakan ketiga molekul utama pada makanan untuk menghasilkan ATP. Sel dapat mengubah karbohidrat melalui proses glikolisis. Enzim di dalam sistem percernaan dapat menghidrolisis zat tepung (pati) menjadi glukosa. Glukosa tersebut akan dicerna melalui proses glikolisis dan daur asam sitrat.

Protein dapat digunakan sebagai energi, tetapi harus dicerna terlebih dahulu menjadi asam amino. Enzim akan mengubah asam amino menjadi asam piruvat,

asetil-KoA, atau masuk ke dalam daur asam sitrat bergantung pada jenis asam aminonya. Pembentukan NH_3 dari jalur protein disebabkan oleh proses deaminasi asam amino. Gugus amino dibuang dalam bentuk senyawa nitrogen, seperti NH_3 dan urea. Setiap satu gram protein menghasilkan 4 kkal energi.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 2.22
Katabolisme zat makanan menghasilkan energi yang dibutuhkan untuk aktivitas makhluk hidup.

Lemak merupakan sumber energi utama karena mengandung banyak atom hidrogen. Sel akan menghidrolisis lemak menjadi gliserol dan asam lemak. Kemudian, gliserol diubah menjadi gliseraldehid–3–fosfat (G3P) dalam proses glikolisis. Adapun asam amino akan dipecah menjadi dua bagian karbon yang akan masuk ke daur asam sitrat sebagai asetil–KoA. Lemak menghasilkan energi ATP dua kali lebih banyak daripada karbohidrat pada jumlah berat yang sama. Oleh karena itu, makhluk hidup terutama hewan menyimpan makanan cadangan dalam bentuk lemak tubuh (Campbell, *et al*, 2006: 102). Setiap satu gram lemak dapat menghasilkan 9 kkal energi. Berapa perbandingan energi yang dihasilkan lemak dan karbohidrat?

Beberapa senyawa yang dibentuk pada proses respirasi sel dapat digunakan untuk membentuk senyawa lain, seperti asam lemak dan gliserol. Asam lemak dan gliserol memiliki keterkaitan dengan sistem respirasi karena dapat digunakan sebagai sumber energi. Begitu pula protein yang diserap tubuh, dapat juga digunakan untuk daur Krebs.

1. Pembentukan gliserol
   Gliserol dapat dibentuk dari senyawa antara fosfogliseraldehid pada glikolisis.

$$\text{Fosfogliseraldehid (PGAL)} \xrightarrow[\text{dehidrogen}\alpha\text{gliserofospat}]{\text{NAD}} \text{Gliserol}$$

2. Pembentukan asam lemak
   Asam lemak disintesis dari senyawa antara asetil-KoA, yakni hasil dari reaksi dekarboksilasi oksidatif asam piruvat.

$$\text{Asetil-KoA} \xrightarrow[\text{Kofaktor } Mg^{2+}]{} \text{Malonil KoA} \longrightarrow \text{Asam lemak}$$

Tokoh Biologi

Albert von Szent-Gyorgi (1893–1986)

Albert von Szent-Gyorgi (1893–1986) dikenal karena karyanya mengenai vitamin C, selain risetnya tentang kontraksi otot. Beberapa penemuannya membantu Hans Krebs untuk mengerti bagaimana selama pernapasan sel menghasilkan energi dari glukosa.

Sumber: *Concise Encyclopedia: Nature*, 1994

3. Pembentukan protein
   Protein dalam tubuh diperlukan sebagai pembangun sel (memperbaiki sel-sel yang rusak). Protein bagi tubuh dapat dipenuhi oleh sintesis dalam tubuh atau diambil dari sumber makanan. Protein yang terbentuk dari **asam amino non-esensial** dapat dibentuk oleh tubuh melalui sintesis protein, sedangkan protein yang terbentuk dari **asam amino esensial** tidak dapat dibentuk tubuh dan harus didapat dari makanan. Sintesis protein akan Anda pelajari pada bab selanjutnya.

Tugas Ilmiah 2.1

Carilah beberapa referensi yang menerangkan tentang salah satu jenis enzim yang berperan dalam perombakan makanan dalam tubuh manusia. Kemudian, buatlah sebuah artikel yang menerangkan banyak hal tentang enzim tersebut, seperti tempat dihasilkannya, jalur metabolisme yang terlibat, dan faktor-faktor yang memengaruhi aktivitasnya. Buatlah karya tulis sebaik mungkin. Presentasikan di depan kelas untuk selanjutnya didiskusikan. Karya tulis terbaik dapat ditampilkan di majalah dinding sekolah.

Soal Penguasaan *Materi* 2.3

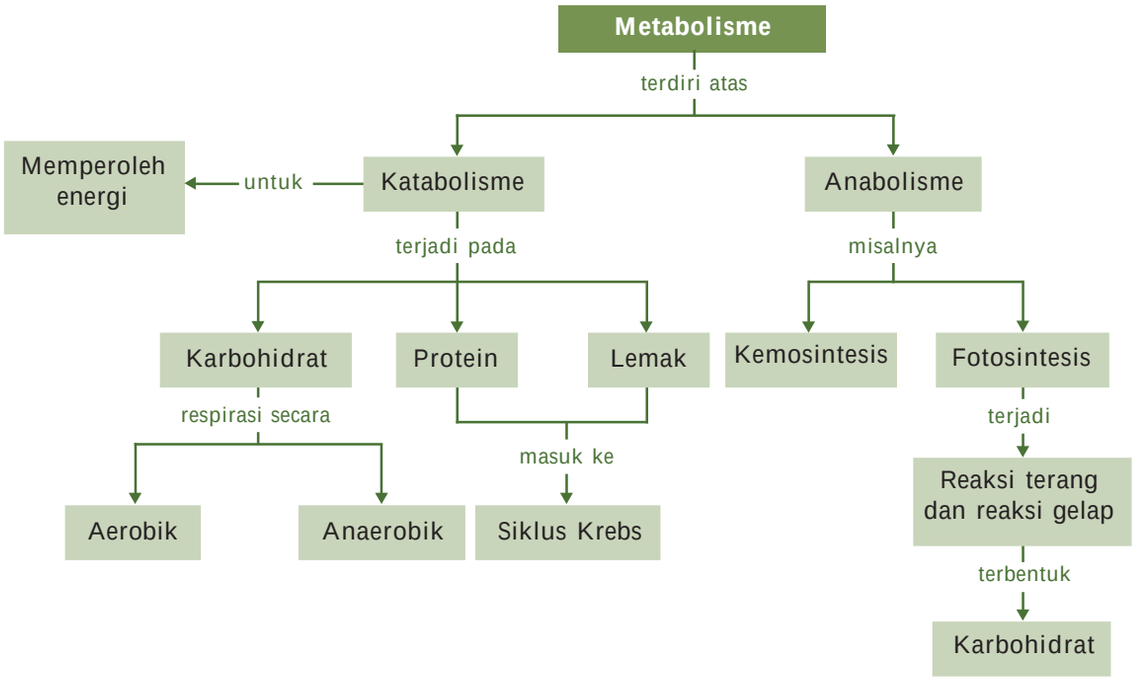
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan jalur metabolisme yang menunjukkan hubungan antara karbohidrat, lemak, dan protein.
2. Apakah perbedaan antara protein esensial dan protein nonesensial?

Rangkuman

1. Semua makhluk hidup memerlukan energi untk aktivitasnya. Makhluk hidup menyimpan dan menggunakan energi dalam bentuk ATP.
2. Enzim bekerja sebagai katalisator reaksi (mempercepat reaksi). Enzim memiliki sisi aktif sebagai tempat substrat menempel.
3. Enzim dipengaruhi oleh temperatur, pH, konsentrasi substrat, konsentrasi enzim, kofaktor, inhibitor, dan kadar air.
4. Setiap makhluk hidup melakukan metabolisme untuk memperoleh energi. Proses metabolisme dibedakan menjadi dua jenis yakni katabolisme dan anabolisme. Anabolisme adalah pembentukan senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks. Pada tumbuhan, proses ini terjadi pada proses fotosintesis. Pada fotosintesis ini, akan dihasilkan karbohidrat yang digunakan sebagai sumber energi. Katabolisme pada makhluk hidup terjadi pada respirasi sel. Respirasi dapat terjadi secara aerob dan anaerob. Pada katabolisme, terjadi penguraian molekul kompleks menjadi lebih sederhana serta menghasilkan energi.
5. Respirasi aerob memerlukan oksigen. Respirasi aerob terjadi pada sitoplasma dan di dalam mitokondria. Tahapan dalam respirasi aerob, meliputi glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, daur Krebs, dan transfer elektron. Pada proses respirasi aerob dihasilkan 36 ATP dari satu molekul glukosa.
6. Respirasi anerob dikenal dengan fermentasi. Respirasi anaerob tidak memerlukan oksigen dan menghasilkan energi (ATP) lebih sedikit. Respirasi anaerob terjadi pada fermentasi alkohol dan fermentasi asam laktat.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep bab Metabolisme, Anda diharapkan dapat mendeskripsikan fungsi enzim dalam berbagai proses katabolisme. Anda juga diharapkan dapat mengemukakan keterkaitan beberapa jalur metabolisme dalam tubuh.

Sebagai penunjang proses belajar Anda, rumuskan materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda.

Evaluasi Materi Bab 2

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

1. Penyusunan zat-zat pembentuk protoplasma oleh makhluk hidup merupakan fungsi ....
   a. nutrisi
   b. regulasi
   c. sintesis
   d. reproduksi
   e. adaptasi
2. Pada proses fermentasi yang dilakukan oleh sel ragi terjadi hal berikut, *kecuali* ....
   a. penguraian glukosa
   b. pembentukan alkohol
   c. pembebasan CO_2
   d. pembebasan panas
   e. pembentukan air
3. Bakteri aerob yang hidup di dalam tanah dan mampu mengoksidasi amonia menjadi senyawa nitrit atau nitrat adalah ....
   a. *Azotobacter*
   b. *Nitrosomonas*
   c. *Clostridium*
   d. *Nitrobacter*
   e. *Mycobacterium*
4. Klorofil terdapat di dalam kloroplas. Untuk mengekstraknya diperlukan bantuan ....
   a. air panas
   b. larutan iodium
   c. oksigen
   d. lugol
   e. alkohol
5. Proses pencernaan sepotong roti untuk mendapatkan energi termasuk dalam peristiwa ....
   a. fotosintesis
   b. metabolisme
   c. katabolisme
   d. anabolisme
   e. kemosintesis
6. Salah satu hal yang terjadi pada proses kehidupan adalah penyusunan senyawa sederhana menjadi senyawa yang lebih kompleks. Proses tersebut dinamakan ....
   a. respirasi
   b. anabolisme
   c. katabolisme
   d. transpirasi
   e. disimilasi

7. Glikolisis merupakan proses perubahan glukosa menjadi ....
   a. asam laktat
   b. H_2O dan CO_2
   c. asam piruvat
   d. alkohol
   e. asam sitrat
8. Dalam tubuh makhluk hidup, reaksi-reaksi metabolisme dapat berlangsung pada suhu antara 0°C–40°C, karena reaksi-reaksi itu mendapatkan bantuan ....
   a. energi
   b. medium air
   c. oksigen
   d. enzim
   e. hormon
9. Enzim dapat mempercepat terjadinya suatu reaksi di dalam tubuh organisme. Enzim memiliki sifat-sifat khusus. Salah satu sifat dari enzim ini adalah...
   a. hanya dapat bekerja dengan adanya ATP
   b. bekerja secara spesifik
   c. memiliki kemampuan untuk memperbanyak diri
   d. dapat menghasilkan energi untuk mempercepat reaksi
   e. dapat mempercepat gerakan molekul dari zat yang direaksikan
10. Proses respirasi gula secara aerob berbeda dengan fermentasi alkohol karena pada fermentasi alkohol ....
    a. tidak dihasilkan CO_2
    b. tidak dihasilkan ATP
    c. tidak diperlukan enzim
    d. tidak dibentuk H_2O
    e. tidak dihasilkan energi
11. Berikut yang *tidak* diperlukan untuk proses fotosintesis adalah ....
    a. karbon dioksida
    b. oksigen
    c. air
    d. sinar matahari
    e. klorofil
12. Tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis adalah ....
    a. grana
    b. stroma
    c. ruang dalam kloroplas
    d. matriks
    e. krista
13. Proses fiksasi CO_2 pada tumbuhan memerlukan ....
    a. CO_2 dan klorofil
    b. CO_2 dan H_2O
    c. CO_2 dan ATP
    d. CO_2 dan O_2
    e. CO_2 dan sinar matahari
14. Reaksi fotolisis dalam proses fotosintesis adalah ....
    a. pengikatan karbon dioksida
    b. pembentukan glukosa
    c. perubahan energi foton menjadi energi kimia
    d. penguraiaan molekul air
    e. penguraian glukosa
15. Oksigen yang dihasilkan pada fotofosforilasi siklik berasal dari ....
    a. hasil sisa fosforilasi ADP
    b. proses fiksasi CO_2
    c. dehidrasi pada tahapan fotofosforilasi
    d. fotolisis air
    e. fotolisis CO_2
16. Di bawah ini adalah ciri reaksi terang fotosintesis, *kecuali* ....
    a. penyerapan energi cahaya untuk diubah menjadi energi kimia
    b. dihasilkan ATP dan $NADPH^2$
    c. membutuhkan cahaya
    d. fotolisis air
    e. pengikatan karbondioksida
17. Berikut ini *bukan* merupakan ciri reaksi gelap, yakni ....
    a. fiksasi, reduksi, dan regenerasi
    b. berlangsung di stroma
    c. membutuhkan ATP dan NADPH
    d. dibentuk karbohidrat
    e. fotolisis air
18. Siklus Calvin berlangsung di ....
    a. grana
    b. nukleus
    c. krista
    d. stroma
    e. matriks
19. Fiksasi CO_2 dalam proses fotosintesis dilakukan oleh ....
    a. asam sitrat
    b. asam piruvat
    c. asam fosfogliserat
    d. aldehid fosfogliserat
    e. ribulosa difosfat
20. Zat makanan yang menghasilkan energi tinggi pada satuan berat yang sama adalah ....
    a. karbohidrat
    b. lemak
    c. protein
    d. vitamin
    e. hormon

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

1. Jelaskan perbedaan antara respirasi aerob dan respirasi anaerob.
2. Pada proses respirasi aerob, dihasilkan karbon dioksida sebagai hasil sampingnya. Sebutkan tahapan mana sajakah dalam respirasi aerob yang menghasilkan karbon dioksida.
3. Jelaskan proses yang terjadi pada reaksi terang.
4. Jelaskan proses nitrifikasi yang dilakukan oleh bakteri nitrifikasi.
5. Mengapa seseorang yang berolahraga secara terus-menerus akan merasa lelah?

Soal Tantangan

Kini, banyak sekali diperdagangkan berbagai macam minuman atau obat-obatan suplemen yang diklaim dapat meningkatkan energi dan stamina tubuh. Bagaimana mekanisme minuman suplemen tersebut? Adakah pengaruh negatif pemberian suplemen tersebut terhadap kesehatan?

Sumber: *endela ptek*, 1997

Bab 3
Substansi Genetik

Pada bab ini, Anda akan mempelajari konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas. Selain itu, Anda akan mampu menjelaskan konsep gen, DNA, dan kromosom serta menjelaskan hubungan gen (DNA)–RNA–polipeptida dan proses sintesis protein.

Pernahkah Anda melihat anak kucing bersama induknya? Warna bulu setiap anak kucing tersebut berbeda-beda, ada yang berwarna cokelat dan yang lainnya berwarna putih-hitam dan putih-cokelat. Sementara itu, warna bulu induk betina adalah cokelat-putih-hitam dan bulu induk jantan adalah putih-hitam. Pernahkah Anda juga mengamati kemiripan ciri-ciri fisik seorang anak dengan orangtuanya, seperti warna rambut dan warna kulit?

Ulasan tersebut merupakan contoh yang menunjukkan adanya substansi genetik makhluk hidup yang mengatur sifat atau ciri khas dari suatu individu. Substansi tersebut merupakan pembawa sifat yang diwariskan oleh induk kepada keturunannya. Hal ini akan terus berlangsung dari generasi ke generasi. Sungguh menakjubkan kebesaran Tuhan Yang Maha Esa, bukan?

Di manakah letak informasi genetik itu? Tersusun atas apakah pembawa informasi genetik itu? Apakah yang dimaksud dengan DNA? Bagaimanakah strukturnya? Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut. Anda juga akan mempelajari mengenai alel, RNA, kode genetik, dan sintesis protein yang merupakan dasar dalam memahami materi pewarisan sifat pada bab selanjutnya.

A. Kromosom
B. Gen
C. Alel
D. DNA
E. RNA
F. Kode Genetik
G. Sintesis Protein

Soal *Pramateri*

1. Apakah yang dimaksud dengan gen? Bagaimanakah peranannya dalam kehidupan organisme?
2. Di manakah letak gen?
3. Apakah yang dimaksud dengan sintesis protein?

A Kromosom

Satuan terkecil dari makhluk hidup adalah sel. Segala aktivitas sel diatur oleh inti sel (*nukleus*). Di dalam inti, terkandung substansi genetik yang terdapat dalam **kromosom**. Istilah kromosom diperkenalkan pertama kali oleh **W. Waldeyer** pada tahun 1888. Kromosom berasal dari kata *chrome* yang berarti warna dan *soma* berarti badan. Kromosom dapat diartikan sebagai badan yang mampu menyerap warna (**Gambar 3.1**).

Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 3.1
Inilah gambar kromosom manusia yang diperbesar 13.000 kali.

1. Bentuk dan Ukuran Kromosom

Jika inti sel mengandung informasi genetis, dalam bentuk apakah informasi tersebut dapat ditemukan? Berbagai penelitian telah menemukan adanya struktur spesifik dalam inti sel pada sel yang sedang membelah. Struktur tersebut dapat menyerap warna sehingga dinamakan kromosom. Setiap spesies memiliki jumlah kromosom yang khas. Sebagai contoh, kromosom pada sel manusia berjumlah 46 buah, tanaman kapas 52 buah kromosom, ayam kalkun 82 buah kromosom, dan beberapa jenis paku memiliki lebih dari 1.000 buah kromosom.

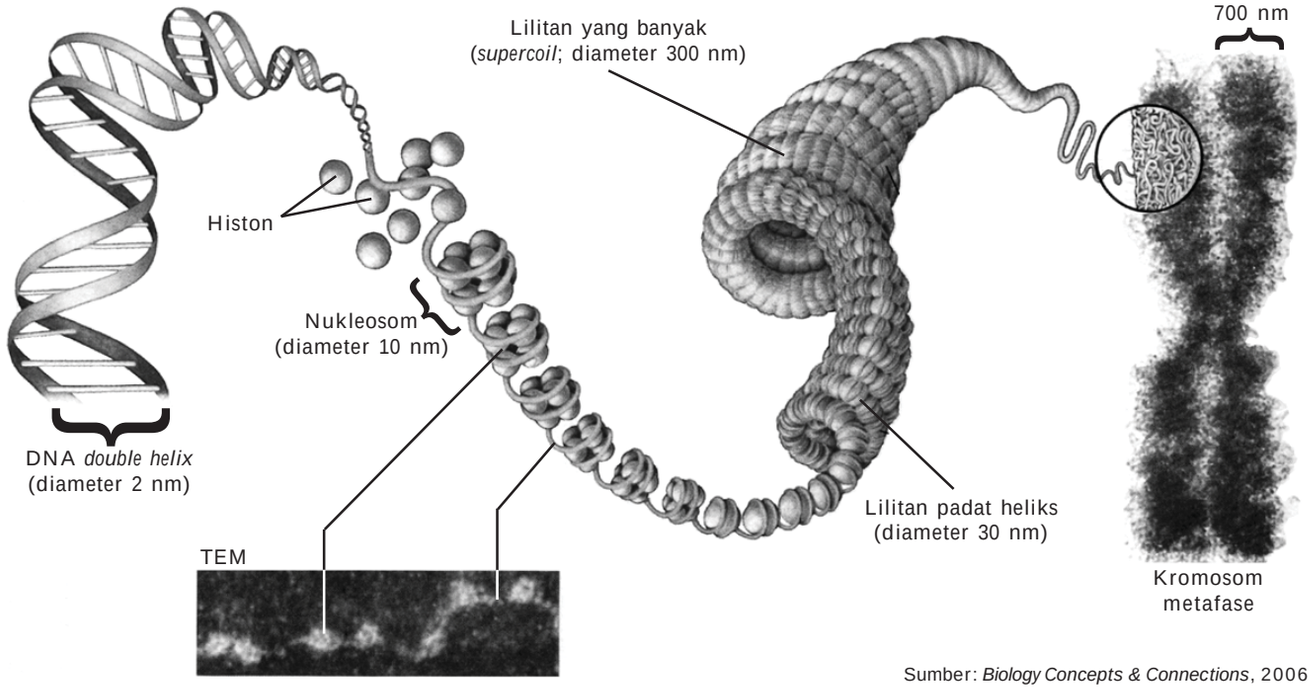
Kromosom tersusun atas DNA yang berkondensasi bersama protein **histon** di dalam inti sel, membentuk struktur bernama **nukleosom**. DNA (*deoxyribonucleic acid*) atau asam deoksiriboneukleat merupakan substansi pembawa pembentuk nukleosom. Nukleosom-nukleosom berkelompok dan membentuk benang yang lebih kompak, yang dinamakan benang **kromatin**. Kromatin akan terlihat sebagai benang yang mengandung struktur manik-manik (*beads on a string*), yakni nukleosom.

Benang kromatin ini ditemukan di dalam inti sel. Ketika sel akan membelah, benang kromatin membentuk pilinan yang semakin padat sehingga dapat terlihat menggunakan mikroskop. Struktur yang dihasilkan oleh pengompakan benang kromatin tersebut dikenal sebagai **kromosom**. Sebelum sel membelah, molekul DNA dari setiap kromosom berduplikasi sehingga terbentuk lengan kromosom ganda yang disebut **kromatid**. Perhatikan **Gambar 3.2**.

Kata Kunci

- Histon
- Kromatid
- Kromatin
- Kromosom
- Nukleosom

Gambar 3.2
Diagram struktur kromosom
Di mana letak gen?

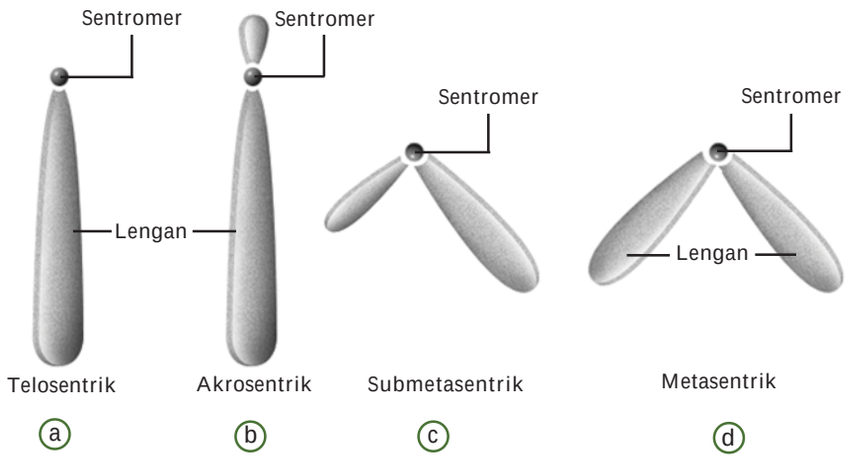


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Pada kromosom terdapat suatu daerah terang yang tidak mengandung gen, dinamakan **sentromer**. Bagian ini memiliki peranan sangat penting pada proses pembelahan sel. Di bagian inilah benang gelendong menempel untuk bagian kromosom pada masing-masing kutub pembelahan yang berlawanan. Benang gelendong melekat pada bagian sentromer, yakni **kinetokor**.

Berdasarkan letak sentromer, kromosom dapat dibedakan menjadi beberapa bentuk. Ada kromosom yang memiliki satu lengan dan ada pula yang memiliki dua lengan. Ada yang memiliki lengan sama panjang dan ada pula yang tidak. Bentuk-bentuk kromosom tersebut adalah:

1) **telosentrik**, yakni kromosom yang letak sentromernya berada di ujung kromosom;
2) **akrosentrik**, yakni kromosom yang letak sentromernya mendekati salah satu ujung kromosom;
3) **submetasentrik**, yakni kromosom yang letak sentromernya mendekati bagian tengah kromosom;
4) **metasentrik**, yakni kromosom yang letak sentromernya berada di tengah-tengah sehingga bentuk kromosom tampak seperti huruf V. Perhatikan **Gambar 3.3** berikut.



Gambar 3.3
Berdasarkan letak sentromernya, kromosom dapat dikelompokkan menjadi (a) telosentrik, (b) akrosentrik, (c) submetasentrik, dan (d) metasentrik.

2. Tipe Kromosom

Setiap organisme memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda, sebagai contohnya perhatikanlah **Tabel 3.1**. Sel tubuh manusia memiliki 23 pasang kromosom homolog. Jumlah macam kromosom homolog disebut **ploid**. Pada sel tubuh jumlahnya selalu berpasangan atau 2 set sehingga disebut **diploid** (*di* = dua) atau 2 n. Sel gamet atau sel kelamin memiliki setengah dari jumlah kromosom tubuh atau 1 set kromosom akibat pembelahan meiosis. Jadi, sel sperma dan sel telur manusia hanya memiliki 23 kromosom, sedangkan sel kelamin lalat buah hanya memiliki 4 kromosom. Jumlah kromosom ini disebut **haploid** atau n.

Tabel 3.1 Jumlah Kromosom Tubuh pada Beberapa Organisme

No	Nama	Jumlah	No	Nama	Jumlah
1	Anjing	78	8	Lalat buah	8
2	Ayam	78	9	Manusia	46
3	Babi	40	10	Sapi	60
4	Domba	54	11	Jagung	20
5	Ikan mas	100	12	Pepaya	18
6	Katak	26	13	Bunga Matahari	34
7	Kuda	64	14	Ragi	34

Kata Kunci
- Autosom
- Gonosom
- Kinetokor
- Kromosom homolog
- Sentromer

Setiap makhluk hidup eukariotik selalu memiliki dua jenis kromosom, yaitu gonosom (kromosom kelamin) dan autosom (kromosom tubuh). Kedua jenis kromosom ini diperkenalkan kali pertama oleh **T. H. Montgomery**.

a. Kromosom Tubuh (Autosom)

Autosom berfungsi mengatur dan mengendalikan sifat-sifat tubuh makhluk hidup. Kromosom ini tidak berperan dalam mengatur jenis kelamin. Autosom terdapat pada individu jantan dan individu betina dengan jumlah yang sama dan berpasangan (diploid).

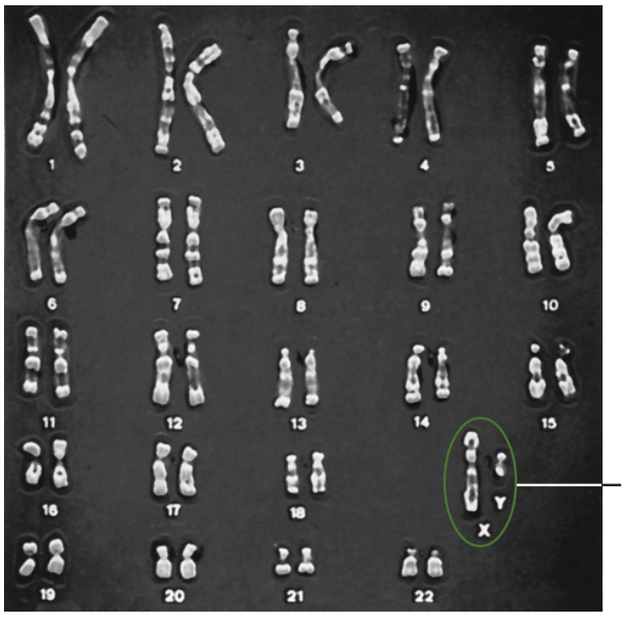
b. Kromosom Kelamin (Gonosom)

Gonosom memiliki banyak nama lain, di antaranya aelosom atau heterokromosom atau kromosom kelamin. Kromosom ini memiliki susunan pasangan yang berbeda pada individu jantan dan betina. Pada manusia gonosom berjumlah 1 pasang atau 2 buah kromosom. Jumlah tersebut sama dengan gonosom yang terdapat pada lalat buah (**Gambar 3.4**).

Wawasan Biologi

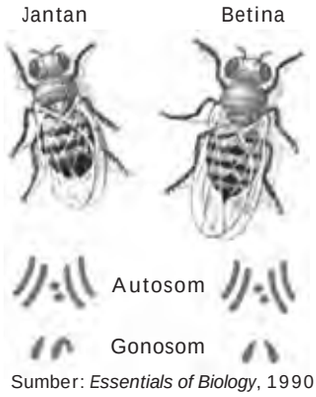
Pada lebah madu, hanya lebah betina saja yang memiliki jumlah kromosom diploid. Semua lebah jantan adalah haploid. Lebah betina tumbuh dan berkembang dari telur yang dibuahi, sedangkan lebah jantan tumbuh dan berkembang dari telur yang tidak dibuahi. Perkembangan lebah jantan ini dikenal dengan istilah partenogenesis.

Sumber: *Heath Biology*, 1985



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 3.4
Susunan kromosom pada tubuh pria. Terdapat 22 pasang autosom dan sepasang gonosom.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 3.5
Perbedaan kromosom jantan dan betina pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*)

Pada manusia dan lalat buah terdapat perbedaan gonosom antara jantan dan betina. Pada lalat buah jantan, satu gonosom berbentuk batang diberi simbol X dan satu gonosom berbentuk bengkok di beri simbol Y (perhatikan **Gambar 3.5**). Dengan demikian gonosom jantan disimbolkan dengan XY. Pada betina kedua gonosom berbentuk batang dan disimbolkan dengan XX.

Oleh karena itu, jumlah kromosom lalat buah jantan dapat dituliskan 3AA + XY atau 6A + XY, sedangkan betina 3AA + XX atau 6A + XX. Adapun jumlah kromosom manusia laki-laki 22 AA + XY atau 44A + XX, sedangkan perempuan 22AA + XY atau 44A + XX.

Jumlah kromosom tubuh dapat mengalami kelainan antara lain oleh mutasi atau kanker. Jika jumlah kromosomnya 3 set disebut **triploid**, 4 set disebut **tetraploid**, dan jika jumlahnya banyak disebut **poliploid**.

Sel kelamin (sel sperma atau sel telur) hanya memiliki satu kromosm kelamin (gonosom) sehingga sel kelamin dari betina hanya memiliki gonosom X. Adapun sel kelamin jantan memiliki gonosom X atau Y yang akan menentukan jenis kelamin individu setelah terjadi fertilisasi.

Soal Penguasaan *Materi* 3.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tipe-tipe kromosom berdasarkan letak sentromernya.
2. Apakah fungsi dari kromosom?
3. Apakah perbedaan antara kromosom tubuh dan kromosom kelamin?
4. Seekor hewan memiliki 15 pasang kromosom homolog, tuliskanlah rumus kromosomnya.

B Gen

Gen adalah unit bahan genetis. Istilah gen dikemukakan pertama kali oleh **W. Johanssen** (1909). Istilah ini sebagai pengganti istilah *determinant factor* atau elemen yang dikemukakan oleh **Gregor Mendel**. Menurut **Thomas Hunt Morgan**, gen merupakan materi yang kompak dan mengandung satuan informasi genetik yang mengatur sifat-sifat menurun, memenuhi lokus suatu kromosom. Gen mengatur berbagai macam karakter fisik maupun karakter psikis. Contoh karakter fisik adalah morfologi, anatomi, dan fisiologi. Sementara itu, contoh karakter psikis adalah pemalu, pemarah, dan pendiam.

1. Letak Gen dalam Kromosom

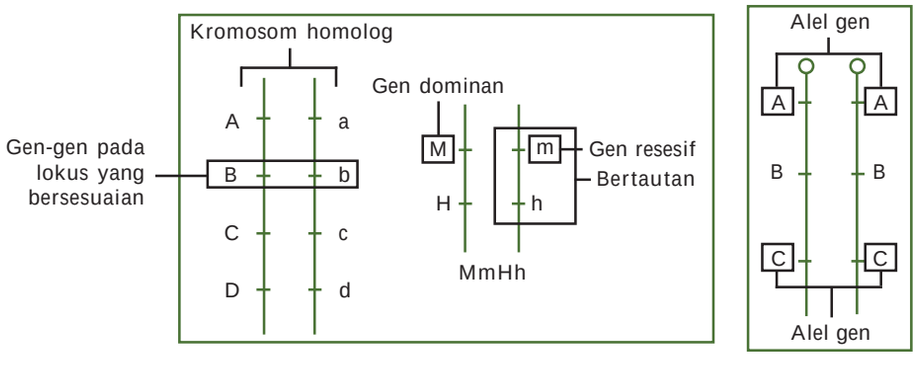
Gen terdiri atas DNA (*deoxyribonucleic acid*) yang diselubungi dan diikat oleh protein sehingga secara kimia DNA adalah unit bahan genetis. Gen akan diwariskan melalui pembelahan sel.

Gen terletak pada lokus-lokus yang berderet di dalam kromosom. Jarak lokus ditentukan dari sentromernya, satuannya disebut unit atau millimorgan (mM). Pada umumnya, kromosom ditemukan dalam keadaan berpasangan. Pasangan kromosom tersebut dinamakan **kromosom homolog**. Suatu kromosom akan berpasangan dengan kromosom lain yang memiliki kesamaan bentuk, ukuran, maupun jumlah jenis gen yang dikandungnya. Pada pasangan kromosom homolog terdapat pasangan lokus yang berada dalam satu garis horizontal yang disebut **lokus yang bersesuaian**. Gen-gen yang terletak pada lokus bersesuaian dengan pasangan kromosom homologhnya dan memberikan pengaruh yang berlawanan terhadap sifat yang dikendalikan, disebut **alel**.

Penulisan kromosom digambarkan dengan garis vertikal beserta garis pendek horizontal untuk menunjukkan posisi gen. Simbol gen tersebut dilambangkan dengan huruf Latin yang berupa huruf kapital atau huruf kecil, sesuai dengan dominansinya. Sebagai contoh, huruf kapital H berarti kulit hitam, yang dominan terhadap gen h yang berarti kulit putih. Demikian, pula dengan sifat lainnya yang dilambangkan dengan huruf lain pula. Contohnya Aa, Bb, MmHh, AA, dan CC. Perhatikan **Gambar 3.6**.

Kata Kunci

- Gen
- Lokus
- Alel



Gambar 3.6
Kromosom digambarkan dengan garis vertikal. Adapun gen yang terletak pada kromosom, digambarkan dengan garis pendek horizontal.

Pada contoh tersebut, Bb menunjukkan bahwa gen B dan gen b berada pada satu pasang kromosom homolog. Dengan demikian, gen B adalah alel bagi gen b dan gen b adalah alel bagi gen B. Dengan kata lain, gen B sealel atau sepasang dengan gen b. Bb merupakan pasangan gen yang terletak dalam pasangan bebas (**alel bebas**). Sementara itu, MmHh merupakan gen yang bertautan atau gen berangkai (*gen linked*). MmHh menunjukkan bahwa gen M, gen m, gen H, dan gen h berada dalam satu pasang kromosom homolog. Gen M dan gen H merupakan pasangan gen yang bertautan karena keduanya menempati pasangan kromosom homolog yang sama.

2. Gen Dominan dan Resesif

Susunan gen di dalam individu sel disebut **genotipe**, sedangkan ekspresi genotipe tersebut dinamakan **fenotipe**. Lambang huruf besar merupakan sifat **dominan**, sedangkan huruf kecil merupakan sifat **resesif**. Istilah dominan digunakan karena gen ini dapat mengalahkan ekspresi gen alelnya. Contohnya, gen **T** adalah simbol untuk sifat tanaman tinggi, sedangkan t untuk sifat tanaman pendek. Dalam contoh tersebut, gen T mengalahkan ekspresi gen t sehingga ekspresi tumbuhan yang bergenotipe Tt adalah tinggi, walaupun di dalam tumbuhan tersebut mengandung gen t untuk sifat pendek.

Genotipe makhluk hidup bisa **homozigot**, misalnya TT dan tt. Selain itu, ada pula genotipe atau **heterozigot**, misalnya Tt. Genotipe TT dinamakan homozigot dominan, sedangkan tt dinamakan homozigot resesif. Adapun genotipe Tt adalah heterozigot karena gen T untuk tinggi menutupi gen t untuk pendek. Bagaimana dengan gen AaBB?

Kata Kunci

- Heterozigot
- Homozigot
- Fenotipe
- Genotipe
- Dominan
- Resesif

Kegiatan 3.1

Sifat Dominan dan Resesif pada Manusia

Tujuan

Menghitung frekuensi beberapa sifat pada manusia

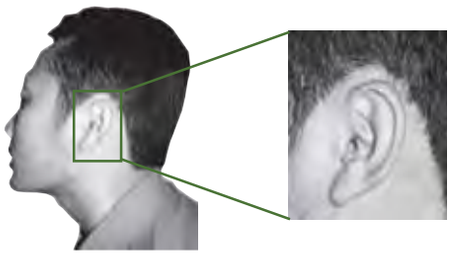
Alat dan Bahan

Kertas dan alat tulis

Langkah Kerja

1. Beberapa sifat pada manusia dikontrol oleh gen dominan dan resesif. Amati sifat-sifat berikut pada diri Anda dan teman sekelas Anda. Lakukan pengamatan bersama kelompok Anda.

Jari kelingking melengkung adalah sifat dominan



Daun telinga menggantung adalah sifat dominan

2. Tentukan persentase siswa dengan masing-masing sifat menggunakan rumus berikut.

$$\% \text{ siswa} = \frac{\text{Jumlah siswa dengan sifat dominan}}{\text{Total jumlah siswa di kelas}} \times 100\%$$

3. Masukkan hasil pengamatan Anda ke dalam tabel berikut.

Sifat	Jumlah Siswa		Kesimpulan
	Ya (Dominan)	Tidak (Resesif)	
Jari kelingking melengkung			
Daun telinga menggantung			

4. Diskusikan dan presentasikan hasilnya dengan kelompok Anda di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Sifat manakah yang paling banyak muncul di kelas Anda?
2. Jika seorang anak tidak mampu menggulungkan lidahnya, apakah mungkin salah satu dari orangtuanya memiliki sifat yang sama? Jelaskan.
3. Diskusikanlah, sifat-sifat apa saja yang dapat diteliti seperti ini di kelas. Anda dapat mencari literatur lain mengenai sifat-sifat dominan apa saja yang dapat diamati.

Soal Penguasaan *Materi* 3.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan kromosom homolog?
2. Jelaskan perbedaan gen dominan dan gen resesif.
3. Jelaskan perbedaan homozigot dominan, heterozigot, dan homozigot resesif.

C Alel

Seperti yang telah Anda ketahui, alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian dari pasangan kromosom homolog, tetapi memiliki pengaruh dalam cara yang berbeda. Contohnya, gen H sealel dengan h, gen K sealel dengan k, dan gen b sealel dengan b. Gen sealel diberi simbol huruf sama, tetapi dibedakan dengan huruf besar dan kecil jika pasangan merupakan heterozigot. Huruf besar menunjukkan **dominan**, sedangkan huruf kecil menunjukkan **resesif**. Contoh lain gen sealel misalnya, gen A untuk pigmentasi kulit, sedangkan gen a tidak menghasilkan atau sedikit pigmentasi kulit. Ini menunjukkan gen-gen tersebut bekerja berlawanan, tetapi memiliki tugas yang sama yaitu mengatur pigmentasi kulit.

1. Alel Tunggal

Suatu alel dikatakan alel tunggal jika suatu gen memiliki satu gen sealel sehingga hanya muncul satu sifat. Misalnya, gen T untuk sifat tinggi dan gen t untuk sifat rendah maka variasinya adalah TT, Tt, dan tt. Ketiga macam genotipe inilah yang disebut **alel tunggal**.

2. Alel Ganda

Suatu alel dikatakan alel ganda jika suatu gen memiliki lebih dari dua pasangan gen yang sealel sehingga muncul beberapa sifat. Contoh sifat yang dikontrol oleh alel ganda adalah golongan darah manusia sistem ABO dan warna bulu kelinci.

Kata Kunci

- Alel ganda
- Alel tunggal
- Kodominan

a. Golongan Darah Manusia Sistem ABO

Golongan darah manusia bersifat menurun (herediter) dan ditentukan oleh alel ganda. Alel pengendali golongan darah sistem ABO adalah I^A, I^B, dan I^O. Sistem golongan darah ABO ini diperkenalkan oleh **Karl Landsteiner** (1868–1943). Penggolongan ini berdasarkan jenis antigennya yang terdapat di dalam eritrosit. Antigen merupakan protein yang mampu merangsang pembentukan antibodi. Golongan darah yang dikenalkan oleh Landsteiner, adalah golongan darah A, B, AB, dan O. Penjelasan tentang golongan daerah ini telah Anda pelajari di kelas XI.

Alel I^O resesif terhadap I^A dan I^B. Akan tetapi, I^A dan I^B merupakan alel **kodominan** sehingga I^A tidak dominan terhadap I^B dan I^B tidak dominan terhadap I^A. Interaksi antara alel I^A, I^B, dan I^O dapat menyebabkan terjadinya 4 macam fenotipe yang diperlihatkan pada **Tabel 3.2**.

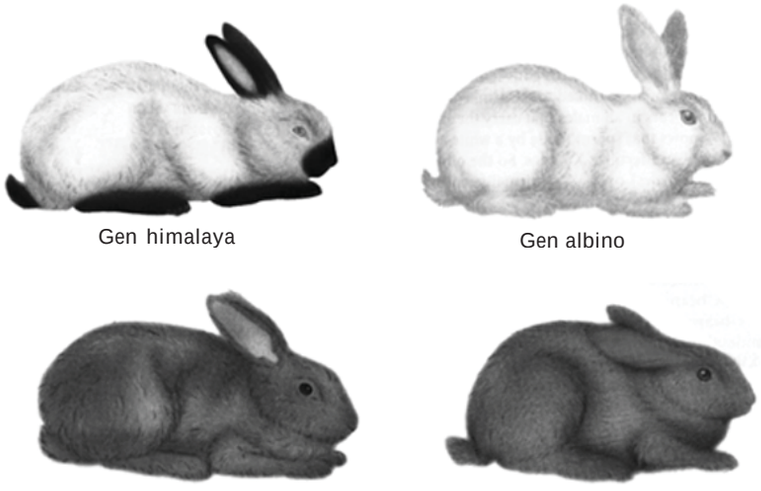
Tabel 3.2 Macam-Macam Golongan Darah Manusia Sistem ABO

Golongan Darah (Fenotipe)	Genotipe
O	I^OI^O
A	I^AI^A atau I^AI^O
B	I^BI^B atau I^BI^O
AB	I^AI^B

b. Warna Bulu Kelinci

Warna pada bulu kelinci dikendalikan oleh alel ganda atau majemuk. Warna bulu kelinci dikendalikan oleh 4 macam alel, yaitu C, c^{ch}, c^h, dan c dengan urutan dominansi alel adalah $C > c^{ch} > c^h > c$. Warna bulu kelinci tersebut terdiri atas (**Gambar 3.7**):

1) warna polos (hitam/cokelat muda), genotipe CC, Cc^{ch}, Cc^h, Cc;
2) warna kelabu muda (chinchilla), genotipe $c^{ch}c^{ch}$, $c^{ch}c^h$, $c^{ch}c$;
3) warna dasar putih dengan warna hitam pada ujung hidung, telinga, kaki, dan ekor (himalaya), genotipe c^hc^h, c^hc;
4) warna putih (albino), genotipe cc.



Gambar 3.7
Pengendalian warna pada kelinci dikendalikan oleh alel ganda.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Tugas Ilmiah 3.1

Carilah salah satu karakter atau sifat pada hewan atau manusia yang memiliki alel tunggal dan alel ganda. Buatlah uraian singkatnya mengenai proses penurunan sifatnya dari parental. Terangkan pula kemungkinan apa saja yang dapat terlibat pada keturunannya. Anda dapat mengambil bahan referensi dari buku-buku maupun artikel-artikel dari koran, majalah, dan internet. Diskusikanlah hasilnya di dalam kelas bersama teman-teman dan guru Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 3.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan alel?
2. Apa kaitan antara kromosom, gen, dan DNA?
3. Apakah perbedaan antara alel tunggal dengan alel ganda?

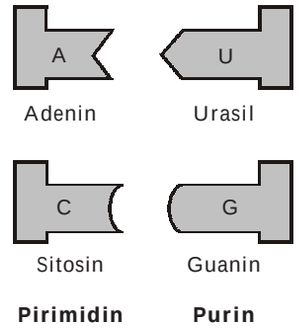
D DNA

DNA (*Deoxyribonucleic acid*) merupakan komponen yang paling penting dalam kehidupan karena sebagai pembawa informasi genetik dari satu generasi ke generasi lain. DNA berkaitan dengan semua aktivitas biologis dan merupakan pusat kajian di dalam sitologi, genetik, biologi molekuler, mikrobiologi, perkembangan biologis, biokimia, dan evolusi.

1. Struktur DNA

DNA merupakan polimer besar yang tersusun atas unit-unit nukleotida yang berulang-ulang. Setiap nukleotida tersusun atas **gugus fosfat**, **gula pentosa**, dan **basa nitrogen**. Gugus fosfat berfungsi menghubungkan antara molekul gula yang satu dan molekul gula yang lain. Gula pentosa pada nukleotida merupakan gula **deoksiribosa** karena salah satu atom C-nya kehilangan gugus OH. Molekul gula ini terikat pada basa nitrogen.

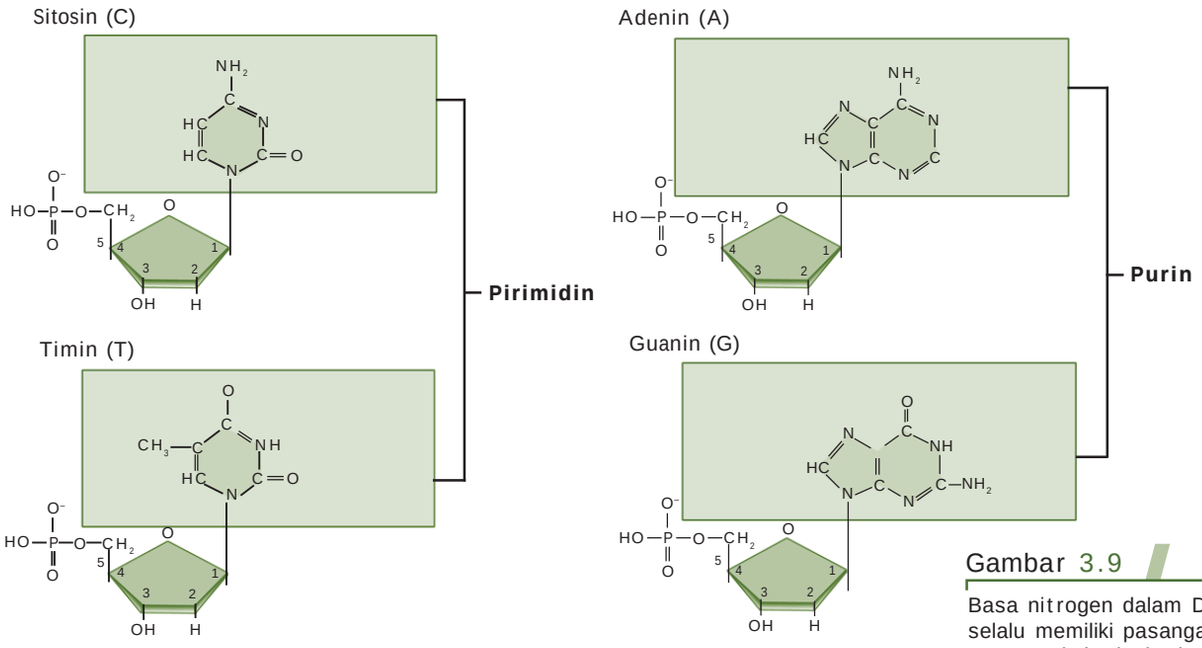
Apa saja penyusun basa nitrogen itu? Basa nitrogen tersusun atas **purin** dan **pirimidin**. Purin tersusun atas **guanin** (G) dan **adenin** (A), sedangkan pirimidin tersusun atas **timin** (T) dan **sitosin** atau *Cytosine* (C). Basa-basa nitrogen ini mengadakan persenyawaan kimia dengan gula pentosa membentuk molekul **deoksiribonukleosida** (nukleosida). Deoksiribonukleosida akan bergabung dengan gugus fosfat untuk membentuk **deoksiribonukleotida** (nukleotida). **Gambar 3.9** berikut menunjukkan struktur kimia basa nitrogen.



Gambar 3.8
Pasangan basa pada RNA

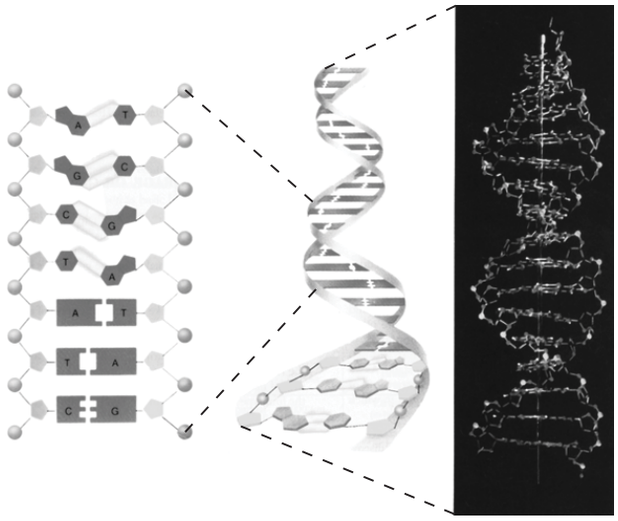
Kata Kunci

- Basa nitrogen
- DNA
- Nukleosida
- Nukleotida



Gambar 3.9
Basa nitrogen dalam DNA selalu memiliki pasangan yang tetap, yakni adenin dan timin, serta guanin dan sitosin.

Monomer yang terdiri atas fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen disebut **nukleotida**. Jadi, molekul DNA dapat mengandung ribuan nukleotida (polinukleotida), perhatikanlah **Gambar 3.10**. Adapun hubungan monomer antara basa nitrogen dan gula pentosa dinamakan **nukleosida**.



Gambar 3.10
Model DNA *double heli* memperlihatkan pasangan basa yang membentuk tangga-tangga molekul DNA.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Rangkaian nukleosida tersebut terdiri atas empat macam, yang namanya bergantung pada jenis basa nitrogennya. Jika basanya adenin, nama nukleosidanya **deoksiadenosin**. Jika basanya guanin, namanya **deoksiguanosin**. Adapun jika basanya timin, namanya **timidin**, sedangkan jika basanya sitosin, namanya **deoksisitidin**. Untuk lebih jelasnya, perhatikanlah **Tabel 3.3**.

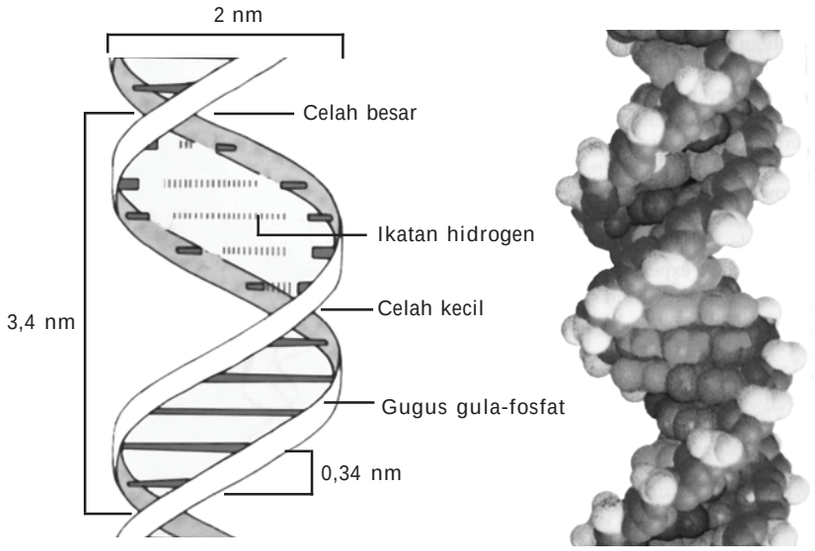
Tabel 3.3 Empat Basa Nitrogen, Nukleosida, dan Nukleotida dari Molekul DNA

	Basa + Deoksiribosa = Deoksiribonukleosida	Deoksiribosa + Asam Fosfat = Deoksiribonukleotida	Singkatan dari Nukleotida
1. Adenin (A)	Deoksiadenosin	Asam deoksiadenilin (deoksiadenosin monofosfat)	dAMP
2. Guanin (G)	Deoksiguanosin	Asam deoksiguanilin (deoksiguanosin monofosfat)	dGMP
3. Sitosin (C)	Deoksisitidin	Asam deoksisitidilin (deoksisitidin monofosfat)	dCMP
4. Timin (T)	Timidin	Asam timidilin (timidin monofosfat)	TMP

Orang yang pertama mengemukakan gagasan tentang struktur tiga dimensional DNA adalah **W.T. Atsbury**. Ia menyimpulkan bahwa DNA itu sangat padat. Polinukleotida yang menyusunnya berupa timbunan nukleotida pipih yang teratur tegak lurus terhadap sumbu memanjang.

Wilkins melanjutkan kristalografi sinar X hasil Atsbury. Wilkins berhasil mempersiapkan serabut-serabut DNA dan dapat dibuat foto melalui difraksi sinar X oleh **Rosalind Franklin**.

Berdasarkan foto yang diambil Rosalind Franklin pada bulan April 1953, **Watson** dan **Crick** mengambil kesimpulan bahwa struktur model DNA terdiri atas dua rantai polinukleotida yang diikat oleh hidrogen di antara basa nitrogen. Ikatan hidrogen antara adenin dan timin dihubungkan oleh dua ikatan hidrogen. Sementara itu, antara sitosin dan guanin dihubungkan oleh tiga ikatan hidrogen. Perhatikanlah **Gambar 3.11**.



Sumber: *Biological cience*, 1986

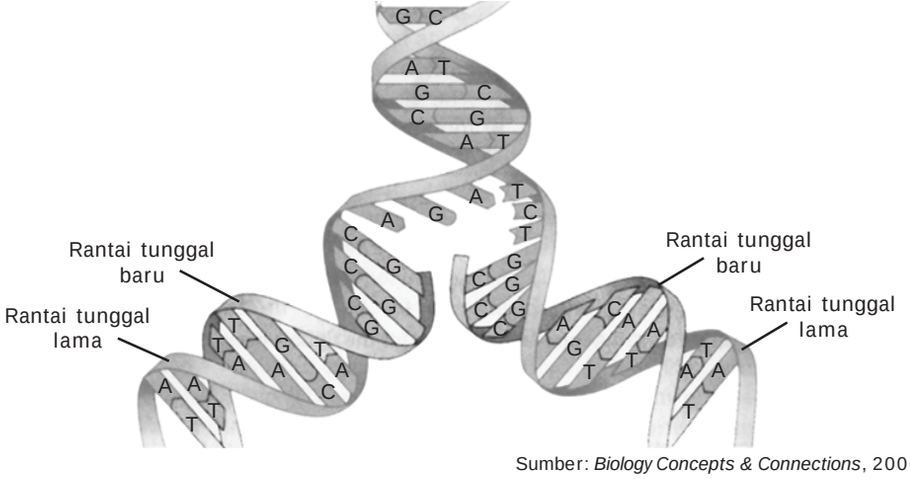
Gambar 3.11
Model melekul DNA menurut Watson dan Crick menunjukkan basa purin dan pirimidin.

2. Replikasi DNA

DNA dapat berfungsi sebagai **heterokatalis**, artinya DNA dapat menyintesis molekul lain, membentuk RNA. DNA juga berfungsi sebagai **autokatalitik**, artinya DNA mampu membentuk dirinya sendiri.

Dengan fungsi otokatalitik, DNA dapat memperbanyak diri melalui suatu proses yang dinamakan **replikasi** (**Gambar 3.12**). Replikasi DNA akan menghasilkan DNA baru dari rantai DNA yang telah ada. Proses replikasi ini memerlukan deoksiribonukleosida fosfat dan beberapa enzim (Campbell, *et al*, 2006: 18).

Kata Kunci
- Autokatalitik
- Heterokatalis
- Replikasi
- Enzim nuklease
- Enzim polimerase
- RNA

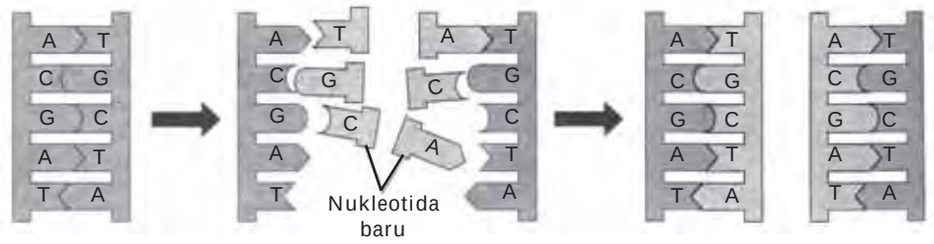


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.12
Rantai DNA baru dihasilkan dari proses replikasi.

Enzim nuklease menghidrolisis atau memecah rantai ganda polinukleotida menjadi dua rantai tunggal mononukleotida. Enzim polimerase masing-masing membentuk rantai baru sebagai pasangan rantai polinukleotida yang telah terpisah sehingga terbentuk dua rantai DNA yang baru (**Gambar 3.13**).

Model replikasi ini dikenal sebagai **model semikonservatif**. Karena setengah dari molekul DNA induk masih tersimpan dalam setiap molekul DNA anakan. Model replikasi ini dikemukakan oleh Watson dan Crick, dan telah dibuktikan melalui penelitian pada tahun 1950-an.



Gambar 3.13
Dua rantai DNA baru masih memiliki rantai nukleotida dari rantai DNA lama.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Soal Penguasaan *Materi* 3.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tiga molekul penyusun DNA.
2. Apakah yang dimaksud dengan replikasi DNA?
3. Apakah perbedaan nukleosida dengan nukleotida?
4. Sebutkan anggota basa nitrogen pirimidin dan purin.

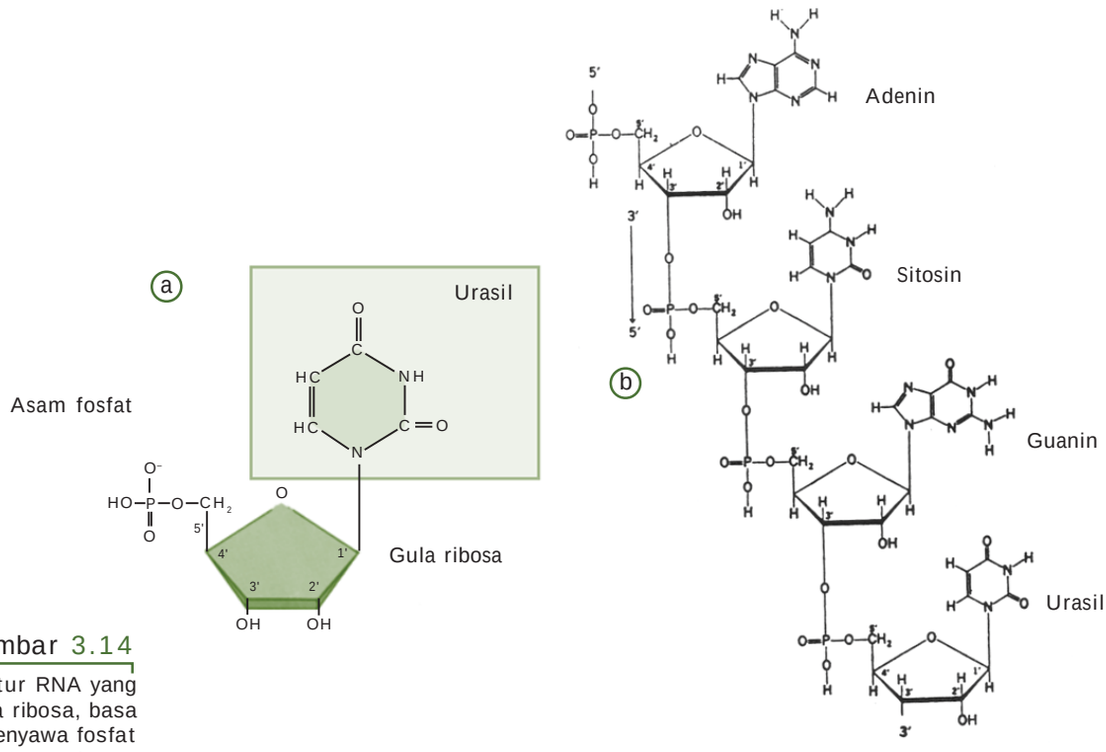
E RNA

Selain DNA, sel yang bertipe prokariotik maupun eukariotik memiliki asam nukleat berupa *ribonucleic acid* (RNA). Pada umumnya, RNA merupakan hasil sintesis DNA, kecuali pada beberapa jenis virus.

1. Susunan Kimia RNA

RNA adalah polimer asam nukleotida dari empat jenis ribonukleotida (**Tabel 3.4**). Molekul RNA dapat berbentuk pita tunggal atau pita ganda yang tidak terpilin heliks, seperti halnya pada DNA (**Gambar 3.14b**). Setiap pita RNA terdiri atas ribonukleotida (polinukleotida).

RNA mengandung gula pentosa, basa nitrogen, dan asam fosfat. Gula pentosanya berupa ribosa. Basa nitrogen purinnya terdiri atas adenin (A) dan guanin (G), sedangkan pirimidinnya terdiri atas sitosin (C) dan urasil (U) (**Gambar 3.14a**).



Gambar 3.14
(a) Struktur RNA yang mengandung gula ribosa, basa nitrogen, dan senyawa fosfat
(b) Struktur rantai tunggal RNA

Sumber: *Biology: The nity and Diversity*, 1995; *Prinsip Prinsip Biokimia*, 1997

Tabel 3.4 Empat Basa Nitrogen, Ribonukleosida, dan Ribonukleotida dari Molekul RNA

Basa	Ribonukleosida	Ribonukleotida	Singkatan
Adenin (A)	Adenosin	Adenosin monofosfat	AMP
Guanin (G)	Guanosin	Guanosin monofosfat	GMP
Sitosin (S)	Sitidin	Sitidin monofosfat	CMP
Urasil (U)	Uridin	Uridin monofosfat	UMP

2. Jenis RNA

Pada dasarnya, terdapat dua kelompok utama RNA yang menyusun makhluk hidup, yaitu **RNA genetik** dan **RNA nongenetik**. Apakah perbedaan kedua RNA tersebut?

a. RNA genetik

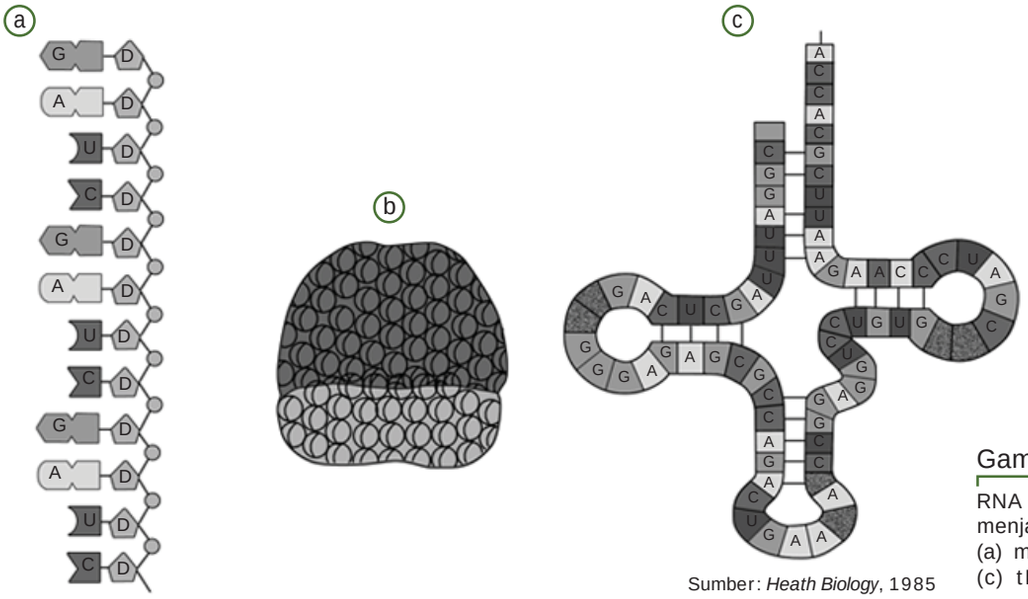
RNA genetik memiliki fungsi yang sama dengan DNA, yakni merupakan molekul genetik yang secara keseluruhan bertanggung jawab dalam membawa segala materi genetis, seperti yang dimiliki oleh DNA. Dengan kata lain, RNA ini berfungsi sebagai DNA. RNA genetik ini hanya dimiliki oleh makhluk hidup tertentu yang tidak memiliki DNA, seperti pada beberapa jenis virus.

Kata Kunci

- mRNA
- rRNA
- tRNA

b. RNA nongenetik

RNA nongenetik merupakan RNA yang tidak berperan sebagai DNA (**Gambar 3.15**). RNA nongenetik dimiliki oleh makhluk hidup yang materi genetiknya diatur oleh DNA. Pada makhluk hidup kelompok ini, di dalam selnya terdapat DNA dan RNA.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 3.15
RNA nongenetik dibedakan menjadi tiga macam, yakni (a) mRNA, (b) rRNA, dan (c) tRNA.

Berdasarkan letak serta fungsinya, RNA non-genetik dibedakan menjadi tiga macam, yakni RNA duta, RNA ribosom, dan RNA transfer.

1) **RNA duta** atau "*messenger* RNA" (mRNA) merupakan asam nukleat yang berbentuk pita tunggal dan merupakan RNA terbesar atau terpanjang yang bertindak sebagai pola cetakan pembentuk polipeptida. Fungsi utama mRNA adalah membawa kode-kode genetik dari DNA ke ribosom. mRNA juga berfungsi sebagai cetakan dalam sintesis protein.

2) **RNA transfer** (tRNA) merupakan RNA terpendek yang bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA. Selain itu, tRNA berfungsi mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi protein dan mengangkutnya ke ribosom. Pada tRNA terdapat bagian yang berhubungan dengan kodon yang disebut **antikodon** dan bagian yang berfungsi sebagai pengikat asam amino.
3) **RNA ribosom** (rRNA) merupakan RNA dengan jumlah terbanyak dan penyusun ribosom. RNA ini berupa pita tunggal, tidak bercabang, dan fleksibel. Lebih dari 80% RNA merupakan rRNA. Fungsi rRNA sampai sekarang masih belum banyak diketahui, tetapi diduga memiliki peranan penting dalam proses sintesis protein.

3. Perbandingan DNA dan RNA

Komponen penyusun DNA dan RNA memiliki banyak kemiripan. Namun, karena fungsinya berbeda, keduanya juga memiliki beberapa perbedaan, terutama dalam hal letak, struktur, kadar, fungsi, dan komposisi kimianya. Berbagai perbedaan tersebut dapat Anda pelajari pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5 Perbedaan antara DNA dan RNA

Pembeda	DNA	RNA
Letak	Di dalam nukleus dan plastida	Dalam nukleus, sitoplasma, matriks, mitokondria, plastida, dan ribosom
Bentuk rantai	*Double helix*	Tunggal, ganda tak berpilin
Kadar	Tetap	Tidak tetap
Fungsi	Pengendali faktor keturunan dan sintesis protein	Berperan dalam aktivitas sintesis protein RNA
Basa nitrogen	Purin (adenin dan guanin) Pirimidin (timin dan sitosin)	Purin (adenin dan guanin) Pirimidin (urasil dan sitosin)
Gula	Deoksiribosa	Ribosa

Soal Penguasaan *Materi* 3.5

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tiga tipe RNA nongenetik.
2. Jelaskan perbedaan DNA dan RNA.
3. Apakah fungsi dari RNA?

F Kode Genetik

DNA mengandung substansi genetik yang dapat memberi informasi keturunan dari sel ke sel berikutnya, dan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Bagaimanakah pola informasi tersebut dapat disampaikan? **Kode genetik** merupakan suatu informasi dengan menggunakan huruf sebagai lambang dari basa nitrogen (A, T, C, dan G) yang dapat menerjemahkan macam-macam asam amino di dalam tubuh.

Sampai sekarang telah dikenal 20 macam asam amino. Bagaimanakah empat basa nitrogen itu dapat diterjemahkan ke dalam 20 macam asam amino? Dugaan pertama, kode genetik tersebut disusun oleh satu kode huruf atau **kode singlet**. Kode ini menyatakan bahwa sebuah nukleotida memberi kode untuk sebuah asam amino. Mengingat asam amino nonesensial ada 20 macam, maka dugaan tersebut tidak bisa diterima.

Bagaimanakah jika setiap dua buah basa nitrogen mengkodekan satu jenis asam amino? Kode yang akan diperoleh dari empat jenis basa nitrogen adalah $4^2 = 16$. Kode-kode ini belum mencukupi untuk 20 macam asam amino. Kode-kode dari 16 macam asam amino dengan dua buah basa nitrogen ini disebut **kode duplet**. Bagaimana jika tiga buah basa nitrogen mengode satu asam amino? Jika hal ini dilakukan, kode yang akan diperoleh adalah $4^3 = 64$ macam kode. Ini berarti, lebih dari cukup untuk 20 kode asam amino.

Percobaan **Crick** (1961) dengan menggunakan virus T_4 (*bakteriofage*) dari *Escherichia coli* membuktikan bahwa dengan menerapkan kode duplet, bakteri ini tidak dapat menjalankan fungsinya secara normal. Berdasarkan keadaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kode genetik haruslah dalam bentuk kode **triplet** (urutan tiga macam basa nitrogen). Kode triplet disebut juga **kodon**.

Rangkaian tiga basa nitrogen yang berfungsi membuat kode-kode disebut **kodogen** (agen kode). Proses pembentukan kode-kode tersebut dilakukan melalui **transkripsi**. Rantai polinukleotida DNA yang bertugas mencetak kode-kode disebut **rantai** *sense* (DNA template), sedangkan rantai pelengkapnya disebut **rantai** *antisense*.

Kode genetik triplet tersebut dinamakan "bahasa mRNA" (*messenger* RNA) karena mRNA yang membawa kopi dari kode genetik yang terdapat pada DNA. Dalam mRNA, timin (T) diganti dengan urasil (U), jadi kode singlet pada mRNA menjadi A, G, C, dan U. Perhatikan **Tabel 3.6**.

Tabel 3.6 Rangkaian Basa yang Mengodekan Setiap Jenis Asam Amino

Basa No 1	Basa No 2				Basa No 3
	U	C	A	G	
U	UUU Phe UUC Phe	UCU Ser UCC Ser UCA Ser UCG Ser	UAU Tyr UAC Tyr	UGU Cys UGC Cys	U C A G
	UUA Leu UUG Leu		UAA Stop UAG Stop	UGA Stop UGA Trp	
C	CUU Leu CUC Leu CUA Leu CUG Leu	CCU Pro CCC Pro CCA Pro CCG Pro	CAU His CAC His	CGU Arg CGC Arg CGA Arg CGG Arg	U C A G
			CAA Gln CAG Gln		
A	AUU Ile AUC Ile AUA Ile	ACU Thr ACC Thr ACA Thr ACG Thr	AAU Asn AAC Asn	AGU Ser AGC Ser	U C A G
	AUG Met atau start		AAA Lys AAG Lys	AGA Arg AGG Arg	
G	GUU Val GUC Val GUA Val GUG Val	GCU Ala GCC Ala GCA Ala GCG Ala	GAU Asp GAC Asp	GGU Gly GGC Gly GGA Gly GGG Gly	U C A G
			GAA Glu GAG Glu		

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

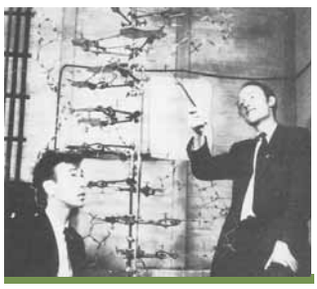
Keterangan:

Ala = alanin	Gln = glutamin	Leu = leusin	Ser = serin
Arg = arginin	Glu = asam glutamat	Lys = lisin	Thr = treonin
Asn = asparagin	Gly = glisin	Met = metionin	Trp = triptofan
Asp = asam aspartat	His = histidin	Phe = fenil	Try = tirosin
Cys = sistein	Ile = isoleusin	Pro = prolin	Val = valin

Kata Kunci

- Kodon
- Rantai *antisense*
- Rantai *sense*

Tokoh Biologi



James Watson dan Francis Crick

Pada tahun 1945, James Watson dan Francis Crick membuat terobosan penting. Mereka dengan tepat menemukan struktur double helix molekul DNA. Mereka menyadari bahwa "pasangan" basa dan kedua rantai nukleotida "saling melengkapi", seperti halnya negatif dan positif dalam fotografi. Jika suatu sel membelah diri, tali ini terpisah dan masing-masing menemukan pasangan baru.

Sumber: *endela ptek: ehidupan*, 1997

Soal Penguasaan *Materi* 3.6

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah hubungan antara kode genetik dengan mRNA?
2. Apakah yang dimaksud dengan kodon?
3. Terjemahkan urutan mRNA CCAUUUACG dalam urutan asam aminonya.

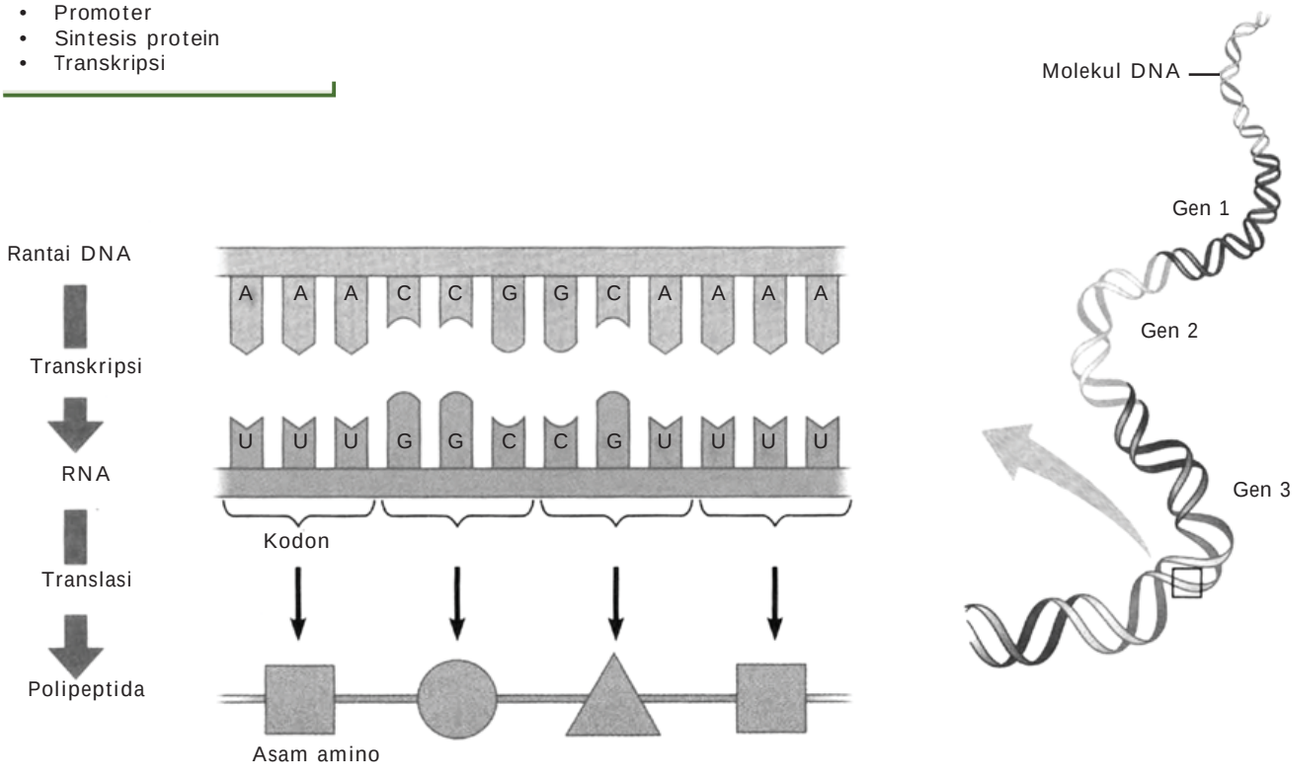
G Sintesis Protein

Suatu gen menentukan ada tidaknya suatu sifat. Dengan kata lain, kode genetik merupakan penentu sifat apa yang akan muncul atau tampak pada individu. Hubungan antara genotipe (kode genetik) dengan fenotipe (sifat yang tampak) diperantarai oleh sintesis senyawa polimer asam amino yaitu protein. Sebagai penyusun tubuh makhluk hidup, protein dapat ditemukan antara lain sebagai enzim, hormon, pigmen keratin, dan hemoglobin.

Jenis dan rangkaian asam amino yang menyusun protein berbeda antara protein yang satu dan protein yang lainnya. Mekanisme sintesis protein terjadi melalui dua tahap, yakni transkripsi dan translasi (**Gambar 3.16**).

Kata Kunci

- Asam amino
- Promoter
- Sintesis protein
- Transkripsi



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

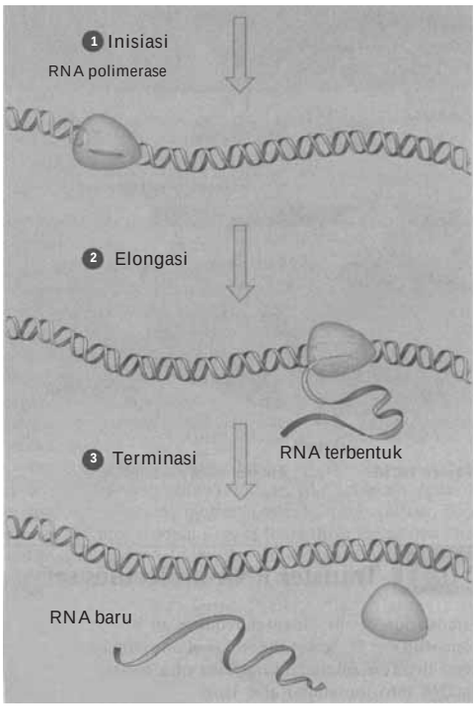
Gambar 3.16
Gambaran proses sintesis protein secara umum.
Tahap apa saja yang terjadi dalam sintesis protein?

1. Transkripsi

Tahap pertama dari sintesis protein adalah transkripsi (**Gambar 3.17**). Proses ini berlangsung di dalam inti sel. Transkripsi merupakan proses sintesis langsung RNA dari DNA.

Pada saat inti sel memerintahkan perlunya sintesis protein, informasi DNA dialihkan melalui RNA pembawa pesan yang disebut RNA *messenger* (mRNA). mRNA berisikan salinan langsung pasangan basa dari DNA. Tahap inilah yang dinamakan dengan transkripsi. Transkrip berarti salinan. Kode

genetik disalin dari DNA untuk dibawa keluar dari nukleus menuju lokasi pembuatan protein di ribosom yang berada di sitoplasma. Urutan basa nitrogen yang dibawa ke luar nukleus dalam mRNA ini dinamakan sebagai **kodon**. Dalam proses transkripsi, banyak proses enzimatik yang terjadi, seperti pemutusan ikatan-ikatan hidrogen pada rantai DNA serta pembacaan urutan basa nitrogen yang prosesnya mirip dengan duplikasi DNA.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.17
Proses transkripsi yang terjadi pada sel

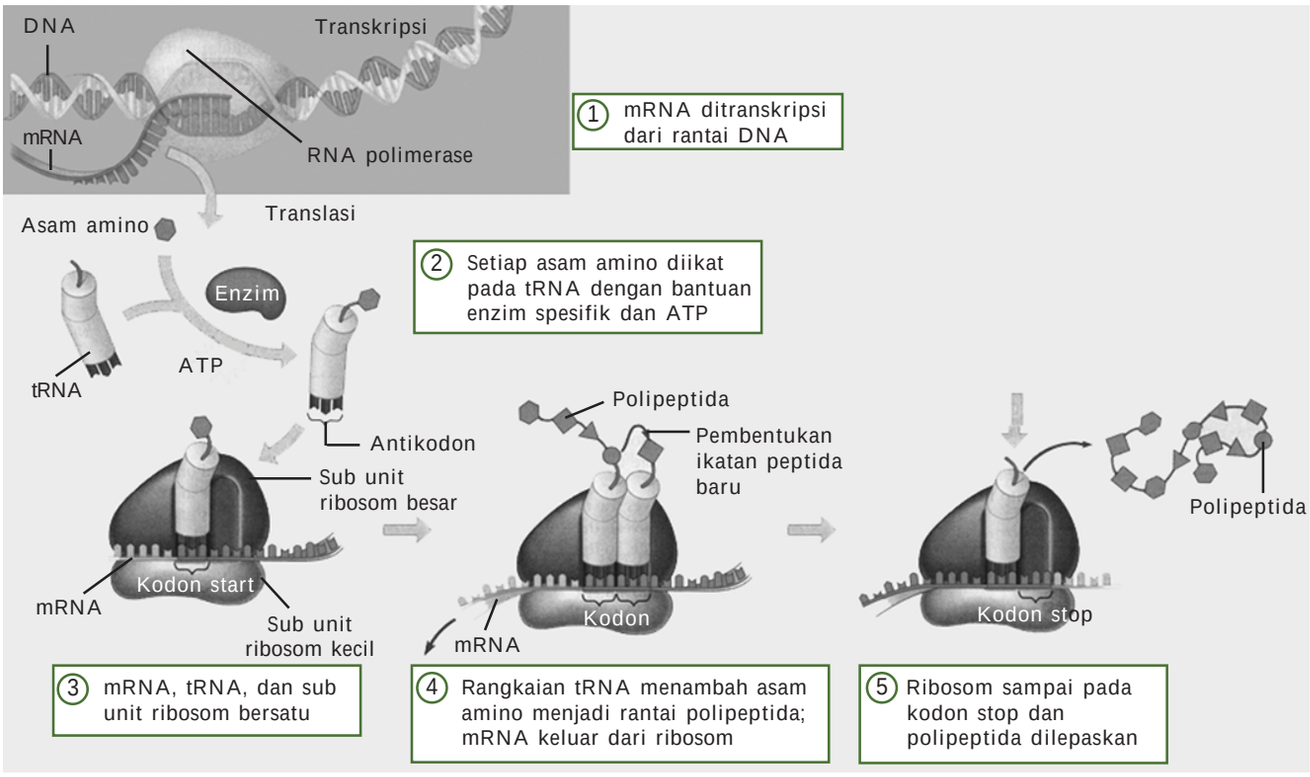
Tahap **inisiasi** transkripsi dimulai dengan pengenalan daerah gen di DNA oleh enzim RNA polimerase. Daerah ini dinamakan dengan *promoter*, yakni tempat dimulainya sintesis pasangan DNA oleh mRNA. Daerah DNA yang disalin hanyalah satu bagian rantai saja yang dinamakan dengan *sense* (daerah template) dan rantai yang lainnya dinamakan rantai *antisense*. Pembacaan DNA oleh RNA polimerase ini dimulai dari ujung 3' menuju ujung 5' dan tidak pernah sebaliknya. RNA polimerase akan membuka ikatan *double helix* pada bagian gen yang dikenali dan kemudian akan menyalin urutan basa yang ada pada DNA *sense* (template) sehingga terbentuk DNA baru dari arah ujung 5' menuju ujung 3'. Proses ini dinamakan dengan **elongasi**.

Proses transkripsi diakhiri jika gen di daerah rantai template telah selesai dibaca (terdapat kodon stop). DNA memiliki mekanisme agar RNA polimerase dapat mengenali akhir dari gen dengan kode basa tertentu, daerah ini dikenal dengan nama *terminator*. Proses akhir dari transkripsi ini dinamakan dengan **terminasi**. Setelah itu, rantai mRNA akan keluar dari DNA menuju ribosom di sitoplasma (Campbell, *et al*, 2006: 193).

Kata Kunci
- RNA polimerase
- Ribosom
- Translasi

2. Translasi

mRNA mengandung urutan basa yang akan diterjemahkan menjadi protein (asam amino). Kode genetik, yang dibawa di dalamnya (kodon) dibaca dalam urutan tiga basa (triplet) menjadi protein. Proses penerjemahan kodon menjadi protein atau yang disebut dengan **translasi**. Langkah-langkah transkripsi dan translasi dapat diperhatikan pada **Gambar 3.18** berikut.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 3.18

Proses sintesis protein melibatkan mRNA dan tRNA.

Molekul apa saja yang terlibat pada proses ini?

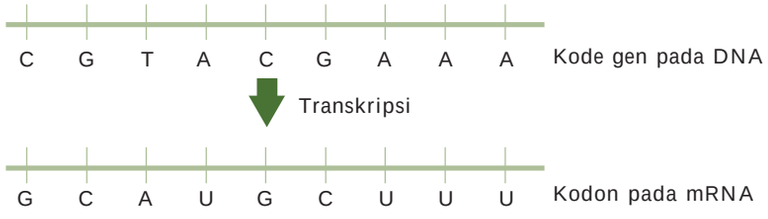
Ribosom, sebagai tempat pembuatan protein terdiri atas dua bagian yang disebut **subunit kecil** dan **subunit besar**. Secara garis besar, translasi dibagi menjadi tiga tahap, yaitu inisiasi, elongasi, dan terminasi. Pada tahap inisiasi, mRNA akan menempel pada subunit kecil ribosom. Subunit kecil ini akan mengenali kode awal genetik AUG dari mRNA yang disebut sebagai **start kodon**. Subunit besar ribosom kemudian akan bergabung dengan subunit kecil membentuk kompleks ribosom.

Proses penerjemahan ini dibantu oleh tRNA yang membawa pasangan kodon dari mRNA. Pasangan basa tRNA di ribosom ini dinamakan sebagai **antikodon**. tRNA akan datang membawakan pasangan basa yang sesuai dengan kodon dari mRNA. tRNA mengandung gugus asam amino yang sesuai dengan antikodon yang berada di ujung struktur rantai tunggal RNA.

Tahapan selanjutnya adalah elongasi dari pembacaan kodon oleh tRNA sehingga terbentuk rantai polipeptida. Elongasi akan berhenti pada tahap pembacaan urutan basa spesifik yang memerintahkan proses translasi dihentikan (tahap terminasi). Urutan ini biasanya terdiri atas UAA, UAG, dan UGA yang dikenal dengan nama **stop kodon**.

Berikut adalah contoh bagaimana penerjemahan kodon pada mRNA terjadi sehingga dapat dihasilkan polipeptida.

a. DNA membentuk messenger RNA (membentuk pasangan) (mRNA). mRNA mentranskripsi kode genetik yang terdapat pada DNA menjadi kode genetik yang terdapat mRNA yang dinamakan kodon.



b. mRNA keluar dari inti sel (nukleus) melalui retikulum endoplasma menuju ribosom dan menempelkan dirinya pada ribosom.
c. Di dalam sitoplasma tRNA mengadakan translasi kodon pada mRNA menjadi antikodon pada tRNA yang susunan antikodonnya seperti berikut.

d. tRNA yang memiliki antikodon SGU akan mengangkut asam amino arginin, tRNA berantikodon ASG mengangkut treonin, dan tRNA berantikodon AAA mengangkut lisin.
e. tRNA mengangkut asam amino ke ribosom yang kemudian disusun menjadi polipeptida atau protein
f. Dalam pembentukkan polipeptida, asam amino yang satu digabung dengan asam amino yang lain oleh ikatan peptida. Proses ini berjalan terus sampai akhirnya ditemukan kodon, misalnya stop (UAG).

Tugas Ilmiah 3.2

Pada bab ini, Anda telah mempelajari substansi genetik hingga proses terbentuknya protein. Jika Anda perhatikan, penemuan-penemuan tersebut tidak terpisah dengan sejarah dan perkembangan ilmu pengetahuan. Terdapat suatu proses panjang untuk menjelaskan fenomena alam. Hal tersebut membutuhkan waktu, biaya, dan kerja keras ilmuwan dan tokoh-tokoh yang terlibat di dalamnya. Kali ini, Anda ditugaskan untuk membuat sebuah karya tulis mengenai sejarah dan tokoh-tokoh yang terlibat dalam mengungkap misteri DNA, gen, hingga sintesis protein. Carilah sumber dari buku, majalah, koran, dan internet. Gunakan kaidah-kaidah bahasa yang baik dan benar, serta jangan lupa untuk mencantumkah sumber rujukan yang digunakan. Kumpulkan tugas ini pada guru Anda. Karya tulis terbaik dapat ditampilkan pada majalah dinding sekolah Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 3.7

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan secara singkat proses sintesis protein.
2. Sebutkan komponen apa sajakah yang berperan dalam sintesis protein.
3. Jika suatu urutan basa nitrogen DNA adalah TACTTCAAACCGCGT, asam amino apa sajakah yang akan terbentuk?

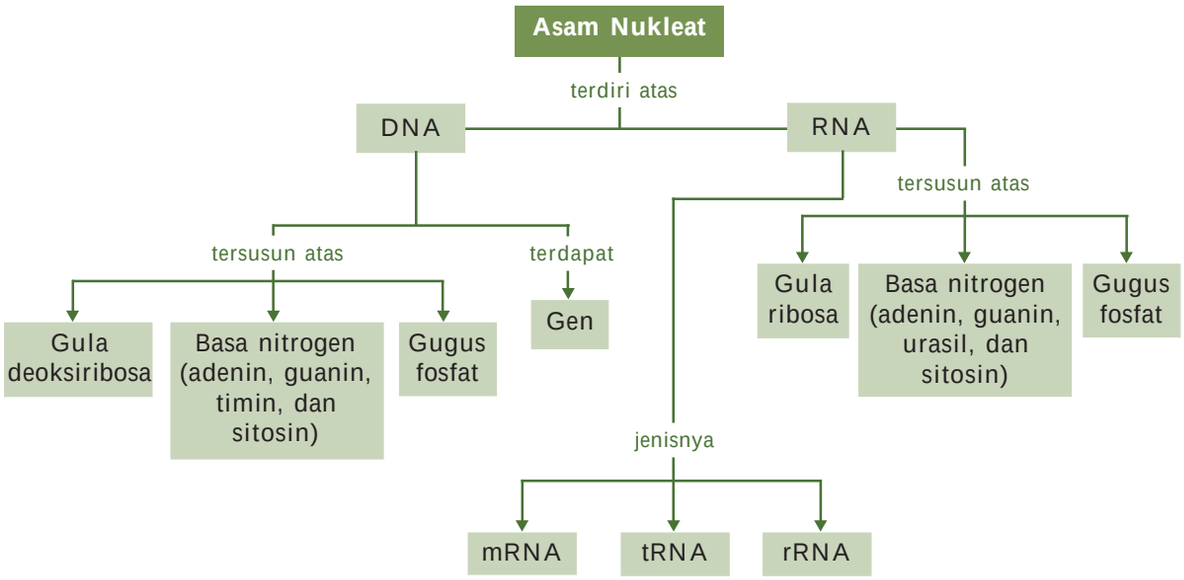
Rangkuman

1. Kromosom tersusun atas DNA yang berkondensasi bersama protein histon di dalam inti sel. Setiap makhluk hidup memiliki jumlah kromosom tertentu. Setiap inti sel manusia memiliki rumus kromosom 46A + XY (laki-laki) dan 44A + XX (perempuan).
2. Gen adalah materi kompak dan mengandung satuan informasi genetik yang mengatur sifat-sifat menurun, serta menempati suatu lokus dalam kromosom.
3. Suatu kromosom akan berpasangan dengan kromosom lain yang memiliki kesamaan bentuk, ukuran, maupun jumlah jenis gen yang dikandungnya. Pasangan kromosom tersebut dinamakan kromosom homolog. Dalam kromosom homolog terdapat lokus bersesuaian. Gen-gen yang menempatinya dan memberikan pengaruh pada sifat yang sama secara bersama-sama atau berlawanan disebut alel. Jika pasangan gen bersifat dominan atau resesif disebut homozigot, contohnya AA atau bb. Jika pasangan gen bersifat dominan dan resesif disebut heterozigot, contohnya Aa, Bb, atau Cc.
4. Substansi genetik pada manusia terdiri atas DNA dan RNA. DNA (*Deoxyribonucleic acid*) adalah substansi kimia pembawa substansi genik. DNA berupa susunan kimia kompleks yang terdiri atas gula deoksiribosa, asam fosfat, serta basa nitrogen. Setiap rantai DNA anakan mengandung DNA

setengah dari DNA induk. Salah satu perbedaan antara DNA dan RNA terletak pada gula penyusunnya. Pada DNA disusun oleh gula deoksiribosa, sedangkan RNA oleh gula ribosa.

5. Basa nitrogen dalam DNA terdiri atas adenosin (A), sitosin (C), timin (T), dan guanin (G). Empat basa nitrogen tersebut menentukan serangkaian asam amino dalam molekul protein. Semua informasi ditulis dengan triplet basa nitrogen dari DNA.
6. Sintesis protein terjadi dan dibentuk berdasarkan DNA dalam nukleus. Sintesis protein terjadi melalui tahap transkripsi dan ranslasi yang melibatkan DNA, RNA, dan ribosom.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Substansi Genetik, Anda diharapkan dapat mendeskripsikan gen, DNA, RNA, kromosom, serta sintesis protein. Anda juga diharapkan telah mampu mengemukakan keterkaitan substansi genetik (gen, DNA, kromosom) dengan pewarisan sifat. Pahamilah materi bab ini secara saksama. Rumuskan materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda. Apakah manfaatnya Anda mempelajari bab ini?

Evaluasi Materi Bab 3

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

1. Proses sintesis protein terjadi di dalam sel pada organel ....
   a. ribosom
   b. badan golgi
   c. mitokondria
   d. nukleus
   e. glioksisom
2. Berikut ini yang *bukan* merupakan ciri DNA adalah ....
   a. membentuk rantai helik ganda
   b. terdapat dalam kromosom
   c. mengandung basa nitrogen
   d. kadarnya berubah-ubah bergantung sintesis protein
   e. berhubungan erat dengan faktor genetik
3. Senyawa pirimidin RNA terdiri atas ....
   a. adenin dan guanin
   b. timin dan sitosin
   c. adenin dan timin
   d. adenin dan urasil
   e. urasil dan sitosin
4. Dalam sintesis protein, yang berfungsi sebagai cetakan adalah ....
   a. dRNA
   b. pRNA
   c. rRNA
   d. tRNA
   e. DNA
5. Jika A = gugus fosfat, B = gula pentosa, dan C = basa nitrogen, maka susunan 1 nukleotida sama dengan ....
   a. A-B
   b. A-C
   c. B-C
   d. B-C-A
   e. C-B-A
6. Jika suatu rantai template DNA adalah '5 AGC-TAG-GCA-TAC 3', maka komplemennya adalah ....
   a. 5'UCG-AUC-CGU-AUG3'
   b. 3'UCG-AUC-CGU-AUG5'
   c. 5'TCG-ATC-CGT-ATG3'
   d. 3'TCG-ATC-CGT-ATG5'
   e. 5'AGC-TAG-GCA-TAS3'
7. Hasil transkripsi suatu rantai sense DNA: ACG TGG CAG adalah ....
   a. ACG TGG CAG
   b. UGC ACC GUC
   c. TGC ACC GTC
   d. UGC ACC CUG
   e. GAC GGT GCA
8. RNA berbeda dari DNA, sebab RNA ....
   a. rantai ganda berpilin
   b. membawa informasi genetik
   c. tidak memiliki timin
   d. dapat berduplikasi
   e. kadarnya tetap
9. Proses translasi akan berhenti ketika pembacaan bertemu dengan kodon terminasi, yaitu ....
   a. AUG
   b. AGU
   c. UUU
   d. UGC
   e. UAA
10. Enzim yang berperan dalam proses transkripsi adalah ....
    a. DNA polimerase
    b. RNA polimerase
    c. protease
    d. karbonat anhidrase
    e. ligase
11. Gen memiliki sifat sebagai berikut, *kecuali* ....
    a. dapat mengalami mutasi
    b. memiliki kemampuan berduplikasi
    c. mengandung informasi genetik
    d. menempati lokus kromosom
    e. merupakan penyusun DNA
12. Contoh alel ganda adalah ....
    a. albino
    b. buta warna
    c. golongan darah ABO
    d. kretinisme
    e. polidaktil
13. Susunan kromosom sel somatis pada wanita yaitu ....
    a. 22 autosom dan sebuah kromosom x
    b. 22 autosom dan sepasang kromosom x
    c. 44 autosom dan sebuah kromosom x
    d. 44 autosom dan sepasang kromosom x
    e. 44 autosom dan sebuah kromosom x atau y
14. Di bawah ini yang *bukan* macam kromosom berdasarkan letak sentromer adalah ....
    a. akrosentrik
    b. submetasentrik
    c. parasentrik
    d. metasentrik
    e. telosentrik
15. Jika rantai template DNA adalah ATT GTA AAA, kode genetik yang dibawa oleh tRNA pada sintesis protein adalah ....
    a. AUU GUA AAA
    b. AUU GTA UUU
    c. ATT GTA AAA
    d. UAA CAU UUU
    e. TAA CAT TTT
16. Berikut ini adalah pernyataan yang benar, *kecuali* ....
    a. transkripsi terjadi di dalam inti sel, RNA dibentuk langsung dari DNA
    b. pengenalan daerah gen di DNA dilakukan oleh DNA polimerase
    c. rantai mRNA keluar dari inti sel menuju sitoplasma
    d. hasil akhir dari sintesis protein adalah polipeptida
    e. translasi melibatkan ribosom yang terdiri atas subunit kecil dan subunit besar
17. Kemampuan DNA untuk membentuk mRNA merupakan fungsi DNA sebagai ....
    a. autokatalik
    b. replikasi
    c. heterokatalis
    d. transkripsi
    e. translasi

18. Berikut ini yang *bukan* syarat kromosom untuk dapat berpasangan ....
    a. pasangan kromosom memiliki kesamaan bentuk
    b. pasangan kromosom memiliki kesamaan jumlah gen
    c. pasangan kromosom memiliki kesamaan jenis gen
    d. pasangan kromosom memiliki kesamaan jumlah lokus
    e. pasangan kromosom yang memiliki kesamaan jenis lokusnya

19. Genotipe BB merupakan pasangan gen ....
    a. resesif
    b. heterozigot
    c. homozigot dominan
    d. homozigot resesif
    e. letal

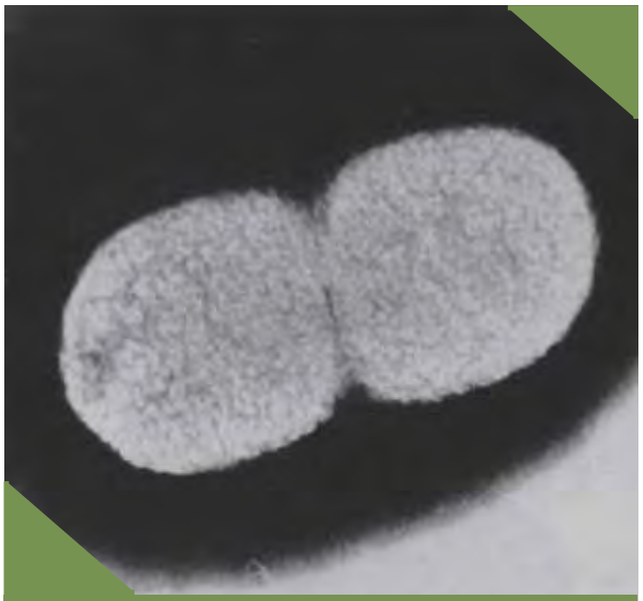
20. Genotipe Kk menunjukkan pernyataan-pernyataan berikut ini, *kecuali* ....
    a. Gen K memiliki alel k
    b. Gen k memiliki alel K
    c. Gen K dan gen k berada pada kromosom tidak homolog
    d. Gen K dan gen k berada pada kromosom homolog
    e. Gen K dan gen k menunjukkan homozigot

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

1. Jelaskan sifat gen secara singkat.
2. Apakah yang dimaksud dengan transkripsi dan translasi pada proses sintesis protein?
3. Bagaimanakah urutan basa nitrogen dari suatu antikodon RNA UUA CGU AAG?
4. Bagaimanakah urutan basa nitrogen hasil transkripsi dari DNA template TAC AAA TGC GGA CCG TGS AAT?
5. Jika diketahui urutan basa nitrogen antisense suatu DNA adalah TTT TCA TAT TGG CCT CAT GGA, bagaimanakah urutan asam amino hasil sintesis proteinnya? (Gunakan tabel kodon dan asam amino yang dikodenya)

Soal Tantangan

1. Beberapa atlet amatir dan profesional menggunakan steroid untuk membantu membentuk tubuh dan meningkatkan kekuatan. Dengan mengenyampingkan risiko yang ditimbulkannya, apa pendapat Anda mengenai penggunaan bahan kimia tersebut untuk olah raga? Jika atlet tersebut menggunakan steroid jauh hari sebelum pertandingan, apakah ia termasuk curang atau ia menggunakannya hanya sebagai bagian dari persiapan untuk kompetisi yang akan ia jalani? Pertahankan pendapat Anda.
2. Para ahli telah mempelajari cara memotong gen dari satu spesies dan memasukkannya ke dalam DNA spesies lain. Contohnya, gen yang mengodekan pembuatan insulin dapat diambil dan dimasukkan ke dalam sel bakteri. Hasilnya, bakteri yang dapat menghasilkan hormon insulin. Beberapa kritikus berpendapat bahwa kita tidak semestinya memanipulasi alam. Dengan mengetahui bahwa memodifikasi alam bukanlah hal yang baru, contohnya pembuatan bendungan dan perkawinan silang tumbuhan oleh manusia, apakah Anda merasa terdapat perbedaan etika antara rekayasa genetika dan teknologi lainnya? Menurut Anda, hal apakah yang menyebabkan suatu teknologi dapat diterima oleh masyarakat?



Sumber: *Biologi Discovering Life*, 1991

Bab 4
Reproduksi Sel

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta penerapannya dalam kehidupan. Setelah mempelajari bab ini, Anda akan mampu menjelaskan keterkaitan antara proses pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat.

Pernahkah Anda merasakan bahwa kulit Anda terasa kering dan mengelupas? Atau pernahkah tangan Anda teriris pisau? Apakah yang terjadi? Tentu saja kulit yang terkelupas tersebut diganti oleh kulit baru sehingga luka di tangan Anda akan menutup dan sembuh. Kulit baru tersebut terbentuk dari sel-sel kulit yang membelah atau bereproduksi.

Anda tentu mengenal penyakit kanker. Penyakit ini disebabkan oleh pembelahan sel yang tidak terkendali. Pada sel normal, pembelahan akan berlangsung secara normal dan berhenti setelah keseimbangan jumlah sel terpenuhi.

Reproduksi sel merupakan salah satu ciri utama makhluk hidup. Pada makhluk hidup bersel satu (uniseluler), proses tersebut merupakan cara untuk menghindar dari kepunahan. Adapun pada makhluk hidup bersel banyak (multiseluler), reproduksi sel bertujuan memperbaiki jaringan tubuh yang rusak, pertumbuhan, dan perkembangan sel. Melalui pembentukan sel-sel gamet (sel kelamin), reproduksi sel merupakan cara makhluk hidup mewariskan sifat kepada keturunannya. Pewarisan sifat ini akan Anda pelajari pada bab berikutnya.

Bagaimanakah mekanisme reproduksi sel? Apakah manfaatnya? Setelah mempelajari bab ini, Anda diharapkan dapat memahami mekanisme reproduksi sel sebagai aturan yang ditetapkan Yang Mahakuasa.

A. Mitosis
B. Meiosis
C. Pembentukan Gamet (Gametogenesis)

Soal *Pramateri*

1. Menurut pendapat Anda, apakah perbedaan antara mitosis dan meiosis?
2. Apakah yang dimaksud dengan gametogenesis?

A Mitosis

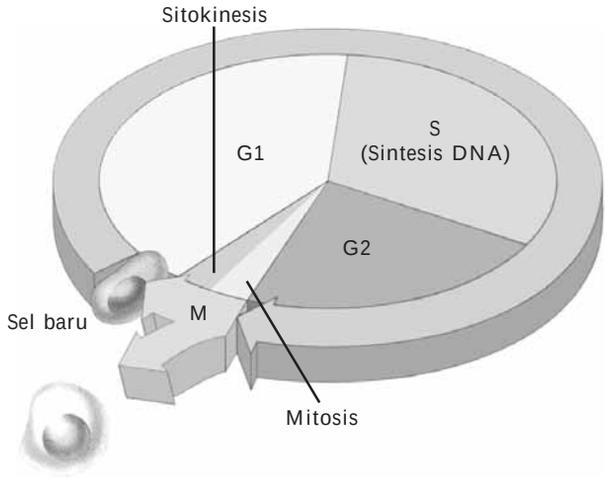
Reproduksi seksual maupun reproduksi aseksual bergantung pada **pembelahan sel**. Pembelahan sel dilakukan dengan bermacam-macam cara bergantung pada jenis sel dan makhluk hidupnya. Pada makhluk hidup yang inti selnya tidak memiliki selaput (**prokariot**), misalnya pada bakteri pembelahannya dilakukan secara langsung, tidak melalui tahapan-tahapan pembelahan. Pembelahan sel seperti ini dinamakan **amitosis** (**Gambar 4.1**).

Pembelahan amitosis merupakan pembelahan yang umum terjadi pada semua tipe pembelahan, termasuk proses membelah diri pada *Amoeba*. Sifat keturunan yang dihasilkan akan mirip dengan induknya, mengapa? Adapun pada makhluk hidup yang inti selnya memiliki selaput (**eukariot**), pembelahan selnya dilakukan melalui tahapan-tahapan pembelahan. Pada sel tubuh (somatis), pembelahannya dilakukan secara mitosis, sedangkan pada sel kelamin (germinal) pembelahannya dilakukan secara meiosis. Apa perbedaan mitosis dan meiosis?

Sumber: *Biologi Discovering Life*, 1991

Gambar 4.1
Pembelahan pada sel prokariotik (bakteri) terjadi secara amitosis.

Seluruh materi genetik yang dimiliki oleh induk akan diduplikasi dan dibagikan sama rata pada anakannya. Terdapat beberapa tahapan dalam proses mitosis, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Dalam siklus sel terjadi empat fase, yaitu fase G_1 (*first gap*), fase S (sintesis DNA), fase G_2 (*second gap*), dan fase M (mitosis). Fase G1, fase S, dan fase G2 dinamakan **interfase**. Fase M merupakan fase **pembelahan** (**Gambar 4.2**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 4.2
Siklus sel merupakan rangkaian perkembangan sel. *apankah pembelahan sel terjadi?*

Interfase merupakan fase yang paling panjang dari siklus sel karena terdiri atas tiga fase, yaitu fase G_1, fase S, dan fase G_2. Pada fase G_1, terjadi proses transkripsi RNA, tRNA, mRNA, dan sintesis berbagai jenis protein. Pada fase S, terjadi replikasi dan duplikasi DNA. Pada fase ini terjadi pembentukan penyusun sitoplasma berupa organel dan molekul makro (Campbell, *et al*, 2006: 129).

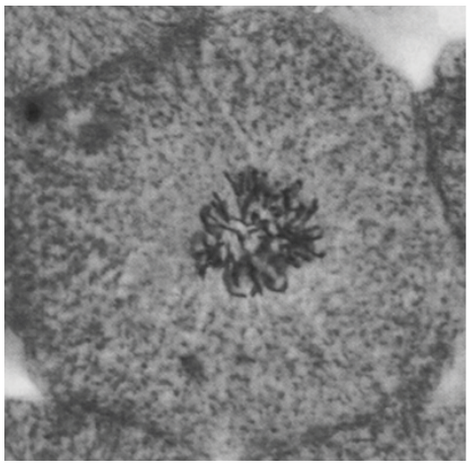
Kata Kunci

- Amitosis
- Mitosis
- Profase

1. Profase

Tahap profase adalah tahap awal dimulainya pembelahan. Profase ditandai dengan mulai menghilangnya membran inti sel dan benang kromatin mulai mengalami penebalan dan pemendekan membentuk kromosom. Kromosom membentuk pasangan dari hasil duplikasinya membentuk kromatid. Pada tahap ini dengan menggunakan mikroskop cahaya, Anda dapat melihat dengan jelas bentuk kromosom.

Membran inti yang menghilang akan diikuti dengan terbentuknya benang gelendong yang berasal dari mikrotubula di sitoplasma. Benang spindel ini akan membentang dari kutub-kutub pembelahan sel dan memegang sentromer dari setiap kromosom. Bagian sentromer yang berikatan dengan spindel ini dinamakan **kinetokor** yang merupakan bagian dari protein sentromer. Benang spindel akan berusaha untuk menarik kromosom menuju bidang pembelahan (bidang ekuator). Perhatikan **Gambar 4.3**.

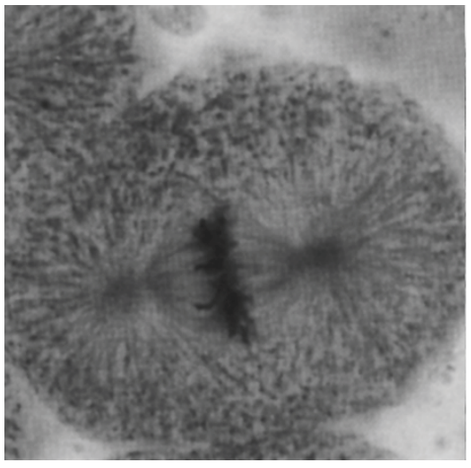


Sumber: *Biologi: Evolusi epelbagaian dan Persekitaran*, 1995

Gambar 4.3
Pada tahap profase, kromosom mulai terbentuk.

2. Metafase

Pada tahap metafase, pasangan kromatid bergerak ke arah bidang pembelahan. Kromatid terbentuk bergerak ke arah kutub yang berlawanan, namun tetap berikatan pada benang spindel. Kromatid akan membentuk garis hitam di sepanjang bidang pembelahan. Setelah kromatid tiba di bidang pembelahan, kinetokor akan memisah. Perhatikan **Gambar 4.4**.



Sumber: *Biologi: Evolusi epelbagaian dan Persekitaran*, 1995

Gambar 4.4
Tahap metafase

3. Anafase

Pada tahap anafase, sentromer mulai berpisah dan bergerak ke arah berlawanan menuju kutub masing-masing. Benang spindel menggerakan kedua kromosom yang berpisah ini menuju kutub berlawanan meninggalkan bidang pembelahan. Tahap ini diakhiri jika setiap kromosom yang berpisah telah mencapai kutub masing-masing. Perhatikan **Gambar 4.5**.

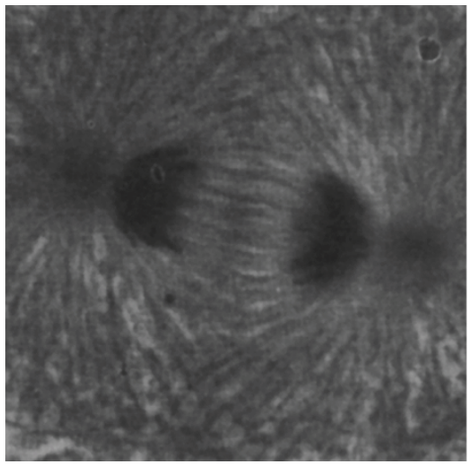
Wawasan Biologi

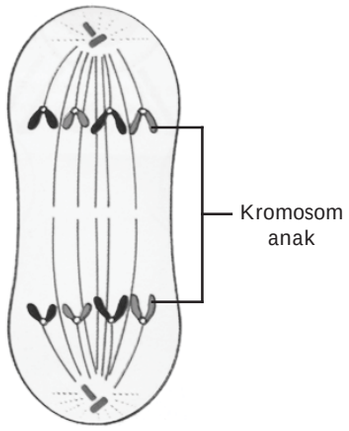
Kanker merupakan kelaian siklus sel. Sel kanker tidak melakukan siklus pembelahan sel secara normal. Sel-sel kanker membelah diri secara berlebihan dan dapat menyerang sel tubuh lainnya. Umumnya sel kanker dapat direspons oleh sistem kekebalan tubuh dan dapat dihancurkan. Namun, jika sel kanker dapat bertahan, sel kanker dapat terus membelah dan membentuk kumpulan sel yang disebut tumor. Jika sel abnormal dapat menyebar ke jaringan atau bagian tubuh lain disebut tumor ganas.

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

Kata Kunci

- Anafase
- Kinetokor
- Metafase





Gambar 4.5
Tahap anafase

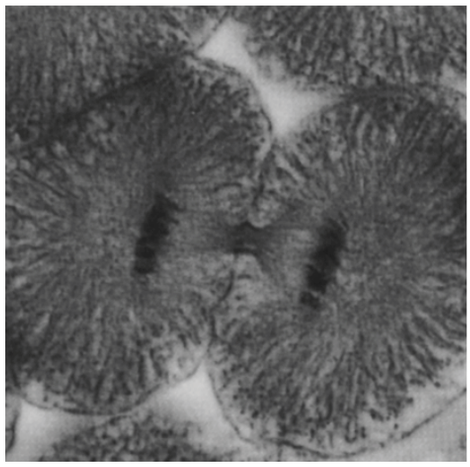
Sumber: *Biologi: Evolusi epelbagaian dan Persekitaran*, 1995

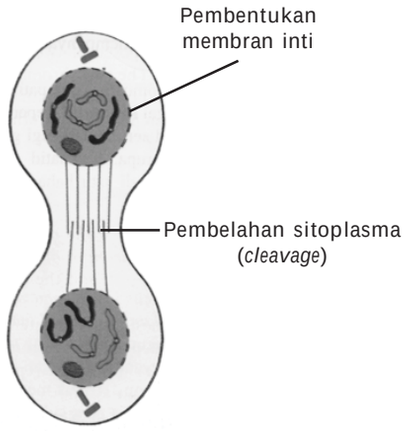
4. Telofase

Tahap telofase diawali dengan berhentinya gerakan kromosom menuju kutub pembelahan. Pada tahap ini, keadaan sel kembali normal. Membran inti kembali terbentuk dan benang spindel akan menghilang menjadi mikrotubula biasa. Pada bidang pembelahan akan terjadi penebalan plasma yang dilanjutkan dengan proses **sitokinesis** atau pembelahan sitoplasma sel. Perhatikan **Gambar 4.6**.

Kata Kunci

- Fragmoplas
- Mikrotubula
- Sitokinesis
- Telofase





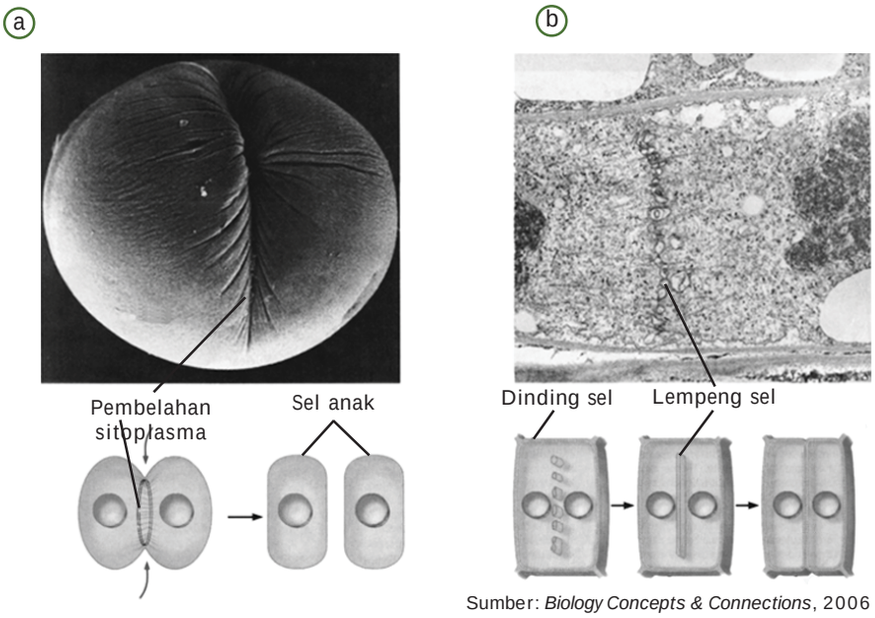
Gambar 4.6
Tahap telofase diawali dengan gerakan kromatid menuju kutub pembelahan.

apankah sitokinesis terjadi?

Sumber: *Biologi: Evolusi epelbagaian dan Persekitaran*, 1995

Sitokinesis adalah proses pemisahan sitoplasma yang menghasilkan dua sel anak dengan terbentuknya membran baru. Di dalam proses sitokinesis termasuk pula pembagian organel-organel sel. Dua sel anak hasil mitosis akan memiliki sifat yang sama (identik) dengan induk dan dengan satu sama lainnya. Mengapa?

Pada sekitar bidang pembelahan terdapat mikrotubula yang keadaannya tidak terorganisir dan bercampur dengan gelembung yang disebut *mid body* (lapisan pemisah). Lapisan ini akan membentuk membran sel baru. Mekanisme pembelahan sitoplasma ini terjadi pada pembelahan (*cleavage*) sel hewan. Pada sel tumbuhan tidak terdapat *mid body*, tetapi terdapat **fragmoplas** yang mengandung aparatus Golgi. Fragmoplas berfungsi membentuk lempeng sel (*cell plate*) yang akan menjadi dinding sel. Perhatikan **Gambar 4.7**.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 4.7
Proses sitokinesis yang terjadi pada (a) hewan dan (b) tumbuhan. *Apakah perbedaannya?*

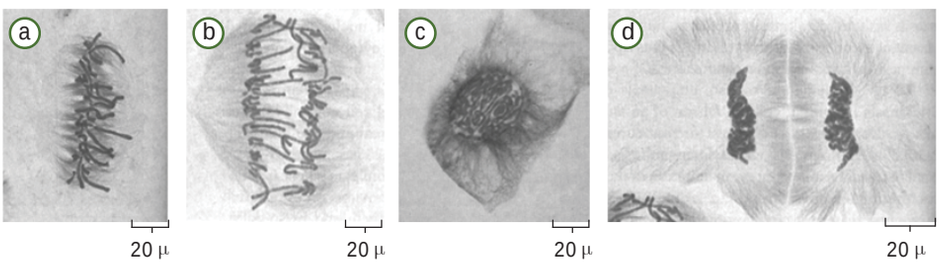
Kegiatan 4.1

Pembelahan Mitosis

Tujuan
Membedakan fase reproduksi sel secara mitosis

Alat dan Bahan
Mikroskop dan preparat awetan akar bawang

Langkah Kerja
1. Dengan menggunakan mikroskop, amatilah fase pembelahan mitosis yang terjadi.
2. Gambarlah fase-fase pembelahan yang terjadi. Gunakan gambar berikut sebagai acuan.



Sumber: *Biology*, 1999

3. Diskusikan hasilnya dengan kelompok Anda dan buatlah laporannya. Presentasikan di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.
1. Berdasarkan gambar tersebut, tentukan masing-masing fasenya.
2. Jelaskan setiap ciri tahapan (fase) mitosis tersebut.
3. Setelah fase apakah terjadinya sitokinesis?

Tugas Ilmiah 4.1

Penyakit kanker merupakan salah satu penyakit yang ditakuti masyarakat. Hingga kini penyebab pasti penyakit ini masih diteliti oleh para ilmuwan. Penyakit ini dimulai dengan adanya pertumbuhan sel-sel tubuh yang tidak terkendali. Tugas Anda sekarang, yaitu membuat sebuah karya tulis mengenai pembelahan sel kanker. Jika memungkinkan, carilah informasi mengenai pembelahan sel-sel kanker yang terjadi dan manfaat penggunaan sel kanker. Diskusikanlah hasil kerja Anda ketika proses belajar di kelas berlangsung.

Soal Penguasaan *Materi* 4.1

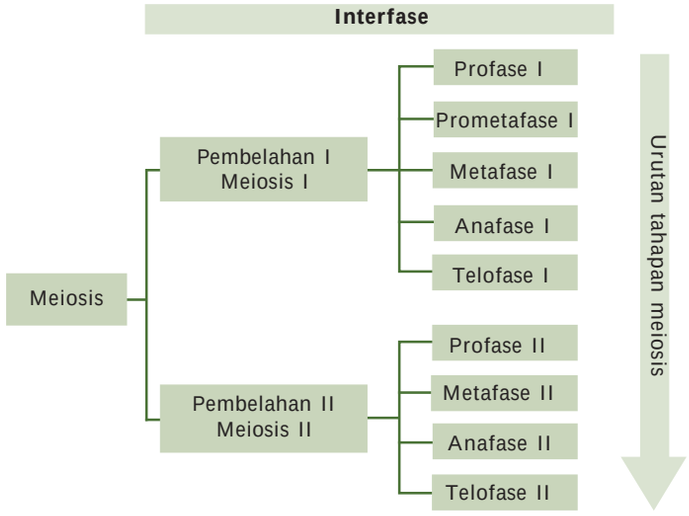
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah ciri yang membedakan antarfase dalam mitosis.
2. Apakah yang terjadi pada tahap interfase?
3. Jelaskan perbedaan antara proses sitokinesis pada hewan dan sitokinesis pada tumbuhan.

B Meiosis

Meiosis merupakan pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom setengah dari induknya. Pembelahan meiosis disebut juga sebagai pembelahan reduksi karena dalam proses pembelahannya terjadi pengurangan atau reduksi jumlah kromosom akibat pembagian. Pengurangan jumlah kromosom tersebut bertujuan memelihara jumlah kromosom yang tetap dalam satu spesies.

Pada sel tumbuhan dan hewan, meiosis terjadi di dalam alat-alat reproduksi, yakni pada pembentukan sel kelamin atau sel gamet. Pada tumbuhan berbiji, meiosis terjadi pada putik dan kepala sari, sedangkan pada manusia dan hewan terjadi pada testis dan ovarium. Untuk mendapatkan gambaran tahapan selama meiosis, Anda dapat memerhatikan skema berikut (**Gambar 4.8**).



Gambar 4.8
Bagan pembelahan meiosis.
ase apakah yang terjadi sebelum meiosis?

Pembelahan meiosis meliputi dua kali pembelahan secara lengkap dan menghasilkan 4 sel anak yang haploid (n). Pada manusia dengan 46 kromosom diploid akan dihasilkan 4 buah sel kelamin haploid dengan 23 kromosom.

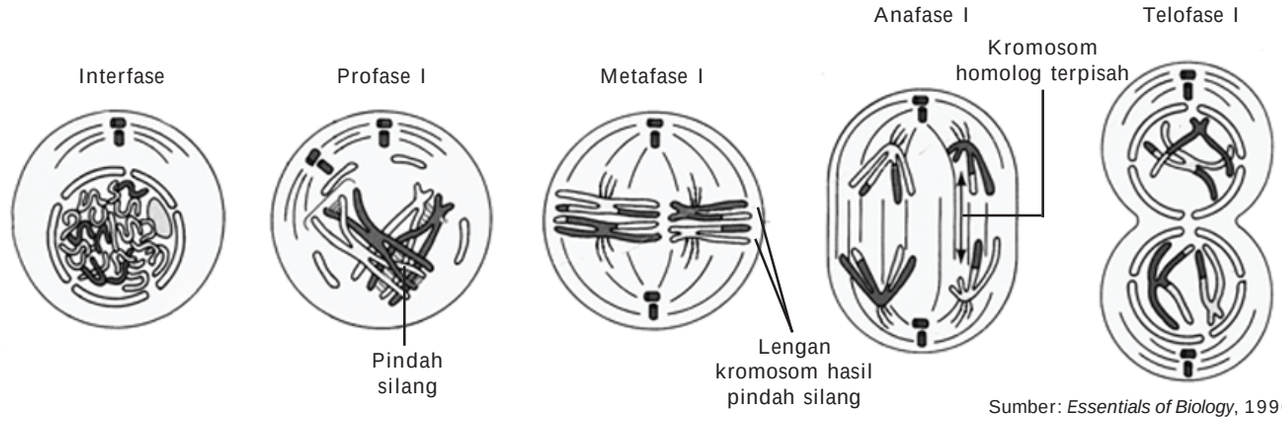
Pada pembelahan meiosis I, pembelahan disertai dengan profase yang cukup panjang dan terjadi pencampuran kromosom homolog. Pada pembelahan reduksi terjadi faktor hereditas menghasilkan dua sel anak yang haploid. Pada pembelahan meiosis II, sel haploid mengalami pembelahan secara mitosis dan dihasilkan 4 sel anak yang masing-masing haploid. Setiap sel anak ini akan memiliki sifat yang berbeda-beda, mengapa? perhatikan penjelasan berikut.

Kata Kunci

- Haploid
- Meiosis
- Sinapsis

1. Meiosis I

Pada awal pembelahan meiosis I (**Gambar 4.9**), nukleus membesar yang menyebabkan penyerapan air dari sitoplasma oleh inti sel meningkat sampai tiga kali lipat. Perubahan tersebut merupakan awal dari profase I.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.9

Meiosis I meliputi profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I.

Di manakah terjadi peristiwa pindah silang?

a. Profase I

Pada tahap ini benang kromatin akan memendek dan menebal sehingga membentuk kromosom. Setiap kromosom yang terdiri atas dua kromatid akan bergabung dengan homolognya. Proses ini dinamakan dengan **sinapsis**. Pasangan-pasangan kromosom homolog ini tampak memiliki empat kromatid sehingga dinamakan tetrad. Pada saat pembentukan **tetrad**, pertukaran bagian dari kromatid dapat terjadi. Hal ini dinamakan dengan pindah silang atau *crossing over*. Inti kemudian akan menghilang dan benang spindel dibentuk. Benang spindel akan membawa tetrad menuju bidang pembelahan.

Peristiwa pindah silang pada profase I merupakan penyebab terjadinya perbedaan sifat pada sel-sel hasil meiosis. Hal tersebut menyebabkan tidak ada kromosom yang benar-benar mirip. Tentunya hal ini berpengaruh terhadap sifat sel-sel keturunannya. Perhatikan kembali **Gambar 4.9**. Peristiwa pindah silang akan Anda pelajari pada bab selanjutnya.

b. Metafase I

Metafase I dimulai dengan berjajarnya tetrad di bidang pembelahan dengan posisi saling berhadapan menuju kutub masing-masing. Namun, posisi kromatid masih tetap tertahan di sentromernya.

c. Anafase I

Pada tahap anafase I, tetrad (2 kromosom homolog) ini kemudian akan terpisah, namun kromatid masih melekat pada benang spindel di sentromer. Setiap anak kromosom akan bergerak menuju kutub yang belawanan. Pada tahap ini terjadi pengurangan atau reduksi jumlah kromosom akibat pemisahan kromosom homolog.

Kata Kunci

- Benang spindel
- Pindah silang
- Sinapsis

d. Telofase I

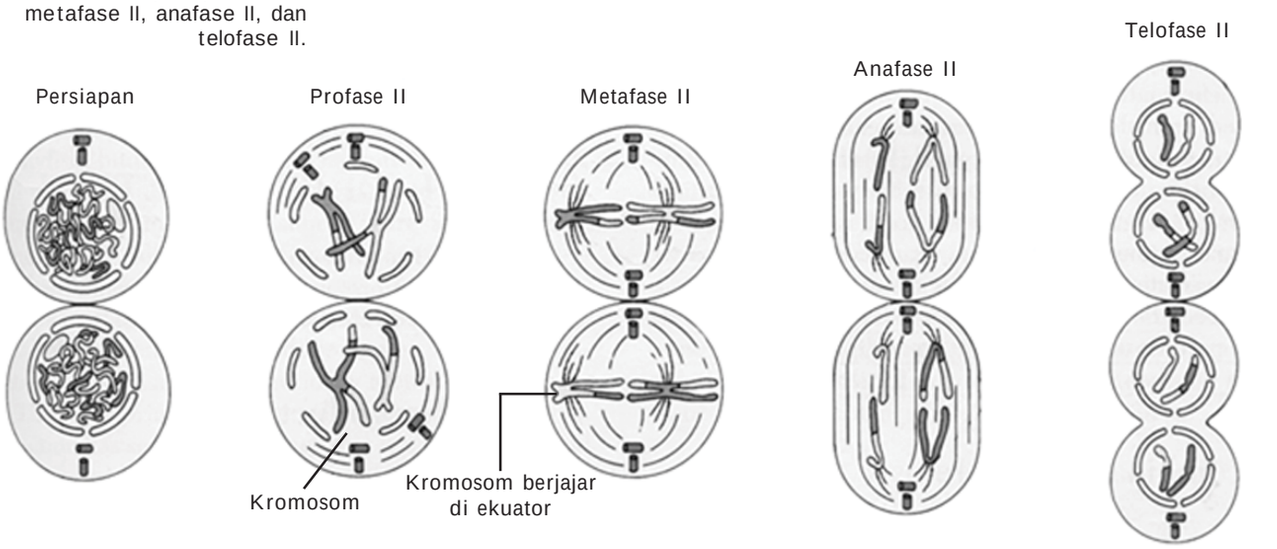
Kromosom telah menuju kutub masing-masing pada tahap telofase I. Setiap kutub kini memiliki kromosom haploid dengan dua kromatid. Nukleolus tampak kembali dan dalam satu sel terbentuk 2 inti yang lengkap. Setelah itu, terjadi sitokinesis, yaitu pembentukan plasma membran untuk memisahkan sitoplasma sehingga terbentuk 2 sel anak yang haploid.

Setelah telefase I, pada beberapa organisme, kromosom terurai dan membran inti terbentuk kembali. Selanjutnya, terdapat interfase sebelum meiosis II dimulai. Pada beberapa spesies lainnya, sel-sel yang dihasilkan dari meiosis I segera melakukan persiapan untuk pembelahan meiosis II. Pada kedua cara tersebut tidak terjadi duplikasi kromosom pada proses antara telofase I dan awal meiosis II (Campbell *et al*, 2006: 139; Hopson & Wessells, 1990: 166)

2. Meiosis II

Pembelahan meiosis II adalah pembelahan mitosis, yakni dari satu sel yang haploid menjadi 2 sel anak yang haploid (**Gambar 4.10**). Berbeda dengan meiosis I, pembelahan meiosis II diawali dengan sel anak yang haploid.

Gambar 4.10
Meiosis II meliputi profase II, metafase II, anafase II, dan telofase II.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

a. Profase II

Profase II diawali dengan pembelahan dua buah sentriol menjadi 2 pasang sentriol baru. Setiap pasang sentriol akan bergerak menuju kutub yang berlawanan. Benang spindel dan membran inti dibentuk, sementara nukleus lenyap. Pada tahap ini kromosom berubah menjadi kromatid.

b. Metafase II

Pasangan kromatid dari kromosom haploid berada di bidang pembelahan. Kinetokor dari setiap kromatid ini akan menghadap kutub yang berlawanan. Benang spindel menghubungkan sentromer dengan kutub pembelah.

c. Anafase II

Sentromer akan membelah sehingga kromatid bergerak menuju kutub yang berlawanan.

d. Telofase II

Pada tahap ini, masing-masing kutub telah memiliki sebuah kromosom haploid. Benang spindel akan menghilang dan diikuti dengan sitokinesis menghasilkan 4 sel anak yang haploid.

Untuk lebih memahami tentang mitosis dan meiosis, perhatikan tabel perbandingan berikut ini.

Tabel 4.1 Perbandingan antara Mitosis dan Meiosis

Aspek Perbedaan	Mitosis	Meiosis
1. Tempat berlangsung	Sel somatik	Sel kelamin
2. Tujuan	Pertumbuhan serta penggantian sel rusak atau mati	Pembentukan gamet

Tokoh Biologi

Rudolph Virchow
(1821–1902)

Rudolph Virchow mempelajari leukimia dan pembekuan darah. Ia mengambil teori sel Schwan dan memasukkan proses pembelahan sel yang baru diamatinya. Virchow mengatakan bahwa semua sel berasal dari sel. Ia menunjukkan bahwa banyak penyakit yang dapat didiagnosis dan dijelaskan pada tingkat sel. Karya ini membuka jalan bagi kajian-kajian ilmiah di bidang patologi.

Sumber: *endela ptek: ehidupan*, 1997

3.	Kandungan genetik pada sel-sel anak	Sama dengan sel induk	Berbeda dengan sel induk
4.	Jumlah sel anak	4 sel	2 sel
5.	Jumlah pembelahan	Satu kali	Dua kali
6.	Jumlah kromosom pada sel anak	Sama dengan sel induk (diploid)	Setenggah dari sel induk (haploid)
7.	Pindah silang (*crossing over*)	Tidak terjadi	Terjadi pada akhir profase I

Kegiatan 4.2

Model Reproduksi Sel

Tujuan
Membuat model tiga dimensi reproduksi sel

Alat dan Bahan
Stereoform, gunting, lem, spidol warna

Langkah Kerja
1. Siswa dibagi menjadi 4 kelompok besar.
2. Setiap kelompok diberi pilihan untuk membuat model reproduksi sel. Kelompok 1 = Profase, Kelompok 2 = Metafase, Kelompok 3 = Anafase, Kelompok 4 = Telofase
3. Buatlah model reproduksi sel yang telah ditentukan dengan menggunakan stereoform.
4. Warnailah bagian-bagian sel dengan warna berbeda.

Soal Penguasaan *Materi* 4.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.
1. Bandingkan peristiwa yang terjadi pada meiosis I dan meiosis II.
2. Adakah perbedaan antara telofase I dan telofase II? Jelaskan.
3. Apa yang menjadi perbedaan dasar mitosis dan meiosis?

C Pembentukan Gamet (Gametogenesis)

Gametogenesis adalah proses pembentukan sel kelamin (gamet). Pembentukan gamet ini terjadi secara meiosis di dalam alat reproduksi. Gamet ini dibentuk pada individu yang telah dewasa.

1. Gametogenesis pada Hewan dan Manusia

Pada individu jantan dewasa, peristiwa pembentukan gamet jantan (spermatozoa) disebut **spermatogenesis**. Pada individu betina dewasa, pembentukan gamet betina (sel telur) disebut **oogenesis**.

a. Spermatogenesis

Sel induk sperma atau spermatogonium bersifat diploid. Satu sel spermatogonium mengalami diferensiasi menjadi spermatosit primer yang diploid. Spermatosit primer membelah menjadi 2 sel spermatosit sekunder yang haploid. Setiap sel spermatosit sekunder membelah secara meiosis membentuk 2 sel spermatid haploid. Jadi, 1 spermatosit primer akan menjadi 4 spermatid yang haploid.

Setiap spermatid mengalami perubahan inti dan terjadi pembentukan **akrosom**. Akrosom ini mengandung enzim proteinase dan hialuronidase yang

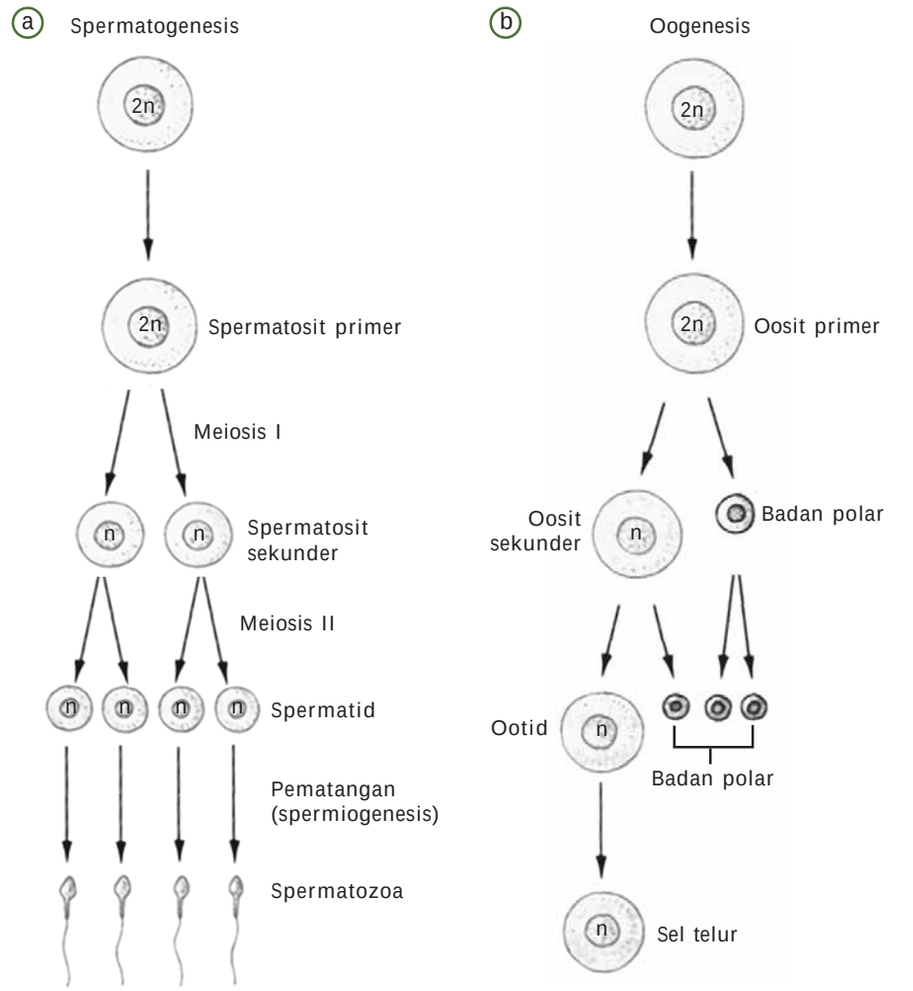
Kata Kunci
- Oogenesis
- Spermatogenesis

berperan untuk menembus lapisan pelindung sel telur. Dari salah satu sentriolnya dibentuk flagel. Peristiwa ini dinamakan **spermiogenesis**. Akhir dari spermatogenesis adalah dihasilkan 4 sel sperma matang (**Gambar 4.10a**).

b. Oogenesis

Oogenesis adalah proses pembentukan sel telur. Pembentukan sel telur dimulai ketika sel germinal primordial mengadakan pembelahan secara mitosis menjadi 4 sel oogonia (2n) (tunggal oogonium).

Pada banyak hewan betina, pembelahan mitosis ini terjadi pada awal perkembangan individu. Pada mamalia terjadi sebelum dilahirkan. Setiap satu sel oogonium akan mengalami pematangan menjadi oosit primer. Selanjutnya, oosit primer melakukan pembelahan meiosis I menjadi 1 oosit sekunder (n) dan 1 sel badan polar (n). Oosit sekunder dan sel badan polar mengalami pembelahan meiosis II. Oosit sekunder menjadi 1 ootid (n) dan 1 badan polar (n), 1 sel badan polar (n) akan membelah menjadi 2 sel badan polar (n). Secara keseluruhan dari 1 sel oogonium (2n), dihasilkan 1 ootid (n) dan 3 badan polar (n). Selanjutnya, ootid akan mengalami pematangan menjadi sel telur (ovum). Agar lebih memahaminya, perhatikan **Gambar 4.10b**.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.10
(a) Spermatogenesis menghasilkan empat buah spermatozoa. (b) Pada peristiwa oogenesis akan dihasilkan satu buah sel telur.

Pada manusia (wanita), pematangan oosit primer terjadi hingga memasuki masa pubertas. Selanjutnya akan terjadi pematangan akhir, ovulasi, dan pembelahan meiosis I. Sekitar satu sel telur matang dan dilepaskan melalui ovulasi dalam satu bulan. Pola ovulasi ini terus berlangsung hingga

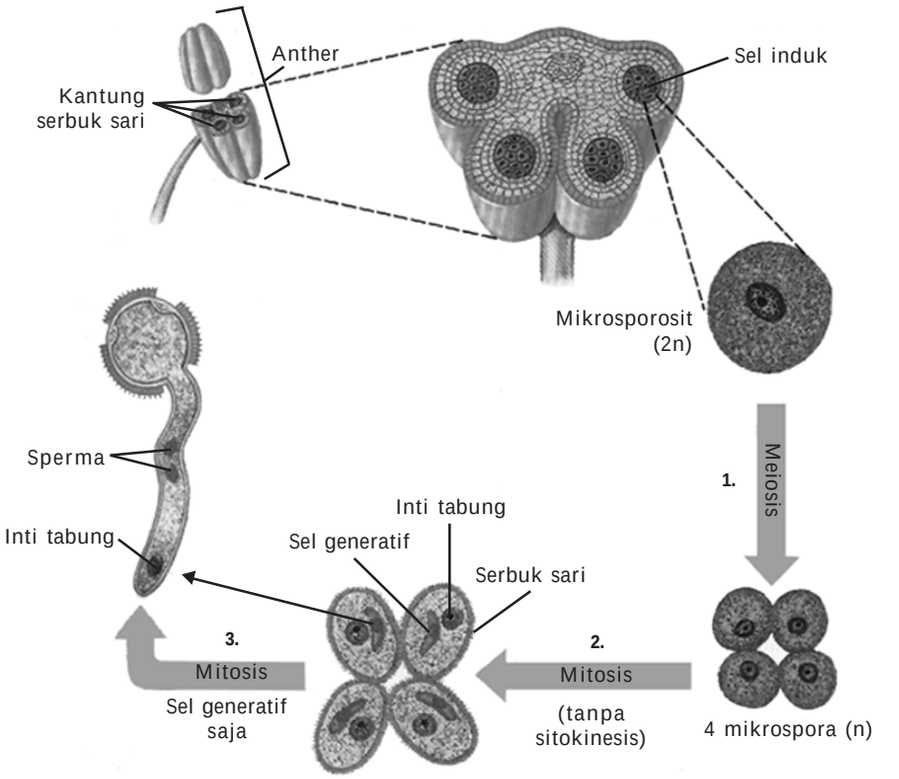
menopause, berhentinya siklus menstruasi. Jika pada sel telur yang diovulasikan terjadi fertilisasi, pembelahan meiosis II terjadi dan sel telur berkembang menjadi embrio.

2. Pembentukan Gamet pada Tumbuhan

Pembentukan gamet (gametogenesis) pada tumbuhan berlangsung pada jaringan khusus yang terletak pada alat reproduksi gamet jantan dibentuk pada **serbuk sari**, sedangkan gamet betina pada **bakal biji** (**ovul**).

a. Pembentukan Gamet Jantan

Kepala sari (*anther*)memiliki empat kantung serbuk sari yang disebut *sporangium*. Di dalam sporangium terdapat sel-sel induk (**mikrosporosit**) yang diploid. Sel-sel induk tersebut akan mengalami meiosis membentuk empat **mikrospora** yang haploid. Kemudian, setiap mikrospora membelah secara mitosis menjadi dua sel, yakni sel generatif dan sel tabung. Pembelahan mitosis tersebut tanpa disertai sitokinesis. Sel generatif akan membelah secara mitosis untuk menghasilkan dua sperma dan terbentuklah serbuk sari. Perhatikan **Gambar 4.11**.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 3.11

Pembentukan gamet jantan pada tumbuhan

b. Pembentukan Gamet Betina

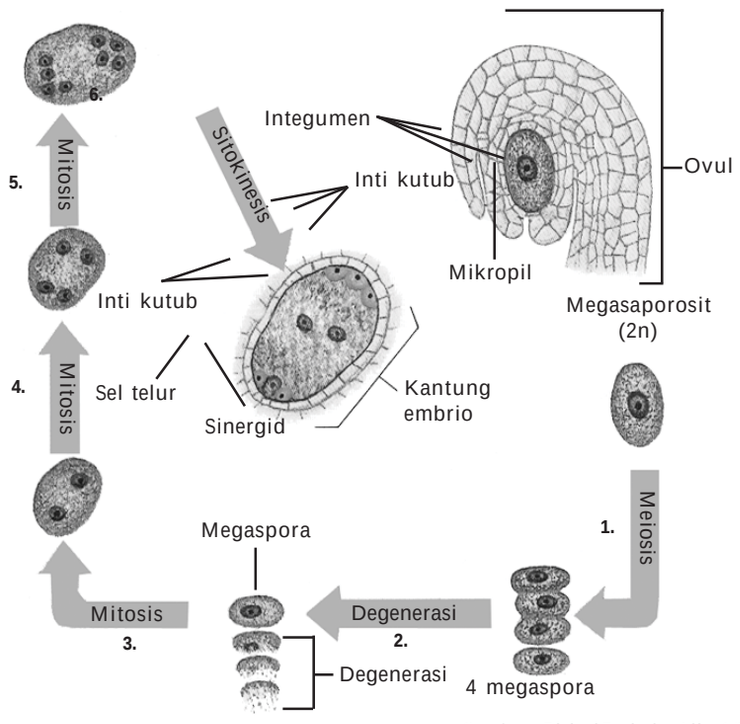
Gamet betina dibentuk di dalam bakal biji (**ovul**). Sel-sel terluar dari ovul membentuk lapisan pelindung (**integumen**) yang membentuk suatu bukaan (**mikrofil**).

Di dalam ovul terdapat sporangium yang mengandung sel-sel induk (**megasporosit**). Megasporosit tersebut akan membelah secara meiosis membentuk empat **megaspora** yang haploid. Dari empat megaspora tersebut, tiga di antaranya akan mengalami degenerasi dan mati. Satu megaspora yang tersisa mengalami pembelahan secara mitosis sebanyak tiga kali, tetapi tanpa diikuti pembelahan sitoplasma (sitokinesis). Sel megaspora tersebut menjadi besar karena memiliki delapan inti yang haploid.

Kata Kunci

- Megaspora
- Mikrospora

Dari delapan inti tersebut, tiga buah menuju **mikrofil** sehingga tersisa dua inti di tengah yang disebut **inti kutub**. Dua dari tiga inti yang berada dekat mikropil disebut **sinergid** dan satu inti lainnya disebut sel telur. Adapun inti kutub akan melebur menjadi **inti kandung lembaga sekunder** Perhatikan **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12
Pembentukan gamet betina pada tumbuhan

Sumber: *Biologi E ploring Life*, 1994

Soal Penguasaan *Materi* 4.3

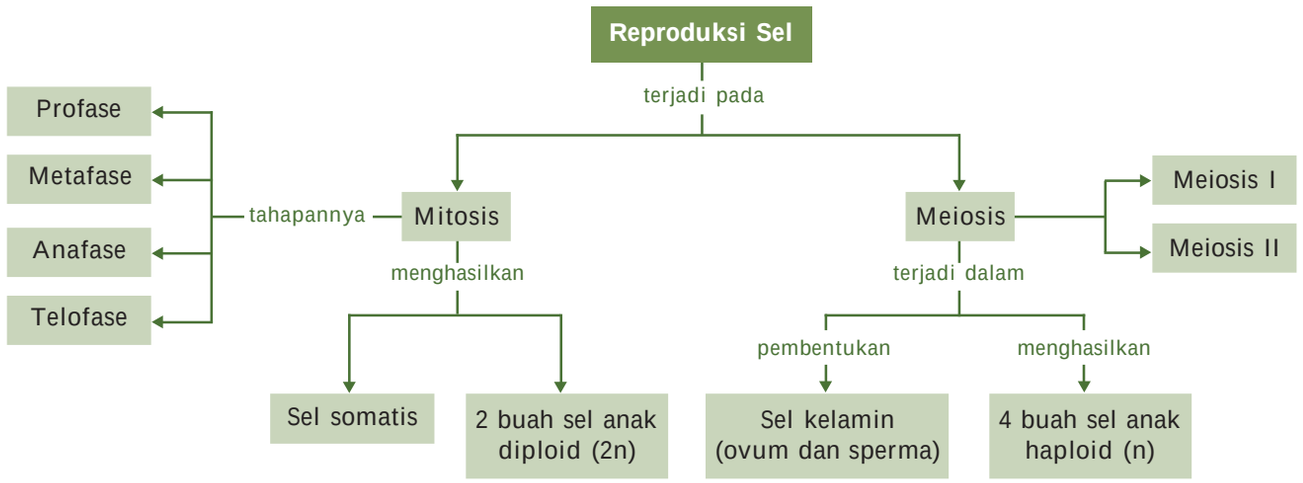
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Proses apakah yang terjadi pada pembentukan sel sperma dan sel telur pada hewan dan manusia?
2. Jelaskan proses pembentukan sel sperma dan sel telur pada hewan dan manusia.
3. Jelaskan proses pembentukan gamet pada tumbuhan.

Rangkuman

1. Reproduksi pada sel terjadi dalam dua cara, yaitu secara mitosis dan meiosis. Mitosis terjadi pada sel tubuh atau somatis, sedangkan meiosis terjadi pada sel kelamin.
2. Mitosis dan meiosis memiliki perbedaan pada sel anak yang dihasilkannya. Pada mitosis, sel anak yang dihasilkannya diploid (2n), sedangkan pada meiosis, sel anak yang dihasilkannya haploid (n).
3. Mitosis dan meiosis terjadi melalui beberapa tahap, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Setelah telofase, terjadi pembelahan sel menjadi dua sel yang disebut sitokinesis.
4. Reproduksi sel secara mitosis menghasilkan sel yang mirip dengan induknya. Pada meiosis terjadi pengurangan jumlah kromosom sehingga kromosom yang dihasilkan berdifat haploid. Meiosis dapat dibedakan menjadi meiosis I dan meiosis II. Pada meiosis I terjadi profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I. Jumlah kromosom sel teredukasi saat meiosis I. Pada meiosis II dimulai dengan sel anak yang haploid. Sebenarnya pembelahan meiosis II merupakan pembelahan mitosis, karena tidak terjadi lagi reduksi kromosom.
5. Gametogenesis adalah proses pembentukan sel gamet, baik itu gamet jantan (sel sperma) ataupun gamet betina (sel telur). Pembentukan sperma disebut spermatogenesis, sedangkan pembentukan gamet disebut gametogenesis.
6. Satu sel spermatosit primer akan membentuk 4 sel sperma matang. satu sel oosit perimer akan membentuk satu sel telur dan 3 badan polar.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Reproduksi Sel, Anda diharapkan dapat mendeskripsikan proses mitosis dan meiosis sebagai bagian pendukung kehidupan organisme. Dengan memahami meiosis, Anda telah diajak untuk memahami mengenai spermatogenesis dan oogenesis. Rumuskanlah materi yang belum Anda pahami. Kemudian diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda. Apakah manfaat setelah mempelajari bab ini?

Evaluasi Materi Bab 4

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

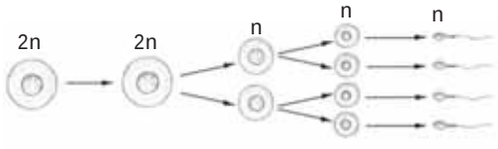
1. Pada mitosis, pemisahan kromatid dari sentromer terjadi pada ....
   a. interfase
   b. profase
   c. metafase
   d. anafase
   e. telofase
2. Kromosom dapat diamati secara jelas pada tahap ....
   a. interfase
   b. profase
   c. metafase
   d. anafase
   e. telofase
3. Berikut adalah perbedaan mitosis dan meiosis, *kecuali* ....
   a. mitosis berlangsung di somatik
   b. meiosis terjadi dua kali fase pembelahan
   c. pada meiosis terjadi mitosis
   d. meiosis terjadi pengurangan jumlah kromosom
   e. mitosis terjadi pada pembentukan gamet dalam testis dan ovarium
4. Di bawah ini merupakan ciri-ciri pembelahan mitosis, *kecuali* ....
   a. terjadi dalam sel germinal
   b. tidak terjadi sinapsis
   c. tidak terjadi pindah silang
   d. sentromer langsung terjadi pemisahan
   e. dari satu sel induk diploid menjadi 2 sel anak
5. Hal-hal berikut *bukan* merupakan peranan mitosis bagi makhluk hidup, adalah ....
   a. mengganti bagian tubuh yang rusak
   b. pertumbuhan
   c. pergantian sel tubuh
   d. perkembangan
   e. sel tubuh tetap diploid
6. Fase S merupakan fase ....
   a. istirahat
   b. pembelahan
   c. interfase
   d. metafase
   e. sintesis
7. Proses pemisahan sitoplasma disebut ....
   a. telofase
   b. sitokinesis
   c. profase
   d. siklus reproduksi
   e. anafase
8. Setiap satu sel oogonia akan mengalami meiosis I menjadi ....
   a. satu oosit sekunder dan satu sel badan polar
   b. satu ootid dan satu oogonia
   c. sel germinal primordial

d. tubuh polar kedua
e. tubuh polar pertama

9. Berikut yang *bukan* merupakan ciri dari mitosis adalah ....
   a. terjadi pada sel tubuh
   b. berfungsi mengganti sel rusak
   c. membelah satu kali
   d. terjadi pindah silang
   e. menghasilkan sel anak yang diploid
10. Siklus terpanjang pada siklus sel adalah ....
   a. interfase
   b. fase mitotik
   c. fase sintesis
   d. fase G1
   e. fase M
11. Pindah silang dapat terjadi pada tahap ....
   a. profase I
   b. metafase I
   c. anafase II
   d. metafase II
   e. selofase II
12. Proses transkripsi rRNA, tRNA, mRNA, dan sintesis berbagai jenis protein terdapat pada fase ....
   a. G1
   b. G2
   c. sintesis
   d. interfase
   e. mitosis
13. Pada fase S (Sintesis) terjadi ....
   a. pembentukan penyusun sitoplasma
   b. proses transkripsi rRNA, tRNA, mRNA
   c. terjadinya replikasi dan duplikasi DNA kromosom
   d. pembentukan spindel
   e. pembentukan inti
14. Fase yang paling lama dan membutuhkan energi paling banyak adalah ....
   a. profase
   b. metafase
   c. anafase
   d. telofase
   e. prometafase
15. Pada pembelahan meiosis, kromosom menempatkan diri di bidang pembelahan, yaitu pada tahap ....
   a. profase
   b. metafase
   c. anafase
   d. interfase
   e. telofase
16. Sitokinesis yang terjadi pada proses mitosis berlangsung pada tahap ....
   a. anafase
   b. interfase
   c. profase
   d. metafase
   e. telofase
17. Bagian inti sel yang terlihat jelas pada saat pembelahan sel adalah ....
   a. nukleolus
   b. membran inti
   c. kromosom
   d. komatin
   e. nukleus
18. Pada tumbuhan, pembelahan reduksi terjadi pada ....
   a. ujung akar
   b. meristem
   c. pucuk
   d. alat berkembang biak
   e. lingkaran kambium
19. Perbedaan antara spermatogenesis dan oogenesis adalah ....
   a. tipe pembelahan
   b. fase pembelahan selnya
   c. jumlah kromosomnya
   d. jenis gamet yang dihasilkan
   e. susunan kromosomnya
20. Pada spermatogenesis, meiosis I terjadi pada ....
   a. spermatogenesisi
   b. sel primordial
   c. spermatosit sekunder
   d. spermatosit primer
   e. spermatida

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

1. Apakah tujuan pembelahan mitosis pada makhluk hidup?
2. Berdasarkan gambar berikut, jelaskan proses spermatogenesis.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

3. Apakah yang dimaksud dengan spermatid, badan polar, dan sitokinesis?
4. Jelaskan mengapa sel-sel zigot hasil fertilisasi bersifat diploid.
5. Perhatikan gambar berikut.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Jelaskan apakah yang terjadi pada sel sewaktu fase interfase.

Soal Tantangan

Sel darah merah hanya hidup selama sekitar 120 hari. Penggantinya dilakukan melalui pembelahan sel sumsum tulang. Terdapat 5 juta sel darah per milimeter kubik (mm^3) darah. Orang dewasa rata-rata memiliki 5 L (5.000 cm^3) darah. Berapa jumlah total sel darah merah di tubuh? Berapa rata-rata sel yang harus digantikan setiap hari jika semua sel darah merah digantikan dalam 120 hari? Berapa banyak pembelahan sel rata-rata yang harus terjadi setiap detik di sumsum tulang untuk mengganti sel darah merah?

Sumber: *www.eatonhand.com*

Bab 5

Pola Pewarisan Sifat Organisme

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip pewarisan sifa serta penerapannya dalam kehidupan. Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu menerapkan prinsip hereditas dalam mekanisme pewarisan sifat.

Pada waktu SMP (Kelas IX), Anda telah mempelajari pewarisan sifat dari induk kepada anaknya, baik yang menggunakan satu sifat beda (monohibrid) maupun dua sifat beda (dihibrid). Di Kelas XII ini pada bab sebelumnya, Anda pun telah mempelajari substansi genetika berupa senyawa kimia DNA dan RNA sebagai pembawa informasi genetika. Selain itu, telah dipelajari pula tentang hukum Mendel.

Pada bab ini, Anda akan mempelajari sifat-sifat keturunan yang diturunkan ke generasi selanjutnya (hereditas) melalui gamet dengan aturan tertentu. Sungguh besar kekuasaan Yang Maha Esa. Tentu saja pelajaran dan pengetahuan tentang reproduksi sel pada bab sebelumnya sangat menunjang materi ini.

Seperti apakah pola-pola hereditas itu? Apakah hubungan reproduksi sel dengan hereditas? Apakah hipostasis dan epistasis itu? Bagaimanakah terjadinya pindah silang? Apakah pautan seks itu? Apakah gen letal itu? Pada bab ini dengan menggunakan gambar, model, diskusi dan mengerjakan tugas dan latihan soal, Anda diharapkan dapat memahami pola pewarisan sifat pada organisme.

A. Pewarisan Sifat
B. Pola-Pola Hereditas
C. Hereditas dan Penyakit Turunan

Soal *Prameteri*

1. Siapakah tokoh yang mengungkapkan hukum pewarisan sifat?
2. Sebutkan penyakit turunan yang Anda ketahui.
3. Apakah yang dimaksud dengan monohibrid dan dihibrid?

A Pewarisan Sifat

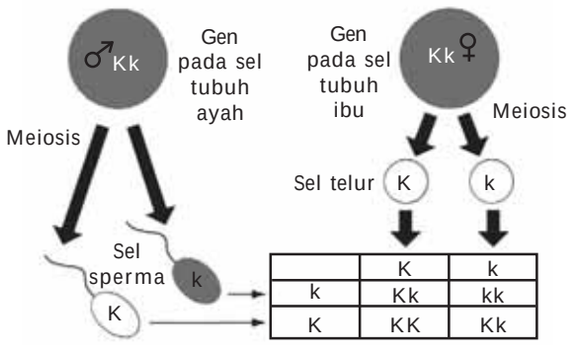
Pada setiap proses perkawinan, tidak semua sifat yang ada pada induk atau orangtua diwariskan kepada anak-anaknya. Apabila salah satu orang tuamu memiliki rambut ikal (keriting) maka tidak semua anak akan memiliki rambut keriting. Hal ini karena sifat yang diwariskan berasal dari kedua orangtua, bukan hanya satu.

Pada kasus rambut keriting, sifat rambut keriting ini bersifat lebih berkuasa dibandingkan dengan sifat rambut lurus sehingga anak akan lebih banyak memiliki rambut keriting dibandingkan dengan rambut lurus. Sifat lebih berkuasa rambut keriting ini dinamakan dengan **dominan** dan sifat rambut lurus dinamakan **resesif**.

Rambut lurus disebabkan karena ada interaksi gen resesif dari ibu dan ayah. Dalam ilmu Genetika, bentuk rambut yang dihasilkan dari interaksi gen itu disebut dengan **fenotipe** (penampakan), sedangkan interaksi gen di dalam tubuh diartikan sebagai **genotipe** (penyebab penampakan sifat). Genotipe biasanya dituliskan dalam suatu simbol-simbol yang menjelaskan suatu sifat. Sifat yang dominan ditulis dengan huruf besar dan sifat resesif ditulis dalam huruf kecil.

Pada rambut keriting dan lurus, genotipe yang dituliskan adalah KK atau Kk untuk keriting dan kk untuk rambut lurus. Kk tetap menghasilkan fenotipe rambut keriting karena K dominan terhadap k penyebab rambut lurus.

Apabila rambut kedua orangtua Anda adalah keriting, sedangkan Anda berambut lurus maka Anda jangan berpikir bahwa Anda adalah bukan keturunan orang tua Anda karena tidak memiliki kesamaan rambut dengan mereka. Hal ini dimungkinkan jika kedua orangtua memiliki gen heterozigot. Perhatikan **Gambar 5.1** berikut.



Keterangan:
K = gen keriting (dominan)
k = gen lurus (resesif)
KK = homozigot dominan/ keriting
Kk = heterozigot /keriting
kk = homozigot/rambut lurus

Gambar 5.1
Pola distribusi gen-gen dari kedua orangtua kepada keturunannya.
Bagaimana fenotipe anak anaknya?

Genotipe dari suatu sifat dapat ditulis dalam dua bentuk. Apabila genotipe rambut keriting tersebut adalah KK maka genotipe ini disebut dengan **homozigo**t (terdiri atas genotipe yang sama). Jika Kk disebut **heterozigot**, terdiri atas genotipe yang berlainan, namun masih memengaruhi satu sifat.

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa seorang anak yang dilahirkan dari keluarga tersebut memiliki peluang 75% berambut keriting dan 25% berambut lurus.

Soal Penguasaan *Materi* 5.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah antara hubungan reproduksi sel dan pewarisan sifat?
2. Melalui proses apakah suatu ciri dapat diwariskan?
3. Seorang anak memiliki tubuh yang cukup tinggi (180 cm), sedangkan kedua orangtuanya pendek (150 cm). Jelaskan mengapa hal ini dapat terjadi.

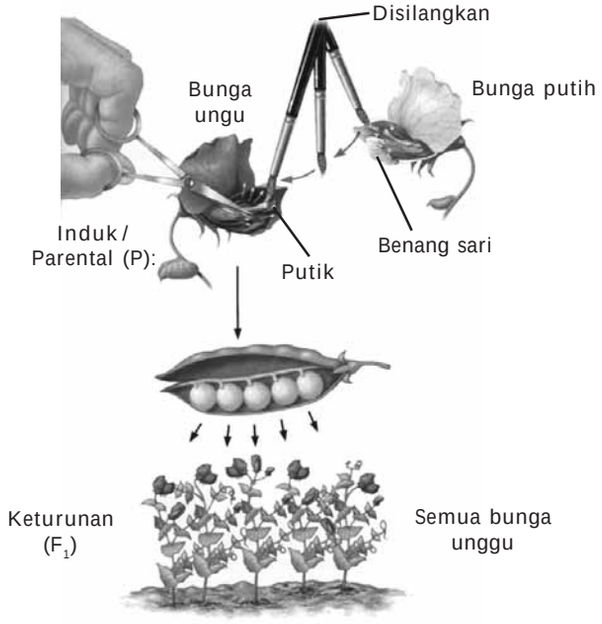
B Pola-Pola Hereditas

Pewarisan sifat dari induk kepada turunannya mengikuti suatu pola hereditas (pewarisan sifat) tertentu. Pola pewarisan sifat pertama kali diamati oleh Mendel.

Setelah diteliti lebih lanjut, para ilmuwan mendapati perbedaan-perbedaan yang tidak sesuai dengan pola yang dikemukakan Mendel, antara lain penyimpangan semu hukum Mendel, pautan dan pindahan silang, determinasi seks, dan gen letal.

1. Hukum Mendel

Pewarisan sifat dipelajari pertama kali oleh **Gregor Johann Mendel** (1822–1884). Mendel melakukan percobaan pewarisan sifat pada tanaman ercis (*Pisum sativum*) (perhatikanlah **Gambar 5.2**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.2
Percobaan yang dilakukan Mendel pada tanaman ercis (*Pisum sativum*)

Ada beberapa alasan mengapa tanaman ercis dipilih oleh Mendel untuk memulai percobaannya ini, di antaranya sebagai berikut.

a. Tanaman ercis (*Pisum sativum*) memiliki variasi yang cukup kontras, di antaranya:
   a. warna biji : kuning dan hijau
   b. kulit biji : kisut dan halus
   c. bentuk buah / polong : halus dan bergelombang
   d. warna bunga : ungu dan putih
   e. tinggi batang : panjang dan pendek
   f. posisi bunga : aksial (ketiak daun) dan terminal (ujung batang)
b. Dapat melakukan penyerbukan sendiri.
c. Cepat menghasilkan keturunan.
d. Mudah dikawinsilangkan.

Dalam percobaannya, Mendel selalu menuliskan perihal data yang diperolehnya dan menemukan suatu keteraturan jumlah perbandingan pada setiap sifat yang dikawinkannya tersebut (perhatikan **Gambar 5.3**).

Tokoh Biologi

Gregor Mendel (1822–1884)

Mendel merupakan seorang ahli genetika serta ahli botani yang memelopori penelitian keturunan. Ia yang pertama meletakkan dasar Matematika dari ilmu genetika yang dikenal sebagai Mendelisme. Ia memopulerkan istilah resesif dan dominan.

Sumber: *oran Tempo anuari*

	Biji		Warna Bunga	Jenis Polong		Posisi Bunga	Batang
Dominan	Bulat	Kuning	Ungu	Halus	Hijau	Aksial	Tinggi
Resesif	Kisut	Hijau	Putih	Gelombang	Kuning	Terminal	Pendek

Gambar 5.3
Perbedaan sifat yang mencolok pada tanaman ercis (*Pisum sativum*).

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Seluruh hasil pengamatan terhadap percobaannya itu menghasilkan perbandingan 3 : 1. Dari percobaan pertamanya ini, Mendel kemudian merumuskan suatu hipotesis bahwa sifat yang ada pada organisme akan diturunkan secara bebas atau dikenal dengan **Hukum I Mendel**.

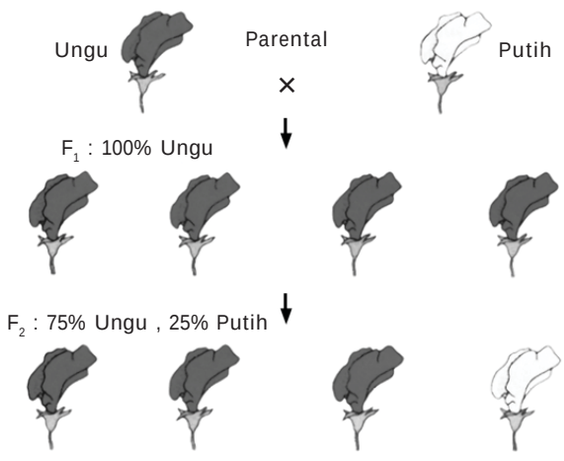
a. Monohibrid

Kata Kunci
- Hukum I Mendel
- Monohibrid

Persilangan **monohibrid** merupakan persilangan yang hanya menggunakan satu macam gen yang berbeda atau menggunakan satu tanda beda. Anda telah mengetahui bahwa ada pasangan gen pada kromosom homolognya yang berpengaruh terhadap suatu sifat. Melalui percobaan yang dilakukan oleh Mendel maka Anda dapat lebih mengerti mengenai pengaruh alel yang memberikan variasi pada bentuk atau fenotipe makhluk hidup.

Mendel mengawinkan bunga ercis berwana ungu dengan bunga ercis berwarna putih. Perkawinan induk ini dinamakan dengan **parental** (P). Hasil perbandingan anakan yang diperoleh disebut dengan **filial** (F).

Hasil perkawinan pertama adalah seluruhnya memiliki warna bunga ungu. Tumbuhan kacang ercis sesama bunga ungu ini lalu dikawinkan sesamanya dan diperoleh hasil 3 bunga ungu berbanding satu bunga putih. Perhatikan **Gambar 5.4**.



Gambar 5.4
Persilangan monohibrid menghasilkan rasio fenotipe 3 : 1.

Sumber: *Biological cience*, 1986

Contoh 5.1

Rambut lurus adalah sifat resesif. Dari perkawinan orangtua yang keduanya berambut keriting heterozigot, berapakah kemungkinan perbandingan anak-anaknya?

Jawab

P : ♂ Keriting × Keriting ♀
Kk Kk
Gamet : K, k K,k
F_1 :

♀ \ ♂	**K**	**k**
K	KK	Kk
k	Kk	kk

: KK , 2 Kk , kk
3 Keriting 1 lurus
75% 25%

Jadi, keturunan F_1 yang dihasilkan adalah 75% berambut keriting dan 25% berambut lurus.

Pada beberapa kasus, terdapat gen sealel yang tidak dominan terhadap lainnya. Keadaan ini disebut dominan tidak penuh. Pada dominan tidak penuh, individu heterozigot memiliki fenotipe pencampuran dari kedua sifat gen sealel. Sifat ini disebut **intermediet**. Perhatikan diagram persilangan berikut.

Diagram persilangan *Mirabilis jalapa*

P fenotipe : ♂ merah × putih ♀
genotipe : MM mm
gamet : m m
F_1 fenotipe : merah muda
genotipe : Mm
$F_1 \times F_1$ genotipe : ♂ Mm × Mm ♀
gamet : M, m M, m
F_2 :

♀ \ ♂	**M**	**m**
M	MM	Mm
m	Mm	mm

genotipe : MM : Mm : mm
1 2 1
fenotipe : merah : merah muda : putih
1 2 1

Wawasan Biologi

Sifat dominan tidak selalu lebih baik bagi organisme dibandingkan sifat resesif. Bahkan, sifat dominan dapat menjadi sifat yang membahayakan. Contohnya, tumor yang berkembang pada mata anak-anak disebabkan oleh gen dominan yang langka.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Kegiatan 5.1

Persilangan Monohibrid

Tujuan

Melakukan simulasi persilangan monohibrid menggunakan kancing genetika

Alat dan Bahan

Kancing genetika berwarna hitam dan putih, masing-masing 50 pasang kancing atau 100 kancing genetika dan dua buah kotak yang diberi label jantan dan betina. Jika kancing genetika tidak tersedia, dapat menggunakan kancing baju.

Langkah Kerja

1. Gen H menentukan sifat warna bulu hitam dominan pada kelinci, sedangkan gen h menentukan sifat warna bulu putih resesif. Gen H diwakili oleh kancing hitam, gen h diwakili oleh kancing putih. Pada persilangan ini dilakukan persilangan antar induk heterozigot.
2. Pisahkan pasangan kancing hitam dan pasangan kancing putih. Masukkan 50 biji kancing genetik hitam dan 50 biji kancing genetika putih pada kotak jantan dan kotak betina. Dengan demikian, jumlah kancing pada masing-masing kotak 100 kancing.
3. Tutup mata Anda dan ambillah satu kancing dari kotak jantan dan satu kancing dari kotak betina, lalu pasangkan kancing-kancing tersebut. Lakukan hal tersebut pada semua kancing.
4. Berikan biji yang dipasangkan kepada teman Anda untuk dilakukan penghitungan. Lalu, masukkan hasilnya pada tabel seperti berikut.

No.	Pasangan Kancing	Tabulasi	Jumlah
1	Hitam - hitam	|||	
2	Hitam - putih		
3	Putih - putih		

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Pada langkah 2, kotak jantan dan betina memiliki 50 kancing hitam dan 50 kancing putih yang tidak berpasangan. Mewakili gen pada fase apakah hal tersebut?
2. Dari hasil penghitungan, pasangan gen apakah yang paling banyak muncul?
3. Berapa perbandingan genotipe dan fenotipe hasil simulasi tersebut.
4. Buatlah diagram persilangan dan diagram Punnet simulasi ini.
5. Rancang dan lakukan simulasi persilangan dihibrid menggunakan kancing genetika ini. Anda dapat melakukan persilangan antara gen homozigot atau heterozigot.

Wawasan Biologi

Mendel mengemukakan penemuannya tentang pewarisan sifat pada tahun 1865. Hasil penelitiannya dipublikasikan setahun kemudian dan didistribusikan ke banyak negara. Akan tetapi, hasil penelitian Mendel ini terabaikan hingga pada tahun 1900, 16 tahun setelah kematiannya. Banyak hal yang menyebabkan para ilmuwan saat itu tidak siap untuk menerima penjelasan tentang pewarisan sifat.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

b. Dihibrid

Persilangan **dihibrid** merupakan persilangan yang menggunakan dua tanda beda atau dua pasangan kromosom yang berbeda. Suatu sifat dari organisme tidak hanya diturunkan melalui satu jenis alel saja, tetapi beberapa sifat juga dapat diturunkan oleh beberapa alel secara bersamaan.

Sifat ini dipelajari oleh Mendel dalam percobaan kacang ercisnya. Mendel melihat adanya beberapa sifat kacang ercis yang disilangkan muncul dalam generasi selanjutnya. Ia mulai dengan menyilangkan dua sifat beda, seperti kacang ercis biji bulat warna kuning dengan biji kisut warna hijau.

Jika kacang ercis biji bulat adalah BB dan kacang ercis biji warna kuning adalah KK maka kacang ercis biji bulat warna kuning adalah BBKK dan kacang ercis biji kisut warna hijau adalah bbkk.

Dari persilangan parental kacang ercis biji bulat warna kuning (BBKK) dengan kacang ercis biji kisut warna hijau (bbkk), warna kuning seluruhnya (BbKk).

Perkawinan antara F_1 dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut.

Diagram Persilangan

P	fenotipe :	♂ bulat kuning	×	kisut hijau ♀
	genotipe :	BBKK		bbkk
	gamet :	BK	↓	bk
F_1	fenotipe :	bulat kuning		
	genotipe :	BbKk		

Kata Kunci

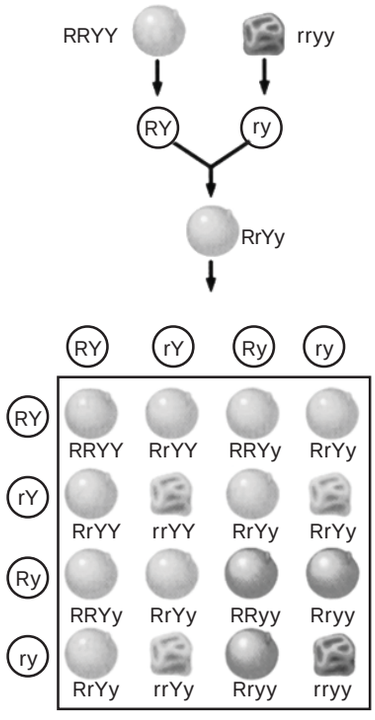
- Dihibrid
- Hukum II Mendel

$F_1 \times F_1$ genotipe : BbKk × BbKk

gamet : BK, Bk, bK, bk ↓ BK, Bk, bK, bk

F_2 :

♀ \ ♂	BK	Bk	bK	bk
BK	BBKK bulat kuning	BBKk bulat kuning	BbKK bulat kuning	BbKk bulat kuning
Bk	BBKk bulat kuning	BBkk bulat hijau	BbKk bulat kuning	Bbkk bulat hijau
bK	BbKK bulat kuning	BbKk bulat kuning	bbKK kisut kuning	bbKk kisut kuning
bk	BbKk bulat kuning	Bbkk bulat hijau	bbKk kisut kuning	bbkk kisut hijau



Gambar 5.5
Persilangan dihibrid yang dilakukan Mendel menghasilkan rasio fenotipe 9 : 3 : 3 : 1.

Dari metode di atas, diperoleh perbandingan fenotipe = 9/16 biji bulat kuning, 3/16 biji bulat hijau, 3/16 biji kisut kuning, dan 3/16 biji kisut hijau. Dalam banyak persilangan antara organisme heterozigot dengan dua pasang gen, maka kombinasi perbandingan 9 : 3 : 3 : 1 adalah jumlah yang sangat umum ditemukan. Perhatikanlah **Gambar 5.5**.

Dari percobaan ini, Mendel menemukan bahwa setiap sifat dari kedua induk diturunkan secara bebas dan tidak terikat dengan sifat yang lainnya sehingga Mendel menamakannya **hukum pemisahan secara bebas** atau disebut **Hukum II Mendel**. Jika terdapat dua individu berbeda dalam dua sifat atau lebih maka sifat yang satu akan diturunkan tidak bergantung pada pasangan sifat lainnya.

Contoh 5.2

Pada percobaan yang lainnya, Mendel mencoba mengawinkan antara tanaman ercis batang tinggi biji bulat dan tanaman ercis batang pendek biji kisut. Hasil keturunan F_1, semuanya berbatang tinggi dengan biji bulat. Jika tanaman ercis keturunan F_1 tersebut dikawinkan dengan tanaman ercis batang pendek biji kisut, berapa keturunannya yang memiliki batang panjang biji bulat?

Jawab

P : ♂ batang panjang biji bulat × ♀ batang pendek biji kisut

PPBB ↓ ppbb

F_1 : PpBb

panjang bulat

Test cross : F_1 × pendek kisut

PpBb × ppbb

F_2 :

♀ \ ♂	PB	Pb	pB	pb
pb	PpBb panjang bulat	Ppbb panjang kisut	ppBb pendek bulat	ppbb pendek kisut

Jadi, keturunan F2 yang memiliki fenotife batang panjang biji bulat adalah 25%.

Pada banyak kejadian, para ilmuwan mendapatkan jumlah perbandingan anakan F_2 yang berbeda perbandingan jumlah umum yang ditemukan oleh Mendel dalam percobaannya. Perbandingan tersebut adalah misalnya (15 : 1), (12 : 3 : 1), (9 : 3 : 4), atau (9 : 6 : 1). Namun, jika diperhatikan dengan saksama, perbandingan-perbandingan tersebut merupakan kombinasi dari perbandingan genotipe yang ditemukan oleh Mendel 9 : 3 : 3 : 1. Karenanya, beberapa

Tokoh Biologi

Reginald Crundall Punnet (1875–1967)

Ia adalah ilmuwan genetika Inggris yang menganut teori Mendel. Pada 1905, ia menemukan dua prinsip genetika baru, yakni tentang hubungan genetika pada kacang polong dan interaksi gen. Punnet menemukan Punnet kuadrat untuk menggambarkan jumlah dan variasi kombinasi genetika.

Sumber: *endela ptek: ehidupan*, 1997

perbandingan lain yang ditemukan sebagai hasil dari perkawinan organisme dengan dua sifat beda dinamakan dengan **penyimpangan semu hukum Mendel**. Selain itu, terdapat juga beberapa pengembangan dari dasar-dasar pengetahuan genetika Mendel yang digunakan untuk mengetahui berbagai macam pola pewarisan sifat yang akan Anda pelajari selanjutnya.

Tugas Ilmiah 5.1

Bersama teman kelompok Anda, rancang dan lakukanlah simulasi persilangan dihibrid menggunakan kancing genetika seperti **Kegiatan 5.1**. Anda dapat melakukan persilangan antara gen homozigot atau heterozigot. Misalnya gen HhKk × hhKK atau HHkk × hhKK

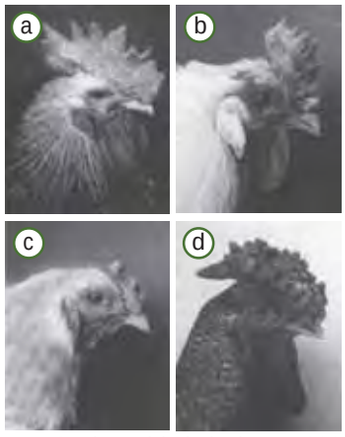
2. Penyimpangan Semu Hukum Mendel

Pada tahun 1906, **W. Bateson** dan **R.C Punnet** menemukan bahwa pada persilangan F_2 dapat menghasilkan rasio fenotipe 14 : 1 : 1 : 3. Mereka menyilangkan kacang kapri berbunga ungu yang serbuk sarinya lonjong dengan bunga merah yang serbuk sarinya bulat. Rasio fenotipe dari keturunan ini menyimpang dari hukum Mendel yang seharusnya pada keturunan kedua (F_2) perbandingan rasionya 9 : 3 : 3 : 1.

Tahun 1910 **T.H. Morgan**, seorang sarjana Amerika dapat memecahkan misteri tersebut. Morgan menemukan bahwa kromosom mengandung banyak gen dan mekanisme pewarisannya menyimpang dari Hukum II Mendel. Pada lalat buah, sampai saat ini telah diketahui kira-kira ada 5.000 gen, sedangkan lalat buah hanya memiliki 4 pasang kromosom saja. Berarti, pada sebuah kromosom tidak terdapat sebuah gen saja, melainkan puluhan bahkan ratusan gen.

Pada umumnya, gen memiliki pekerjaan sendiri-sendiri untuk menumbuhkan sifat, tetapi ada beberapa gen yang berinteraksi atau dipengaruhi oleh gen lain untuk menumbuhkan sifat. Gen tersebut mungkin terdapat pada kromosom yang sama atau pada kromosom yang berbeda.

Interaksi antargen akan menimbulkan perbandingan fenotipe yang keturunannya menyimpang dari hukum Mendel, keadaan ini disebut penyimpangan semu hukum Mendel. Jika pada persilangan dihibrid, menurut Mendel perbandingan fenotipe F_2 adalah 9 : 3 : 3 : 1, pada penyimpangan semu perbandingan tersebut dapat menjadi (9 : 3 : 4), (9 : 7), atau (12 : 3 : 1). Perbandingan tersebut merupakan modifikasi dari 9 : 3 : 3 : 1. Interaksi gen yang menyebabkan terjadinya penyimpangan hukum Mendel terdapat 4 bentuk, yaitu **atavisme**, **kriptomeri**, **polimeri**, **epistasis**, **hipostasis**, dan **komplementer**.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 5.6

Bentuk jengger pada ayam (a) singel, (b) pea, (c) walnut, dan (d) ros.

Manakah sifat hasil interaksi gen?

Kata Kunci

- Atavisme

a. Atavisme (Interaksi Gen)

Atavisme atau interaksi bentuk pada pial (jengger) ayam diungkap pertama kali oleh **W. Bateson** dan **R.C. Punnet**. Karakter jengger tidak hanya diatur oleh satu gen, tetapi oleh dua gen yang berinteraksi. Pada beberapa jenis ayam, gen R mengatur jengger untuk bentuk ros, gen P untuk fenotipe pea, gen R dan gen P jika bertemu membentuk fenotipe walnut. Adapun gen r bertemu p menimbulkan fenotipe singel (**Gambar 5.6**).

Diagram Persilangan Ayam Ros dan Ayam Pea

P	fenotipe :	♂ ros	×	pea ♀
	genotipe :	RRpp	↓	rrPP
	gamet :	Rp		rP
F_1	fenotipe :		RrPp	
	genotipe :		walnut	
$F_1 \times F_1$	genotipe :	RrPp	×	RrPp
	gamet :	RP, rP, Rp, rp		Rp, rP, Rp, rp

F_2 :

♀ \ ♂	**RP**	**rP**	**Rp**	**rp**
RP	RRPP (walnut)	RrPP (walnut)	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)
rP	RrPP (walnut)	rrPP (pea)	RrPp (walnut)	rrPp (pea)
Rp	RRPp (walnut)	RrPp (walnut)	RRpp (ros)	Rrpp (ros)
rp	RrPp (walnut)	rrPp (pea)	Rrpp (ros)	rrpp (single)

Berdasarkan hasil persilangan tersebut, kita mendapatkan rasio fenotipe sebagai berikut:

9 Walnut : 3 Ros : 3 Pea : 1 Singel

Berbeda dengan persilangan yang dilakukan oleh Mendel dengan kacang ercisnya maka sifat dua buah bentuk jengger dalam satu ayam sangatlah ganjil. Dengan adanya interaksi antara dua gen dominan dan gen resesif seluruhnya akan menghasilkan variasi fenotipe baru, yakni ros dan pea.

Gen dominan R yang berinteraksi dengan gen resesif P akan menghasilkan bentuk jengger ros dan gen resesif r yang bertemu dengan gen dominan P akan menghasilkan bentuk jengger pea. Perbedaan bentuk jengger ayam ini dinamakan dengan atavisme.

Contoh 5.3

Diadakan penyilangan antara ayam berpial pea dan ayam berpial ros. Anak ayam keturunan F1 ada yang berpial tunggal. Dari hasil penyilangan ini, bagaimanakah genotipe kedua parentalnya?

Jawab

Diketahui bahwa rrP = pial pea, Rpp = pial ros, RP = pial walnut, dan rrpp = pial singel.

Kita coba kemungkinan pertama bahwa kedua parentalnya bergenotipe heterozigot.

P heterozigot :	Pial pea	×	Pial ros
	rrPp	×	Rrpp
		↓	
F_1 :	RrPp,	Rrpp,	rrPp,	rrpp
	walnut	ros	pea	single

Jadi, genotipe parental yang akan menghasilkan salah satu keturunan berpial tunggal adalah rrPp × Rrpp.

b. Kriptomeri

Salah satu penyimpangan dari hukum Mendel adalah adanya kriptomeri, yaitu gen dengan sifat dominan yang hanya akan muncul jika hadir bersama dengan gen dominan lainnya. Peristiwa ini pertama kali diamati oleh **Correns** pada saat pertama kali mendapatkan hasil perbandingan persilangan bunga *Linaria maroccana* dari galur alaminya yaitu warna merah dan putih. Hasil F_1 dari persilangan tersebut ternyata menghasilkan bunga berwarna ungu seluruhnya.

Dari hasil persilangan antara generasi F_1 berwarna ungu ini, dihasilkan generasi *Linaria maroccana* dengan perbandingan F_2 keseluruhan antara bunga warna ungu : merah : putih adalah 9 : 3 : 4.

Setelah dilakukan penelitian, warna bunga merah ini disebabkan oleh antosianin, yakni suatu pigmen yang berada dalam bunga. Bunga berwarna merah diidentifikasi sebagai bunga yang tidak memiliki antosianin. Dari penelitian lebih jauh, ternyata warna merah disebabkan oleh antosianin yang hadir dalam kondisi sel yang asam dan jika hadir dalam kondisi basa akan dihasilkan bunga dengan warna ungu. Bunga tanpa antosianin akan tetap berwarna putih jika hadir dalam kondisi asam ataupun basa. Bunga merah ini bersifat dominan terhadap bunga putih yang tidak berantosianin.

Jika kita misalkan bunga dengan antosianin adalah A dan bunga tanpa antosianin adalah a, sedangkan pengendali sifat sitoplasma basa adalah B dan pengendali sitoplasma bersuasana asam adalah b, persilangan antara bunga putih dengan bunga merah hingga dihasilkan keturunan kedua adalah sebagai berikut.

Kata Kunci

- Kriptomeri

Diagram Persilangan Bunga *Linaria maroccana*

P fenotipe : ♂ merah × putih ♀
genotipe : AAbb aaBB
gamet : Ab aB

F_1 fenotipe : AaBb
genotipe : ungu

$F_1 \times F_1$ genotipe : AaBb × AaBb
gamet : AB, Ab, aB, ab AB, Ab, aB, ab

F_2 :

♀ \ ♂	**AB**	**Ab**	**aB**	**ab**
AB	AABB (ungu)	AABb (ungu)	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)
Ab	AABb (ungu)	AAbb (merah)	AaBb (ungu)	Aabb (merah)
aB	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)	aaBB (putih)	aaBb (putih)
ab	AaBb (ungu)	Aabb (merah)	aaBb (putih)	aabb (putih)

AABB, 2 AABb
2 AaBB, 4 AaBb = 9 ungu
AAbb, 2 Aabb = 3 merah
aaBB, 2 aaBb, aabb = 4 putih

Contoh 5.4

Disilangkan bunga *Linaria maroccana* merah dan putih. Dari hasil persilangan tersebut didapat semua keturunan F_1 berwarna ungu. Kemudian, keturunan F_1 tersebut disilangkan dengan bunga putih homozigot. Bagaimanakah keturunan F_2-nya?

Jawab

P : ♂ merah AAbb × putih aaBB ♀

F_1 : AaBb ungu

Test cross : F_1 AaBb × putih aaBB

♀ \ ♂	**AB**	**Ab**	**aB**	**ab**
aB	AaBB (ungu)	AaBb (ungu)	aaBB (putih)	aaBb (putih)

Jadi, keturunan F_2 yang memiliki fenotipe batang panjang biji bulat adalah 25%.

c. Polimeri

Salah satu tujuan dari persilangan adalah menghasilkan varietas yang diinginkan atau hadirnya varietas baru. Dari persilangan yang dilakukan oleh **Nelson Ehle** pada gandum dengan warna biji merah dengan putih, ia menemukan variasi warna merah yang dihasilkan pada keturunannya.

Peristiwa ini mirip dengan persilangan dihibrid tidak dominan sempurna yang menghasilkan warna peralihan seperti merah muda. Hanya saja, warna yang dihasilkan ini tidak hanya dikontrol oleh satu pasang gen saja, melainkan oleh dua gen yang berbeda lokus, namun masih memengaruhi terhadap sifat yang sama. Peristiwa ini dinamakan dengan polimeri.

Pada contoh kasus persilangan antara biji gandum berwarna merah dengan biji gandum berwarna putih dapat Anda perhatikan pada bagan berikut.

Kata Kunci

- Polimeri

Diagram Persilangan Gandum Warna Merah dan Warna Putih

P fenotipe : ♂ merah × putih ♀

genotipe : $M_1M_1M_2M_2$ × $m_1m_1m_2m_2$

gamet : M_1M_2 × m_1m_2

F_1 fenotipe : $M_1m_1M_2m_2$

genotipe : merah

$F_1 \times F_1$ genotipe : $M_1m_1M_2m_2$ × $M_1m_1M_2m_2$

gamet : M_1M_2, M_1m_2, m_1M_2, m_1m_2

F_2 :

♀ \ ♂	**M_1M_2**	**M_1m_2**	**m_1M_2**	**m_1m_2**
M_1M_2	$M_1M_1\ M_2M_2$ (merah)	$M_1M_1\ M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1\ M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1\ M_2m_2$ (merah)
M_1m_2	$M_1M_1\ M_2m_2$ (merah)	$M_1M_1\ m_2m_2$ (merah)	$M_1m_1\ M_1m_2$ (merah)	$M_1m_1\ m_2m_2$ (merah)
m_1M_2	$M_1m_1\ M_2M_2$ (merah)	$M_1m_1\ M_2m_2$ (merah)	$m_1m_1\ M_2M_2$ (merah)	$m_1m_1\ M_2m_2$ (merah)
m_1m_2	$M_1m_1\ M_2m_2$ (merah)	$M_1m_1\ m_2m_2$ (merah)	$m_1m_1\ M_2m_2$ (merah)	$m_1m_1\ m_2m_2$ (putih)

Hasil persilangan di atas menghasilkan perbandingan fenotipe 15 kulit biji berwarna merah dan hanya satu kulit biji berwarna putih. Warna merah dihasilkan oleh gen dominan yang terkandung di dalam gandum tersebut, baik M_1 maupun M_2.

Pada kenyataannya, warna merah yang dihasilkan sangat bervariasi, mulai dari warna merah tua, merah sedang, merah muda, hingga merah pudar mendekati putih. Semakin banyak gen dominan yang menyusunnya, semakin merah juga warna kulit gandum tersebut.

Jumlah Gen Dominan	Genotipe	Fenotipe	Perbandingan
4	$M_1M_1M_2M_2$	Merah tua	1/16
3	$M_1M_1M_2m_2$, $M_1m_1M_2M_2$, $M_1M_1M_2m_2$, $M_1m_1M_2M_2$	Merah agak tua	4/16
2	$M_1m_1M_2m_2$ $M_1M_1m_2m_2$ $M_1m_1M_2m_2$ $M_1m_1M_2m_2$ $m_1m_1M_2M_2$ $M_1m_1M_2m_2$	Merah muda	6/16
1	$M_1m_1m_2m_2$ $m_1m_1M_2m_2$ $M_1m_1m_2m_2$ $m_1m_1M_2m_2$	Merah pudar	4/16
0	$m_1m_1m_2m_2$	Putih	1/16

Peristiwa polimeri ini melibatkan beberapa gen yang berada di dalam lokus berbeda namun memengaruhi satu sifat yang sama. Pada kasus warna kulit biji gandum ini, efek dari hadirnya gen dominan bersifat akumulatif terhadap penampakan warna merah. Jadi, semakin banyak gen dominan pada organisme, akan semakin merah juga dihasilkan warna kulit biji gandumnya.

d. Epistasis dan Hipostasis

Dalam interaksi beberapa gen ini, kadang salah satu gen bersifat menutupi baik terhadap alelnya dan alel lainnya. Sifat ini dikenal dengan nama epistasis dan hipostatis. **Epistasis** adalah sifat yang menutupi, sedangkan **hipostasis** adalah sifat yang ditutupi.

Kata Kunci
- Epistasis dominan
- Epistasis resesif
- Hipostasis

Pasangan gen yang menutup sifat lain tersebut dapat berupa gen resesif atau gen dominan. Apabila pasangan gen dominan yang menyebabkan epistasis, prosesnya dinamakan dengan **epistasis dominan**, sedangkan jika penyebabnya adalah pasangan gen resesif, prosesnya dinamakan dengan **epistasis resesif**. Peristiwa epistasis ini dapat ditemukan pada pembentukan warna biji tanaman sejenis gandum dan pembentukan warna kulit labu (*Cucurbita pepo*).

Pada pembentukan warna kulit biji gandum, **Nelson Ehle** menyilangkan dua varietas gandum warna kulit biji hitam dengan warna kulit biji kuning. Nelson Ehle adalah seorang peneliti yang pertama kali mengamati pengaruh epistasis dan hipostatis pada pembentukan warna kulit biji gandum. Hasil pengamatannya menunjukkan bahwa 100% warna kulit biji yang dihasilkan adalah hitam.

Pada persilangan sesama F_2, dihasilkan gandum dengan kulit biji berwarna hitam, kuning, dan putih. Perbandingan fenotipenya dapat diperhatikan pada diagram persilangan berikut ini.

Diagram Persilangan Gandum Warna Hitam dan Warna Kuning

P	fenotipe :	hitam	×	kuning
	genotipe :	HHkk	↓	hhKK
	gamet :	Hk		hK
F_1	fenotipe :		HhKk	
	genotipe :		hitam	
$F_1 \times F_1$	genotipe :	HhKk	×	HhKk
	gamet :	Hk, hK, Hk, hk		Hk, hK, Hk, hk

F_2 :

♀ \ ♂	**HK**	**Hk**	**hK**	**hk**
HK	HHKK (hitam)	HHKk (hitam)	HhKK (hitam)	HhKk (hitam)
Hk	HHKk (hitam)	HHkk (hitam)	HhKk (hitam)	Hhkk (hitam)
hK	HhKK (hitam)	HhKk (hitam)	hhKK (kuning)	hhKk (kuning)
hk	HhKk (hitam)	Hhkk (hitam)	hhKk (kuning)	hhkk (putih)

Dari diagram tersebut dapat kita peroleh perbandingan fenotipenya, yaitu 12 hitam : 3 kuning : 1 putih.

Dapat dilihat pada persilangan ini, setiap kemunculan gen H dominan maka fenotipe yang dihasilkannya adalah langsung warna biji hitam. Warna biji kuning hanya akan hadir apabila gen dominan K bertemu dengan gen resesif h, sedangkan warna putih disebabkan oleh interaksi sesama gen resesif. Dengan demikian, gen dominan H bersifat epistasis terhadap gen K sehingga peristiwa ini dinamakan dengan epistasis dominan.

Peristiwa epistasis lainnya dapat ditemukan pada pembentukan warna rambut tikus. Warna hitam pada rambut tikus disebabkan oleh adanya gen R dan C bersama, sedangkan warna krem disebabkan oleh rr dan C. Apabila terdapat gen cc, akan dihasilkan warna albino. Perhatikan diagram berikut.

Diagram Persilangan Tikus Hitam dan Tikus Albino

P	fenotipe :	hitam	×	albino
	genotipe :	RRCC	↓	rrcc
	gamet :	RC		rc
F_1	fenotipe :		RrCc	
	genotipe :		hitam	
$F_1 \times F_1$	genotipe :	RrCc	×	RrCc
	gamet :	RC, Rc, rC, rc		RC, Rc, rC, rc

F_2 :

♀ \ ♂	**RC**	**Rc**	**rC**	**rc**
RC	RRCC (hitam)	RRCc (hitam)	RrCC (hitam)	RrCc (hitam)
Rc	RRCc (hitam)	RRcc (albino)	RrCc (hitam)	Rrcc (albino)

rC	RrCC (hitam)	RrCc (hitam)	rrCC (krem)	rrCC (krem)
rc	RrCc (hitam)	Rrcc (albino)	rrCc (krem)	rrcc (albino)

Persilangan antartikus berwarna hitam homozigot dengan tikus berwarna albino menghasilkan generasi pertama F_1 tikus berwarna hitam semua. Berdasarkan hasil persilangan kedua, ternyata dihasilkan rasio fenotipe 9 hitam : 3 krem : 4 albino

Kita dapat melihat, adanya gen resesif cc menyebabkan semua warna rambut tikus albino. Adapun kombinansi gen dominan menyebabkan warna hitam. Hadirnya gen dominan C menyebabkan warna rambut tikus krem.

e. Komplementer

Kata Kunci
- Komplementer

Salah satu tipe interaksi gen-gen pada organisme adalah saling mendukung munculnya suatu fenotipe atau sifat. **W. Bateson** dan **R.C. Punnet** yang bekerja pada bunga *Lathyrus adoratus* menemukan kenyataan ini. Mereka melakukan persilangan sesama bunga putih dan menghasilkan keturunan F_2 bunga berwana ungu seluruhnya. Pada persilangan bunga-bunga berwarna ungu F_2, ternyata dihasilkan bunga dengan warna putih dalam jumlah yang banyak dan berbeda dengan perkiraan sebelumnya, baik hukum Mendel atau sifat kriptomeri.

Penelitian lebih lanjut yang dilakukan oleh keduanya mengungkapkan ada dua gen yang berinteraksi memengaruhi warna bunga, yakni gen yang mengontrol munculnya bahan pigmen (C) dan gen yang mengaktifkan bahan tersebut (P). Jika keduanya tidak hadir bersamaan, tentu tidak saling melengkapi antara sifat satu dengan yang lainnya dan menghasilkan bunga dengan warna putih (tidak berpigmen). Apabila tidak ada bahan pigmen, tentu tidak akan muncul warna, meskipun ada bahan pengaktif pigmennya. Begitupun sebaliknya, apabila tidak ada pengaktif pigmen maka pigmen yang telah ada tidak akan dimunculkan dan tetap menghasilkan bunga tanpa pigmen (berwarna putih). Persilangan yang dilakukan oleh Bateson dan Punnet dapat diamati pada diagram berikut ini.

Diagram Persilangan *Lathyrus adoratus*

P	fenotipe :	putih	×	putih
	genotipe :	ccPP		CCpp
	gamet :	cP	↓	Cp
F_1	fenotipe :		CcPp	
	genotipe :		ungu	
$F_1 \times F_1$	genotipe :	CcPp	×	CcPp
	gamet :	CP, Cp, cP, cp		CP, Cp, cP, cp

F_2 :

♀ \ ♂	**CP**	**Cp**	**cP**	**cp**
CP	CCPP (ungu)	CCPp (ungu)	CcPP (ungu)	CcPp (ungu)
Cp	CCPp (ungu)	CCpp (ungu)	CcPp (ungu)	Ccpp (albino)
cP	CcPP (ungu)	CcPp (ungu)	ccPP (krem)	ccPp (krem)
cp	CcPp (ungu)	Ccpp (putih)	ccPp (krem)	ccpp (albino)

Sifat yang dihasilkan oleh interaksi gen yang saling melengkapi dan bekerja sama ini dinamakan dengan komplementer. Ketidakhadiran sifat dominan pada suatu pasangan gen tidak akan memunculkan sifat fenotipe dan hanya akan muncul apabila hadir bersama-sama dalam pasangan gen dominannya.

3. Pautan dan Pindah Silang

Gen berpautan merupakan gen-gen yang terletak pada kromosom yang sama. Adapun pindah silang merupakan proses pertukaran segmen dari kromatid-kromatid dari sepasang kromosom homolog. Hal ini terjadi dalam proses pembelahan meiosis. Pada fase meiosis apakah hal ini terjadi?

Kata Kunci

- Pautan
- Kromosom homolog

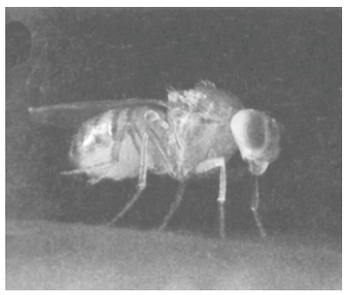
a. Pautan

Peristiwa ini pertama kali ditemukan oleh seorang ahli Genetika dan Embriologi dari Amerika, yakni **Thomas Hunt Morgan** pada tahun 1910. Morgan menemukan keanehan pada penelitian mengenai pewarisan sifat yang diturunkan pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) (**Gambar 5.7**). Perbandingan fenotipe dan genotipe yang ditemukannya ternyata berbeda dengan apa yang dikemukakan oleh Mendel maupun perbandingan seperti penyimpangan-penyimpangan hukum Mendel lainnya.

Morgan berulang kali melakukan percobaan terhadap beberapa variasi sifat yang dimiliki oleh lalat buah ini. Objek penelitian lalat buah dipilih oleh Morgan dengan beberapa alasan sebagai berikut.

1) Siklus hidupnya pendek (sekitar 10 hari untuk setiap generasi).
2) Sepasang parental dapat menghasilkan beberapa ratus keturunan (seekor betina bertelur 50–70 butir perhari dengan kemampuan bertelur maksimum 10 hari).
3) Mudah dipelihara dalam medium yang sederhana.

Selain itu, lalat buah memiliki pasangan gen yang tidak banyak, hanya 4 pasang. Keuntungan ini membuat penelitian Morgan dapat berjalan dengan baik dan menemukan permasalahan yang dihadapinya.



Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Gambar 5.7

Drosophila melanogaster merupakan objek penelitian yang dilakukan T.H. Morgan.

Mengapa digunakan lalat buah?

Seperti kita ketahui, gen yang dapat menurunkan sifat pada organisme terbungkus dalam suatu paket kromosom. Kromosom ini dapat terlihat dengan baik pada saat pembelahan. Karena setiap kromosom akan diwariskan pada generasi selanjutnya melalui proses meiosis maka sifat-sifat yang terkandung di dalamnya pun akan diwariskan juga pada organisme selanjutnya. Gen yang membawa suatu sifat ini ternyata dapat berada pada kromosom yang berbeda atau kromosom yang sama. Pewarisan sifat-sifat pada kromosom yang berbeda dapat dijelaskan dengan baik melalui hukum Mendel yang telah kita pelajari.

Masalah yang ditemukan Morgan pada lalat buah (*Drosophila melanogaster*) adalah pewarisan sifat yang berada pada satu kromosom. Oleh karena itu, pada saat meiosis, sifat yang berada dalam gen satu kromosom ini tidak akan diturunkan secara bebas, melainkan bersama-sama. Proses inilah yang kita namakan dengan pautan. Jadi, **pautan** adalah peristiwa gen-gen yang terletak pada kromosom yang sama tidak dapat memisahkan diri secara bebas ketika pembelahan meiosis.

Atas penemuannya, pada tahun 1933 Morgan menerima hadiah Nobel dalam bidang Biologi dan Kedokteran. Pada percobaan tersebut, Morgan mengawinkan *Drosophila* betina dengan warna tubuh kelabu (B), sayap panjang (V) dengan jantan warna tubuh hitam (b), sayap pendek (v). Dari hasil persilangan tersebut, diperoleh semua F_1 *Drosophila* memiliki warna tubuh kelabu dengan sayap panjang (BbVv). Lalu, Morgan melakukan *test cross* dengan mengawinkan sesama keturunan F_1, yaitu BbVv x BbVv.

Hasil pada F_2 menunjukkan hanya ada dua macam fenotipe yang ditemukan, yaitu

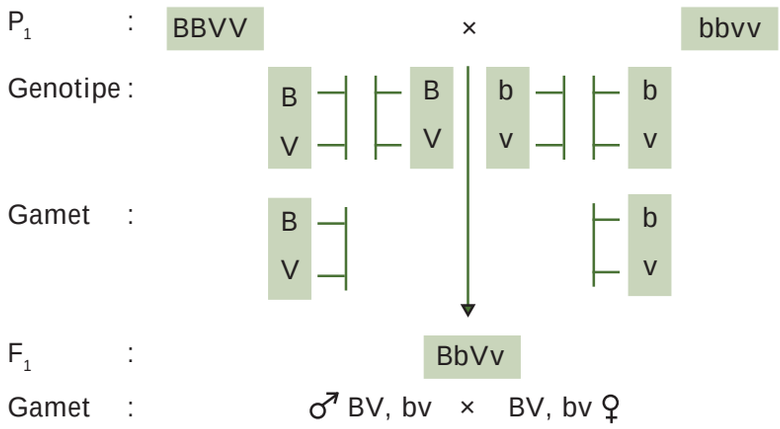
1) *Drosophila* tubuh kelabu, sayap panjang;
2) *Drosophila* tubuh hitam, sayap pendek.

Morgan menemukan permasalahan, mengapa fenotipe F_2-nya hanya ada 2 macam. Adapun jika mengikuti hukum Mendel harusnya ditemukan 4 macam fenotipe dengan kombinasi, yaitu

1) *Drosophila* tubuh kelabu, sayap panjang;
2) *Drosophila* tubuh kelabu, sayap pendek;
3) *Drosophila* tubuh hitam, sayap panjang;
4) *Drosophila* tubuh hitam, sayap pendek.

Pertanyaan ini baru bisa dijawab setelah dilakukan percobaan yang sama berulang-ulang. Berdasarkan percobaan ini, kemudian diajukan suatu teori mengenai pautan.

Gen B untuk tubuh kelabu dan gen V untuk sayap panjang, diketahui terdapat pada kromosom yang sama. Tentu saja gen b dan v sebagai alelnya juga terletak pada kromosom homologhnya.



Kata Kunci

- Pindah silang

Bagan tersebut menunjukkan bahwa hanya ada 2 macam gamet yang terbentuk, yakni BV dan bv. Hasil *test cross* akan menghasilkan fenotipe F_2 sebagai berikut.

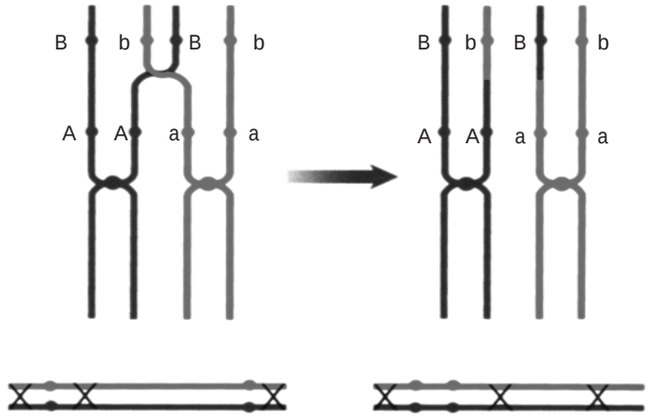
	BV	**bv**
BV	BBVV	BbVc
bv	BbVv	bbvv

Perbandingan fenotipe yang ditemukan adalah 3 warna hitam sayap panjang : 1 warna abu sayap pendek. Jadi, pada proses pautan tidak terjadi segregasi bebas seperti yang ditemukan oleh Mendel dalam percobaannya. Kebetulan saja Mendel menemukan contoh pewarisan sifat yang berada pada kromosom yang berbeda sehingga ditemukan perbandingan 9 : 3 : 3 : 1. Apabila Mendel menemukan sifat yang diwariskan tersebut berada pada kromosom yang sama, tentu ia akan menghasilkan penemuan yang berbeda.

b. Pindah Silang

Selain gen dalam kromosom dapat terpaut, kromosom juga dapat saling berpindah tempat pada saat kromosom-kromosom berdekatan di bidang pembelahan pada waktu melakukan meiosis. Proses demikian dinamakan dengan pindah silang (*crossing over*). Jadi, **pindah silang** adalah peristiwa bertukarnya bagian kromosom satu dengan kromosom lainnya yang sehomolog ataupun dengan bagian kromosom yang berbeda (bukan

homolognya). Peristiwa ini kerap terjadi pada gen-gen yang terpaut, tetapi memiliki jarak lokus yang berjauhan dan terjadi pada waktu meiosis. Kromatid yang terbentuk pada saat melakukan meiosis akan bersinapsis dan pada tahap ini seringkali ditemukan pindah silang (**Gambar 5.8**).



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 5.8
Mekanisme pindah silang
Apa pengaruh mekanisme ini pada pewarisan sifat?

Peristiwa pindah silang selain ditemukan oleh Morgan, juga dilaporkan oleh **G. N. Collins** dan **J. H. Kemton** pada tahun 1911. Peristiwa pindah silang ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Misalnya, gen-gen A dan B terpaut pada kromosom yang sama, alelnya adalah gen a dan b. Jadi, genotipenya dapat ditulis AaBb. Dengan adanya pindah silang maka dapat terbentuk kombinasi baru yang merupakan variasi dari peristiwa pautan. Pada organisme yang bergenotipe AaBb, memiliki macam gamet AB dan ab karena gen A dan B terletak dalam satu kromosom sehingga keduanya saling berpautan dan begitu pula dengan alelnya. Perbandingan antara gamet AB dan ab yang dihasilkan adalah 50% : 50% atau 1 : 1. Kombinasi tersebut dinamakan dengan *kombinasi parental* (KP).

Kata Kunci
- Kombinasi parental
- Rekombinan

Jika terjadi pindah silang, satu kromosom dengan kromosom homolognya saling menyilang dan terjadi pertukaran, berarti akan terjadi juga pertukaran gen. Maka, untuk genotipe AaBb (AB terpaut) akan terbentuk 4 macam gamet baru sebagai hasil kombinasi. Gamet tersebut adalah AB, Ab, aB, dan ab. Namun, hasil frekuensi dari rekombinan baru ini ditentukan oleh frekuensi sel yang mengalami pindah silang.

Misalkan, dari seluruh populasi sel ada 20% sel yang mengalami pindah silang dan 80% lainnya tidak mengalami pindah silang, maka kombinasi parental yang diperoleh adalah:

AB = 50% × 0,8 = 40%
ab = 50% × 0,8 = 40%

Sementara rekombinan yang mungkin dihasilkan adalah:

AB = 25% × 0,2 = 5%
Ab = 25% × 0,2 = 5%
aB = 25% × 0,2 = 5%
ab = 25% × 0,2 = 5%

Pada sel tersebut, frekuensi kombinasi parentalnya, yaitu AB dan ab masing-masing 45% (40% + 5 %) menjadi keseluruhan 90%. Sementara itu, frekuensi rekombinan yang terbentuk adalah 10%.

Peristiwa pindah silang dari gen yang berpaut akan menghasilkan kombinasi parental lebih dari 50%. Adapun rekombinannya dapat dipastikan di bawah 50%.

Perhitungan sederhana di atas, dapat dikatakan sebagai cara mudah untuk menentukan jarak antargen. Perlu diketahui, bahwa kekuatan tautan gen dapat bergantung pada jarak antargen yang terpaut tersebut. Semakin dekat maka kekuatannya akan semakin besar (frekuensinya akan tinggi). Telah diketahui bahwa gen-gen terletak di dalam satu kromosom terdapat beratus-ratus, bahkan beribu-ribu gen. Gen-gen ini terletak pada lokus-lokus yang berderet memanjang sesuai dengan panjang kromosom. Dari lokus satu dengan lokus lainnya memiliki jarak yang berbeda.

Ukuran yang dipakai untuk menentukan jarak antara lokus tersebut pada kromosom disebut dengan unit. Ukuran yang sangat halus ini tidak dapat dilihat karena jarak antara batas lokus dengan lokus lain belum pasti (skala yang mencukupi). Jadi, ukuran unit itu adalah ukuran khayal untuk memudahkan perhitungan genetik saja.

Kata Kunci
- Determinasi seks
- *Test cross*

Sentromer umumnya dianggap sebagai titik pangkal dan diberi angka 0 maka jarak gen (lokus) pada kromosom tersebut dihitung dari angka 0. Misalnya, gen A adalah 10,5 unit berarti gen A ini berjarak 10,5 unit dari titik 0. Kemudian, gen B yang terpaut dengan A adalah 11,5 maka berarti gen B berjarak 11,5 unit dari titik 0. Berapakah jarak A–B? Jarak A–B adalah 11,5 - 10,5 = 1 unit. Kemudian, 1 unit disebut 1 mM (mili Morgan).

Pada persilangan AaBb dengan aabb di atas (*test cross*), persentase masing-masing keturunannya akan dapat dihitung, yaitu sebagai berikut.

Jarak A–B sudah diketahui = 1 mM, berarti kombinasi baru (rekombinasi / RK) = 1%.

Jadi, kombinasi asli (kombinasi parental / KP) = 100% - 1% = 99% sehingga masing-masing keturunan memiliki persentase sebagai berikut.

1) AaBb = 49,5%..... kombinasi parental (KP)
2) Aabb = 0,5%..... rekombinasi (RK)
3) aaBb = 0,5%..... rekombinasi (RK)
4) aabb = 49,5%..... kombinasi parental (KP)

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa pada peristiwa pautan:

1) kombinasi parental yang dihasilkan akan lebih besar dari 50%, sedangkan rekombinan lebih kecil dari 50%;
2) makin kecil persentase rekombinan (RK), berarti makin dekat jarak antarlokusnya.

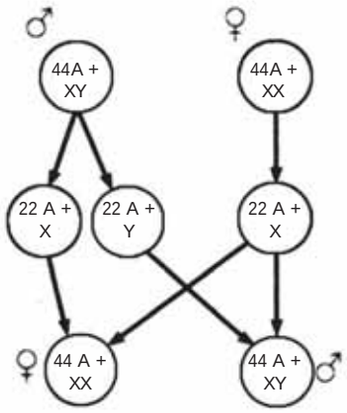
4. Determinasi Seks

Setiap organisme dilahirkan dengan penentuan jenis kelamin (determinasi sex), baik yang dapat dilihat secara fisik dengan ciri sekundernya maupun secara fungsional yang dapat dilihat dengan ciri primer. Penentuan jenis kelamin ini diwariskan secara bebas oleh gamet parental kepada keturunannya dalam perstiwa meiosis.

Studi mengenai penentuan jenis kelamin organisme ini pertama kali dilakukan oleh **Henking** (1891) dan **Mc. Clung** (1902). Penelitian ini, selain untuk mengetahui segregasi dalam determinasi seks, juga melakukan pengamatan kromosom seks (gonosom). Henking menemukan bentuk kromosom pada susunan perangkat kromosom yang berbentuk X pada belalang. Pada sperma jantan hanya ditemukan kromosom berbentuk X, sedangkan pada sel telur betina ditemukan sepasang bentuk X. Mc. Clung berkesimpulan bahwa kromosom ini akan menentukan jenis kelamin yang membedakan jantan dan betina. Setelah penelitian-penelitian itu, kita dapat mengetahui bentuk-bentuk gonosom yang kita kenal dengan sistem XY, XO, dan ZW.

a. Sistem XX-XY

Sistem ini umum kita temukan pada tumbuhan, hewan, dan manusia. Penamaannya berdasarkan bentuk gonosom yang ditemukan. Gonosom X berukuran lebih besar dari gonosom Y. Sistem ini diberi tanda XX untuk betina dan jantan diberi tanda XY (**Gambar 5.9**). Oleh karenanya, betina disebut juga homogamet dan jantan heterogamet. Pada manusia terdapat 46 kromosom, kromosom tubuh (autosom) 44 buah (22 pasang), sedangkan kromosom kelaminnya ada 2 buah (sepasang). Sel telur pada manusia 22 + X dan sperma 22 + Y atau 22 + X (**Gambar 5.9**). Lalat buah (*Drosophila melanogaster*) memiliki delapan buah kromosom yang terdiri atas tiga pasang autosom dan satu pasang gonosom. Penulisan kromosom untuk lalat buah jantan adalah 6A + XY dan lalat buah betina ditulis dengan 6A + XX.



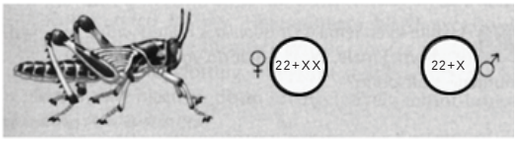
Gambar 5.9

Penentuan jenis kelamin pada manusia.

romosom manakah yang menentukan jenis kelamin?

b. Sistem XO

Pada beberapa serangga, ditemukan bentuk berbeda dengan penemuan sebelumnya. Jantan tidak memiliki bentuk Y, tetapi hanya satu gonosom X. Adapun betina memiliki sepasang gonosom X. Oleh karena itu, penulisan untuk perangkat gonosom betina adalah XX dan jantan XO. Jenis-jenis yang memiliki sistem seperti ini adalah beberapa jenis serangga, seperti belalang dan anggota Orthoptera (**Gambar 5.10**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

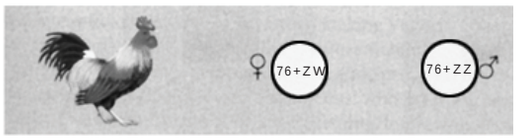
Jenis kelamin XX dan X pada belalang.

c. Sistem ZW

Sistem ZW banyak ditemukan pada jenis-jenis unggas, ikan, dan kupu-kupu. Pemberian nama dengan sistem ini didasarkan pada pengamatan yang menunjukkan sistem penentuan jenis kelamin untuk betina dan jantan terbalik dengan penemuan sebelumnya. Pada manusia, yaitu betina memiliki pasangan gonosom XY dan jantan XX. Oleh karena itu, untuk menghindari kekeliruan dalam penulisan, maka dibuat penamaan dengan sistem ZW. Betina diberi lambang ZW dan jantan diberi lambang ZZ.

d. Sistem ZO

Sistem ZO ini dapat ditemukan pada beberapa jenis unggas. Pada sistem ini susunan kromosom, kelamin ZO dimiliki oleh hewan betinanya, sedangkan jantan memiliki susunan kromosom kelamin ZZ. Oleh karena itu, kromosom kelamin betina hanya ada satu yaitu Z, sedangkan jantan memiliki sepasang kromosom kelamin yang sama bentuknya yaitu ZZ.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.11

Penentuan jenis kelamin jantan dan betina pada ayam.

e. Sistem Haploid-Diploid

Pada sistem ini, penentuan jenis kelamin tidak ditentukan oleh kromosom seks, melainkan oleh jumlah kromosom tubuh (**Gambar 5.12**). Pada lebah dan semut umumnya tidak memiliki kromosom seks. Betina berkembang dari sel telur yang dibuahi sehingga diploid. Adapun jantan berkembang dari sel telur yang tidak dibuahi sehingga mereka haploid. Hal ini dikenal dengan partenogenesis.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 5.12

Sistem haploid-diploid pada lebah.

5. Gen Letal

Gen kematian (gen letal) adalah gen yang dapat menyebabkan kematian suatu individu yang memilikinya. Gen-gen ini dapat menunjukkan pengaruhnya pada awal pertumbuhan sehingga dapat mengakibatkan kematian sebelum lahir (pada masa embrio).

Dalam konsep gen letal, dikenal istilah individu *carrier*, yakni individu yang berpotensi untuk menurunkan sifat gen letal tersebut atau berpotensi untuk membawa gen yang mengakibatkan kelainan.

Kata Kunci

- Gen letal dominan
- Gen letal resetif

a. Gen Letal Dominan

Gen letal dominan merupakan suatu keadaan apabila suatu individu memiliki gen homozigot dominan, individu tersebut akan mati. Contohnya, pada tikus gen A^y mengekspresikan rambut warna kuning yang dominan terhadap gen a yang mengekspresikan warna rambut hitam. Gen A^y ini dalam keadaan homozigot mengakibatkan kematian pada tikus. Jika tikus jantan kuning heterozigot dikawinkan dengan tikus betina yang juga kuning heterozigot maka keturunannya (F_1) adalah sebagai berikut.

Diagram Persilangan Tikus Berbulu Kuning

P : fenotipe : ♂ kuning × kuning ♀
genotipe : A^ya A^ya
gamet : A^y, a A^y, a

F_1 :

♀ \ ♂	A^y	a
A^y	A^yA^y	A^ya
a	A^ya	aa

F_1 : 1 A^yA^y : tikus letal (25%)
2 A^ya : tikus *carrier* (50%)
1 aa : tikus normal (25%)

Contoh kelainan akibat gen letal dominan, yaitu:
1) Ayam redep (kaki dan sayap pendek)
2) Thalasemia pada manusia
3) Ayam tidak berjambul

b. Gen Letal Resesif

Pada gen letal resesif, individu akan mati jika memiliki gen homozigot resesif. Salah satu contoh efek dari gen letal resesif yang menyebabkan kematian adalah pada tanaman jagung. Hadirnya klorofil diatur oleh suatu gen dalam keadaan dominan dan jika gen tersebut berada dalam keadaan resesif maka klorofil tidak dapat diekspresikan dan menyebabkan kematian.

Gen yang menyebabkan hadirnya klorofil kita anggap sebagai A dan resesifnya adalah a. Gen heterozigot menyebabkan warna daun menjadi hijau muda. Pada persilangan antarjagung dengan daun hijau muda sesamanya akan menghasilkan sebagai berikut.

Diagram Persilangan Tanaman Jagung

P : fenotipe : hijau muda × hijau muda
genotipe : Aa Aa
gamet : A, a A, a

F_1 :

♀ \ ♂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

F_1 : 1 AA: jagung hijau tua (25%)
2 Aa: jagung hijau muda (50%)
1 aa: jagung albino atau letal (25%)

Contoh kelainan akibat gen letal resesif, yaitu:
1) *Sickle-Cell Anemia* (sel bulan sabit) pada manusia;
2) Kelinci *pelger* (gangguan pada pembentukan leukosit);
3) Sapi *bulldog* (persilangan antarsapi ras *dexter*).

Soal Penguasaan *Materi* 5.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Bilamanakah pindah silang dapat terjadi?
2. Apakah yang dimaksud dengan monohibrid dan dihibrid?
3. Sebutkan beberapa contoh penyimpangan semu dari hukum Mendel.
4. Mengapa atavisme, kritomeri, polimeri, komplementer, hipostasis, dan epistasis disebut penyimpangan semu hukum Mendel?

C Hereditas dan Penyakit Turunan

Setelah para ilmuwan mengetahui proses terjadinya pewarisan sifat pada makhluk hidup, misteri kelahiran seorang bayi yang memiliki cacat fisik ataupun mental dapat dimengerti dan menjadi suatu kajian ilmiah.

Penyakit atau cacat turunan ini memiliki sifat-sifat yang khas, yaitu:
1. bukan merupakan penyakit yang dapat ditularkan;
2. bersifat permanen dan tidak dapat disembuhkan;
3. dikendalikan oleh faktor genetis.

Adanya faktor genetis merupakan penyebab utama adanya suatu cacat atau penyakit menurun ini. Seorang ahli genetika dapat menjelaskan bagaimana agar penyakit tersebut tidak hadir di generasi selanjutnya. Umumnya, sifat penyakit menurun merupakan alel-alel gen resesif sehingga akan hadir dalam homozigot resesif.

Beberapa penyakit menurun yang umumnya hadir ini dapat dibedakan berdasarkan jenis kromosom pembawanya, yaitu dapat bersifat autosom atau gonosom.

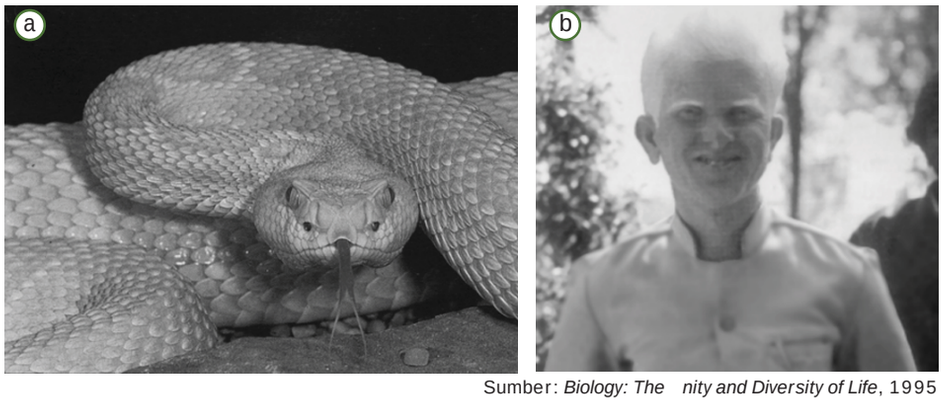
Kata Kunci
- Albino
- Brakidaktili
- *Diabetes mellitus*
- Gangguan mental
- Polidaktili

1. Cacat Bawaan Bersifat Autosom

Beberapa penyakit bersifat autosom yang berhasil diidentifikasi antara lain adalah albino, brakidaktili, gangguan mental, polidaktili, dan *diabetes mellitus*.

a. Albino

Albino merupakan kelainan yang disebabkan oleh tidak terbentuknya pigmentasi tubuh. Perhatikanlah **Gambar 5.13**. Kelainan ini merupakan kelainan bawaan yang terkait dengan kromosom tubuh. Selain lahir tanpa pigmentasi, orang yang memiliki kelainan ini sangat peka dengan cahaya berintensitas tinggi.



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

Gambar 5.13
(a) Albino langka pada ular derik
(b) Albino pada manusia
Apakah perbedaan individu normal dan albino?

Kelainan albino pada seorang anak dapat diturunkan dari orangtua yang keduanya albino, salah satu albino dan yang lainnya *carrier* atau kedua orangtuanya bersifat *carrier* (heterozigot).

Contoh 5.5

Seorang laki-laki normal heterozigot menikah dengan seorang wanita normal heterozigot pula. Adakah keturunannya yang menderita albino?

Jawab

P : ♂ normal heterozigot × ♀ normal heterozigot
Aa × Aa

♀ \ ♂	**AB**	**Ab**
A	AA	Aa
a	Aa	aa

F_1 : 1AA : normal (25%)
2Aa : normal heterozigot (50%)
1aa : albino (25%)

Jadi, keturunannya ada yang menderita albino sebanyak 25%.

Wawasan Biologi

Tidak sedikit persoalan rumah tangga muncul akibat masalah kesehatan pasangan. Karena itu, uji kesehatan sebelum menikah (*premarital check up*) semakin dipandang perlu. Uji kesehatan pranikah berguna untuk mengetahui riwayat pasangan akan adanya penyakit menular seks dan penyakit turunan. Dokter hanya akan memberikan gambaran tentang resiko yang akan dihadapi pasangan dan turunan jika mengetahui adanya penyakit. Akan tetapi, kesepakatan untuk menikah tetap menjadi hak mutlak calon pasangan. Di Indonesia kesadaran untuk periksa kesehatan pranikah masih sangat rendah, meski banyak sekali manfaatnya. Terlepas dari nilai agama bahwa apa pun kondisi pasangan dan keturunan marupakan karunia Tuhan yang harus disyukuri, tidak ada salahnya kita berusaha mengusahakan secara optimal.

Sumber: *www.kompas.com*, 12 April 2002

b. Brakidaktili

Penyakit ini dapat diamati dari bentuk jari-jari tangan yang pendek. Gen yang menyebabkan penyakit ini adalah gen dominan (B) yang bersifat letal. Oleh karena itu, individu yang memiliki genotipe homozigot dominan (BB) akan mengalami kematian. Adapun penyakit brakidaktili disebabkan oleh genotipe heterozigot (Bb). Keadaan genotipe homozigot resesif (bb) merupakan individu normal.

Diagram Persilangan Brakidaktili

P
fenotipe : ♂ brakidaktili × ♀ brakidaktili
genotipe : Bb Bb
gamet : B, b B, b

♀ \ ♂	**B**	**b**
B	BB	Bb
b	Bb	bb

F_1 : 1 BB : meninggal (25%)
2 Bb : brakidaktili (50%)
1 aa : normal (25%)

c. Gangguan Mental

Gangguan mental atau cacat mental merupakan kelainan yang diwariskan dari kedua orangtuanya. Beberapa gangguan mental yang diketahui adalah imbisil, debil, dan idiot. Ciri-ciri dari penderita gangguan mental, antara lain warna rambut dan kulit kekurangan pigmen, bereaksi lamban, tidak berumur panjang, dan biasanya IQ rendah.

Salah satu penyebab gangguan mental adalah rusaknya sistem saraf akibat kadar asam fenilpiruvat yang tinggi dalam tubuh, atau biasanya

disebut **fenilketonuria** (FKU). FKU disebabkan oleh ketidakmampuan tubuh untuk mensintesis enzim yang dapat mengubah fenilalanin menjadi asam amino tiroksin. Produksi enzim tersebut dikendalikan oleh gen dominan. Oleh karena itu, seorang anak yang memiliki gen homozigot resesif tidak bisa memproduksi enzim tersebut.

Diagram Persilangan pada Gangguan Mental Akibat FKU

P fenotipe : ♂ normal heterozigot × ♀ normal heterozigot
genotipe : Aa Aa
gamet : A, a A, a

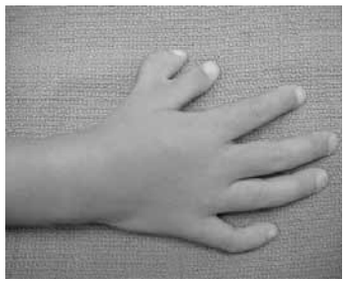
F_1 :

♀ \ ♂	**A**	**a**
A	AA	Aa
a	Aa	aa

F_1 : 1 AA : normal (25%)
2 Aa : normal heterozigot atau *carrier* FKU (50%)
1 aa : gangguan mental FKU (25%)

d. Polidaktili

Penderita polidaktili memiliki jumlah jari tangan dan kaki lebih dari normal (**Gambar 5.14**). Polidaktili adalah suatu kelainan yang diwariskan oleh gen autosom dominan P, sedangkan gen p untuk normal. Hal ini terjadi karena kelainan ditentukan oleh autosom, ekspresi gen yang terjadi berbeda sehingga lokasi tambahan jari berbeda (**Gambar 5.14**).



Sumber: *www.eatonhand.com*

Gambar 5.14
Penderita polidaktili memiliki jumlah jari lebih dari normal.

Contoh 5.6

Seorang laki-laki penderita polidaktili menikah dengan seorang wanita polidaktili heterozigot pula. Berapa persenkah keturunan yang normal?

Jawab

P : ♂ polidaktili heterozigot × ♀ polidaktili heterozigot
Pp Pp
Gamet : P, p P, p

♀ \ ♂	**P**	**p**
P	Pp	Pp
p	Pp	pp

F_1 : 1PP : polidaktili homozigot (25%)
2Pp : polidaktili heterozigot (50%)
1pp : normal (25%)

Jadi, keturunannya yang normal sebanyak 25%.

e. Diabetes Mellitus

Diabetes mellitus adalah terbuangnya glukosa bersama urine karena terjadi gangguan fungsi insulin yang dihasilkan oleh pulau Langerhans pada pankreas. Seperempat dari penderita *diabetes mellitus* ternyata diakibatkan faktor genetis dan tiga perempat yang lainnya karena faktor makanan. Penyakit ini dikendalikan oleh gen resesif homozigot (dd).

Contoh 5.7

Seorang laki-laki normal homozigot menikah dengan wanita penderita *diabetes mellitus*. Bagaimanakah keadaan keturunannya?

Jawab

P fenotipe : ♂ normal homozigot (DD) × *diabetes mellitus* ♀ (dd)

F_1 genotipe : Dd

Jadi, keturunannya adalah normal heterozigot sebanyak 100%.

2. Cacat Bawaan yang Bersifat Gonosom

Cacat bawaan dapat pula bersifat gonosom, yakni terpaut pada kromosom seks. Beberapa cacat atau kelainan bersifat gonosom, antara lain buta warna dan hemofilia.

a. Buta Warna

Kata Kunci
- Buta warna
- Hemofilia

Kita mengenal penyakit buta warna sebagai cacat bawaan yang dibawa mulai lahir. Tidak ada orang yang mengalami kelainan buta warna setelah dewasa. Ada beberapa golongan penyakit buta warna pada manusia.

1) Buta warna total, orang ini benar-benar hanya dapat membedakan warna hitam dan putih saja dan tidak dapat melihat warna lainnya.
2) Buta warna parsial, orang yang menderita kelainan buta warna parsial ini tidak mampu untuk membedakan beberapa warna tertentu, seperti warna hijau, biru, atau merah.

Kelainan buta warna disebabkan oleh gen yang terpaut pada gonosom X dan bersifat resesif. Kehadiran gen X^{cb} ini pada kondisi heterozigot pada wanita hanya akan menyebabkan ia sebagai *carrier* dan jika pada pria kehadiran gen X^{cb} akan menyebabkan buta warna. Mengapa tidak ada *carrier* buta warna pada pria?

Perkawinan wanita *carrier* dengan lelaki normal dapat menyebabkan lahirnya seorang anak yang buta warna. Anak manakah itu? Perhatikanlah diagram persilangan berikut.

Diagram Persilangan pada Buta Warna

P fenotipe : ♂ wanita *carrier* × ♀ pria normal
genotipe : $X^{cb}X$ XY
gamet : X^{cb}, X X, Y

F_1 :

♀ \ ♂	X	Y
X^{cb}	$X^{cb}X$	$X^{cb}Y$
X	XX	XY

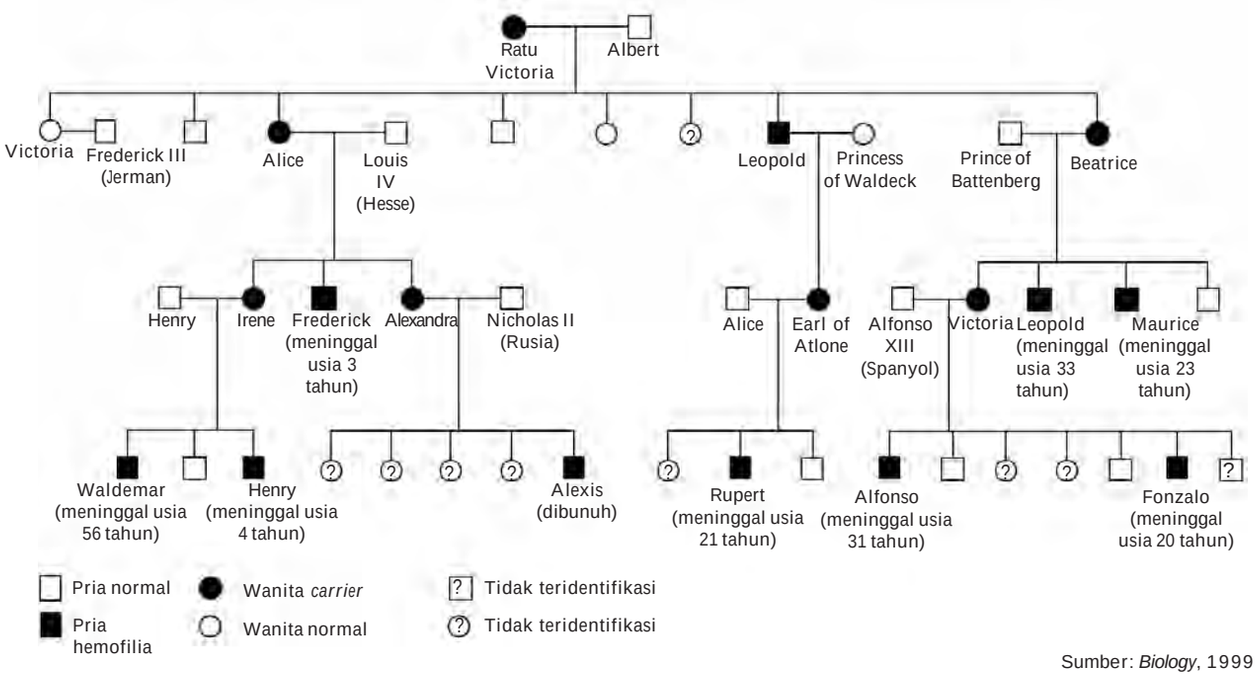
F_1 : $X^{cb}X$: wanita *carrier* (25%)
$X^{cb}Y$: pria buta warna (25%)
XX : wanita normal (25%)
XY : pria normal (25%)

b. Hemofilia

Hemofilia merupakan suatu kelainan yang menyebabkan terhambatnya proses pembekuan darah. Oleh karena itu, apabila seseorang yang memiliki kelainan ini terluka, akan mengakibatkan kehabisan darah yang lebih cepat

sehingga dapat menyebabkan kematian. Hemofilia menyebabkan tidak terbentuknya faktor antihemofilia yang diperlukan untuk pemecahan trombosit menjadi trombokinase pada proses pembekuan darah. Gen penyebab hemofilia ini terkait dengan gonosom X dan bersifat resesif.

Peristiwa hemofilia pertama kali diamati pada keluarga kerajaan di Eropa. Sumber utama penyakit ini adalah Ratu Victoria (**Gambar 5.15**). Perkawinanya dengan raja Albert melahirkan keturunan-keturunan yang menderita hemofilia dan sebagian di antaranya mengalami kematian.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 5.15

Ratu Victoria memiliki genotipe *carrier* hemofilia.

Bagaimana pengaruh gen hemofilia pada keturunannya?

Pada kondisi homozigot resesif, hemofilia bersifat letal bagi wanita sehingga hampir tidak ada wanita yang mengalami penyakit hemofilia. Contoh kasus hemofilia dapat kita lihat pada perkawinan antara seorang ibu normal heterozigot dan suami normal berikut ini.

Diagram Persilangan pada Hemofilia

P
fenotipe : ♂ normal heterozigot × ♀ normal
genotipe : X^hY XY
gamet : X^h, Y X, Y

F_1 :

♀ \ ♂	**X**	**Y**
X^h	X^hX	X^hY
X	XX	XY

F_1 : X^hX : wanita *carrier* (25%)
X^hY : laki-laki hemofilia (25%)
XX : wanita normal (25%)
XY : laki-laki normal (25%)

Tugas Ilmiah 5.2

Tentukan salah satu kelainan genetik yang terjadi pada manusia, kemudian uraikan dalam bentuk karya tulis. Terangkanlah berbagai hal yang menyangkut kelainan tersebut, misalnya apakah termasuk penyakit turunan, faktor-faktor penyebabnya, dan bagaimana pengaruhnya. Bacalah berbagai referensi untuk menghasilkan karya terbaik Anda. Berdiskusilah dengan guru Anda apabila menemui kesulitan.

3. Golongan Darah

Golongan darah pada manusia diatur secara genetik dan merupakan alel ganda. Saat ini, ditemukan tiga sistem golongan darah. Dalam pembahasan berikut akan dibahas macam golongan darah ABO dan rhesus.

a. Golongan Darah ABO

Seperti telah diketahui bahwa darah terdiri atas butir darah (eritrosit, leukosit), keping darah (trombosit), dan plasma darah. Pada eritrosit terdapat sejenis protein yang dinamakan antigen atau aglutinogen. Antigen merupakan protein yang mampu merangsang pembentukan antibodi (aglutinin). Plasma darah mengandung protein yaitu fibrinogen dan protrombrin. Jika terjadi perangsangan oleh antigen, protrombin mampu membentuk antibodi.

Berdasarkan jenis antigen atau ada tidaknya antigen yang dikandung oleh eritrosit, **Karl Landsteiner** (1868-1943) pada tahun 1901 membagi golongan darah menjadi golongan A, golongan B, golongan AB, dan golongan O.

1) Golongan darah A (genotipe I^AI^A atau I^AI^O)
   Golongan darah yang dalam eritrositnya mengandung antigen A (aglutinogen A) dan dalam plasma darahnya mampu membentuk antibodi β atau aglutinin β.
2) Golongan darah B (genotipe I^BI^B atau I^BI^O)
   Golongan darah yang dalam eritrositnya mengandung antigen B (aglutinogen B) dan dalam plasma darahnya mampu membentuk antibodi α (aglutinin α).
3) Golongan darah AB (genotipe I^AI^B)
   Golongan darah yang dalam eritrositnya mengandung antigen A dan antigen B. Pada plasma darah golongan AB tidak mampu membentuk antibodi (aglutinin), baik α maupun β.
4) Golongan darah O (genotipe I°I°)
   Golongan darah yang dalam eritrositnya tidak mengandung antigen A dan antigen B, tetapi plasma darahnya memiliki antibodi α dan β.

b. Golongan Darah Sistem Rhesus

Di India, terdapat jenis kera bernama *Macaca rhesus*. Berdasarkan hasil penelitian Karl Landsteiner dan Wiener pada tahun 1940, ditemukan bahwa dalam eritrositnya mengandung jenis antigen yang dinamakan antigen rhesus. Antigen rhesus dimiliki juga oleh manusia. Orang yang memiliki antigen rhesus dinamakan rhesus positif. Genotipe RR atau Rr dan yang tidak memiliki antigen dinamakan rhesus negatif rr. Plasma darah baik pada rhesus positif (Rh^+) maupun pada rhesus negatif (Rh^-) membentuk antibodi rhesus. Sistem rhesus ini dikendalikan oleh gen Rh dengan alel. Alel Rh bersifat dominan terhadap alel rh.

Tokoh Biologi

Karl Landsteiner
(1868–1943)

Pada 1900, Karl Landsteiner dari Austria memperhatikan bahwa plasma darah seseorang dapat menyebabkan sel darah orang lain menggumpal. Ia menemukan bahwa darah manusia terbagi dalam empat kelompok, yang sekarang dikenal sebagai O, A, B, dan AB. Ia menemukan yang mana dari kelompok ini cocok satu dengan yang lain selama transfusi.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Tabel 5.1 Fenotipe, Genotipe, dan Gamet pada Sistem Rhesus

Fenotipe	Genotipe	Macam Gamet
1. Rhesus positif	$I^{Rh}I^{Rh}$; $I^{Rh}I^{rh}$	I^{RH} dan I^{rh}
2. Rhesus negatif	$I^{rh}I^{rh}$	I^{rh}

Contoh 5.7

Seorang pria golongan darah A homozigot Rh^+ homozigot menikah dengan wanita bergolongan darah O Rh^+ homozigot. Bagaimanakah golongan darah keturunannya?

Jawab

P : A homozigot Rh^+ homozigot $I^AI^AI^{Rh}I^{Rh}$ >< O Rh^+ homozigot $I^OI^OI^{Rh}I^{Rh}$

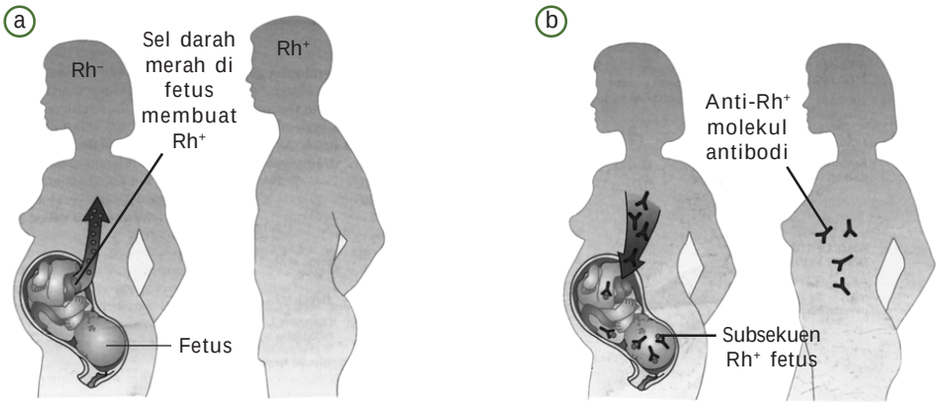
Gamet : I^AI^{Rh} I^OI^{Rh}

F_1 : $I^AI^OI^{Rh}I^{Rh}$ = 100% golongan darah A, Rh^+

Perkawinan pasangan suami istri yang berbeda faktor rhesusnya dapat mengakibatkan ketidakcocokan pada darah ibu dengan bayi yang dikandungnya. Misalnya, perkawinan pria yang bergolongan darah rhesus positif homozigot dengan wanita yang bergolongan darah rhesus negatif homozigot dapat melahirkan bayi yang bergolongan darah rhesus positif. Perhatikanlah **Gambar 5.16a**.

Pada kelahiran pertama, bayi akan lahir dengan selamat, sedangkan pada kelahiran selanjutnya akan terjadi kelainan. Hal ini disebabkan dalam plasenta ibu sudah terbentuk banyak zat antirhesus positif yang dapat menggumpalkan antigen rhesus dari janin kedua yang dikandungnya (**Gambar 5.16b**). Penggumpalan ini disebabkan, karena antibodi pada darah ibu memiliki jumlah yang banyak. Akibatnya sebagian antibodi dapat masuk ke tubuh fetus atau janin melalui plasenta. Darah janin akan mengalami kerusakan yang disebut **eritroblastosis fetalis**.

Gejala-gejala bayi yang menderita **eritroblastosis fetalis**, yakni tubuh sangat pucat dan kuning serta hati dan limfa membengkak. Penyakit ini dapat menyebabkan kematian pada bayi.



Kehamilan pertama **Kehamilan kedua**

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

Gambar 5.16
(a) Bayi pada kehamilan pertama memiliki golongan darah Rh^+. (b) Pada kehamilan kedua dan selanjutnya, bayi akan menderita eritroblastosis fetalis jika bayi memiliki golongan darah Rh^+.

Soal Penguasaan *Materi* 5.3

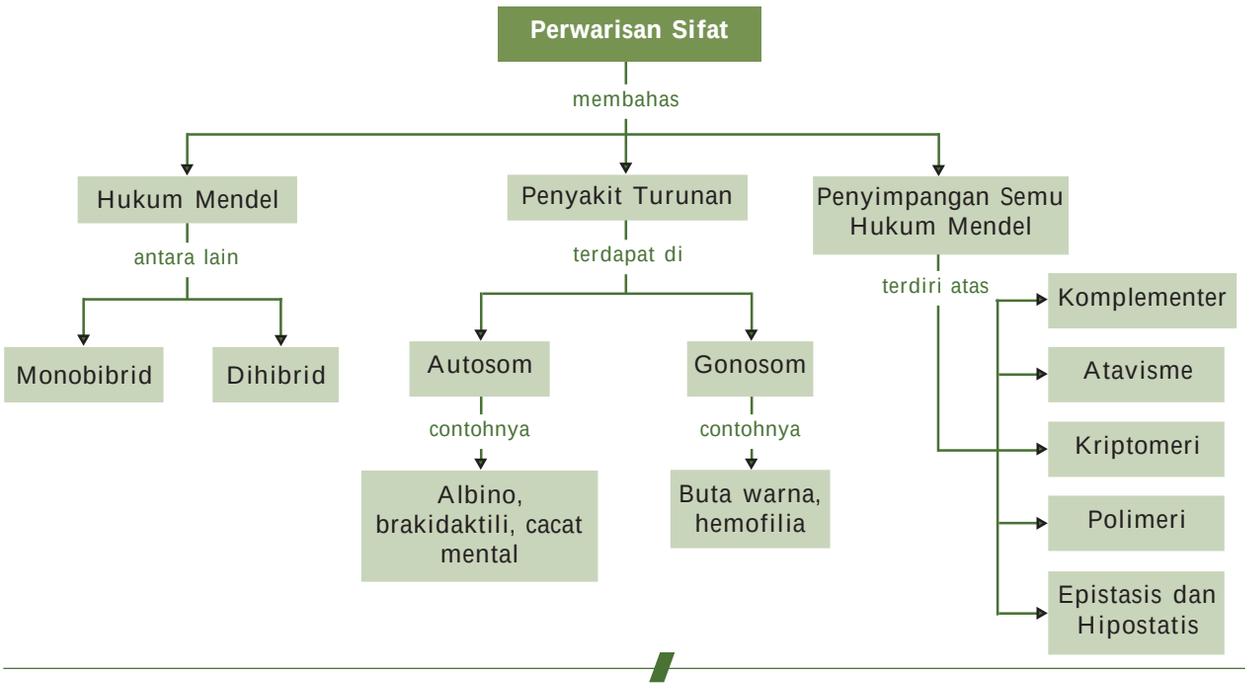
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan beberapa penyakit turunan yang terpaut oleh kromosom seks.
2. Sebutkan jenis penyakit buta warna.
3. Jika ayah bergolongan darah A dan ibu bergolongan darah B, dapatkah keturunannya bergolongan darah O? Jelaskan.

Rangkuman

1. Pewarisan sifat organisme dari induk kepada keturunannya mengikuti pola tertentu. Pada pewarisan sifat pertama kali diamati oleh Mendel sehingga dikenal persilangan monohibrid dan dihibrid. Penelitian Mendel dikenal dengan Hukum I Mendel dan Hukum II Mendel.
2. Setelah banyak ilmuwan meneliti pewarisan sifat, mereka banyak menemukan penyimpangan dari hukum Mendel di antaranya atavisme, kriptomeri, polimeri, epistasis, hipotasis, dan komplementer. Penyimpangan tersebut dikenal dengan penyimpangan semu hukum Mendel.
3. Selain itu, para ilmuwan juga banyak menemukan pola lain yang tidak sesuai hukum Mendel. Pola tersebut, antara lain pautan, pindah silang, determinasi seks, dan gen letal.
4. Dalam suatu pewarisan sifat, suatu penyakit dapat diturunkan kepada turunannya jika penyakitnya tersebut membawa gen penyebab penyakit dari orangtuanya. Penyakitnya tersebut dapat mengenai sel tubuh (autosom) dan sel kelamin (gonosom).
5. Contoh penyakit turunan yang berhubungan dengan autosom adalah albino, brakidaktili, dan cacat mental.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Pola Pewarisan Sifat Organisme, Anda diharapkan dapat mendeskripsikan prinsip-prinsip hereditas, sekaligus kaitannya dengan mekanisme pewarisan sifat. Secara umum, Anda telah mengetahui mengapa sifat yang dimiliki dapat diturunkan pada keturunannya dan memunculkan suatu kombinasi. Rumuskanlah materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda.

Evaluasi Materi Bab 5

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

1. Suatu individu bergenotipe PPQqrr akan membentuk macam sel gamet ....
   a. PQr dan Pqr
   b. PPQ dan qrr
   c. PQr dan PQq
   d. PQq dan Pqr
   e. PQr dan Qrr

2. Dari suatu individu tanaman dengan genotipe AaBbCc (semua gen bebas), akan dihasilkan macam gamet sebanyak ....
   a. 2 macam
   b. 4 macam
   c. 8 macam
   d. 16 macam
   e. 32 macam

3. Persilangan antara tanaman tomat berbuah banyak (B) rasa asam (m) dan tanaman tomat berbuah sedikit (b) rasa manis (M) menghasilkan tanaman tomat berbuah banyak rasa manis pada F_1. Apabila keturunan pertama (F_1) disilangkan sesamanya, maka genotipe yang paling baik dari keturunannya (galur murni) adalah ....
   a. bb mm
   b. Bb Mm
   c. Bb MM
   d. BB Mm
   e. BB MM

4. Jika seorang pria mengandung gen terpaut seks dalam kromosom X-nya, maka sifat itu akan diwariskan kepada ....
   a. 25% anak pria
   b. 50% anak pria
   c. 50% anak wanita
   d. 100% anak wanita
   e. 100% anak pria

5. Warna bulu hitam pada kucing dikendalikan oleh gen H yang dominan terhadap gen bulu putih (h). Perkawinan 2 ekor kucing menghasilkan keturunan dengan rasio hitam : putih = 1 : 1.

   Berdasarkan data tersebut genotipe kedua induk kucing adalah ....
   a. HH dan HH
   b. HH dan hh
   c. Hh dan Hh
   d. Hh dan hh
   e. hh dan hh

6. Apabila rambut lurus adalah sifat yang resesif maka dari perkawinan dua orangtua yang keduanya berambut keriting heterozigot kemungkinan anak-anaknya adalah ....
   a. semua berambut keriting
   b. 50% berambut keriting dan 50% berambut lurus
   c. 25% berambut keriting, 75% berambut lurus
   d. 75% berambut keriting, 25% berambut lurus
   e. semua berambut lurus

7. Pada pembastaran dua tanaman (jenis K dan L) yang masing-masing berbunga merah muda, didapatkan 985 tanaman berbunga putih dan 3128 berbunga merah muda. Hasil ini menunjukkan bahwa ....
   a. merah muda resesif terhadap putih
   b. K dan L homozigot dominan
   c. K dan L heterozigot
   d. K homozigot dominan dan L heterozigot
   e. K homozigot resesif dan L homozigot dominan

8. Diketahui bahwa gen tinggi pada tumbuhan polong dominan terhadap gen pendek. Pada penyilangan monohibrida keturunan pertama (F_1) didapatkan tinggi keturunan kedua (F_2) dengan perbandingan antara tinggi dan pendek 3 : 1. Hasil persilangan tersebut mendukung kebenaran adanya ....
   a. gen dalam kromosom
   b. peristiwa hipostasis
   c. hukum rekombinasi gen
   d. hukum kebebasan
   e. hukum segregasi

9. Peristiwa polimeri untuk pertama kali diselidiki oleh ....
   a. Watson
   b. August Weisman
   c. Nelson Ehle
   d. Morgan
   e. Francis Crick

10. Pada penyilangan tanaman kapri, kedua induknya berbiji bulat dan berwarna kuning. Dari hasil penyilangan didapatkan 193 biji dan ternyata bervariasi: 110 bulat, kuning; 35 bulat, hijau; 37 kisut kuning; 11 kisut, hijau. Dari hasil ini dapat diduga bahwa ....
    a. kedua induk kapri adalah heterozigotik
    b. kedua induk kapri adalah homozigotik
    c. induk yang satu homozigot, yang lain heterozigot
    d. pada waktu pembentukan gamet terjadi mutasi
    e. terjadi penyimpangan dari hukum Mendel

11. Warna biji gandum merah ditentukan oleh M_1 dan M_2, warna putih ditentukan oleh gen m_1 dan m_2. Dari persilangan gandum merah sesamanya didapat hasil perkawinan dengan rasio 13 gandum biji merah dan 1 gandum putih. Genotipe parentalnya adalah ....
    a. $M_1m_1\ M_2m_2 \times M_1m_1\ M_2m_2$
    b. $M_1M_1\ M_2m_2 \times m_1m_1\ m_2m_2$
    c. $M_1m_1\ M_2M_2 \times m_1m_1\ M_2m_2$
    d. $M_1M_1\ m_2m_2 \times M_1m_1\ m_2m_2$
    e. $M_1m_1\ M_2m_2 \times M_1M_1\ m_2m_2$

12. Pada perkawinan ayam jantan warna bulu merah dengan ayam betina bulu cokelat, ternyata semua anaknya berbulu merah. Pada F_2 didapatkan keturunan 12 warna bulu merah, 3 warna cokelat, dan 1 warna putih. Hal ini dapat diterangkan karena ....
    a. gen merah hipostasis
    b. gen merah epistasis
    c. gen coklat epistasis
    d. gen putih hipostasis
    e. gen putih kriptomeri (tersembunyi)

13. Pada peristiwa epistasis dan hipostasis terjadi suatu faktor dominan tertutup atau menutupi, hal ini disebabkan oleh ....
    a. adanya faktor dominan yang bereaksi
    b. adanya faktor dominan yang memengaruhi faktor dominan yang lain
    c. faktor protoplasma di dalam sel yang memengaruhi faktor dominan benda-benda di dalam sel
    d. adanya faktor dominan yang lebih dominasi terhadap faktor dominan
    e. adanya faktor intermediet
14. Sejenis serangga memiliki sayap panjang dengan faktor P yang dominan terhadap faktor p untuk sayap pendek dan warna tubuh hitam dengan faktor H yang dominan terhadap faktor h untuk warna tubuh abu-abu. Persilangan antara serangga berfenotipe PpHh menghasilkan keturunan bersayap panjang dan berwarna tubuh hitam dengan 45 jantan, 46 betina dan keturunan bersayap pendek berwarna tubuh abu-abu 14 jantan, 15 betina. Dari fenotipe keturunannya dapat diketahui bahwa pada persilangan tersebut telah terjadi peristiwa ....
    a. pindah silang
    b. alel bebas
    c. gagal berpisah
    d. pautan seks
    e. alel berpautan
15. Tuan dan Nyonya Hartoyo memiliki dua orang anak laki-laki. Sekarang Nyonya Hartoyo hamil tua. Kemungkinan nyonya tersebut akan melahirkan anak wanita adalah ....
    a. $\frac{1}{2}$
    b. $\frac{1}{3}$
    c. $\frac{1}{4}$
    d. $\frac{2}{3}$
    e. $\frac{2}{4}$

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

1. Mengapa Mendel memiliki tanaman ercis sebagai objek penelitiannya?
2. Hasil uji silang *Drosophila melanogaster* dihasilkan turunan dengan perbandingan fenotipe:
    - 401 hitam panjang
    - 23 hitam pendek
    - 22 kelabu panjang
    - 388 kelabu pendek

    Pertanyaan:
    a. Berapa nilai pindah silangnya?
    b. Berapa jarak antargen yang berpautan?
3. Seorang wanita normal yang ayahnya buta warna, menikah dengan laki-laki normal, berapa persen:
    a. turunan yang buta warna
    b. anak laki-lakinya yang buta warna
    c. anak wanitanya yang buta warna
4. Suatu persilangan tumbuhan dihasilkan turunan dengan perbandingan fenotipe adalah sebagai berikut.
    - 301 biji bulat panjang
    - 98 biji bulat pendek
    - 299 biji keriput panjang
    - 102 biji keriput pendek

    Carilah genotipe parentalnya.
5. Sebutkan tiga contoh penyakit cacat bawaan bersifat autosom.

Soal Tantangan

1. Di Indonesia, kasus penculikan dan penjualan bayi kerap terjadi. Penculikan biasanya dilakukan saat orang tua bayi lengah dan kebanyakan bayi yang diculik baru dilahirkan. Hal ini membuat orangtua korban sulit mengidentifikasi dan ragu bayi tersebut anaknya meski bayi tersebut telah ditemukan. Kini, setelah ilmu pengetahuan berkembang, terdapat beberapa cara untuk membuktikan hubungan kekerabatan. Apa sajakah cara-caranya? Apakah cara-cara tersebut dapat dipercaya sepenuhnya? Jelaskan.
2. Perkawinan sedarah (dengan kerabat dekat) selain dilarang oleh agama, juga sangat tidak dianjurkan secara medis. Apa yang melandasi hal tersebut jika dilihat dari sisi genetika?

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Bab 6
Mutasi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta penerapannya dalam kehidupan. Setelah itu, Anda akan mampu menjelaskan peristiwa mutasi dan implikasinya dalam kehidupan.

Seekor lalat buah (*Drosophila melanogaster*) yang diberi penyinaran sinar ultraviolet selama beberapa waktu telah mengakibatkan kacaunya sistem genetik dalam menerjemahkan kode protein yang dimaksud. Hal tersebut menyebabkan kecacatan, yakni tumbuhnya kaki pada antena seperti pada gambar. Kaki tumbuh pada antena karena protein antennapedia yang menekan pertumbuhan kaki di kepala pada saat perkembangan tidak berfungsi dengan baik. Hal ini disebabkan karena ada struktur yang diubah akibat pemberian sinar ultraviolet.

Peristiwa di atas merupakan peristiwa mutasi. Beberapa kejadian mutasi memang menghasilkan mutan atau organisme yang bermutasi tidak sesuai dengan harapan atau organisme yang ganjil. Selain ada yang merugikan, mutasi juga ada yang menguntungkan. Misalnya saja tanaman poliploidi yang merupakan hasil mutasi dapat menghasilkan buah tanpa biji serta dapat dipanen dalam waktu singkat.

Apakah yang dimaksud dengan mutasi? Apakah yang menyebabkan terjadinya mutasi pada makhluk hidup? Apa pula dampak mutasi bagi manusia?

A. Macam-Macam Mutasi
B. Penyebab Mutasi
C. Dampak Mutasi

Soal *Pramateri*

1. Apakah yang dimaksud dengan mutasi?
2. Sebutkan beberapa jenis kelainan pada manusia akibat mutasi.

Kata Kunci

- Mutagen
- Mutagenesis
- Mutan
- Mutasi

A Macam-Macam Mutasi

DNA merupakan salah satu unsur terpenting dalam proses pewarisan sifat. Adanya perubahan-perubahan pada tatanan pasangan basa DNA dapat menyebabkan adanya perubahan fenotipe pada organisme. Apabila perubahan ini tidak menjadi perubahan yang tampak pada individu tersebut, perubahan tatanan potensi untuk terekspresikan pada generasi selanjutnya. Hal ini akan menjadi salah satu sumber variasi gen yang mendorong lahirnya keanekaragaman hayati.

Mutasi merupakan perubahan jumlah materi genetik sebuah sel. Mutasi berhubungan dengan perubahan perangkat atau susunan hereditas pada makhluk hidup. Kamu telah mengetahui bahwa perangkat hereditas dimulai dari pasangan nukleotida pembentuk gen hingga DNA yang terkondensasi (kromosom).

Peristiwa terjadinya mutasi disebut **mutagenesis**. Organisme yang mengalami mutasi sehingga menghasilkan fenotipe baru disebut **mutan**. Adapun faktor yang menyebabkan mutasi disebut dengan **mutagen**.

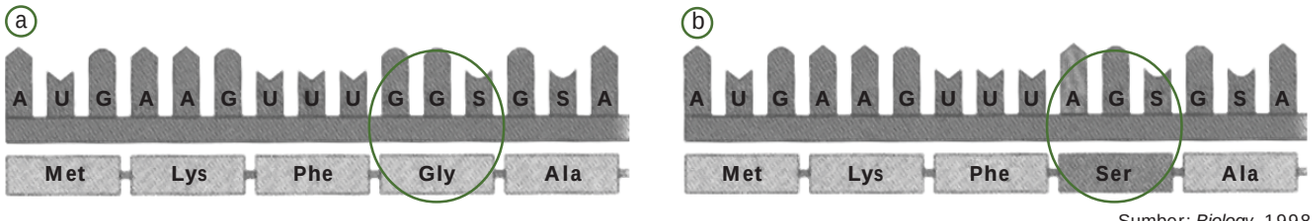
Berdasarkan faktor keturunan (gen) dan kromosom, mutasi dibedakan menjadi dua macam. Jika mutasi terjadi pada susunan basa nitrogen maka mutasi yang terjadi disebut dengan **mutasi gen** atau **mutasi titik**. Adapun mutasi yang terjadi pada susunan atau bentuk kromosom dinamakan dengan **mutasi kromosom** atau **aberasi kromosom**.

1. Mutasi Gen

Mutasi gen disebut juga mutasi titik. Mutasi ini terjadi karena perubahan urutan basa pada DNA atau dapat dikatakan sebagai perubahan nukleotida pada DNA. Sebuah protein yang disintesis tubuh berasal dari pembacaan tiga pasangan basa (triplet). Masing-masing triplet merupakan kodon yang dibawa dari bagian sense rantai DNA. Triplet merupakan suatu bacaan yang dimengerti oleh tubuh sehingga dihasilkan asam amino. Mutasi gen dapat dibedakan menjadi dua, yaitu **penggantian pasangan basa**, **insersi**, dan **delesi pasangan basa** (Campbell, 1998: 318).

a. Penggantian Pasangan Basa

Penggantian pasangan basa merupakan penggantian satu nukleotida dengan nukleotida yang lainnya. Penggantian basa ini dapat memunculkan organisme mutan. Pada umumnya, mutasi membahayakan organisme yang mengalaminya.



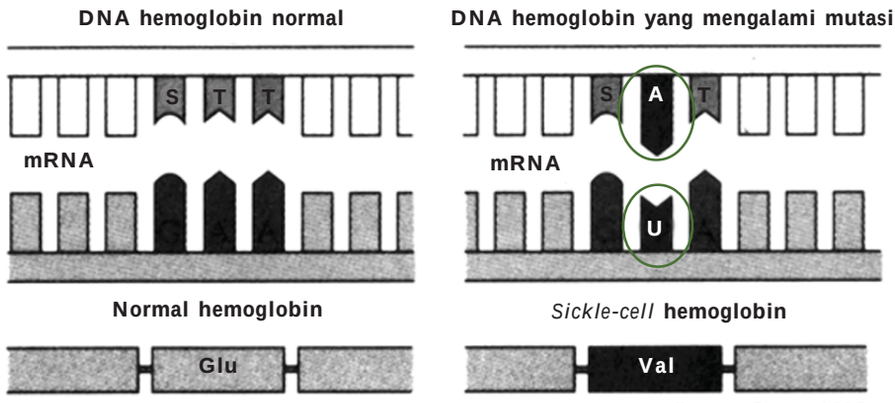
Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 6.1
(a) Urutan asam amino normal mengalami perubahan setelah terjadi (b) penggantian pasangan basa G oleh basa A.
Apa yang terjadi pada asam amino yang terbentuk?

Pada **Gambar 6.1**, satu basa A (basa purin) menggantikan basa G (basa purin) pada kodon keempat dari mRNA. Penggantian basa ini dapat memberikan pengaruh kepada organisme ataupun tidak sama sekali. Hal ini, bergantung bagaimana penggantian basa tersebut ditranslasikan. Sebagai contoh, jika mutasi menyebabkan kodon pada mRNA berubah dari urutan

basa GAA menjadi GAG. Penggantian urutan basa tersebut, tidak menimbulkan perubahan pada protein karena urutan basa GAA dan GAG merupakan kode yang sama bagi asam amino glutamat.

Pada contoh lainnya, penggantian pasangan basa dapat menimbulkan perubahan pada protein sehingga protein tersebut tidak berfungsi. Hal ini terlihat pada **Gambar 6.2**. Penggantian basa A oleh basa U, dapat menyebabkan kode triplet untuk basa amino baru, yaitu valin. Contoh tersebut merupakan penyebab dari penyakit *sickle-cell anemia*.



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 6.2

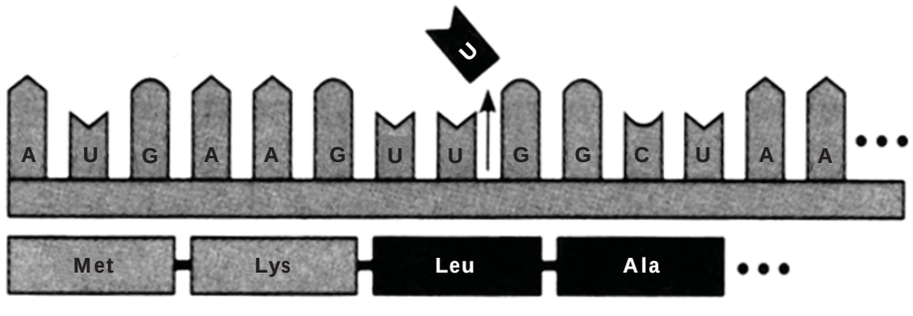
Penggantian basa A oleh basa U menyebabkan protein tidak berfungsi.

b. Insersi dan Delesi Pasangan Basa

Insersi dan delesi merupakan penambahan (insersi) atau pengurangan (delesi) satu atau lebih pasangan basa pada gen. Pada umumnya, mutasi dapat menyebabkan efek yang merugikan pada organisme. Insersi atau delesi pasangan basa dapat menyebabkan pembacaan kode triplet menjadi berbeda pada proses translasi mRNA. Mutasi ini disebut pula **mutasi pergeseran kerangka** (*frameshift mutation*). Pada **Gambar 6.3**, delesi basa U pada urutan basa UUU menyebabkan pergeseran basa-basa yang lainnya sehingga kode untuk protein yang baru akan muncul (UUG). Adapun jika proses insersi atau delesi berlangsung dekat pada ujung gen, akan menghasilkan protein yang tidak berfungsi atau rusak.

Kata Kunci

- Delesi
- Insersi



Sumber: *Biology*, 1998

Gambar 6.3

Mutasi pergeseran kerangka menyebabkan pemunculan kode protein yang baru.

2. Mutasi Kromosom

Mutasi gen dapat memicu lahirnya mutasi kromosom. Setiap organisme memiliki set kromosom yang khas dan menentukan identitas spesies. Mutasi kromosom dapat terjadi secara fisik pada bentuk kromosom atau terjadi perubahan pada set kromosomnya. Perubahan set kromosom umumnya akan berpengaruh pada fenotipe individu.

Wawasan Biologi

Anda dapat menganalogikan urutan setiap gen sebagai sebuah pesan kalimat yang ditulis satu kata tiga huruf. Misalnya, "Ani dan Ina mau kue."

Jika terjadi perubahan huruf pada kata tersebut, pesan yang disampaikan tidak dapat dimengerti. Contohnya jika terjadi delesi huruf a pada kata Ina maka hasilnya, "Ani dan Inm auk ue."

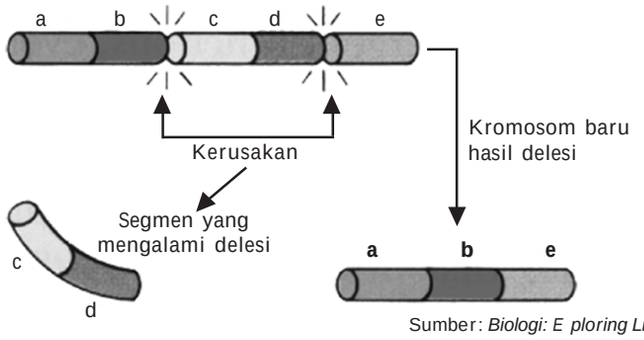
a. Perubahan Struktur Fisik

Perubahan struktur fisik kromosom dapat terjadi pada lokasi atau jumlah gen dalam kromosom. Perubahan yang terjadi pada jumlah gen dalam kromosom dikelompokkan menjadi delesi dan duplikasi, sedangkan perubahan lokasi gen pada kromosom dapat terjadi melalui translokasi dan inversi (Brum, *et al*, 1994: 257).

1) Delesi Kromosom

Delesi merupakan peristiwa hilangnya satu segmen kromosom karena patah. Mutasi yang terjadi menyebabkan sebagian segmen dari kromosom hilang pada saat pembelahan sel. Dengan demikian, kromosom akan kehilangan beberapa gen yang mungkin akan tampak atau tidak, bergantung pada kepentingan gen dalam sel.

Contoh delesi pada manusia adalah sindrom *cri-du-chat*. Sindrom ini terjadi karena pada kromosom nomor 5 terjadi delesi. Penderita sindrom ini meninggal pada waktu lahir atau pada masa kanak-kanak. Untuk lebih memahami proses delesi, perhatikan **Gambar 6.4** berikut.



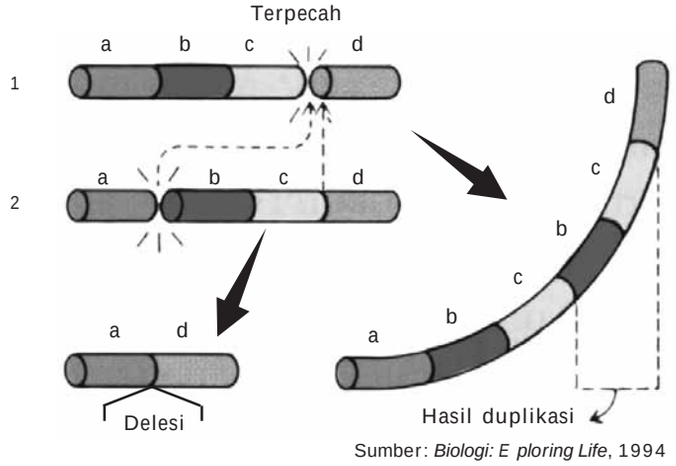
Sumber: *Biologi: E ploring Life*, 1994

Gambar 6.4
Proses delesi terjadi pada segmen c-d menyebabkan susunan berubah dari a-b-c-d-e menjadi a-b-e.

Delesi dapat terbagi menjadi dua, yaitu **delesi terminal** dan **delesi interkalar**. Delesi terminal merupakan delesi atau patahnya kromosom di satu tempat dekat ujung kromosom. Adapun delesi interkalar terjadi jika kromosom patah di dua tempat.

2) Duplikasi Kromosom

Duplikasi terjadi ketika terdapat bagian kromosom yang diulangi dan identik pada bagian lain segmen tersebut (**Gambar 6.5**). Duplikasi dapat terjadi akibat pindah silang. Suatu segmen kromosom berpindah ke bagian lain kromosom komologinya. Pada kejadian ini terjadi delesi pada kromosom yang kehilangan segmennya. Contohnya adalah duplikasi pada kromosom *Drosophila melanogaster* yang menyebabkan mutasi mata berbentuk batang (bar).

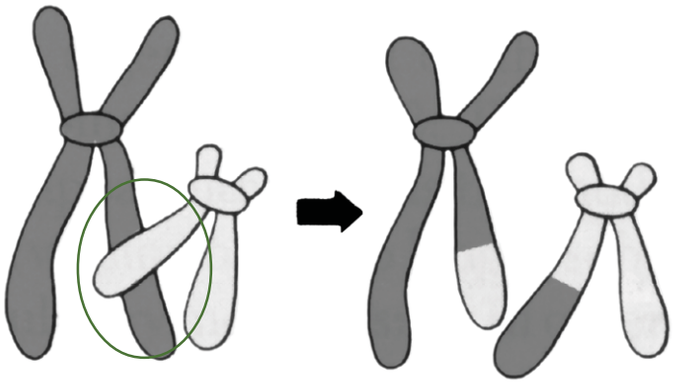


Sumber: *Biologi: E ploring Life*, 1994

Gambar 6.5
Duplikasi terjadi pada dua kromosom.

3) Translokasi Kromosom

Translokasi merupakan mutasi yang disebabkan oleh pemindahan fragmen kromosom dari satu kromosom ke kromosom yang lainnya. Keseimbangan gen masih tetap terjaga dalam arti tidak akan ada gen yang hilang atau bertambah. Namun, perubahan fenotipe dapat terjadi sesuai dengan kondisi lingkungan yang menyebabkan gen itu terekspresi (**Gambar 6.6**).



Sumber: *Biologi: E ploring Life*, 1994

Kata Kunci

- Inversi
- Katenasi
- Translokasi

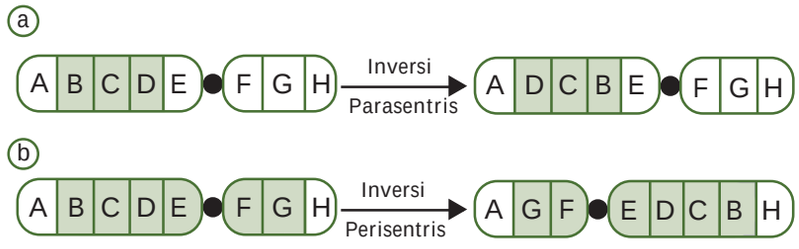
Gambar 6.6

Kromosom yang mengalami translokasi mengalami perpindahan fragmen.

4) Inversi Kromosom

Inversi merupakan perubahan arah dari segmen kromosom. Hal ini dapat terjadi apabila sebuah kromosom yang telah mengalami kerusakan, kemudian bergabung kembali ke tempat asalnya hanya dalam arah yang berlawanan. Hal ini dapat terjadi pada kromosom homolog.

Inversi terbagi menjadi dua, yakni **inversi parasentris** dan **inversi perisentris**. Inversi parasentris terjadi apabila sentromer terletak di sebelah luar lengan kromosom yang mengalami inversi. Adapun inversi perisentris merupakan inversi yang terjadi pada dua lengan kromosom yang berbeda (**Gambar 6.7**).



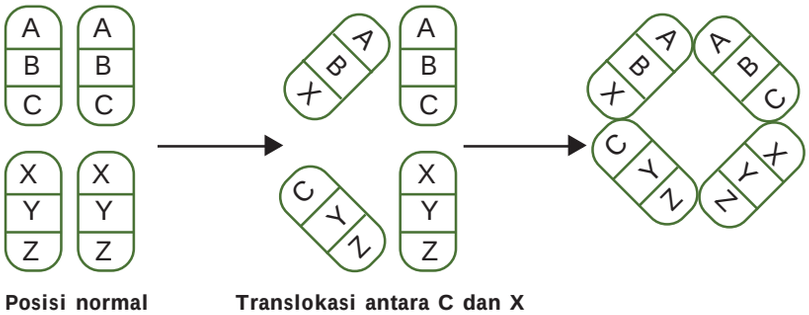
Gambar 6.7

Proses inversi dibedakan menjadi (a) parasentris dan (b) perisentris.

Apakah perbedaannya?

5) Katenasi Kromosom

Katenasi kromosom merupakan mutasi kromosom yang terjadi apabila suatu kromosom homolog yang ujung-ujungnya saling berdekatan sehingga membentuk lingkaran (**Gambar 6.8**).



Gambar 6.8

Proses katenasi pada kromosom.

b. Perubahan Set Kromosom

Perubahan set kromosom dapat terjadi pada jumlah set keseluruhan gen (genom) yang disebut **euploidi**. Perubahan set kromosom juga dapat terjadi pada jumlah kromosom dalam satu perangkat yang disebut **aneuploidi**.

1) Euploidi

Euploidi merupakan perubahan yang meliputi genom (seluruh set kromosom). Menurut jumlah perangkat kromosomnya, euploidi dibedakan menjadi monoploid (n), diploid (2n), triploid (3n), dan seterusnya. Individu yang memiliki set kromosomnya lebih dari 2n disebut individu poliploidi.

Menurut prosesnya, poliploidi ada yang terjadi secara **autopoliploidi** dan **allopoliploidi**. Autopoliploidi terjadi karena perubahan set kromosom yang terjadi oleh gangguan pada saat meiosis. Adapun allopoliploidi perubahan set kromosom yang terjadi karena persilangan antarspesies yang berbeda set kromosomnya.

2) Aneuploidi

Perubahan pada jumlah kromosom di dalam satu set kromosom atau satu genom kromosom disebut aneusomi atau aneuploidi. Aneuploidi dapat terjadi karena beberapa hal, di antaranya gagal berpisah (*nondisjunction*) dan *anafase lag*. *Nondisjunction* merupakan peristiwa gagal berpisah pada saat gametogenesis. Adapun *anafase lag* merupakan peristiwa tidak melekatnya salah satu kromatid pada benang gelendong pada tahap anafase.

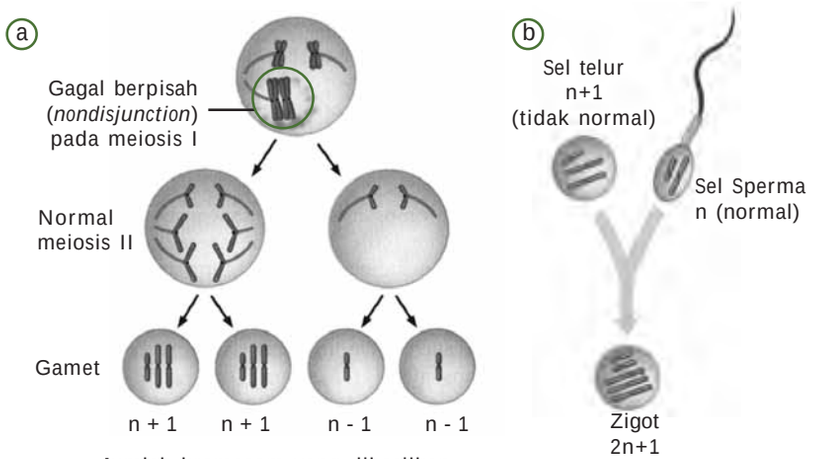
Untuk lebih jelas mengenai macam individu aneuploidi, perhatikan **Tabel 6.1** dan **Gambar 6.9** berikut.

Kata Kunci

- Aneuploidi
- Euploidi

Tabel 6.1 Macam Individu Aneuploidi

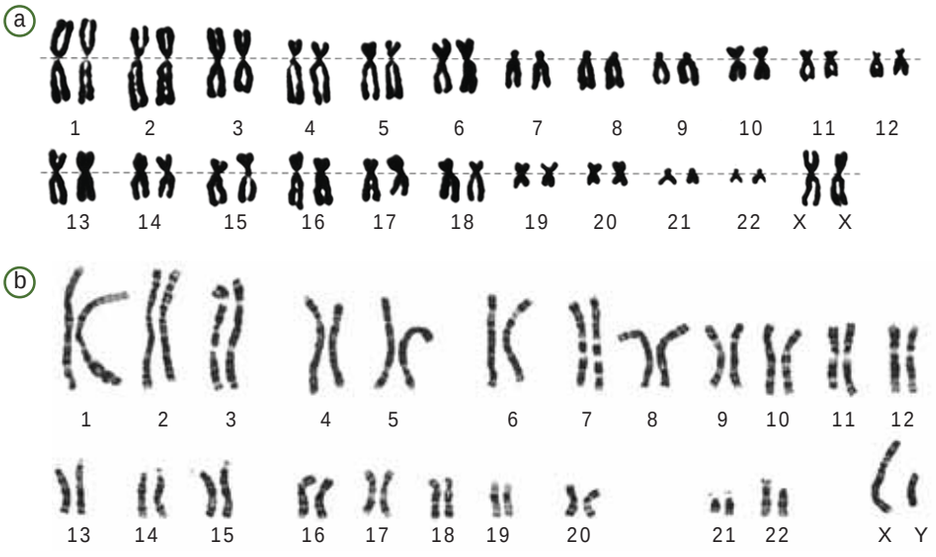
Tipe Aneuploidi	Formula Kromosom	Penulisan Genotipe Didasarkan Atas Set Kromosom Haploid ABC
Disomi/diploid (normal)	2n	AABBCC
Monosomi	2n – 1	ABBCC
Trisomi	2n + 1	AAABBCC
Tetrasomi	2n + 2	AAAABBCC
Pentasomi dan seterusnya	2n + 3	AAAAABBCC



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 6.9
Fertilisasi antara sperma normal dan sel telur yang (a) mengalami gagal berpisah, akan dihasilkan (b) zigot yang trisomi.

Jumlah kromosom normal pada manusia adalah 2n = 46. Terdiri atas 22 pasang sel tubuh / autosom (22AA atau 44A) dan 2 kromosom seks / gonosom (XX atau XY) (**Gambar 6.10**). Jika terjadi gagal berpisah saat gametogenesis (pembentukan gamet) akan menyebabkan beberapa kelainan. Pada manusia jika terjadi aneuploidi dapat mengakibatkan beberap kelainan.



Sumber: *Biology: Discovering Life* 1991 *Biology: The nity and Diversity of Life* 1995

Kata Kunci

- Sindrom Klinefelter
- Sindrom Turner

Gambar 6.10

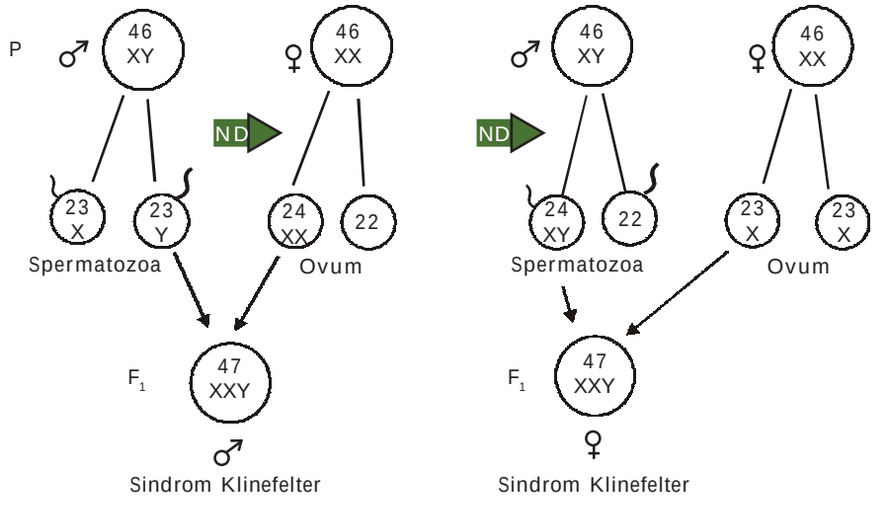
Struktur dan jumlah kromosom normal pada wanita (22AA + XX) dan (b) pria (22AA + XY).

Apa perbedaan kromosom pria dan wanita?

Ada enam jenis kelainan akibat aneuploidi yang terjadi pada manusia. Berikut ini adalah uraian lengkapnya.

a) Sindrom Klinefelter *(47 XXY atau 44A + XXY)*

Sindrom ini terjadi karena jumlah kromosom kelaminnya bertambah menjadi 47 yang terdiri atas 44 autosom dan 3 gonosom (XXY). Sindrom ini ditemukan oleh **H.F. Klinefelter** pada tahun 1942. Sindrom klinefelter disebabkan *nondisjunction* (ND) selama pembentukan gamet. Sindrom ini memiliki ciri, yaitu testis tidak berkembang bahkan mengecil, mandul (steril), pinggul melebar, dan payudara membesar (**Gambar 6.11**).



Gambar 6.11

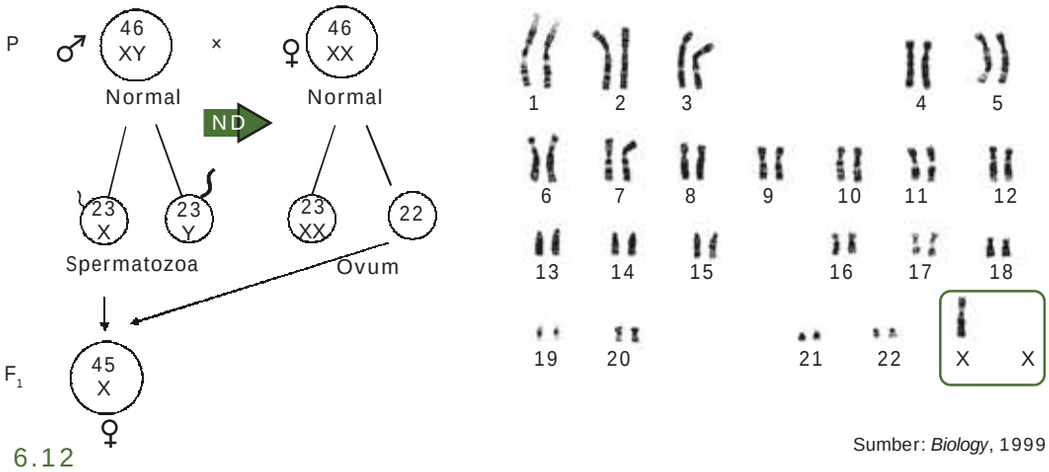
Diagram perkawinan yang menunjukkan terjadinya sindrom Klinefelter.

Apa perbedaannya dengan orang normal?

b) Sindrom Turner (45 XO atau 44A + X)

Penderita Sindrom ini memiliki jumlah kromosom 45 yang terdiri atas 44 autosom dan 1 kromosom X sehingga kariotipenya menjadi 45 XO atau 44A+X. Sindrom ini ditemukan oleh **H.H. Turner** pada tahun 1938. Penderita

sindrom ini berkelamin wanita, tetapi tidak memiliki ovarium, alat kelamin bagian dalamnya tidak berkembang dan steril, serta mengalami keterbelakangan mental (**Gambar 6.12**).

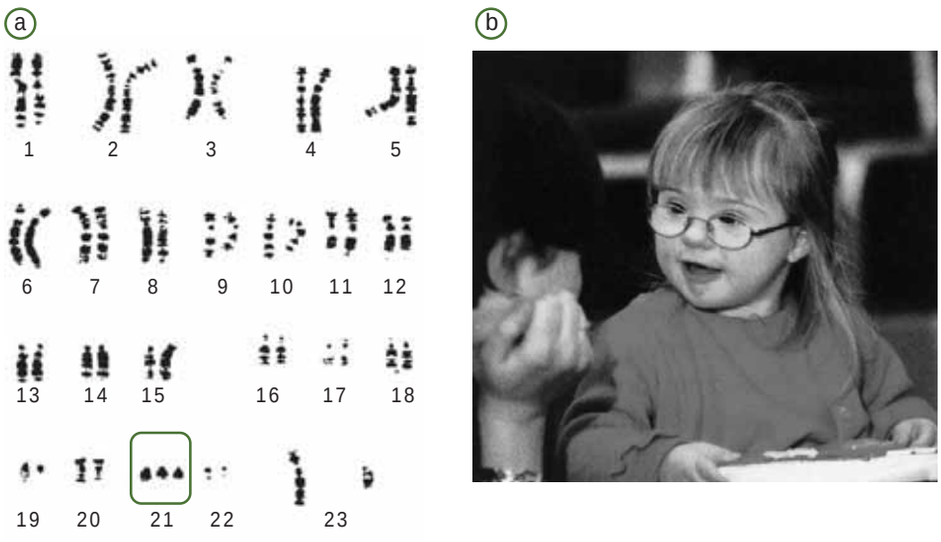


Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 6.12
Sindrom Turner terjadi karena kekurangan kromosom X. (a) Diagram perkawinan yang menghasilkan sindrom Tuner dan (b) kariotipe wanita sindrom Tuner.

c) Sindrom Down (45A+XY atau 45A+XX)

Sindrom Down merupakan kelainan yang terjadi karena autosomnya kelebihan satu kromosom, tepatnya pada kromosom nomor 21. Jika terjadi pada laki-laki, akan mempunyai susunan kromosomnya 45A+XY, sedangkan pada wanita memiliki susunan kromosomnya 45A+XX. Sindrom ini ditemukan oleh **J. Langdon Down** pada tahun 1866. Penderita sindrom Down mempunyai ciri mulut sering terbuka, wajah lebar bulat, IQ rendah (±80), badan pendek, gerak lamban, dan rata-rata berumur pendek (**Gambar 6.13**).



Sumber: *Biology*, 1999; *Biology Concepts & Connections*, 2006

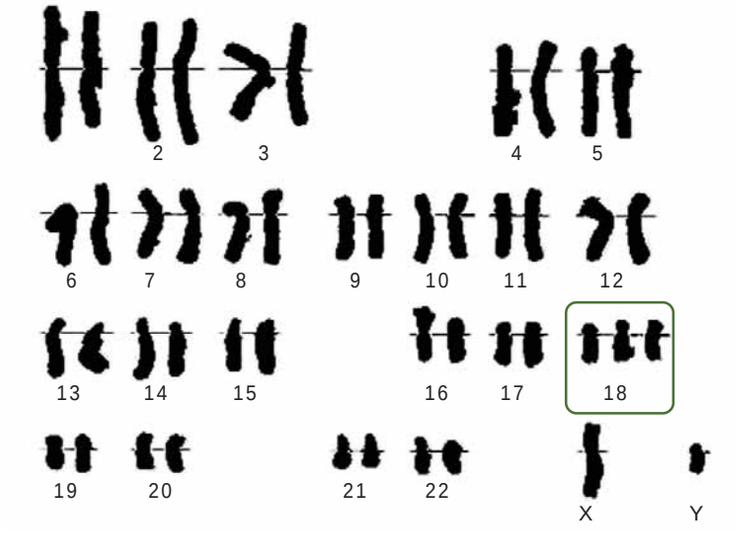
Gambar 6.13
Sindrom Down merupakan kelainan yang terjadi pada kromosom nomor 21. (a) Pada kromosom nomor 21 terjadi kelebihan satu kromosom. (b) Penampakan fisik seorang penderita sindrom Down dapat terlihat jelas dari raut wajahnya.

Kata Kunci

- Sindrom Down
- Sindrom Edwards

d) Sindrom Edwards

Sindrom Edwards merupakan kelainan yang terjadi karena *nondisjunction* pada autosom nomor 18. Sindrom ini ditemukan pada tahun 1960 oleh **I.H. Edwards**. Penderita sindrom ini memiliki ciri tengkorak lebih lonjong, memiliki mulut yang kecil, serta telinga dan rahang bawahnya lebih rendah (**Gambar 6.14**).

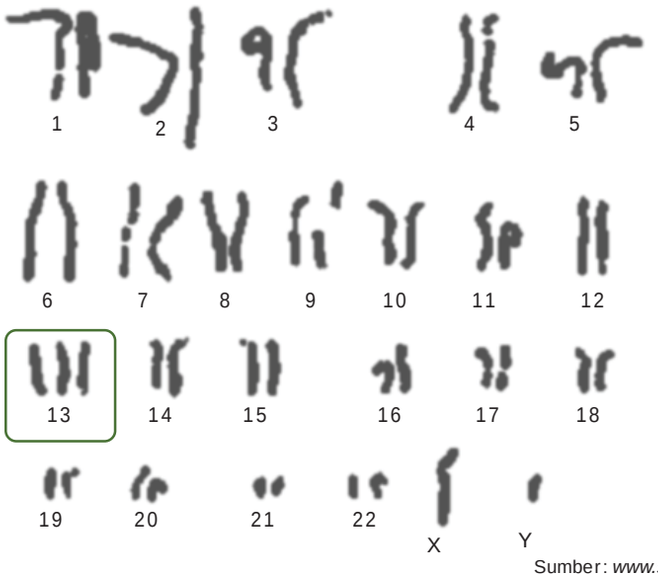


Sumber: *www.medgen.genetics.com*

Gambar 6.14
Kariotipe pada penderita sindrom Edwards.

e) Sindrom Patau

Sindrom ini terjadi akibat trisomi pada autosom (**Gambar 6.15**). Trisomi terjadi pada kromosom nomor 13. Sindrom ini ditemukan oleh **K. Patau** pada tahun 1960. Penderita sindrom ini memiliki ciri kepala kecil, mata kecil, tuli, polidaktili, dan pertumbuhan mentalnya terbelakang.



Sumber: *www.softireland.com*

Gambar 6.15
Kariotipe dari penderita sindrom Patau.

f) Sindrom Jacobs (47, XYY atau 44A+XYY)

Penderita sindrom ini mempunyai 44 autosom dan 3 kromosom kelamin XYY. Sindrom ini ditemukan oleh **P.A. Jacobs** pada tahun 1965. Sindrom ini diderita oleh laki-laki bertubuh normal, bersifat antisosial, agresif, dan kasar, serta berwatak kriminal.

Kata Kunci

- Sindrom Jacobs
- Sindrom Patau

Soal Penguasaan *Materi* 6.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan macam-macam mutasi yang terjadi pada manusia.
2. Pada mutasi kromosom, terjadi perubahan struktur fisiknya. Sebutkan jenis-jenis dari perubahan struktur fisiknya tersebut.

B Penyebab Mutasi

Mutasi dapat terjadi karena beberapa hal. Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan terjadinya mutasi disebut **mutagen**. Mutagen dibedakan menjadi dua macam, yakni **mutagen alami** dan **mutagen buatan**.

1. Mutasi Alami

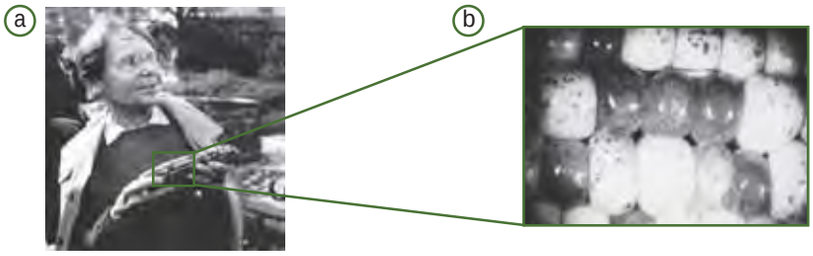
Mutasi dapat terjadi secara alami sebagai hasil dari kesalahan yang jarang terjadi pada replikasi DNA saat pembelahan sel. Replikasi tidak selalu 100% akurat dalam mengopi jutaan unit basa dalam satu molekul DNA.

Mutasi alami sangat jarang terjadi. Mutasi alami dapat disebabkan oleh beberapa hal di antaranya sinar radioaktif, sinar kosmis, sinar ultraviolet, dan kesalahan ketika replikasi DNA.

Kata Kunci

- Mutasi alami
- Mutasi buatan

Sinar radioaktif misalnya yang dipancarkan oleh uranium yang masuk ke tubuh, dapat menyebabkan gen rusak sehingga mengakibatkan mutasi. Sinar kosmis merupakan sinar yang memiliki daya tembus tinggi untuk menembus sel. Oleh karena daya tembusnya ini, sinar kosmis mampu mengakibatkan mutasi secara genetis. Sinar ultraviolet mampu mengakibatkan mutasi karena memiliki energi cukup besar untuk memengaruhi komposisi gen. Adapun kesalahan ketika replikasi DNA dapat mengakibatkan mutasi, seperti pada jagung yang diteliti oleh **Barbara McClintock**. Jagung yang diteliti, warna bijinya berubah sehingga dalam satu bonggol jagung terdapat warna biji yang berbeda (**Gambar 6.16**).



Sumber: *Biology: Discovering Life* 1991; *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 6.16

(a) Barbara McClintock merupakan seorang ilmuwan yang meneliti (b) berubahnya warna biji pada jagung.

2. Mutasi Buatan

Mutagen buatan merupakan penyebab terjadinya mutasi buatan. Mutagen buatan terdiri atas **mutagen kimia** dan **mutagen fisika**.

a. Mutagen Kimia

Mutagen kimia terdiri atas bahan-bahan kimia. Bahan kimia tersebut contohnya DDT, pestisida, dan fumigant. Bahan-bahan tersebut sering digunakan dalam bidang pertanian. Contoh bahan kimia lainnya yang menjadi bahan mutagen buatan adalah formaldehida dan gliserol. Bahan tersebut merupakan mutagen bagi jamur, bakteri, dan serangga.

Mutasi buatan dari mutagen kimia yang dilakukan pada tumbuhan dapat menghasilkan keturunan poliploid. Misalnya, didapatkan buah yang tidak berbiji dan besar, seperti semangka tanpa biji, jambu tanpa biji, dan lain sebagainya. Hal ini dapat terjadi karena adanya mutagen kimia kolkisin (**Gambar 6.17**).

Sumber: *lionseeds.com*

Gambar 6.17

Semangka tanpa biji dapat diperoleh melalui pemberian kolkisin yang dapat menyebabkan kromosom gagal berpisah.

b. Mutagen Fisika

Mutasi buatan secara fisika dapat terjadi oleh beberapa macam mutagen, yakni sinar X, sinar α, sinar β, sinar γ. Keempat jenis sinar tersebut mampu mengakibatkan mutasi. Kebanyakan mutagen fisika digunakan untuk keuntungan manusia dalam berbagai bidang.

Contohnya dalam bidang kesehatan, penggunaan sinar X atau *rontgen* digunakan untuk menghambat pembelahan sel-sel tumor. Selain itu sinar X juga mampu menimbulkan ionisasi atom-atom yang terkandung dalam DNA sehingga mampu mengakibatkan mutasi gen dan mutasi kromosom.

Berdasarkan manfaatnya baik bagi individu atau populasi, mutasi ada yang merugikan dan ada pula yang menguntungkan. Penjelasan berikutnya dapat Anda simak pada subbab berikutnya.

Tugas Ilmiah 6.1

Seperti telah diketahui bahwa penyebab mutasi cukup beragam. Walaupun jarang terjadi, mutasi alami dapat ditemukan dalam beberapa organisme. Buatlah karya tulis dengan tema mutasi alami pada salah satu jenis organisme yang Anda telah tentukan. Untuk menunjang tugas Anda tersebut, carilah berbagai informasi dari berbagai buku ataupun artikel dari majalah, koran, serta internet. Presentasikan karya tulis Anda di depan kelas. Karya tulis terbaik akan ditampilkan di majalah dinding sekolah.

Soal Penguasaan *Materi* 6.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan macam-macam penyebab mutasi.
2. Sebutkan tiga contoh mutagen kimia.

C Dampak Mutasi

1. Mutasi yang Menguntungkan

Mutasi memberikan dampak yang menguntungkan, artinya hasil dari mutasi mampu menghasilkan keturunan yang khas dan semakin adaptif pada suatu individu atau populasi. Mutasi dapat menghasilkan organisme unggul, contohnya tanaman poliploidi yang dapat menghasilkan buah besar tanpa biji, masa panen yang relatif singkat, serta produktivitasnya tinggi. Contoh lain dari mutasi yang menguntungkan adalah pemanfaatan sinar X yang mampu menghambat perkembangan sel-sel kanker.

Wawasan Biologi

Badan Tenaga Nuklir Nasional melepas varietas unggul padi MIRA I yang merupakan varietas ke-14 yang dihasilkan Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN. Asal usul galur mutan tersebut adalah hasil seleksi dan iradiasi benih varietas Cisantana dengan sinar gamma ^{60}Co dengan dosis 0,20 KGy. Galur mutan tersebut telah dilepas oleh Menteri Pertanian dengan varietas MIRA-1 pada tanggal 6 Maret 2006 dengan SK No. 134/kpts/SR.120/3/2006. MIRA-1 mempunyai sifat produksi tinggi, tahan biotipe 3 serta tahan terhadap penyakit hama daun strain III dan agak tahan strain IV, berumur genjah dengan tekstur nasi pulen serta mutu dan kualitas beras bagus.

Sumber: *www .batan.go.id*

2. Mutasi yang Merugikan

Selain memberikan dampak yang menguntungkan, mutasi juga dapat memberikan dampak yang merugikan. Mutasi yang merugikan merupakan mutasi yang mengakibatkan suatu individu atau populasi tidak adaptif bahkan letal. Mutasi yang merugikan umumnya terjadi akibat mutasi alam atau mutasi spontan. Pada manusia, mutasi yang merugikan ini ada yang diteruskan kepada keturunannya (diwariskan) dan tidak diteruskan kepada keturunannya (tidak diwariskan).

Mutasi yang diwariskan terjadi karena pada sel-sel kelamin (gonosom) mengalami mutasi. Contohnya adalah orang yang mengalami sindrom Turner dan sindrom Klinefelter. Mutasi yang tidak diwariskan dapat terjadi karena pada sel-sel tubuh (autosom) mengalami mutasi. Contoh dari mutasi yang tidak diwariskan adalah sindrom Down, sindrom Edwards, sindrom Patau, dan kanker.

Soal Penguasaan *Materi* 6.3

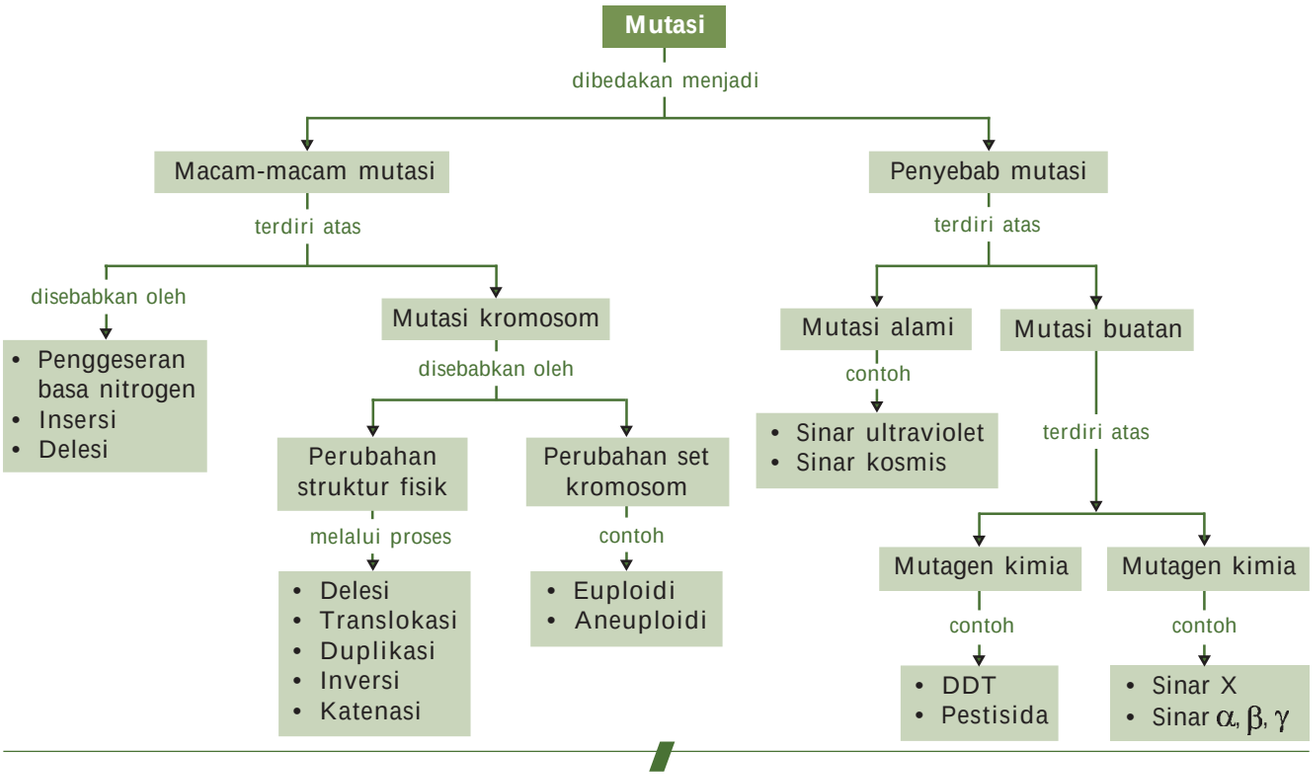
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan dampak dari terjadinya mutasi.
2. Jelaskan manfaat pengetahuan mutasi bagi manusia.

Rangkuman

1. Mutasi merupakan peristiwa perubahan jumlah materi genetik sebuah sel. Mutasi terdiri atas mutasi gen dan mutasi kromosom. Kedua jenis mutasi tersebut disebabkan oleh faktor yang berbeda.
2. Mutasi gen dapat terjadi melalui penggantian pasangan basa, insersi, dan delesi pasangan basa.
3. Mutasi kromosom dapat terjadi akibat perubahan struktur fisik kromosom dan perubahan set kromosom. Perubahan struktur fisik kromosom dapat terjadi dengan cara delesi kromosom, inversi kromosom, katenasi kromosom, duplikasi kromosom, dan translokasi kromosom. Adapun perubahan set kromosom dapat terjadi dengan cara euploidi dan aneuploidi.
4. Euploidi mengakibatkan perubahan seluruh set kromosom sehingga individu dapat memiliki satu set kromosom (monoploid = n), dua set kromosom (diploid = 2n), tiga set kromosom (triploid = 3n) dan seterusnya hingga banyak set (poliploid).
5. Aneuploidi berupa perubahan jumlah kromosom dalam satu set kromosom. Dapat berupa pengurangan dan penambahan jumlah kromosom. Pada manusia, aneuploidi mengakibatkan kelainan yang dikenal dengan sindrom Klinefelter (44A + XXY), sindrom Turner (44A + X), sindrom Down (45A + XY atau 45A + XX), sindrom Edwards, sindrom Patau, dan sindrom Jacobs (44A + XYY).
6. Penyebab mutasi ada yang disengaja atau buatan, dan ada pula yang alami. Mutasi alami tidak dipengaruhi oleh campur tangan manusia, tetapi lebih disebabkan oleh faktor luar, seperti sinar ultraviolet dan sinar kosmis.
7. Peristiwa mutasi buatan penyebabnya terdiri atas kimia dan fisika. dari hal tersebut, penyebabnya disebut juga mutagen kimia dan mutagen fisika.

Peta Konsep



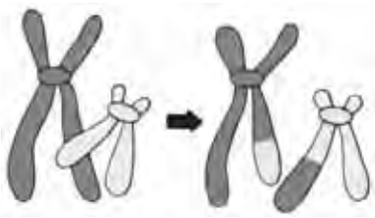
Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Mutasi, Anda diharapkan dapat menjelaskan bagaimana suatu mutasi dapat terjadi, jenis-jenis mutasi, serta dampak dan manfaat mutasi bagi kehidupan. Sebagai pendukung evaluasi belajar Anda, rumuskan materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda. Apakah manfaat mempelajari mutasi bagi Anda?

Evaluasi Materi Bab 6

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

1. Mutagenesis adalah ....
   a. mutasi yang terjadi pada bentuk kromosom
   b. peristiwa terjadinya mutasi
   c. perubahan pada basa nitrogen
   d. faktor yang menyebabkan mutasi
   e. mutasi yang terjadi pada fenotipe
2. Salah satu keuntungan mutasi yang dilakukan pada tumbuhan adalah dihasilkannya semangka tanpa biji. Jika dilihat dari kelestarian tumbuhan tersebut dapat merugikan, karena ....
   a. tidak dapat melakukan pembelahan sel
   b. tidak ada kromosom yang terbentuk
   c. gagalnya proses *nondisjunction*
   d. tidak dapat meneruskan keturunannya sebab tidak ada sel-sel generatif
   e. tidak adanya sel-sel vegetatif
3. Berikut yang *bukan* merupakan faktor-faktor penyebab terjadinya mutasi kromosom adalah ...
   a. depurinasi
   b. delesi
   c. duplikasi
   d. translokasi
   e. inversi
4. Semangka tanpa biji merupakan hasil mutasi. Hasil mutasi ini menghasilkan keturunan ....
   a. tetrapoliploidi
   b. autopoliploidi
   c. diploidi
   d. triploidi
   e. poliploidi
5. Perhatikan gambar berikut.

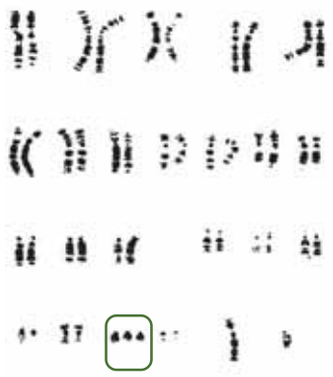


Sumber: *Biologi E ploring Life*, 1994

   Gambar tersebut menunjukkan ....
   a. inversi
   b. translokasi
   c. duplikasi
   d. transformasi
   e. delesi
6. Mutasi gen dapat disebabkan oleh beberapa hal berikut, yaitu ....
   a. depurinasi, translokasi, inversi
   b. dimer timin, depurinasi, inversi
   c. deaminasi, depurinasi, inversi
   d. translokasi, delesi, duplikasi
   e. depurinasi, deaminasi, dimer timin
7. Seseorang yang berkariotipe 47 XXY atau 44A+XXY mengalami ....
   a. sindrom Jacobs
   b. sindrom Patau
   c. sindrom Turner
   d. sindrom Klinefelter
   e. sindrom Edwards
8. Berikut merupakan mutagen fisika, yaitu ....
   a. DDT, sinar , sinar
   b. fumigant, DDT, gliserol
   c. gliserol, formaldehida, pestisida
   d. fumigant, formaldehida, sinar
   e. sinar , sinar, sinar
9. Sindrom Down terjadi karena kelebihan satu kromosom, tepatnya pada kromosom nomor ....
   a. 13
   b. 14
   c. 15
   d. 21
   e. 22
10. Mutasi yang diturunkan disebabkan oleh ....
    a. mutasi yang mengenai sel-sel kelamin (gonosom)
    b. mutasi yang hanya mengenai sel-sel tubuh (autosom)
    c. kesalahan pada saat meiosis
    d. kesalahan replikasi DNA
    e. mutagen alami
11. Seseorang yang jumlah kromosomnya dirumuskan 2n–1, mengalami mutasi ....
    a. disomi
    b. trisomi
    c. pentasomi
    d. monosomi
    e. tetrasomi
12. Sinar *rontgen* atau sinar X pada sel dapat menimbulkan ....
    a. ionisasi pada RNA
    b. ionisasi pada gen
    c. ionisasi pada DNA
    d. ionisasi pada badan sel
    e. ionisasi pada kromosom
13. Orang yang memiliki ciri diderita oleh wanita, alat kelamin bagian dalam tidak berkembang, steril, dan keterbelakangan mental adalah ciri penderita sindrom ....
    a. sindrom Turner
    b. sindrom Jacobs
    c. sindrom Down
    d. sindrom Klinefelter
    e. sindrom Patau
14. Sindrom *cri-du-chat* adalah contoh mutasi kromosom pada peristiwa ....
    a. duplikasi
    b. euploidi
    c. inversi
    d. translokasi
    e. delesi
15. Berikut ini yang *bukan* merupakan dampak dari mutasi yang merugikan adalah ....
    a. dihasilkan keturunan yang steril
    b. hasil mutasi akan diturunkan kepada keturunannya
    c. dihasilkan keturunan yang cacat
    d. menghasilkan organisme unggul
    e. dihasilkan organisme yang tidak memiliki alat generatifnya.

16. Kromosom dapat mengalami kerusakan seperti berikut, *kecuali* ....
    a. inversi
    b. delesi
    c. inversi
    d. translokasi
    e. suksesi

17. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biology*, 1999

Susunan kromosom penderita pada gambar tersebut adalah ....
    a. 45A + XY atau 45A + XX
    b. 44A + X atau 44A + Y
    c. 44A + XYY atau 44A + XXY
    d. 44A + XXY
    e. 43A + XXY atau 42A + XYY

18. Berikut merupakan salah satu mutagen buatan adalah ....
    a. mutagen biologi
    b. mutagen toksik
    c. mutagen variasi
    d. mutagen inversi
    e. mutagen fisika

19. Perubahan yang terjadi pada jumlah set keseluruhan gen atau genom disebut ....
    a. translokasi
    b. aneuploidi
    c. euploidi
    d. katenasi
    e. delesi

20. J. Langdon Down adalah orang yang menemukan sindrom ....
    a. sindrom Turner
    b. sindrom Klinefelter
    c. sindrom Patau
    d. sindrom Edwards
    e. sindrom Down

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

1. Jelaskan apakah yang dimaksud dengan mutagenesis, mutan, dan mutagen.
2. Apakah yang dimaksud dengan euploidi dan aneuploidi?
3. Jelaskan perbedaan antara mutasi gen dan mutasi kromosom.
4. Sebutkan dampak dari mutasi baik yang menguntungkan maupun yang merugikan.
5. Sebutkan contoh mutagen kimia dan mutagen fisika.

Soal Tantangan

1. Mutasi dapat terjadi pada setiap jenis sel. Akan tetapi, hanya mutasi pada sel reproduksilah yang akan diturunkan kepada generasi selanjutnya. Andaikan pada perkembangan embrio kuda, terjadi mutasi pada sel di lapisan ektoderm yang mengakibatkan warna kuda tersebut berbeda. Normalkah genotipe kulit kuda tersebut? Apakah sifat tersebut dapat diturunkan? Jelaskan.
2. Beberapa waktu lalu, di Indonesia gencar ditayangkan film-film fiksi ilmiah mengenai makhluk-makhluk luar biasa dan super yang diakibatkan oleh mutasi, seperti Hulk, X-Men, dan Spiderman. Apakah hal tersebut mungkin terjadi? Jelaskan pendapat Anda.

Evaluasi Materi Semester 1

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

1. Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan adalah ....
   a. suhu
   b. cahaya
   c. hormon
   d. makanan
   e. pH
2. Hormon yang termasuk ke dalam jenis hormon penghambat pertumbuhan adalah ....
   a. auksin
   b. sitokinin
   c. etilen
   d. giberelin
   e. tiroksin
3. Hasil proses dekarboksilasi satu molekul asam piruvat pada proses respirasi aerob adalah ....
   a. asetil-KoA, ATP, dan CO_2
   b. asetil-KoA, NADH, dan CO_2
   c. asetil-KoA $NADPH_2$, dan CO_2
   d. asetil-KoA, ATP, dan NADH
   e. asetil-KoA, ATP, dan $NADPH_2$
4. Proses dalam repirasi aerob yang menghasilkan H_2O adalah ....
   a. glikolisis
   b. dekarboksilasi oksidatif
   c. siklus Krebs
   d. siklus asam sitrat
   e. transfer elektron
5. Kerja enzim dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut, *kecuali* ....
   a. karbohidrat
   b. suhu
   c. inhibitor
   d. pH
   e. kofaktor
6. Cara penghambatan enzim dengan membentuk penghambat yang mirip bentuk substrat merupakan tipe penghambatan ....
   a. alosterik
   b. umpan balik
   c. kompetitif
   d. nonkompetitif
   e. *induced fit*
7. Pada fermentasi oleh ragi dihasilkan zat-zat di bawah ini, *kecuali* ....
   a. air
   b. karbondioksida
   c. etanol
   d. energi
   e. panas
8. Dalam tahapan respirasi aerob, tahapan terbanyak yang menghasilkan ATP adalah ....
   a. glikolisis
   b. dekarboksilasi oksidatif
   c. siklus Krebs
   d. transpor elektron
   e. siklus asam karboksilat
9. Reaksi terang fotosintesis terjadi di ....
   a. membran tilakoid
   b. sitoplasma
   c. stroma
   d. ribosom
   e. ruang antarmembran
10. Cahaya yang efektif untuk berlangsungnya proses fotofosforilasi adalah ....
    a. merah dan hijau
    b. hijau dan biru
    c. hitam dan merah
    d. merah dan nila
    e. nila dan kuning
11. Berikut ini yang *bukan* ciri reaksi terang fotosintesis adalah ....
    a. penerimaan energi cahaya oleh klorofil
    b. cahaya efektif merah dan hijau
    c. fotolisis air
    d. pembentukan ATP dan NADPH
    e. terjadi perpindahan elektron
12. Pengikatan karbon dioksida dalam proses pembentukan karbohidrat pada tumbuhan dilakukan oleh senyawa ....
    a. RDP
    b. PGA
    c. PGAL
    d. APG
    e. DPGA
13. Berikut ini yang *bukan* merupakan ciri anabolisme dalam tubuh adalah ....
    a. menghasilkan panas
    b. memerlukan energi
    c. terbentuk senyawa kompleks
    d. terjadi di dalam sel
    e. kebalikan dari katabolisme
14. Berikut ini yang merupakan sifat gen adalah ....
    a. menempati sentromer dari kromosom
    b. berduplikasi pada tahap profase
    c. mempunyai berat molekul kecil
    d. berperanan dalam proses translasi sintesis protein
    e. membawa informasi genetik
15. Gula pentosa DNA berbeda dengan RNA, karena gula DNA ....
    a. deoksiribosa
    b. ribosa
    c. glukosa
    d. purin
    e. pirimidin
16. Pada rantai DNA membuka pilinannya dan masing-masing membentuk komplementernya merupakan teori replikasi DNA secara ....
    a. konservatif
    b. semikonservatif
    c. dispersif
    d. bireksional
    e. dua arah
17. Replikasi DNA berlangsung dalam organel ....
    a. ribosom
    b. badan golgi
    c. nukleus
    d. RE
    e. vakuola

18. Peristiwa transkripsi yang dilakukan oleh DNA sense memerlukan enzim ....
    a. DNA restriksi
    b. RNA restriksi
    c. DNA polimerase
    d. RNA polimerase
    e. DNA ligase
19. Organisme yang mengalami mutasi sehingga menghasilkan fenotipe baru disebut ....
    a. mutan
    b. alel
    c. mutagen
    d. aberasi
    e. mutagenesis
20. Pada mutasi gen disebabkan oleh salah satunya dimer timin. Dimer timin adalah ....
    a. hidrolisis spontan pada gugus adenin
    b. delesi pada gugus adenin
    c. ikatan kovalen yang terjadi di antara dua timin
    d. replikasi pada sitosin
    e. perubahan susunan salinan DNA asal
21. Pada mutasi kromosom dapat terjadi perubahan arah dari segmen kromosom, peristiwa ini disebut ....
    a. translokasi
    b. delesi
    c. transisi
    d. duplikasi
    e. inversi
22. *Anafase lag* adalah ....
    a. peristiwa bertambahnya kromosom
    b. peristiwa bertambahnya perangkat kromosom
    c. peristiwa tidak melekatnya salah satu kromatid pada benang gelendong di tahap anafase
    d. peristiwa gagal berpisah
    e. perubahan set kromosom pada tahap anafase
23. Jumlah kromosom normal manusia pada wanita adalah ....
    a. 22AA + X
    b. 21AA + XY
    c. 22A + XX
    d. 22A + XY
    e. 22AA + XX
24. Kelainan yang terjadi akibat autosomnya berlebih satu pada kromosom nomor 21 adalah ....
    a. sindrom Down
    b. sindrom Jacobs
    c. sindrom Klinefelter
    d. sindrom Patau
    e. sindrom Turner
25. Berikut ini yang *bukan* merupakan mutagen kimia adalah ....
    a. DDT
    b. fumigant
    c. gliserol
    d. pestisida
    e. sinar X

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

1. Jelaskan hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.
2. Jelaskan perbedaan antara respirasi aerob dan anaerob.
3. Peristiwa apa sajakah yang berlangsung dalam reaksi terang fotosintesis?
4. Apakah peranan pembelahan mitosis bagi makhluk hidup?
5. Apakah yang dimaksud dengan transkripsi dan translasi?
6. Sebutkan tahap-tahap pada meiosis.
7. Apakah yang dimaksud dengan sitokinesis?
8. Jelaskan apakah yang dimaksud dengan mutagenesis, mutan, dan mutagen.
9. Jelaskan perbedaan antara mitosis dan meiosis.
10. Apakah yang dimaksud dengan translokasi kromosom dan inversi kromosom?

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Bab 7
Evolusi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami teori evolusi serta implikasinya pada kehidupan dengan cara menjelaskan teori, prinsip, dan mekanisme evolusi biologi. Selian itu, Anda akan mampu mengomunikasikan hasil studi evolusi biologi serta mendeskripsikan kecenderungan baru tentang teori evolusi.

Berdasarkan hasil penghitungan menggunakan karbon aktif, serangga pada gambar di atas telah berusia kurang lebih 35 juta tahun. Ia mati terjebak di dalam getah yang dikeluarkan oleh tumbuhan pinus. Berkat lapisan resin yang menutupinya, serangga ini masih tetap berada dalam keadaan yang utuh sehingga membantu peneliti untuk mempelajari banyak hal di masa tersebut. Tidak hanya serangga ini yang telah mendiami bumi selama jutaan tahun, ada juga makhluk hidup lain yang telah berkembang dari bentuk sederhana sehingga akhirnya menjadi bentuk yang kompleks dan unik. Sungguh kekuasaan Maha Pencipta yang tiada bandingannya.

Satu hal yang perlu Anda ingat, perubahan ini berlangsung dalam waktu yang lama, jutaan tahun. Selama perjalanan waktu tersebut, banyak hal yang terjadi dalam rangkaian kejadian evolusi. Evolusi merupakan suatu teori ilmu sains, sama seperti teori relativitas. Anda akan mempelajari tentang teori evolusi, mekanisme dari evolusi, serta bukti-bukti evolusi.

A. Teori Evolusi
B. Mekanisme Evolusi
C. Asal-Usul Kehidupan

Soal *Prameteri*

1. Apakah yang dimaksud dengan evolusi?
2. Menurut pendapat Anda, apa sajakah yang dapat dijadikan sebagai bukti evolusi?
3. Apakah perbedaan antara teori abiogenesis dan biogenesis?

A Teori Evolusi

Teori evolusi, sejak kemunculannya merupakan suatu hal yang menggemparkan. Hingga kini, bukti-bukti mengenai evolusi terus dicari. **Charles Darwin** sebagai salah seorang tokoh teori evolusi dianggap sebagai bapak evolusi. Apa yang dimaksud dengan evolusi? Apa yang mendasari teori tersebut? Adakah bukti-bukti bahwa evolusi terjadi? Pelajarilah uraian berikut ini.

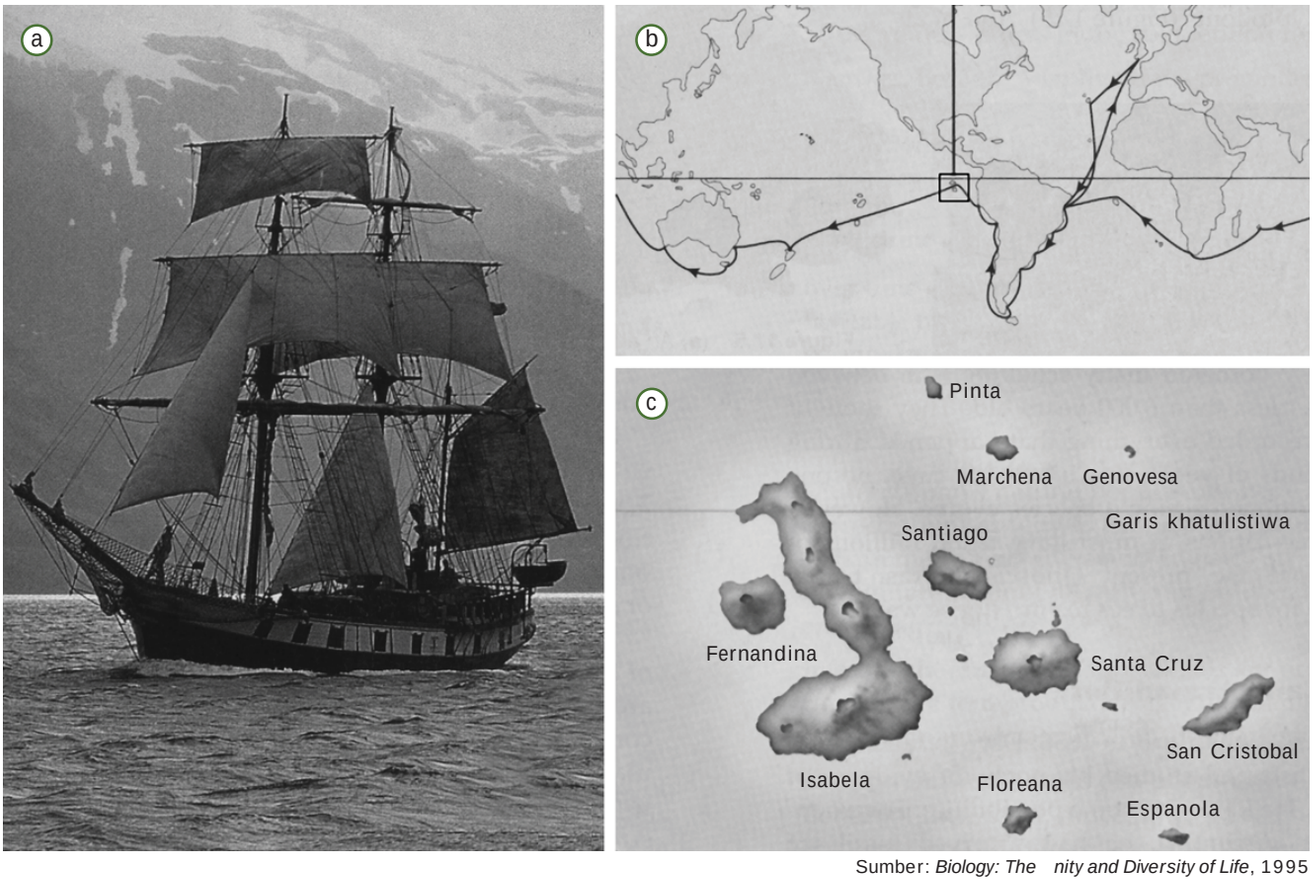
1. Sejarah Teori Evolusi

Gagasan mengenai teori evolusi, dimulai oleh seorang naturalis berkebangsaan Inggris bernama **Charles Darwin**. Pemikirannya mulai muncul setelah ia menerima tawaran dari Angkatan Laut Inggris untuk berkelana mengelilingi dunia menggunakan kapal layar HMS Beagle selama 5 tahun tanpa bayaran (**Gambar 7.1**).

Suatu saat di akhir tahun 1835, rombongan kapal ini mendarat di sebuah pulau di Amerika Selatan yang dikenal dengan nama Pulau Galapagos. Selama tiga minggu di pulau ini, Darwin telah banyak mengambil sampel tumbuhan, reptil, dan hewan-hewan lainnya. Hal yang paling mengesankan bagi Darwin adalah adanya burung-burung dari famili Fringilidae yang memiliki paruh dengan bentuk yang beraneka ragam. Variasi yang dimiliki burung tersebut ternyata tidak hanya terlihat pada bentuk paruhnya saja, tetapi juga dari jenis makanannya. Setiap jenis makanan ternyata telah menjadi makanan utama bagi salah satu jenis burung famili Fringilidae ini. Darwin juga menemukan bahwa hanya sedikit burung jenis lain selain famili Fringilidae yang terdapat di pulau tersebut.

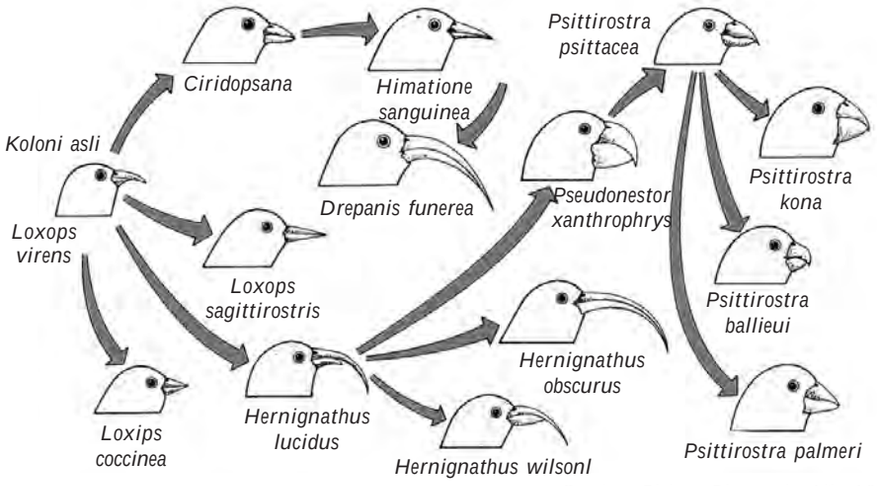
Gambar 7.1

(a) Replika kapal layar HMS Beagle yang ditumpangi oleh Darwin. (b) Alur perjalanan Darwin. (c) Kepulauan Galapagos.



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

Setelah pulang kembali ke Inggris, Darwin menemukan permasalahan dalam menjelaskan mengapa setiap daerah yang dia kunjungi memiliki keanekaragaman yang berbeda. Hal yang selalu paling membuatnya tertarik adalah kenyataan mengenai bentuk-bentuk paruh dari burung finch yang dia temukan di Pulau Galapagos (**Gambar 7.2**).



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 7.2
Keanekaragaman dari bentuk paruh burung finch yang terdapat di pulau Galapagos.
Apakah perbedaan utama burung burung ini?

Gagasan tentang asal-usul organisme ini ternyata tidak dikemukakan oleh Darwin seorang. Seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris lainnya, yakni **Alfred Russel Wallace** (**Gambar 7.3a**) juga menyatakan hal yang sama mengenai konsep asal-usul organisme.

Wallace berlayar ke Malaysia untuk mengamati keanekaragaman di wilayah tersebut. Kemudian, Wallace melanjutkan penelitannya di Kalimantan. Untuk penelitiannya lebih lanjut, Wallace pun kemudian pergi ke Sulawesi dan Maluku. Di sana Wallace melihat banyaknya perbedaan jenis flora dan fauna yang ada di Indonesia bagian barat dan Indonesia bagian timur.

Di Kepulaan Aru, Wallace menderita malaria. Pada saat itu, belum ditemukan obat untuk menyembuhkan penyakit tersebut. Ketika pada suatu hari Wallace tiba-tiba sembuh, timbullah pemikiran mengenai kesembuhannya tersebut. Dari kejadian itu, timbullah ide mengenai hukum alam **siapa yang kuat, dialah yang menang** (*survival of the fittest*). Pemikirannya ini, ternyata serupa dengan pemikiran Darwin (Iskandar, 2001: 18-19).

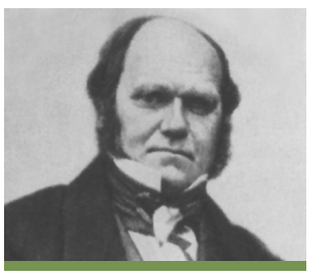
Darwin kemudian bersama-sama dengan Wallace memublikasikan hasil pengamatannya di suatu pertemuan Linnean Society di London pada tahun 1859. Darwin menuliskan sebuah buku yang berjudul *The Origin of Spesies by Means of Natural Selection*.

Sebelum Darwin mengemukakan teori evolusinya, banyak ilmuwan yang sudah mengemukakan teori evolusi (**Gambar 7.3**). Berikut adalah beberapa teori evolusi yang telah dicetuskan berbagai ilmuwan.

Sumber: *www.biografiasyvidas.com*

Gambar 7.3
Tokoh-tokoh yang mengemukakan teori evolusi, yakni (a) Alfred Russel Wallace, (b) George Cuvier, dan (c) Jean Baptiste de Lamarck.

Tokoh Biologi



Charles Darwin
(1809–1882)

Charles Darwin bekerja keras lebih kurang selama 20 tahun untuk mengumpulkan bukti-bukti pemikirannya tentang evolusi dan seleksi alam. Pada tahun 1859, Darwin akhirnya menerbitkan bukunya yang terkenal dengan judul "*The rigin of pecies by Means of Natural election*".

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

a. Teori Cuvier

Teori ini dikemukakan oleh **George Cuvier** (**Gambar 7.3b**). George Cuvier (1769–1832) menyatakan bahwa setiap spesies tercipta secara terpisah. Ia menjelaskan bahwa anak seorang atlet tidak serta merta memiliki otot yang kuat begitu dilahirkan tanpa adanya latihan dan olahraga. Namun, Cuvier tidak membantah mengenai adanya faktor yang diturunkan dari generasi ke generasi dan ia tidak mengetahui faktor penyebabnya.

b. Teori Lamarck

Teori ini dikemukakan oleh **Jean Baptiste de Lamarck** (**Gambar 7.3c**). Lamarck merupakan ahli dalam hal studi perbandingan dan evolusi. Lamarck mengemukakan teori bahwa perkembangan struktur suatu organisme berhubungan dengan perubahan lingkungannya. Teori Lamarck kemudian dikenal dengan teori *use* dan *disuse*. Dalam pandangan Lamarck, evolusi terjadi karena adanya organ yang dipakai dan tidak dipakai. Secara sederhana, Lamarck mencontohkan bahwa evolusi leher zarafah yang panjang disebabkan tingginya pohon yang menjadi sumber makanan zarafah. Zarafah harus terus-menerus menjulurkan lehernya untuk menggapai makanan. Oleh karena itu, zarafah memiliki leher yang panjang. Kemudian, struktur leher panjang ini diturunkan pada generasi selanjutnya hingga kini.

Kata Kunci

- Teori Cuvier
- Teori Darwin
- Teori Lamarck

c. Teori Darwin

Dalam bukunya yang berjudul "*The Orgin of Species by Means of Natural Selection*," **Charles Darwin** mengungkapkan teorinya mengenai evolusi. Pokok utama dari teori Darwin tersebut adalah sebagai berikut.

1) Perubahan-perubahan yang terjadi pada suatu organisme disebabkan oleh seleksi alami (*natural selection*).
2) "*Survival of the fittest*", artinya siapa yang paling kuat dia akan bertahan. Darwin mengemukakan bahwa individu yang kuat akan bertahan dan akan mewariskan sifat ke generasi berikutnya.
3) "*Struggle for existance*", artinya berjuang keras untuk bertahan hidup. Individu yang tidak dapat bertahan akan mati dan terjadi kepunahan, sedangkan yang bertahan akan melanjutkan hidupnya dan bereproduksi.

d. Teori Weismann

Orang yang mengemukakan teori ini adalah **August Weismann** (1834–1914). Weismann adalah seorang ahli biologi berkebangsaan Jerman. Dalam teorinya dinyatakan bahwa evolusi terjadi karena adanya seleksi alam terhadap faktor genetis.

Tugas Ilmiah 7.1

Pada gambar di samping, terlihat pembasmian hama menggunakan pestisida. Pestisida tersebut disemprotkan menggunakan pesawat. Beberapa hama mati, tetapi ada satu yang bertahan.

Hama tersebut melangsungkan perkawinan dengan hama lainnya. Dari keturunan yang ada, ternyata menghasilkan hama-hama yang resisten terhadap pestisida. Menurut Anda, apakah keturunan hama tersebut telah berevolusi sehingga menjadi resisten terhadap pestisida? Jelaskan. Diskusikanlah dengan kelompok Anda.

2. Perdebatan Ilmuwan Tentang Evolusi

Banyaknya ahli yang mengajukan teori-teori evolusinya, menimbulkan pertentangan pendapat di antara ilmuwan-ilmuwan tersebut. Hasil pengamatan setiap ilmuwan berbeda. Hal tersebut dapat dipahami karena teori evolusi yang dikemukakan hanya didasarkan atas pengamatan bukti-bukti evolusi, bukan berdasarkan eksperimen di laboratorium sehingga hasilnya belum pasti.

a. Teori Lamarck dan Teori Darwin

Lamarck mengemukakan bahwa zarafah berleher panjang karena kebiasaan menjulurkan lehernya terus-menerus untuk mencari makanan di pohon yang tinggi. Darwin membantahnya dengan mengemukakan bahwa zarafah yang berleher panjang dan zarafah yang berleher pendek sudah ada sebelumnya. Seleksi alam menyebabkan zarafah berleher pendek punah dan menyisakan zarafah yang berleher panjang. Pendapat manakah yang sesuai dengan pendapatmu? Untuk lebih jelasnya, perhatikanlah **Gambar 7.4**.

(a) Teori Lamarck

Zarafah awalnya berleher pendek dan tidak bisa menjangkau makanannya.

Setelah kawin, zarafah menghasilkan keturunan yang berleher panjang.

Akhirnya, terbentuk zarafah yang berleher panjang.

(b) Teori Darwin

Zarafah pada awalnya ada yang berleher pendek dan berleher panjang bersaing untuk mendapatkan makanan.

Seleksi alam menyebabkan zarafah berleher pendek mati karena tidak bisa menjangkau makanannya.

Akhirnya, hanya zarafah yang berleher panjang saja yang dapat bertahan dari persaingan.

Sumber: *Biologi: Evolusi epelbagaian dan Persekitaran*, 1995

Gambar 7.4
Perbedaan teori mengenai leher zarafah yang dikemukakan oleh (a) Lamarck dan (b) Darwin
Apa perbedaannya?

b. Teori Lamarck dan Teori Weismann

Teori yang dikemukakan oleh Lamarck juga dibantah oleh Weismann. Weismann menyanggah teori Lamarck ini dengan melakukan percobaan pemotongan ekor tikus dan mengawinkan sesamanya selama 22 generasi. Ternyata setiap generasi tidak pernah menghasilkan tikus yang berekor pendek. Generasi tikus yang ke-23 tetap berekor panjang. Dengan berbekal informasi ini, Weismann menggugurkan teori yang diajukan oleh Lamarck.

Weismann mengungkapkan bahwa pengaruh genetis merupakan faktor lain yang menyebabkan adanya variasi. Hal ini ia temukan pada saat mengamati proses pembelahan sel. Faktor genetis inilah yang kemudian diwariskan kepada keturunannya.

c. Teori Darwin dan Teori Weismann

Sebenarnya, teori yang dikemukakan oleh kedua tokoh ini tidak bertentangan. Teori Weismann bahkan lebih menjelaskan teori seleksi alam yang dikemukakan oleh Charles Darwin. Weismann berpendapat bahwa perubahan sel tubuh akibat pengaruh lingkungan tidak akan diwariskan. Proses evolusi akan terjadi jika ada perubahan pada sel kelamin. Perbedaannya dengan Darwin adalah Darwin berpendapat bahwa evolusi terjadi melalui seleksi alam. Adapun Weismann, mengatakan bahwa evolusi merupakan gejala seleksi alam terhadap faktor genetis.

3. Definisi Teori Evolusi

Pada materi sebelumnya, Anda telah mengenal istilah evolusi. Apakah itu evolusi? Sebagai suatu ilmu, teori evolusi berkembang sesuai dengan perkembangan ilmu yang menyertainya.

Evolusi adalah ilmu tentang perubahan-perubahan organisme yang berangsur-angsur menuju kepada kesesuaian dengan waktu dan tempat. Dari definisi tersebut, evolusi tidak akan pernah membuktikan bagaimana kera berubah menjadi manusia. Evolusi bukan proses perubahan dari suatu organisme (spesies) ke organisme (spesies) yang lain.

Evolusi merupakan perubahan frekuensi alel suatu populasi per satuan waktu. Menurut teori evolusi, kera mempunyai hubungan kekerabatan yang dekat dengan manusia. Teori evolusi tidak menerangkan bahwa kera adalah nenek moyang langsung dari manusia. Pada dasarnya, teori evolusi menjelaskan bahwa perubahan frekuensi alel dari suatu populasi merupakan proses evolusi. Dengan demikian, semua organisme berevolusi dari waktu ke waktu (Iskandar, 2001: 85). Untuk lebih jelas tentang frekunsi alel, dapat Anda pelajari pada subbab selanjutnya.

Pada zaman Aristoteles hingga zaman Linnaeus, suatu spesies dianggap tetap, tidak mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Akan tetapi, setelah teori evolusi muncul, pendapat itu berubah. Suatu populasi organisme berubah dari waktu ke waktu sesuai dengan kondisi lingkungannya (seleksi alami). Oleh karena itu, organisme akan tetap berada dalam kondisi yang cocok dengan lingkungannya. Apakah manusia mengalami perubahan?

4. Perkembangan Teori Evolusi

Teori evolusi, seperti ilmu lainnya, juga berkembang sesuai dengan perkembangan ilmu yang terkait dengannya. Lamarck, sesuai dengan perkembangan ilmu saat itu, menyimpulkan bahwa evolusi dipengaruhi oleh adaptasi makhluk hidup tersebut terhadap lingkungannya. Contoh, zarafah yang tadinya berleher pendek akan berkembang menjadi zarafah yang berleher panjang. Mengapa hal ini menurut Lamarck dapat terjadi? Menurut Lamarck, hal yang diperoleh dari latihan dapat diturunkan kepada anaknya.

Setelah sekitar lima puluh tahun Lamarck mengemukakan teorinya, Darwin mengemukakan teori evolusi menurut hasil penelitiannya. Teori evolusi Darwin ini dimuat dalam bukunya yang berjudul *On The Origin of Species by Means of Natural Selection*. Dalam bukunya ini, Darwin mengemukakan dua pokok teori evolusinya, yakni sebagai berikut.

a. Spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies yang sebelumnya.
b. Evolusi terjadi melalui seleksi alami.

Wawasan Biologi

Tim peneliti dari Australia dan Indonesia telah menemukan kerangka manusia di Liang Bua, Flores pada tahun 2003. Tim gabungan yang terdiri dari ahli paleontologi dan arkeologi tersebut menemukan kerangka enam orang berukuran kecil, serta peralatan batu dari waktu antara 94.000 hingga 13.000 tahun lalu.

Tim peneliti Australia yang dipimpin Mike Morwood dari Universitas New England, Australia menamai temuan kerangka tersebut dengan nama *Homo loresiensis* (Manusia Flores) dan menganggapnya sebagai spesies baru. Pendapat ini ditentang oleh kelompok peneliti terutama oleh pihak Teuku Jacob dari UGM. Berdasarkan temuan beliau, fosil dari Liang Bua ini berasal dari orang katai Flores –sampai sekarang masih bisa diamati pada beberapa populasi di sekitar lokasi penemuan– yang menderita penyakit mikrosefali. Hal ini dikuatkan oleh artikel yang dimuat dalam jurnal *Procedings of the National Academy of cience* edisi 21 Agustus 2006.

Sumber: *www.wikipedia.org*; *www.kompas.com*, 28 Agustus 2006

Pendapat yang hampir sama dengan Darwin dikemukakan oleh Wallace. Teori evolusi pun semakin berkembang seiring dengan berkembangnya ilmu genetika. Hukum pewarisan sifat yang dikenal dengan Hukum Mendel telah menerangkan banyak hal yang tidak dapat diterangkan oleh teori evolusi pada waktu itu. Faktor genetis pun memberi pengaruh besar dalam teori evolusi. Apakah teori evolusi akan berkembang lagi?

Saat ini, setelah struktur DNA ditemukan dan majunya perkembangan komputer, teori evolusi pun berkembang dengan pesat. Kajian evolusi tidak hanya dilihat dari bentuk fisik (morfologi), tetapi sudah dilihat dari tingkat DNAnya. Ilmu-ilmu lainnya pun ikut terlibat dalam teori evolusi, seperti Kimia dan Matematika.

Dengan melihat kajian evolusi dari tingkat molekuler (DNA), maka kekerabatan dan asal-usul makhluk hidup tampak lebih jelas dan pasti. Hal ini memberi pengaruh besar juga terhadap Biologi, misalnya dalam penentuan klasifikasi makhluk hidup.

5. Bukti-Bukti Terjadinya Evolusi

Evolusi sulit dibuktikan. Namun, banyak hal yang dapat dijadikan petunjuk adanya evolusi. Untuk meyakinkan adanya suatu proses perubahan dari bentuk yang sederhana menjadi bentuk yang lebih kompleks tersebut, kita memerlukan suatu bukti atau petunjuk yang dapat mendukung atau membantah fakta dari suatu teori.

Uraian berikut ini akan menjelaskan beberapa petunjuk bahwa evolusi memang terjadi, di antaranya adalah variasi dalam satu spesies, adanya fosil, kesamaan kimia, perbandingan anatomi (homologi dan analogi).

a. Variasi dalam Satu Spesies

Apakah Anda dapat membedakan teman-teman Anda? Tidak ada yang sama persis, bukan? Tentu, karena mereka memiliki karakter wajah atau postur yang berbeda satu sama lain.

Perbedaan di antara teman-temanmu tersebut dapat dikatakan sebagai variasi. Variasi individu dalam satu spesies terjadi karena pengaruh beberapa faktor, yakni genetis dan lingkungan (perhatikan **Gambar 7.5**).

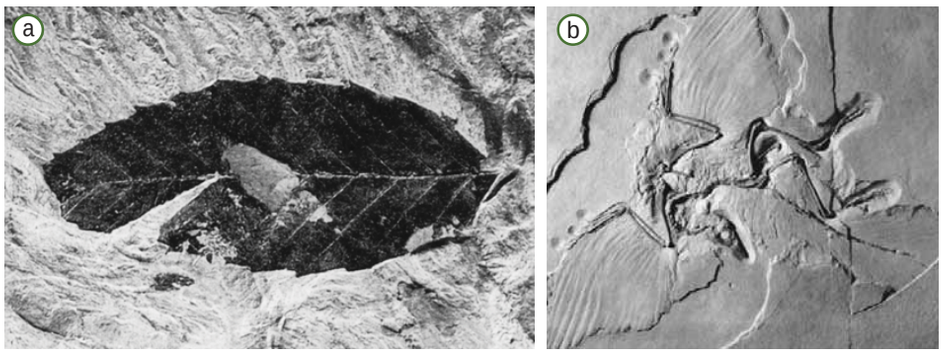
Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 7.5

Beberapa contoh variasi yang terdapat pada satu spesies kumbang.

b. Fosil

Sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang ditemukan pada batuan sedimen memberikan informasi mengenai peristiwa yang terjadi di masa lalu (**Gambar 7.6**). Bukti-bukti ini menunjukkan fakta bahwa telah ada variasi makhluk hidup. Beberapa spesies yang telah punah memiliki karakter transisional antarkelompok utama organisme yang masih ada. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah spesies tidak tetap, tetapi bisa berubah berkurang atau bertambah dalam jangka waktu yang panjang.



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.6

Fosil merupakan salah satu bukti evolusi. Contohnya (a) fosil daun dan (b) fosil *Archaeoptery* yang memiliki morfologi seperti reptil dan burung.

Bukti-bukti yang ada juga menunjukkan bahwa terdapat celah pada catatan fosil disebabkan tidak lengkapnya data. Semakin banyak kita mempelajari evolusi dari spesies yang spesifik, celah tersebut atau "rantai yang hilang" dapat terisi dengan spesimen fosil transisional. Salah satu masalah yang sering diperdebatkan sehubungan dengan penelitian mengenai fosil adalah seberapa akurat pengukuran umur fosil.

Berdasarkan umur geologi, pengukuran pada fosil dapat bersifat relatif atau pasti. Relatif ini dilakukan berdasarkan fosil mana yang dianggap lebih tua dari yang lain. Sementara itu, pengukuran umur fosil secara lebih pasti dilakukan dengan bantuan pelapukan radioaktif.

Pengukuran secara radioaktif ini telah dilakukan mulai tahun 1920-an. Semenjak pengukuran pertama pada batuan bumi, telah dikembangkan lebih dari 10.000 jenis radioisotop yang dapat berfungsi mengukur umur dari batuan atau fosil. Dengan begitu, pengukuran terhadap fosil tidak hanya dilakukan dengan satu jenis isotop saja, tetapi juga diuji kembali dengan menggunakan jenis isotop yang lain untuk mendapatkan kepastian mengenai umur suatu fosil. Dengan cara ini, para ilmuwan yang terlibat dalam pengerjaan fosil dapat memublikasikan revisi umur skala geologi setiap beberapa tahun sekali. Dari setiap revisi ini, diketahui bahwa pergeseran umur-umur batuan (masa geologi) hanya terjadi untuk beberapa ratus tahun, sedangkan pembagian umur pada batuan muda relatif stabil.

Kata Kunci

- Fosil
- Radioisotop

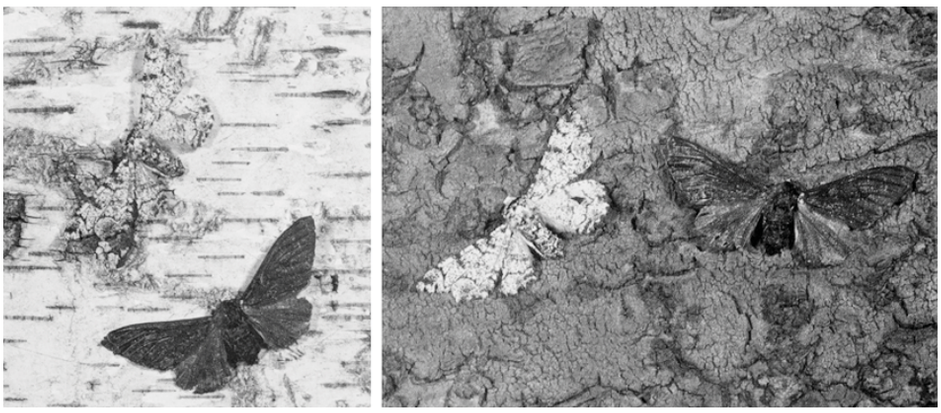
Wawasan Biologi

Pada prinsipnya, beberapa jenis elemen bumi tertentu bersifat radioaktif. Elemen-elemen ini akan lapuk dan luruh pada waktu yang dapat diprediksi. Ahli kimialah yang akan mengukur waktu paruh dari setiap elemen tersebut. Waktu paruh adalah waktu yang diperlukan oleh sebuah radioaktif untuk meluruh menjadi setengahnya membentuk formasi baru yang lebih stabil. Dengan membandingkan bagian radioaktif yang meluruh pada sampel batuan, waktu paruh dan umur batuan tersebut dapat diperkirakan.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Tugas Ilmiah 7.2

Gambar berikut adalah kupu-kupu *Biston betularia*. Terdapat jenis yang berwarna hitam dan yang berwarna putih. Sebelum revolusi industri, jumlah kupu-kupu yang berwarna putih lebih banyak dibandingkan dengan jumlah yang berwarna hitam. Akan tetapi, setelah revolusi industri terjadi, populasi kupu-kupu berwarna hitam lebih banyak dibandingkan yang berwarna putih.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Bagaimanakah perubahan populasi kedua jenis kupu-kupu tersebut dapat terjadi?

c. Kemiripan Susunan Biokimia

Pada dasarnya, makhluk hidup di bumi serupa apabila dilihat struktur anatomi dasar dan komposisi kimianya. Baik itu sel sederhana seperti protozoa maupun organisme dengan jutaan sel? Semua makhluk hidup bermula dari sel tunggal yang bereproduksi sendiri dengan proses pembelahan yang serupa. Dalam waktu hidup yang terbatas, mereka juga tumbuh menua dan mati.

Semua hewan dan tumbuhan menerima karakter spesifik dari induknya dengan cara mendapatkan kombinasi gen tertentu. Ahli biologi molekular menemukan bahwa gen merupakan segmen molekul DNA dalam sel-sel. Segmen-segmen DNA ini mengandung kode-kode kimia untuk membentuk protein dengan berikatan bersama asam amino tertentu dengan urutan yang spesifik.

Semua jenis protein pada makhluk hidup hanya disusun oleh 20 jenis asam amino. Kode DNA memiliki bahasa sederhana yang sama untuk semua makhluk hidup. Ini merupakan bukti yang menjadi dasar kesatuan kehidupan molekular.

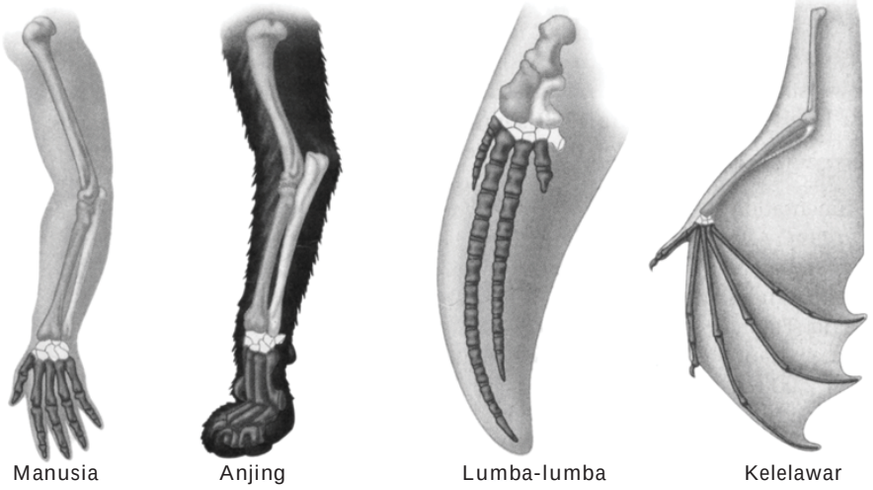
Sebagai tambahan, kebanyakan makhluk hidup mendapatkan energi yang diperlukan untuk berbagai kegiatan secara langsung atau tidak langsung dari matahari. Ada yang melalui proses fotosintesis atau memperoleh dengan mengonsumsi tumbuhan hijau dan organisme lainnya yang memakan tumbuhan.

Kata Kunci
- Analogi
- Homologi

d. Perbandingan Anatomi (Homologi dan Analogi)

Jika Anda perhatikan dengan saksama organ-organ tubuh hewan Vertebrata, organ-organ tersebut memiliki struktur dasar yang sama, tetapi memiliki fungsi yang berbeda. Perbedaan fungsi ini terjadi karena adaptasi terhadap lingkungan yang berbeda. Contohnya, tangan manusia dan sayap burung. Tangan manusia lebih cocok untuk memegang, sedangkan sayap burung lebih cocok untuk terbang.

Ahli evolusi berpendapat bahwa kedua organ tersebut awalnya memiliki struktur yang sama. Organ yang memiliki bentuk asal yang sama, namun memiliki fungsi yang berbeda disebut **homologi** (**Gambar 7.7**).



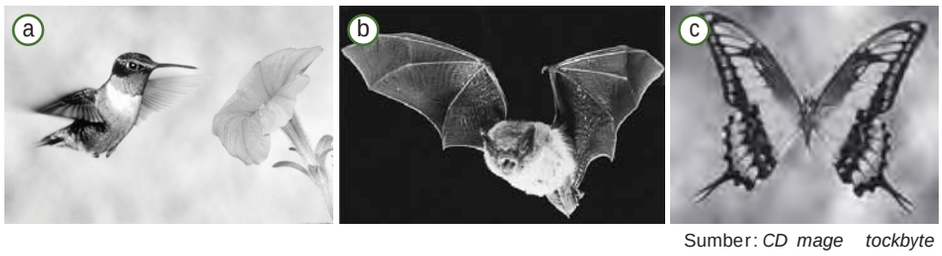
Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.7

Anggota tubuh yang homologi memiliki bentuk asal yang sama, namun memiliki fungsi yang beda.

Dari struktur apakah organ organ tersebut?

Adaptasi juga menyebabkan adanya organ yang memiliki fungsi sama, tetapi memiliki struktur dasar berbeda. Hal demikian disebut **analogi** (**Gambar 7.8**).



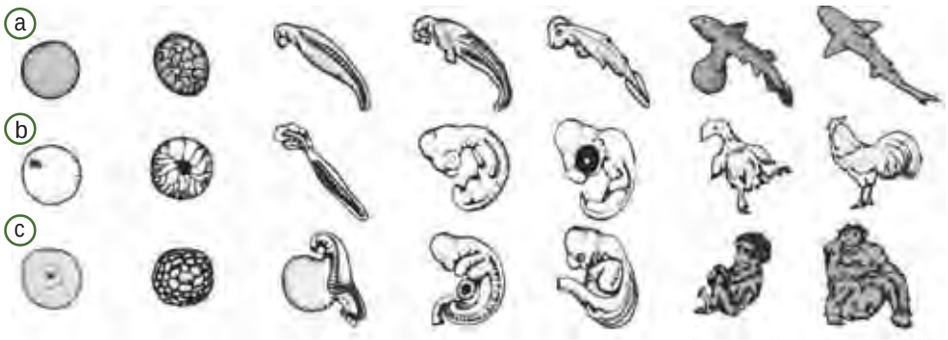
Sumber: *CD mage tockbyte*

Gambar 7.8

Analogi yang terdapat pada (a) burung, (b) kelelawar, dan (c) kupu-kupu menunjukkan kesamaan fungsi, yakni untuk terbang, tetapi berasal dari struktur dasar yang berbeda.

e. Perbandingan Embrio

Bukti evolusi dapat juga dilihat dari perkembangan dan pertumbuhan organisme. Zigot yang merupakan hasil peleburan antara gamet jantan dan gamet betina akan berkembang menjadi embrio. Pada hewan vertebrata, ternyata perkembangan dan pertumbuhan embrio tersebut memperlihatkan bentuk yang mirip satu sama lain. Pada perkembangan lebih lanjut, barulah embrio-embrio tersebut menunjukkan adanya perbedaan. Perhatikan **Gambar 7.9** berikut.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 7.9
Perkembangan embrio (a) ikan hiu, (b) ayam, dan (c) simpanse
Pada tahap manakah perbedaan mulai terjadi?

Berdasarkan gambar tersebut, awal perkembangan embrio ikan hiu, ayam, dan simpanse cukup mirip, meskipun hasil akhirnya berbeda. Pada organisme dengan kekerabatan yang dekat, umumnya memiliki pola pertumbuhan dan perkembangan embrio yang mirip.

Di bab sebelumnya Anda telah mempelajari tentang materi mutasi. Dalam materi mutasi tersebut dipelajari tentang penyebab dan macam-macam mutasi. Apakah ada kaitannya antara mutasi dan evolusi?

Soal Penguasaan *Materi* 7.1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Sebutkan tokoh-tokoh yang mengemukakan teori-teori mengenai evolusi.
2. Jelaskan perdebatan-perdebatan yang terjadi antara tokoh evolusi sehubungan dengan teori-teorinya.
3. Bukti-bukti apa saja yang dapat digunakan sebagai bukti evolusi?

B Mekanisme Evolusi

Bagaimanakah evolusi terjadi? Adanya seleksi alami dan variasi genetis merupakan hal utama yang menyebabkan terjadinya evolusi. Perlu dingat kembali bahwa evolusi terjadi dalam populasi, bukan individu.

1. Seleksi Alami

Pernahkah Anda memerhatikan katak atau penyu yang bertelur? Biasanya katak dan penyu bertelur dalam jumlah yang banyak. Akan tetapi, dari jumlah yang banyak itu tidak semuanya akan tumbuh dan berkembang menjadi individu dewasa. Mengapa hal tersebut dapat terjadi? Apa yang terjadi jika semua telur katak atau penyu dapat tumbuh dewasa?

Evolusi melalui seleksi alami terjadi pada populasi suatu spesies yang berubah dari waktu ke waktu. Seleksi alami dapat memengaruhi populasi melalui tiga macam seleksi alam, yakni seleki alami mengarah, seleksi alami stabilisasi, dan seleksi alami disruptif (Starr and Taggart, 1995: 278-281; Iskandar, 2201; 179–180).

Wawasan Biologi

Misalkan, seekor lalat berukuran 2 mm sanggup bertelur sekitar 500 butir, dan semua telur berhasil menjadi dewasa dalam sepuluh hari. Menurut perhitungan, dalam satu tahun jumlah lalat akan menutupi permukaan bumi setebal satu sentimeter.

Sumber: *Catatan uliah Evolusi*, 2001

a. Seleksi Mengarah

Pada seleksi alami ini terjadi seleksi terhadap suatu variasi sifat pada populasi yang menyebabkan perubahan frekuensi sifat menuju sifat tertentu. Seleksi mengarah mengakibatkan frekuensi alel akan mengarah pada salah satu ciri. Perubahan ini merupakan respons terhadap keadaan lingkungan. Akibat dari seleksi tersebut, terjadi perubahan frekuensi alel ke salah satu keadaan homozigot.

Contohnya, pada populasi ular bandotan. Ular ini terdiri atas dua fenotipe. Satu fenotipe bergaris, sedangkan fenotipe yang satunya lagi berbercak-bercak. Oleh karena hidup di daerah yang beralang-alang maka ular bandotan yang berfenotipe bergaris memiliki kemampuan yang baik untuk menghindar dari predatornya. Bandingkan dengan ular yang bandotan yang berbercak-bercak. Akibatnya, untuk beberapa waktu, di daerah tersebut hanya dapat ditemukan ular bandotan yang bergaris.

Kondisi sebaliknya ditemukan di daerah yang tidak beralang-alang, tetapi berbatu kerikil. Pada daerah berbatu kerikil ini, ular bandotan berbercak-bercak lebih mendominasi. Mengapa demikian?

b. Seleksi Stabilisasi

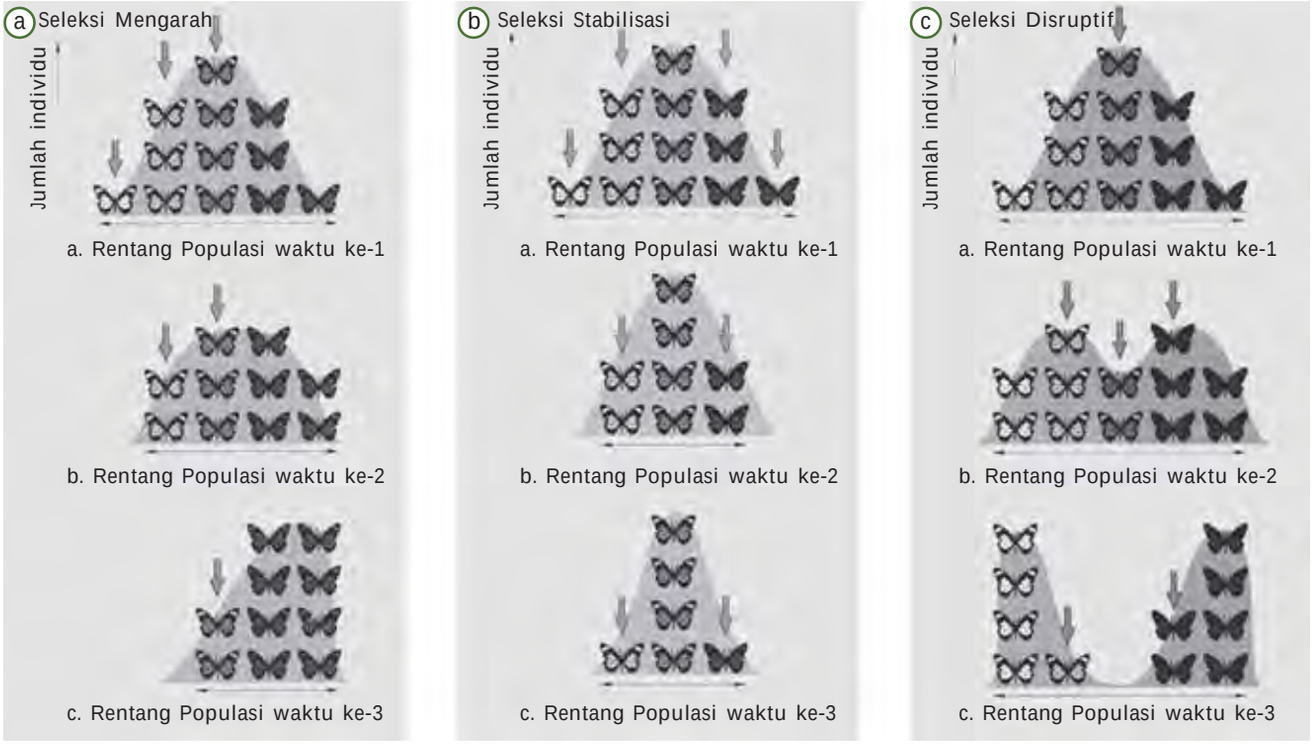
Pada seleksi stabilisasi, sifat yang paling umum merupakan sifat yang lebih mampu bertahan hidup. Sifat yang tidak umum (ekstrim) akan selalu terkena seleksi. Misalnya, ada fenotipe siput kuning (alel homozigot) dan siput cokelat tua (alel homozigot). Siput heterozigot memiliki warna cokelat seperti tanah. Oleh karena warna kuning dan cokelat tua terlihat mencolok maka predator (burung) akan lebih banyak memangsa siput warna kuning dan cokelat tua. Bagaimana dengan siput yang berwarna cokelat seperti tanah (heterozigot)?

Oleh karena siput yang berwarna cokelat seperti tanah adalah heterozigot maka pada generasi berikutnya akan dihasilkan kembali siput berwarna kuning dan cokelat tua. Dengan demikian frekuensi alelnya akan selalu tetap mendekati 25% kuning, 50% cokelat tanah, dan 25% cokelat tua.

Gambar 7.10

Macam-macam seleksi alam pada populasi kupu-kupu meliputi (a) seleksi mengarah, (b) seleksi stabilisasi, dan (c) seleksi disruptif.

eleksi manakah yang dapat menghasilkan spesies baru?



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

c. Seleksi Disruptif

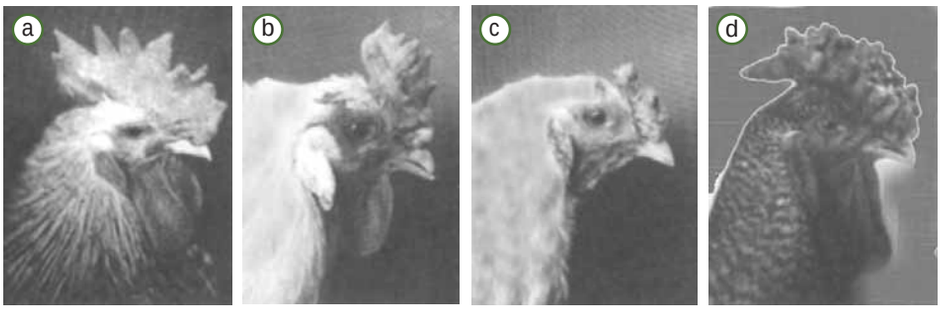
Seleksi disruptif terjadi pada individu heterozigot. Seleksi ini akan memecah populasi menjadi dua kelompok yang berbeda, tetapi miliki alel homozigot. Contohnya, pada suatu populasi kepik terdapat kepik warna kuning (homozigot), hijau (homozigot), dan merah (heterozigot). Oleh karena kepik warna merah sangat mencolok keberaadaannya di antara dedaunan, maka burung pemakan kepik akan mudah untuk menemukan dan kemudian memangsanya. Akibatnya, untuk jangka waktu tertentu, keberadaan kepik warna merah sukar untuk ditemukan. Bagaimana kalau kondisi ini berlanjut terus?

Untuk lebih jelas memamahami seleki alam mengarah, seleksi alam stabilisasi, dan seleksi alam disruptif, Anda dapat mempelajari **Gambar 7.10**. Pada ilustrasi tersebut, contoh populasinya adalah kupu-kupu.

2. Variasi Genetis

Di dalam suatu populasi, terdapat variasi di antara individu-individunya. Hal tersebut menunjukkan adanya perubahan genetis. Mutasi dapat meningkatkan frekuensi alel pada individu di dalam populasi. Dengan demikian, setiap populasi dapat mengembangkan variasi-variasi yang ada di dalam populasinya.

Contoh variasi ini terlihat pada ayam yang memiliki jengger berbeda-beda (**Gambar 7.11**). Lantas apakah hubungan atau kaitan antara variasi, evolusi, dan mutasi?



Gambar 7.11
Variasi yang terdapat pada bentuk jengger ayam, meliputi bentuk (a) single, (b) walnut, (c) pea, dan (d) ros.

Sumber: *Biological cience*, 1986

Variasi timbul akibat mutasi, baik mutasi gen maupun mutasi kromosom. Terjadinya mutasi gen menyebabkan terbentuknya alel baru. Alel baru ini merupakan sumber terbentuknya variasi. Variasi dalam suatu populasi merupakan bahan mentah (*raw materials*) terjadinya evolusi.

Berdasarkan pengetahuan terbaru terdapat dua penyebab terjadinya variasi genetis, yakni mutasi gen dan rekombinasi gen dalam keturunan. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Hugo De Vries (**Gambar 7.12**) bahwa variasi genetis merupakan akibat dari mutasi gen dan rekombinasi gen-gen pada keturunan baru.

a. Mutasi Gen

Mutasi gen dapat diartikan sebagai suatu perubahan struktur kimia DNA yang menyebabkan perubahan sifat pada suatu organisme dan bersifat menurun. Mutasi gen yang tidak dipengaruhi oleh faktor luar tersebut sangat jarang dan umumnya tidak menguntungkan.

Mengapa mutasi gen merupakan salah satu mekanisme evolusi? Untuk menjawabnya Anda perlu memahami terlebih dahulu pengertian angka laju mutasi. **Angka laju mutasi** adalah angka yang menunjukkan jumlah gen yang bermutasi dari seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu dari suatu spesies.

Pada umumnya, angka laju mutasi suatu populasi spesies sangat rendah, yaitu secara rata-rata 1 : 100.000. Artinya, dalam setiap 100.000 gamet terdapat satu gen yang bermutasi. Meskipun sangat kecil, mutasi merupakan salah satu mekanisme evolusi yang sangat penting karena:

1) setiap gamet mengandung beribu-ribu gen;
2) setiap individu mampu menghasilkan ribuan bahkan jutaan gamet;
3) banyaknya generasi yang dihasilkan satu spesies selama spesies itu belum punah.

Secara umum mutasi itu merugikan. Peluang mutasi yang menguntungkan hanya 1/1.000 dari kemungkinan yang bermutasi. Walaupun peluang ini kecil, tetapi karena jumlah spesies dan generasinya sangat besar maka peluang mutasi yang menguntungkan juga menjadi besar.

b. Rekombinasi Gen

Rekombinasi gen merupakan mekanisme yang sangat penting dalam proses evolusi. Proses rekombinasi gen terjadi melalui reproduksi seksual. Apakah yang dimaksud dengan rekombinasi gen?

Anda dapat membuka kembali materi tentang Genetika. Di sana dijelaskan tentang huku pewarisan sifat, yaitu Hukum I Mendel dan Hukum II Mendel. Jika individu dihibrid dikawinkan antarsesamanya, berapakah perbandingan genotipe F_1-nya? Berapakah perbandingan genotipe F_2-nya?

Ternyata dapat disimpulkan bahwa jika individu-individu dari suatu populasi melakukan perkawinan secara acak dan setiap genotipe memiliki peluang yang sama maka perbandingan genotipe-genotipenya dari generasi-generasi akan tetap sama. Hal ini sejalan dengan Hukum Hardy-Weinberg yang akan dipelajari berikutnya.

Sumber: *Pustaka Alam Evolusi*, 1979

Gambar 7.12

Hugo De Vries, seorang ahli botani Belanda, mengatakan bahwa variasi genetis merupakan akibat dari mutasi gen dan rekombinasi gen-gen pada keturunan baru.

3. Spesiasi

Dalam evolusi, proses spesiasi merupakan proses yang cukup penting setelah keanekaragaman. Hal ini dikarenakan salah satu hasil akhir dari semua proses evolusi adalah suatu spesies yang sesuai dengan keadaan alam yang ditinggalinya. Apakah itu spesiasi?

Suatu spesies terbentuk melalui mekanisme tertentu. Proses pembentukan spesies disebut **spesiasi**. Para ilmuwan membedakan spesies berdasarkan kemampuan organisme untuk dapat melakukan perkawinan dan menghasilkan keturunan yang fertil (subur) atau memiliki kemampuan untuk melakukan hal tersebut. Memiliki kemampuan berarti kedua organisme tersebut dapat melakukan perkawinan dan menghasilkan keturunan fertil, meskipun hal tersebut tidak terjadi di alam.

a. Isolasi Reproduktif

Berdasarkan hal tersebut, kata kunci dari definisi spesies adalah adanya **isolasi repoduktif**. Adanya isolasi reproduktif menyebabkan perkawinan antarspesies tidak dapat terjadi. Suatu kelompok dalam satu spesies dapat kehilangan kemampuan untuk melakukan perkawinan dengan kelompok lain. Jika hal ini terjadi maka spesies baru sedang terbentuk.

Terdapat beberapa mekanisme isolasi reproduktif, yakni **isolasi prazigotik** dan **isolasi postzigotik**. Mekanisme isolasi prazigotik mencegah pembentukan zigot. Karena suatu hal, gamet jantan tidak pernah dapat melakukan fertilisasi atau gagal melakukan fertilisasi dengan gamet betina.

Adapun mekanisme isolasi postzigotik memengaruhi zigot yang telah terbentuk. Zigot tersebut dapat berkembang menjadi embrio, tetapi tidak dapat bertahan hidup atau dilahirkan menjadi individu steril. Berikut ini tabel mekanisme isolasi reproduktif yang dapat terjadi.

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

Gambar 7.13
Contoh perilaku sebelum kawin burung albatros ini termasuk isolasi perilaku.

Tabel 7.1 Mekanisme Isolasi Reproduksi

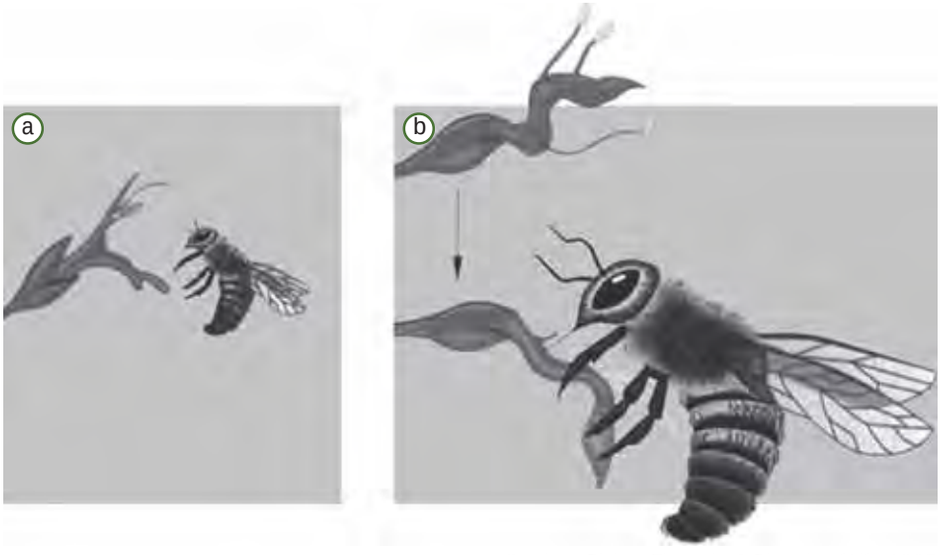
Isolasi Prazigotik	
Isolasi ekologi	Cara hidup dan habitat berbeda menghalangi reproduksi.
Isolasi perilaku	Perbedaan perilaku kawin (*mating*) menghasilkan sulit terjadinya perkawinan yang sukses.
Isolasi mekanisme	Penghalang struktural atau molekuler menghalangi pembentukan zigot.
Isolasi temporal	Kematangan reproduksi yang berbeda waktunya.
Isolasi Postzigotik	
Inviabilitas Hibrid	Kematian hibrid sebelum memperoleh kemampuan reproduksi.
Sterilitas Hibrid	Hibrid tidak mampu menghasilkan keturunan meskipun hibrid sehat.
Penurunan Kualitas Hibrid	Penurunan viabilitas (kemampuan hidup) atau infertilitas pada generasi kedua atau generasi yang akan datang.

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

Mekanisme isolasi prazigotik mencegah terjadinya reproduksi dapat terjadi secara ekologi dan melibatkan penghalang lingkungan sehingga tidak tejadi perkawinan. Isolasi dapat juga terjadi karena perilaku (**Gambar 7.13**) dan melibatkan aktivitas yang memengaruhi waktu dan kesiapan fisiologi organ reproduksi. Isolasi perilaku menyebabkan dua spesies yang hidup pada dua habitat yang berbeda tidak dapat melakukan perkawinan walaupun tidak terpisah secara geografi (Starr and Taggart, 1995: 290).

Isolasi perilaku merupakan penghalang reproduksi penting. Contohnya, ketika burung jantan dan betina akan kawin, mereka sebelumnya melakukan ritual perkawinan yang hanya dapat dimengerti oleh pasangan satu spesies. Ritual tersebut dapat berupa tingkah laku, suara, atau ekskresi zat kimia.

Isolasi mekanis menghalangi perkawinan akibat ketidakcocokan struktur reproduksi. Misalnya pada dua spesies bunga sage, penyerbukan kedua bunga sangat bergantung pada serangga, seperti lebah. Akan tetapi, kedua spesies memiliki perbedaan bentuk dan ukuran petal yang hanya dapat dihinggapi polinator tertentu. Satu spesies polinator cenderung hanya membantu penyerbukan tumbuhan yang masih satu spesies (**Gambar 7.14**).



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

Gambar 7.14
Contoh isolasi mekanis (a) Bunga sage kecil hanya dapat dihinggapi polinator kecil, sedangkan (b) bunga sage besar memiliki struktur yang kuat untuk dihinggapi polinator besar.

Isolasi temporal terjadi karena perbedaan waktu reproduksi. Hewan dan tumbuhan umumnya memiliki musim kawin yang singkat, bahkan ada yang kurang dari satu hari. Contohnya pada tonggeret (*Cicada*). Satu spesies tonggeret menjadi dewasa, melakukan reproduksi, dan menghasilkan gamet setiap 13 tahun. Spesies lain setiap 17 tahun. Hanya satu kali dalam 221 tahun kedua spesies ini menghasilkan gamet bersamaan. Oleh karena itu, pertemuan gamet antarspesies ini sulit terjadi.

Mekanisme isolasi postzigotik mencegah pertukaran gen antarspesies. Meskipun dua spesies dapat melakukan perkawinan dan keturunan hasil persilangan (hibrid) dapat hidup, hibrid biasanya mati sebelum mampu bereproduksi (inviabilitas hibrid) atau steril (sterilitas hibrid).

Kuda dan keledai dapat melakukan perkawinan, namun hibrid yang dihasilkan steril. Hibrid ini disebut dengan *mule* (**Gambar 7.15**).

Ketika ahli genetis mengawinkan dua spesies lalat buah (*Drosophila pseudoobscura* dan *D. persimilis*), generasi pertama sehat dan menghasilkan banyak telur fertil. Akan tetapi, pada generasi kedua menghasilkan keturunan yang lemah dan cenderung steril. Hal ini disebut dengan penurunan kualitas hibrid.

Sumber: *Essential of Biology*, 1990

Gambar 7.15

Seekor *mule* hasil perkawinan kuda dan keledai

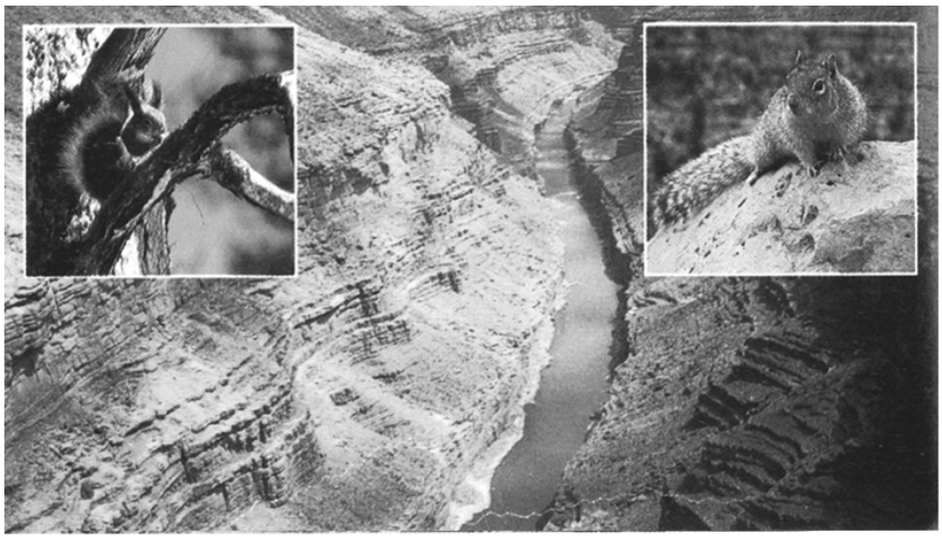
Apakah mule *dapat menghasilkan keturunan?*

b. Model Spesiasi

Populasi suatu spesies dapat terpisahkan misalnya menjadi dua kelompok oleh penghalang (*barier*) fisik maupun geografis. Setiap kelompok akan terisolasi dan memiliki jalur evolusi yang berbeda sebagai akibat perubahan frekuensi alel oleh seleksi alami dan mutasi pada masing-masing kelompok. Pemisahan ini dapat menghasilkan dua spesies yang berbeda. Model spesiasi ini disebut dengan **spesiasi allopatrik**. Hal ini terjadi pada tupai *Scuriurus alberti* dan *Scuriurus kaibabensis* di Grand Canyon yang dibatasi oleh sungai Colorado. Perhatikan **Gambar 7.16**.

Kata Kunci

- Spesiasi allopatik



1. Populasi spesies utuh
2. Penghalang geografis memisahkan menjadi dua populasi
3. Dua populasi menjadi berbeda secara geografis
4. Isolasi reproduksi terus terjadi meskipun ketika penghalang geografis lengyap

Sumber: *Essential of Biology*, 1990

Gambar 7.16

Mekanisme spesiasi alopatrik pada tupai albert. *curiurus alberti* (kiri gambar) dan *curiurus kaibabensi* (kanan gambar) terpisah oleh sungai Colorado.

Dapatkah Anda menjelaskan model spesiasi yang terjadi?

Kata Kunci

- Spesiasi simpatrik

Pada model spesiasi kedua, pembelahan spesies tidak terjadi karena adanya penghalang fisik maupun geografis. Model spesiasi ini disebut **spesiasi simpatrik**. Pada spesiasi simpatik, spesies baru terbentuk meskipun berada dalam populasi spesies induk. Isolasi reproduksi terjadi tanpa isolasi geografis. Hal ini dapat terjadi jika berlangsung mutasi pada suatu generasi yang menghasilkan penghalang reproduktif antarmutan dan populasi induk.

Pada spesiasi simpatrik, terjadi penggandaan jumlah kromosom dalam suatu spesies. Umumnya, spesiasi ini terjadi pada tumbuhan melalui peristiwa poliploidi. Tumbuhan yang poliploid ini hanya dapat dikawinkan dengan poliploid lagi. Jika tumbuhan poliploid ini dikawinkan dengan tumbuhan yang diploid, keturunannya akan steril (mandul). Hal tersebut menunjukkan, bahwa poliploid merupakan salah satu cara spesiasi simpatrik.

4. Hukum Hardy-Weinberg

Definisi evolusi dipelajari secara terpisah pada saat bersamaan yaitu pada awal abad 20 oleh **Godfrey Hardy**, seorang ahli matematika Inggris, dan **Wilhelm Weinberg**, seorang ahli fisika Jerman. Melalui permodelan matematika yang berdasarkan pada probabilitas, mereka menyimpulkan bahwa frekuensi kolam gen (*gene pool*) bisa stabil, tetapi evolusi dapat saja muncul pada semua populasi kapan saja.

Ahli-ahli genetika lain yang mengikuti mereka mendapatkan pengertian bahwa evolusi tidak akan terjadi dalam populasi yang memiliki syarat-syarat sebagai berikut.

a. Tidak ada mutasi.
b. Tidak ada seleksi alam.
c. Ukuran populasi sangat besar.
d. Semua anggota populasi dapat berkembang biak.
e. Semua anggota populasi dapat kawin secara acak.
f. Semua anggota populasi menghasilkan keturunan dalam jumlah yang sama.
g. Tidak ada migrasi keluar atau masuk dari dan ke populasi.

Dengan kata lain, jika tidak ada mekanisme ini pada populasi, evolusi tidak akan terjadi dan frekuensi kolam gen akan tetap. Bagaimanapun, ketujuh syarat-syarat tersebut sangat sulit untuk dipenuhi sehingga dalam dunia nyata evolusi tetap terjadi.

Hardy dan Weinberg menemukan suatu rumus sederhana yang dapat digunakan untuk menemukan probabilitas frekuensi genotipe pada suatu populasi dan untuk mengetahui perubahan yang terjadi dari satu generasi ke generasi lainnya. Rumus tersebut dikenal sebagai persamaan kesetimbangan Hardy-Weinberg. Persamaan ini adalah $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, p adalah frekuensi alel dominan dan q adalah frekuensi alel resesif untuk suatu sifat yang diatur oleh sepasang alel misalkan A dan a.

Dengan kata lain, p adalah semua alel dalam individu-individu yang dominan homozigot (AA) dan setengahnya adalah individu-individu yang heterozigot (Aa) dalam populasi. Persamaan untuk p adalah:

$$p = AA + \tfrac{1}{2}Aa$$

q merupakan semua alel dalam individu-individu yang resesif homozigot (aa) dan setengahnya adalah alel dalam individu-individu heterozigot (Aa).

$$q = aa + \tfrac{1}{2}Aa$$

Karena hanya ada dua alel dalam kasus ini, frekuensi keseluruhan harus berjumlah 100%, maka:

$$p + q = 1$$

dan secara logika

$$p = 1 - q$$
$$q = 1 - p$$

Dari persamaan yang didapatkan, dapat diketahui bahwa semua kemungkinan kombinasi alel yang muncul secara acak adalah

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

atau secara lebih sederhana

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Pada persamaan tersebut, p^2 adalah prediksi frekuensi gen homozigot dominan (AA) pada populasi, $2pq$ adalah prediksi frekuensi gen heterozigot (Aa), dan q^2 adalah prediksi frekuensi gen homozigot resesif (aa). Dari observasi fenotipenya, biasanya dapat diketahui frekuensi gen homozigot resesif dalam persamaan dilambangkan dengan q^2 karena mereka tidak memiliki sifat yang dominan. Huruf yang mengekspresikan sifat pada fenotipenya adalah yang homozigot dominan (p^2) atau heterozigot ($2pq$). Hukum Hardy-Weinberg memungkinkan kita untuk memprediksinya. Karena $p = 1 - q$ dan q diketahui maka akan mudah didapatkan nilai p. Dengan mengetahui p dan q, maka dapat dengan mudah dimasukkan ke dalam persamaan ($p^2 + 2pq + q^2 = 1$). Kemudian, frekuensi ketiga genotipe dapat diketahui.

Dengan membandingkan antara frekuensi genotipe dari generasi berikutnya dan generasi yang sudah ada dalam suatu populasi, seseorang akan dapat mempelajari arah dan tingkatan sifatnya serta apakah evolusi terjadi atau tidak dalam populasi tersebut. Namun, persamaan Hardy-Weinberg tidak dapat menentukan semua kemungkinan yang menunjukkan evolusi sebagai faktor yang bertanggung jawab dalam perubahan frekuensi kolam gen.

Sangat penting untuk mengingat fakta bahwa frekuensi kolam gen stabil secara alami. Mereka tidak mengubah dirinya sendiri. Dengan menyampingkan fakta bahwa evolusi merupakan hal yang umum terjadi dalam populasi alami, frekuensi alel akan tetap kecuali ada mekanisme evolusi seperti mutasi, seleksi alami, dan kawin tidak secara acak.

Sebelum Hardy-Weinberg, dipercaya bahwa alel dominan menghapuskan alel resesif. Teori yang salah ini dikenal sebagai "**genophagy**" (artinya pemakan gen). Berdasarkan teori ini, frekuensi alel dominan selalu bertambah dari waktu ke waktu. Hardy dan Weinberg berhasil membuktikan bahwa dengan persamaan mereka, alel dominan bisa saja berkurang frekuensinya dengan mudah. Perhatikan contoh perhitungan berikut ini yang menerapkan hukum Hardy-Weinberg.

Kata Kunci

- Hukum Hardy-Weinberg
- Kolam gen

Penerapan Hukum Hardy-Weinberg tentang Buta Warna.

Suatu populasi terdiri atas laki-laki buta warna atau *color blind* (cb) sebanyak 30%. Berapakah persentase wanita carrier dan wanita buta warna?

Jawab:

Jumlah orang normal dan buta warna = 100%
Frekuensi orang nomal adalah 100 – 30% = 70%
Laki-laki buta warna $X^{cb}Y$ = 30% = 0,30
Anggap gen normal = X = p dan gen buta warna X^{cb} = q
Karena $p + q = 1$
maka $p = 1 - q$
$p = 1 - 0{,}30 = 0{,}70$

Persentase wanita carrier $X^{cb}X$ atau $2pq = 2(0{,}70 \times 0{,}30)$
$= 2(0{,}21) = 0{,}42$
$= 42\%$
Persentase wanita buta warna atau $X^{cb}X^{cb} = q^2$
$= (0{,}30)^2 = 0{,}09$
$= 9\%$

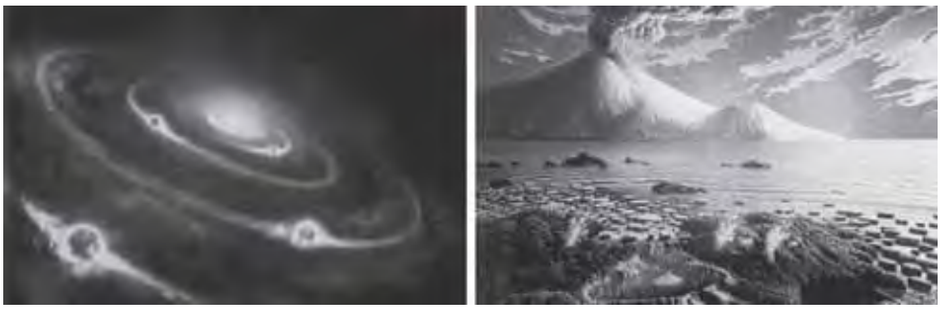
Soal Penguasaan *Materi* 7.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Jelaskan kaitan antara evolusi dan mutasi.
2. Jelaskan oleh spesiasi pada suatu organisme.
3. Syarat apakah yang diperlukan agar tidak terjadi evolusi?

C Asal-Usul Kehidupan

Bagaimanakah kehidupan dapat terjadi? Apakah terjadi secara tiba-tiba atau ada penyebabnya? Para ilmuwan sejak dulu sudah menyelidiki masalah tersebut. Untuk mengetahui asal-usul kehidupan, para ilmuwan menyelidiki dan melakukan eksperimen. Selain penelitian, teori-teori dikemukakan oleh beberapa ilmuwan berdasarkan bukti-bukti yang ada (**Gambar 7.17**).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.17
Gambaran seniman terhadap pembentukan bumi dan keadaan bumi ketika bakteri prokariot berkembang.

1. Teori Abiogenesis

Teori abiogenesis disebut juga teori *generatio spontanea*. Pokok dari teori ini menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda atau materi tidak hidup dan kehidupan terjadi secara spontan (*generatio spontanea*).

Ilmuwan yang mengemukakan teori ini adalah seorang filsafat Yunani kuno, yakni **Aristoteles** (384–322 SM). Dengan melihat organisme di sekelilingnya, Aristoteles berkesimpulan bahwa makhluk hidup muncul secara tiba-tiba. Contohnya, seekor cacing yang keluar dari dalam tanah, maka cacing tersebut berasal dari tanah. Contoh lainnya, katak yang keluar dari lumpur, maka katak tersebut berasal dari lumpur.

Kata Kunci
- Teori abiogenesis
- Teori biogenesis

Ilmuwan lain yang mendukung teori ini adalah **John Needham** (1700). Ilmuwan dari Inggris ini melakukan percobaan dengan merebus sebentar air kaldu yang berasal dari sepotong daging. Air kaldu tersebut menjadi keruh karena adanya mikroorganisme. Ilmuwan tersebut kemudian berkesimpulan bahwa mikroorganisme berasal dari air kaldu.

2. Teori Biogenesis

Teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup lagi. Teori biogenesis merupakan lawan dari teori abiogenesis.

Para ilmuwan yang mendukung teori biogenesis adalah **Francesco Redi** (1626–1697), **Abbe Lazzaro Spallanzani** (1729–1799), dan **Louis Pasteur** (1822–1895). Ketiga ilmuwan ini melakukan percobaan dan membuktikan teori biogenesis.

a. Percobaan Francesco Redi

Francesco Redi adalah orang pertama yang melakukan percobaan untuk menentang teori abiogenesis. Redi melakukan percobaan dengan menggunakan daging segar dan dua stoples (**Gambar 7.18**). Stoples pertama diisi dengan daging dan dibiarkan terbuka (tidak ditutup), sedangkan stoples kedua diisi daging dan ditutup rapat.

Setelah beberapa hari, di dalam stoples yang terbuka terdapat larva. Redi berkesimpulan bahwa larva tersebut berasal dari lalat yang masuk ke dalam stoples kemudian bertelur. Untuk meyakinkan kesimpulannya tersebut, Redi melakukan percobaan yang kedua. Kali ini stoples ditutupi dengan kain kasa sehingga masih terjadi hubungan dengan udara, tetapi lalat tetap tidak dapat masuk. Setelah beberapa hari, didapatkan daging dalam stoples tersebut membusuk, tetapi dalam daging tersebut tidak terdapat larva. Redi mengemukakan tidak adanya larva ini karena lalat tidak bisa menyimpan telurnya dalam daging. Oleh karena itu, Redi berkesimpulan bahwa larva lalat bukan berasal dari daging yang membusuk.

Stoples yang terbuka, daging dipenuhi oleh larva.

Stoples yang tertutup kain kasa, daging tidak terdapat larva.

Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Gambar 7.18

Untuk membuktikan teori biogenesis, Redi melakukan dua percobaan, yakni membiarkan satu stoples terbuka dan lainnya tertutup.

Apa yang terjadi pada kedua daging pada stoples stoples tersebut?

Kegiatan 7.1

Menumbangkan Teori Abiogenesis

Tujuan

Membuktikan teori biogenesis dengan melakukan percobaan

Alat dan Bahan

Blender, 3 botol selai kosong, tape singkong, dan pisang. Kain kasa dan plastik bening serta karet gelang.

Langkah Kerja

1. Bersama kelompok Anda, campurkan tape singkong dan pisang dengan perbandingan 1:3 menggunakan blender.
2. Masukkan campuran dalam tiga botol selai. Tutup botol pertama dengan plastik bening, botol kedua dengan kain kasa, dan botol ketiga tanpa penutup.
3. Simpan ketiga botol tersebut di luar ruangan. Biarkan dan amati hingga lima hari. Diskusikan hasilnya dengan kelompok Anda dan buatlah kesimpulannya. Presentasikan hasilnya di depan kelas.

Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

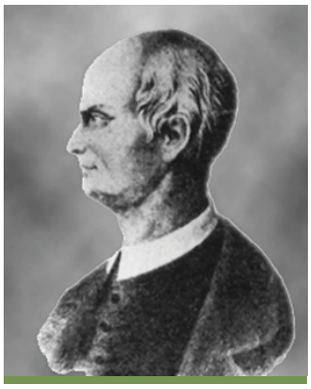
1. Apa yang terjadi pada ketiga botol yang diisi campuran setelah lima hari?
2. Apa yang dapat Anda simpulkan dari kegiatan ini?

b. Percobaan Lazzaro Spallanzani

Pada percobaan Spallanzani, digunakan air rebusan dari daging atau (air kaldu). Air kaldu tersebut dimasukkan ke dalam dua labu, kemudian dipanaskan. Setelah dipanaskan, labu I dibiarkan terbuka. Sementara itu, setelah air kaldu dalam labu II dipanaskan, labu kemudian ditutup rapat menggunakan gabus.

Setelah beberapa hari, air kaldu dalam labu I menjadi keruh dan berbau busuk yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut berasal dari udara bebas yang masuk ke labu I karena tidak ditutup. Pada labu II, ternyata tidak ada perbedaan dari sebelumnya. Air kaldu tetap jernih. Jernihnya air kaldu ini disebabkan tidak adanya udara yang masuk ke dalam labu.

Tokoh Biologi



Lazzaro Spallanzani (1729–1799)

Spallanzani berhasil membuktikan bahwa kehidupan berasal dari makhluk hidup yang lainnya. Ia membuktikan dengan melakukan percobaan labu yang diisi air kaldu. Hasil percobaannya tersebut menumbangkan teori abiogenesis.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

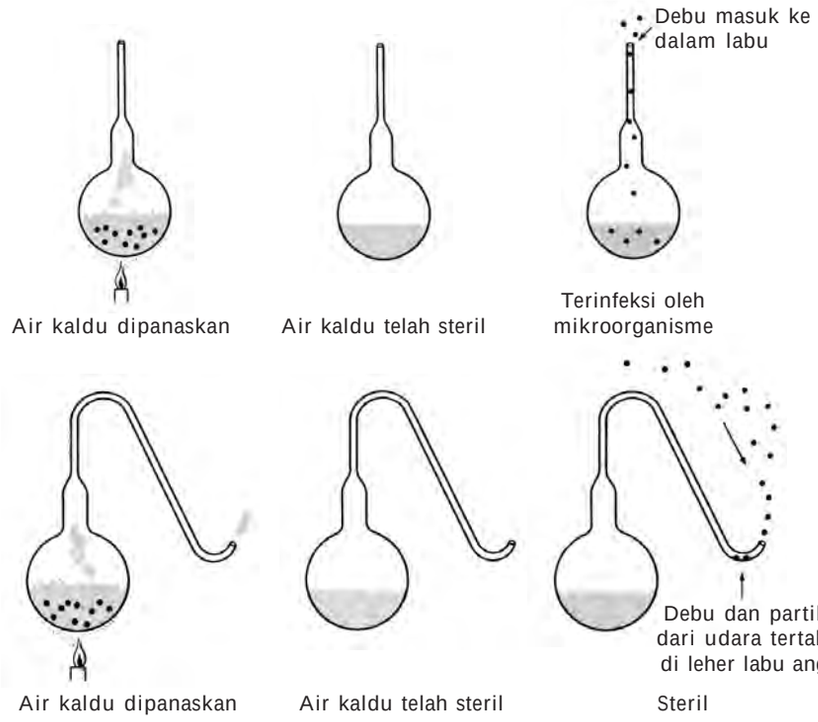
Percobaan Spallanzani menunjukkan bahwa pada labu terbuka terdapat kehidupan yang berasal dari mikroorganisme yang ada di udara. Pada labu yang ditutup tidak terdapat kehidupan. Berdasarkan hal tersebut, Spallanzani berkesimpulan bahwa kehidupan bukan berasal dari air kaldu, tetapi berasal dari makhluk hidup lainnya. Akan tetapi, para penganut abiogenesis menyanggah penelitian ini dan mengatakan bahwa mikroorganisme tidak tumbuh karena tidak terdapat udara. Udara dibutuhkan untuk menyokong kehidupan.

c. Percobaan Louis Pasteur

Louis Pasteur adalah seorang ahli biokimia dari Perancis yang berhasil menumbangkan teori abiogenesis. Hasil percobaannya tidak dapat disanggah lagi oleh pendukung teori abiogenesis. Percobaan yang dilakukan Louis Pasteur ini sebenarnya penyempurnaan dari percobaan yang dilakukan oleh Spallanzani.

Pasteur menggunakan labu berleher seperti angsa dalam percobaannya (**Gambar 7.19**). Labu berleher seperti angsa ini diisi dengan air kaldu. Fungsi dari labu leher angsa ini adalah agar hubungan antara labu dan udara luar masih ada, artinya masih terdapat oksigen. Labu ini dipanaskan untuk mensterilkan air kaldu dari mikroorganisme. Setelah dipanaskan, labu kemudian didinginkan dan disimpan.

Setelah beberapa hari, ternyata air kaldu dalam labu leher angsa tetap jernih, namun di bagian lehernya banyak terdapat debu dan partikel-partikel, sedangkan di labu lainnya yang tidak berleher angsa, air kaldunya mengandung mikroorganisme. Berdasarkan hasil percobaannya, Louis Pasteur menyimpulkan bahwa mikroorganisme yang ada dalam air kaldu bukan berasal dari air kaldu itu sendiri, melainkan dari mikroorganisme yang ada di udara.



Sumber: *Biological cience*, 1986

Gambar 7.19

Percobaan Louis Pasteur. Hasilnya, (a) air kaldu yang terdapat di dalam labu yang tidak berbentuk leher angsa, mengandung mikroorganisme. (b) Adapun labu yang berbentuk leher angsa dan berhubungan dengan udara luar, tidak terdapat mikroorganisme.

Mengapa air kaldu pada labu leher angsa tidak terkontaminasi mikroorganisme?

Hasil percobaan Louis Pasteur berhasil menumbangkan teori abiogenesis. Dari hasil percobaannya, Pasteur mengajukan teori baru tentang asal-usul kehidupan. Isi teori disebut menyatakan beberapa hal, di antaranya *omne*

vivum ex ovo, yakni setiap makhluk hidup berasal dari telur, *omne ovum ex vivo*, yakni setiap telur berasal dari makhluk hidup, dan *omne vivum ex vivo*, yakni setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

3. Teori Evolusi Kimia

Ternyata gugurnya teori abiogenesis oleh teori biogenesis tidak membuat ilmuwan berhenti menyelidiki tentang asal-usul kehidupan. Sekarang, timbul pertanyaan, jika makhluk hidup berasal dari makhluk hidup, dari manakah asal mula makhluk hidup yang pertama? Untuk menjawab itu, muncullah teori evolusi kimia. Ilmuwan yang menyatakan teori tersebut adalah **Harold Urey**.

Urey menyatakan bahwa pada periode tertentu, atmosfer bumi mengandung molekul metana (CH_4), amonia (NH_4), air (H_2O), dan karbon dioksida (CO_2). Karena pengaruh dari energi petir dan sinar kosmis, zat-zat tadi bereaksi. Hasil reaksi tersebut menghasilkan suatu zat hidup yang diduga virus. Zat hidup tersebut berkembang selama jutaan tahun membentuk makhluk hidup. Teori yang dikemukakannya tersebut, kemudian dikenal dengan **teori Urey**.

Untuk membuktikan teori ini, **Stanley Miller** melakukan sebuah percobaan (**Gambar 7.20**). Peralatan yang dirancang Miller, yakni ruang bunga api diisi dengan campuran gas meniru atmosfer purba, sementara botol kaca kecil diisi dengan air murni seperti sup purba. Miller membuat kilat buatan dengan bunga api listrik di antara dua elektroda dalam atmosfer buatan tersebut. Ia juga memanaskan air laut tiruannya. Percobaan ini berlangsung selama seminggu dan dapat menghasilkan beragam senyawa organik.

Di alam nyata, reaksi kimia ini akan berjalan selama jutaan tahun sehingga dapat membentuk hasil yang lebih kompleks. Pada titik tertentu dari proses yang panjang ini, senyawa kimia dapat terbentuk dengan sendirinya. Jika pada proses membentuk diri ini terkadang terdapat kesalahan, senyawa kimia ini dapat menyesuaikan diri dan berevolusi melalui proses seleksi kimiawi. Jadi, kehidupan tidak terbentuk secara tiba-tiba melainkan timbul secara bertahap dari senyawa tidak hidup.

Wawasan Biologi

Cerita-cerita tentang penciptaan benda-benda pada setiap daerah berbeda-beda. Kisah penciptaan Jepang menceritakan bahwa pada mulanya terdapat delapan dewa. Ketika dua dari dewa-dewa yang paling muda, Izanagi dan Izanami mengaduk-aduk lautan dengan sebuah tongkat yang terdapat permata di ujungnya, tetesan-tetesan air yang jatuh membentuk sebuah pulau. Mereka kemudian tinggal di pulau itu dan Izanami melahirkan semua pulau di Jepang.

Sumber: *endela ptek: Evolusi*, 1997

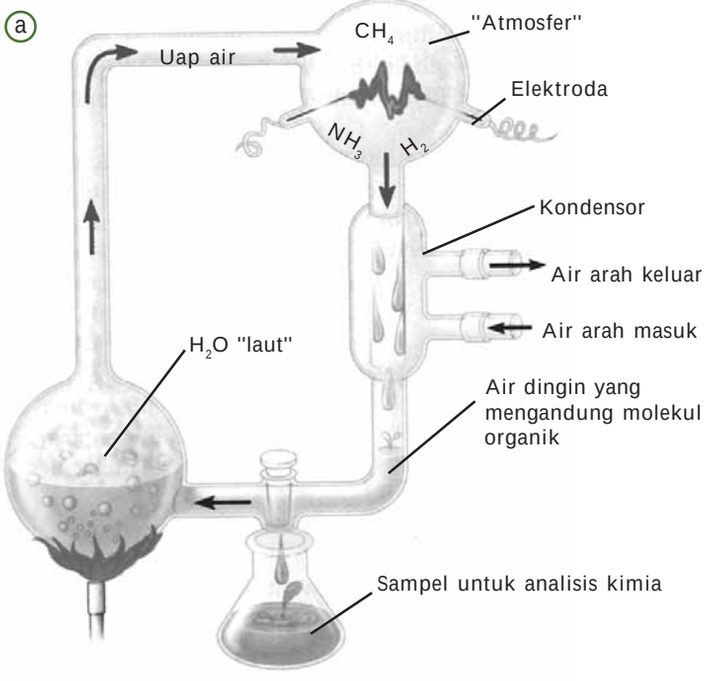
Kata Kunci

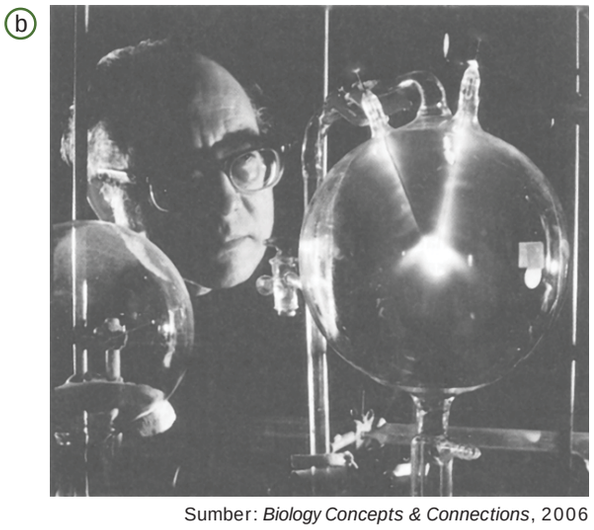
- Teori Urey

Gambar 7.20

(a) Peralatan yang digunakan Stanley Miller untuk membuktikan teori Urey. (b) Miller bekerja keras di laboratoriumnya untuk membuktikan teori Urey.

Apa fungsi bunga api listrik pada percobaan ini?





Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

4. Teori Evolusi Biologi

Sumber: *endela ptek: ehidupan*, 1997

Gambar 7.21

Alexander Ivanovich Oparin merupakan ilmuwan yang mengemukakan bahwa awal kehidupan berasal dari sup primordial.

Alexander Ivanovich Oparin (**Gambar 7.21**) mengemukakan bahwa evolusi zat-zat kimia terjadi sebelum di bumi terdapat kehidupan. Seperti sebelumnya, zat anorganik berupa air, metana, karbon dioksida, dan amonia terkandung dalam atmosfer bumi. Zat anorganik tersebut membentuk zat-zat organik akibat adanya radiasi dari energi listrik yang berasal dari petir.

Suhu di bumi terus menurun. Ketika sampai pada titik kondensasi, terjadi hujan yang mengikis batuan di bumi yang banyak mengandung zat-zat anorganik. Zat-zat anorganik tersebut terbawa ke lautan yang panas. Di lautan ini terbentuk sup purba atau **sup primordial**. Sup purba terus berkembang selama berjuta-juta tahun. Di dalam sup purba, terkandung zat anorganik, RNA, dan DNA. RNA yang dibutuhkan dalam proses sintesis protein dapat terbentuk dari DNA. Akibatnya, terbentuklah sel pertama. Sel pertama tersebut mampu membelah diri sehingga jumlahnya semakin banyak. Sejak saat itulah evolusi biologi berlangsung.

a. Terbentuknya Makhluk Hidup Prokariotik

Sejarah kesuksesan makhluk hidup prokariotik dimulai sedikitnya pada 3,5 miliar tahun yang lalu. Prokariotik merupakan bentuk kehidupan pertama dan paling sederhana. Mereka hidup dan berevolusi di bumi selama 2 miliar tahun. Prokariotik dianggap paling primitif, karena selnya hanya memiliki membran sel. DNA, RNA hasil transkripsi, dan molekul-molekul organik berada dalam sitoplasma tanpa dibatasi membran.

Prokariotik pertama kemungkinan merupakan kemoautrotof yang menyerap molekul organik bebas dan ATP di sup purba melalui sintesis abiotik. Seleksi alam menyebabkan prokariotik yang dapat mengubah ADP menjadi ATP melalui glikolisis bertambah. Akhirnya, prokariotik yang dapat melakukan fermentasi berkembang dan hal tersebut menjadi cara hidup organisme di bumi karena belum tersedianya O_2. Beberapa Archaebacteria dan beberapa bakteri obligat anerob yang sekarang hidup melalui fermentasi, mirip dengan prokariotik terdahulu.

Kata Kunci

- Fotoautotrof
- Prokariotik
- Sup purba

b. Terbentuknya Organisme Fotoautotrof

Ketika kecepatan konsumsi bahan organik oleh fermentasi prokariotik melebihi kecepatan sintesis untuk menggantikan molekul organik, berkembanglah prokariotik yang dapat membuat molekul organiknya sendiri. Pada prokariotik awal, pigmen yang dapat menyerap cahaya digunakan untuk menyerap kelebihan energi cahaya (terutama dari sinar ultraviolet) yang membahayakan bagi sel yang hidup di permukaan. Selanjutnya, pigmen ini mampu melakukan transfer elektron untuk sintesis ATP. Prokariotik ini mirip dengan Archaebacteria yang disebut bakteri halofik. Pigmen yang menangkap cahaya dikenal dengan bakteriorhodopsin yang dibuat pada membran plasma.

Prokariotik lain memiliki pigmen yang dapat menggunakan cahaya untuk transfer elektron dari hidrogen sulfida (H_2S) menjadi $NADP^+$ dan dapat memfiksasi CO_2. Akhirnya, Eubacteria memiliki cara untuk menggunakan H_2O sebagai sumber elekton dan hidrogen. Bakteri ini adalah Cyanobacteria pertama yang mampu membuat molekul organik dari air dan CO_2. Cyanobacteria berkembang dan mengubah bumi dengan melepaskan O_2 sebagai efek fotosintesis.

Cyanobacteria berkembang antara 2,5 miliar hingga 3,4 miliar tahun yang lalu. Mereka hidup bersama prokariotik lain membuat koloni. Fosil koloni ini disebut stromatolit yang banyak ditemukan di perairan air tawar dan air laut (**Gambar 7.22**).

Sumber: *Essential of Biology*, 1990

Gambar 7.22

Fosil stromatolit berusia 2,7 miliar tahun.

c. Bangkitnya Organisme Eukariotik

Eukariotik berkembang sekitar 1,2 miliar tahun yang lalu. Hal yang sangat membedakan eukariotik dengan prokariotik adalah adanya organel-organel yang memiliki membran. Bagaimana sel eukariotik yang kompleks dapat terbentuk dari prokariotik yang sederhana?

Sistem membran organel-organel pada eukariotik dapat terbentuk dari invaginasi yang terspesialisasi. Pada eukariotik terdahulu, invaginasi (pelekukan ke dalam) dapat terjadi sehingga membentuk membran inti dan retikulum endoplasma (**Gambar 7.23**).

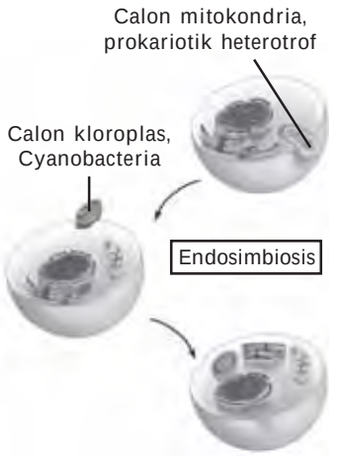
Sumber: *Biology: The nity & Diversity*, 1995

Gambar 7.23

Kemungkinan pembentukan membran inti dan retikulum endoplasma.

Proses lain yang disebut endosimbiosis menjelaskan pembentukan mitokondria, kloroplas, dan beberapa organel eukariotik lain. Teori ini dikemukakan oleh **Lynn Margulis**. *Endo* berarti di dalam dan *simbiosis* berarti hidup bersama. Endosimbiosis terjadi ketika sel simbion hidup secara permanen di dalam sel lain (sel inang) dan interaksi ini menguntungkan keduanya (**Gambar 7.24**). Berdasarkan teori ini, eukariotik berkembang setelah sel fotosintesis muncul dan oksigen melimpah di atmosfer.

Kloroplas dan mitokondria tampaknya merupakan evolusi sel prokariotik yang melakukan endosimbiosis dengan sel prokariotik besar. Nenek moyang mitokondria kemungkinan besar adalah sel prokariotik heterotrof yang mampu menggunakan oksigen dan menghasilkan energi. Adapun nenek moyang kloroplas kemungkinan adalah Cyanobacteria.

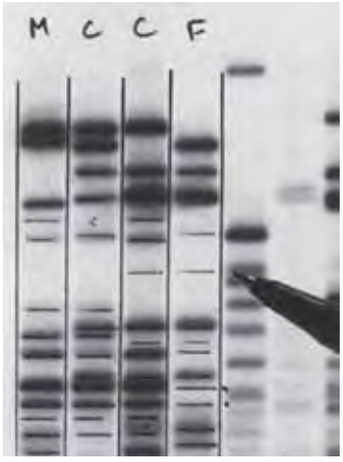


Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.24

Proses endosimbiosis

Apakah yang terjadi pada proses ini?



Sumber: *endela PTEk*, 1997

Gambar 7.25

Perbandingan DNA memberikan cara baru untuk mengetahui kekerabatan antarmakhluk hidup.

Sel eukariotik hasil endosimbiosis ini sekarang kita kenal dengan nama Protista. Makhluk hidup eukariotik satu sel ini sangat beranekaragam. Beberapa Protista dapat berfotosintesis, sebagian lagi bersifat heterotrof dan dapat aktif bergerak. Sebagian mirip jamur dan mendapatkan makanan dengan menyerap secara absorpsi.

Makhluk hidup eukariotik banyak sel, seperti rumput laut, tumbuhan dan hewan kemungkinan berasal dari Protista yang berkoloni. Koloni Protista tersebut mengalami spesialisasi dan saling bergantung satu sama lain, namun semakin efisien dalam melakukan aktivitasnya. Hal ini terus terjadi hingga kehidupan memasuki daratan dan muncullah makhluk hidup banyak sel yang lebih kompleks.

Bukti-bukti evolusi ini semakin diperkuat oleh sistematika molekuler berdasarkan perbandingan DNA organisme (**Gambar 7.25**). Perbandingan gen RNA mengidentifikasikan bahwa alpha proteobacteria adalah kerabat dekat mitokondria dan Cyanobacteria adalah kerabat dekat kloroplas. Sistematika molekuler memberikan cara baru mengungkap evolusi dan kekerabatan makhluk hidup.

5. Waktu Geologis

Berdasarkan catatan geologis, bumi ini telah ada kurang lebih 4,5 miliar tahun yang lalu sebagai hasil dari sebuah ledakan mahadahsyat di angkasa. Kehidupan diperkirakan mulai hadir 1 miliar tahun dan oleh para ahli percaya bahwa lautan merupakan tempat awal mula hadirnya kehidupan. Keberadaan organisme multiseluler dimulai kira-kira 600 juta tahun yang lalu pada awal masa Paleozoic.

Ada empat masa yang dikenal berdasarkan kehadiran makhluk hidup. Masa tersebut adalah proterozoik, paleozoik, mesozoik, dan senozoik (**Gambar 7.26**).

a. Proterozoik

Awal mula hadirnya kehidupan, masa ini ada sekitar 3,5 miliar tahun yang lalu. Sebuah fosil batuan pada masa ini, ditemukan mengandung fosil mikroorganisme primitif yang dikenal dengan bakteri (prokariotik). Organisme eukariotik kemudian muncul sekitar 1,5 miliar tahun yang lalu.

b. Paleozoik (Kehidupan Kuno)

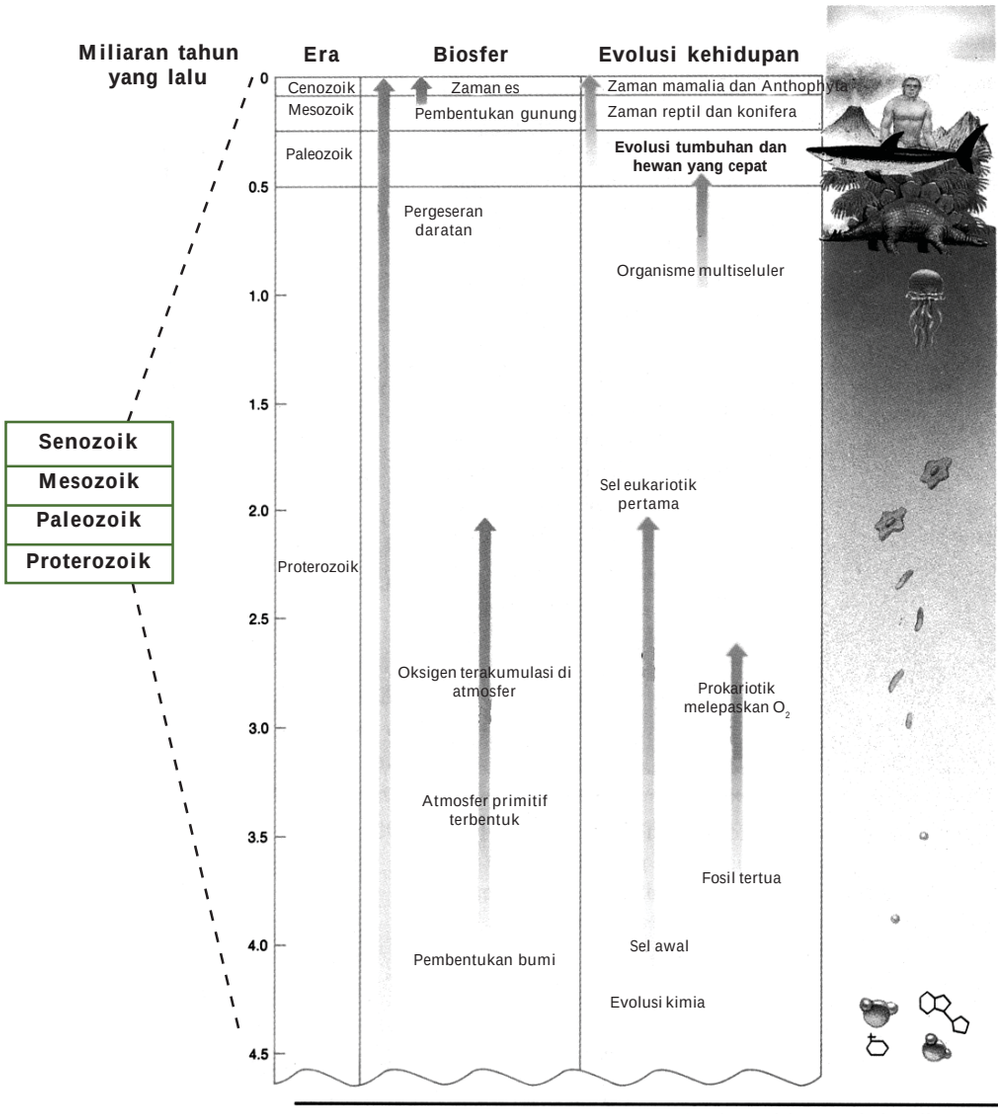
Pada masa ini, diperkirakan mulai munculnya tumbuhan, invertebrata, dan hewan vertebrata pertama, masa ini terjadi sekitar 230 juta sampai dengan 600 juta tahun yang lalu. Perkembangan masa ini dimulai dengan semakin banyaknya kehadiran organisme invertebrata di lautan. Beberapa jenis di antaranya masih tersisa hingga kini, di antaranya adalah kelompok Echinodermata, Arthropoda, dan Mollusca. Pada masa ini juga mulai hadirnya zaman karbon sehingga diduga mulai terjadi invasi tumbuhan di daratan.

Selama zaman karbon ini, cuacanya sangat panas dan lembap. Di daratan banyak terdapat tumbuhan dan konifer. Jenis tumbuhan dan hewan pada masa inilah yang memberikan kita ketersediaan bahan bakar fosil pada masa sekarang. Serangga juga diduga mulai mengisi daratan. Ukuran serangga yang hidup pada masa itu lebih besar dari serangga yang umum kita lihat saat ini. Selain itu, ikan pertama pun mulai muncul di laut.

Wawasan Biologi

Perkiraan usia bumi telah melalui perdebatan panjang. Pada masa kini, perhitungan usia dilakukan secara radiometris. Usia bumi diperkirakan menggunakan usia dari batu-batuan tertua di Bumi (3,9 miliar tahun). Elemen-elemen radioaktif di dalam batu-batuan tersebut diukur usianya secara tepat.

Sumber: *endela ptek evolusi*, 1997



Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Gambar 7.26
Empat masa kehadiran makhluk hidup.

c. Mesozoik (Zaman Reptilia)

Zaman ini merupakan awal mula hadirnya tumbuhan berbunga, dinosaurus, burung, dan mamalia. Masa ini terjadi antara 250 sampai dengan 60 juta tahun yang lalu. Pada masa ini, banyak spesies reptil dari masa zaman karbon mengalami kepunahan tanpa sebab yang pasti dan digantikan dengan jenis dinosaurus. Masa ini dipenuhi dengan jenis-jenis dinosaurus herbivora dan karnivora. Pada zaman jurasik dan cretaceous, jenis reptil yang hidup berukuran sangat besar. Beberapa jenis Sauropods, seperti Brontosaurus dan Brachiosaurus merupakan organisme terbesar yang pernah hidup di daratan bumi kita.

d. Senozoik (Zaman Mammalia)

Pada masa ini mulai terjadi penyebaran makhluk hidup sehingga terjadi diversifikasi tumbuhan berbunga, serangga, burung dan mamalia. Selain itu, masa ini juga merupakan awal mula hadirnya manusia (sekitar 3 juta tahun yang lalu).

Tugas Ilmiah 7.2

Setelah mempelajari Bab Evolusi, Anda telah mengetahui bahwa evolusi pada makhluk hidup berlangsung sangat lama, hal ini menyebabkan evolusi sulit dibuktikan. Namun, sejak teori evolusi dikemukakan Darwin, para ilmuwan mulai sadar akan adanya seleksi alam dan mencatat kejadian-kejadian yang terkait. Meski perubahan yang terjadi akibat seleksi alam yang tercatat tergolong kecil, namun hal tersebut dapat menjadi bukti dan indikasi evolusi yang mengakibatkan perubahan besar. Sekarang, tugas Anda adalah mencari bukti teori evolusi, seperti perubahan-perubahan evolusi pada virus, resistensi hama, dan kasus seleksi alam lain yang tercatat. Carilah referensi dari buku, majalah, koran, dan internet. Buatlah dalam sebuah karya tulis. Kumpulkan tugas ini kepada guru Anda untuk selanjutnya diadakan diskusi kelas membahas tugas ini.

Soal Penguasaan *Materi* 7.3

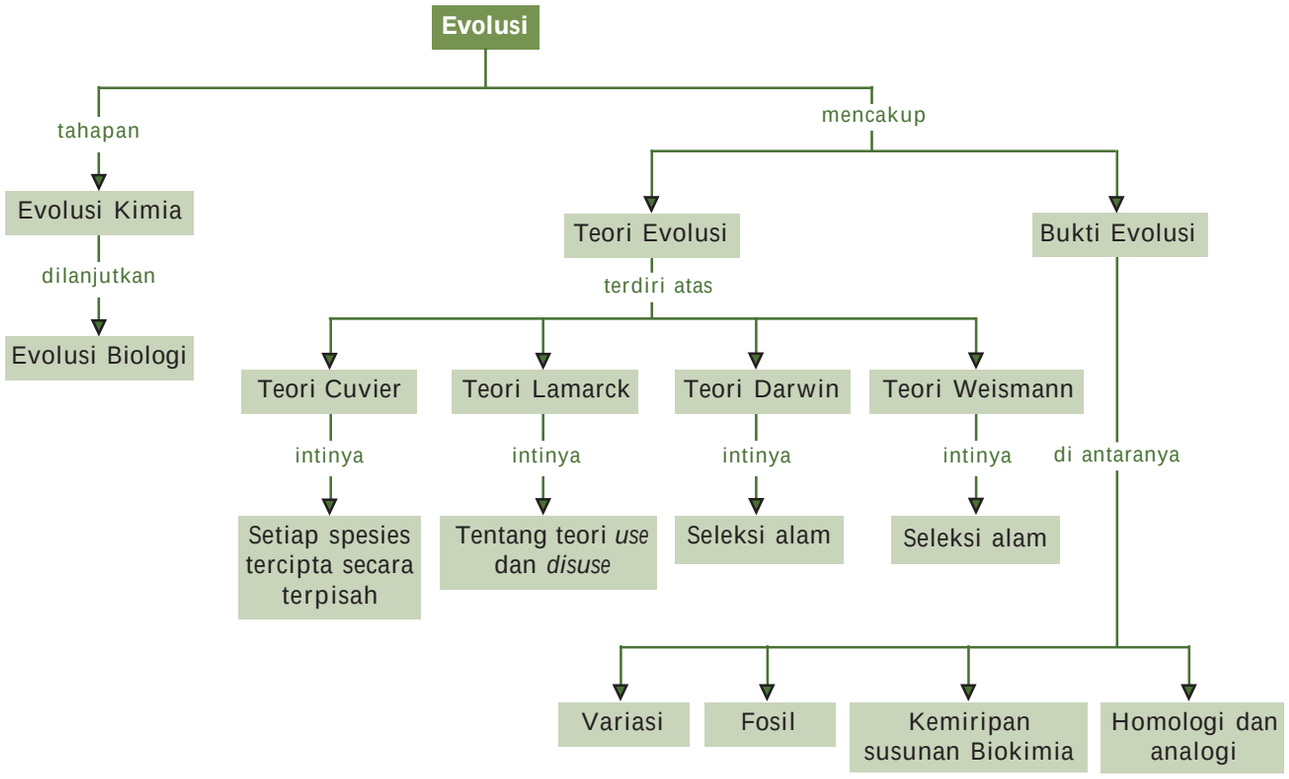
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan teori abiogenesis dengan teori biogenesis?
2. Jelaskan tentang percobaan yang dilakukan Louis Pasteur, serta apakah kesimpulan yang dihasilkan percobaan tersebut.
3. Jelaskan terjadinya evolusi Biologi.

Rangkuman

1. Perkembangan teori evolusi dimulai setelah Darwin mengemukakan bahwa teori evolusi bersamaan dengan Wallace. Darwin mengemukakan bahwa evolusi terjadi karena seleksi alami. Ia menyatakan bahwa individu yang kuat akan bertahan dan mewariskan sifat kepada keturunannya. Individu yang tidak dapat bertahan akan musnah, sedangkan yang bertahan akan lestari.
2. Lamarck mengemukakan teori evolusi yang dikenal dengan teori *use* and *disuse*. Ia mencontohkan leher zarafah yang terus dipakai dan memanjang akan diturunkan kepada generasi berikutnya.
3. Terdapat beberapa bukti terjadinya evolusi, antara lain variasi dalam spesies fosil, kemiripan susunan biokimia antarspesies, perbandingan anatomi, dan perbandingan embrio.
4. Evolusi dapat terjadi melalui seleksi alami, mekanisme mutasi, dan spesiasi. Berdasarkan hukum Hardy-Weinberg, evolusi tidak akan terjadi jika:
   a. tidak ada mutasi;
   b. tidak ada seleksi alam;
   c. ukuran populasi sangat besar;
   d. jumlah anggota populasi sangat besar
   e. semua anggota populasi dapat berkembang biak;
   f. semua anggota populasi dapat kawin secara acak;
   g. tidak ada migrasi keluar atau masuk dari dan ke populasi.
5. Teori mengenal asal-usual kehidupan dikemukanan oleh beberapa ilmuwan. Teori Abiogenesis dikemukakan oleh Aristoteles dan didukung oleh John Needham. Teori ini menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk tak hidup (*generatio spontanea*).
6. Teori Biogenesis muncul untuk menumbangkan teori abiogenesis. Teori biogenesis menyatakan bahwa semua makhluk hidup berasal dari telur (*omne vivum ex ovo*), setiap telur berasal dari makhluk hidup (*omne ex vivo*), dan setiap makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya (*omne vivum ex vivo*).
7. Teori evolusi kimia menyatakan bahwa adanya pengaruh energi petir dan sinar kosmis menyebabkan reaksi molekul anorganik menjadi senyawa organik.
8. Teori evolusi biologi menyatakan bahwa zat organik terbentuk dan memicu terbentuknya makhluk hidup sederhana. Kemudian, berkembang menjadi makhluk hidup yang lebih kompleks.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Evolusi, Anda diharapkan dapat menjelaskan teori-teori evolusi serta perdebatan-perdebatan teori tersebut. HIngga kini, penelitian-penelitian tentang bukti evolusi sedang dilakukan. Salah satu penelitian tentang kekerabatan dilakukan melalui perbandingan molekuler yang menjanjikan pengungkapan evolusi agar lebih dapat diterima.

Rumuskanlah materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda.

Evaluasi Materi Bab 7

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

1. *Generatio spontanea* merupakan salah satu teori yang menyatakan bahwa ....
   a. kehidupan berasal dari benda mati dan terjadi secara spontan
   b. kehidupan diciptakan oleh zat supranatural pada saat istimewa
   c. kehidupan tidak berasal-usul
   d. kehidupan muncul berdasarkan hukum fisiko-kimia
   e. kehidupan datang dari mana saja

2. Konsep evolusi kimia yang dikemukakan oleh Harold Urey adalah bahwa kehidupan berasal dari ....
   a. zat organik yang terurai menjadi zat-zat anorganik
   b. zat anorganik yang mengalami perubahan menjadi makromolekul organik
   c. asam amino menjadi protein sebagai bahan dasar kehidupan
   d. gas-gas yang terdapat di dalam atmosfer purba
   e. benda mati yang mengalami serangkaian proses menjadi benda hidup

3. Ilmuwan yang menduga bahwa lautan menjadi timbunan molekul-molekul organik yang merupakan sop purba tempat kehidupan dapat muncul adalah ....
   a. Harold Urey
   b. Stanley Miller
   c. Alexander Oparin
   d. Aristoteles
   e. Anthony Van Leeuwenhoek

4. Ilmuwan yang berhasil membuktikan teori Harold Urey dan Oparin, dengan membuat alat yang dapat membentuk campuran gas CH_4, NH_3, H_2, dan H_2O, lalu dialiri arus listrik yang bertegangan tinggi sehingga terbentuk endapan asam amino adalah ....
   a. Aristoteles
   b. Francesco Redi
   c. Anthony Van Leeuwenhoek
   d. John Baptiste Lamarck
   e. Stanley Miller

5. Perhatikan data berikut.

No	Organisme	Organ	Fungsi organ
1.	Ikan	Sirip ekor	Kemudi waktu berenang
2.	Manusia	Tangan	Memegang
3.	Kelelawar	Sayap	Terbang
4.	Burung	Sayap	Terbang
5.	Kucing	Kaki belakang	Berjalan

   Dari data tersebut yang merupakan organ homolog adalah ....
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1, 3, dan 4
   c. 2, 3, dan 4
   d. 2, 3, dan 5
   e. 3, 4, dan 5

6. Atmosfer bumi mula-mula memiliki air, metana, dan amonia. Zat-zat tersebut mengalami serangkaian perubahan menjadi suatu koloid yang disebut ....
   a. koaservat
   b. laut purba
   c. sup primordial
   d. kristaloid
   e. *zwitter ion*

7. Menurut teori evolusi yang dikemukakan oleh Darwin, zarafah yang sekarang berleher panjang kemungkinan disebabkan ....
   a. mutasi
   b. makanan
   c. adaptasi
   d. seleksi alami
   e. lingkungan

8. Menurut Lamarck, faktor yang berpengaruh pada evolusi organ adalah ....
   a. seleksi alam
   b. perubahan gen
   c. lingkungan
   d. perubahan kromosom
   e. bastar

9. Organ-organ tubuh berikut memiliki fungsi serta bentuk asal tertentu.
   1. Tangan manusia
   2. Sayap burung
   3. Sayap serangga
   4. Kaki depan pesut
   5. Sirip dada ikan

   Di antaranya ada homolog dan ada yang analog, pernyataan yang benar adalah ....
   a. 1 dan 3 homolog; 4 dan 5 analog
   b. 1 dan 4 homolog; 3 dan 5 analog
   c. 1 dan 2 homolog; 4 dan 5 analog
   d. 2 dan 5 homolog; 1 dan 4 analog
   e. 3 dan 5 homolog; 2 dan 4 analog

10. Teori evolusi mengemukakan bahwa sayap burung mempunyai asal yang sama dengan ....
    a. kaki depan kuda
    b. sirip belakang ikan
    c. sayap belalang
    d. sayap kupu-kupu
    e. lengan manusia

11. Berikut ini yang *bukan* merupakan inti dari teori yang dikemukakan Darwin adalah ....
    a. perubahan pada suatu organisme terjadi karena seleksi alami
    b. organisme yang kuat akan bertahan
    c. adanya organ yang digunakan dan tidak digunakan (*use* dan *disuse*)
    d. organisme yang berjuang keras akan bertahan hidup
    e. organisme yang terseleksi oleh alam akan punah

12. Menurut Hardy-Weinberg evolusi akan terjadi jika ....
    a. tidak terjadi mutasi
    b. tidak ada seleksi alam
    c. ukuran populasi sangat besar
    d. adanya seleksi alam
    e. semua anggota populasi dapat berkembang biak

13. Aristoteles dan John Needham merupakan ilmuwan yang mengemukakan tentang ....
    a. bahwa organisme berasal dari organisme lainnya
    b. teori abiogenesis
    c. teori biogenesis
    d. *omni vivum ex vovo*
    e. *omne vivum ex vivo*

14. Pada percobaan Louis Pasteur, labu berbentuk leher angsa bertujuan ....
    a. agar air kaldu tidak terdapat larva
    b. agar lalat tidak masuk
    c. agar udara dapat masuk
    d. agar debu dan partikel tertahan di leher tersebut
    e. agar cepat terinfeksi larva

15. Berikut *bukan* yang termasuk zat anorganik pembentuk asal-usul kehidupan menurut teori Urey adalah ....
    a. metana
    b. amonia
    c. air
    d. karbon dioksida
    e. karbon monoksida

16. Berikut adalah beberapa hal yang merupakan isi teori Louis Pasteur, *kecuali* ....

a. *omne vivum ex vivo*
b. *omne vivum ex ovum*
c. *omne vivum ex ovo*
d. *omne vivum ex vivo*
e. *omne vivum ex ivo*

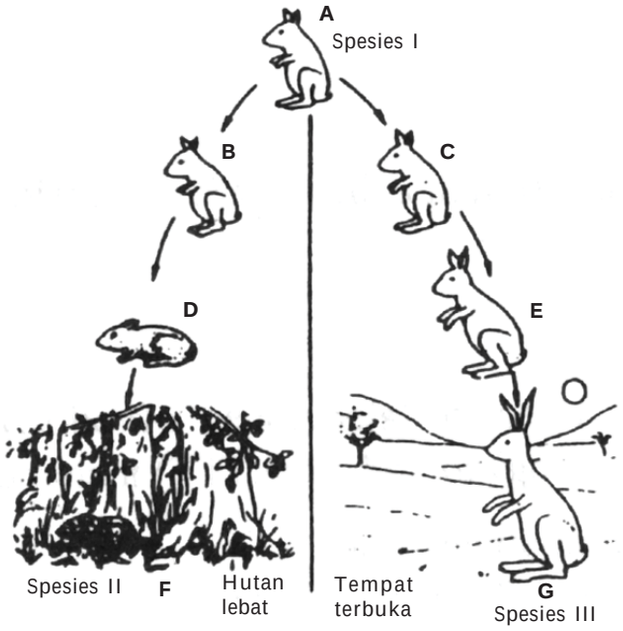
17. Suatu populasi terdiri atas wanita buta warna (cb) sebanyak 25%. Persentase wanita normal dan wanita *carrier* adalah ....
    a. 25% dan 50%
    b. 25% dan 25%
    c. 50% dan 25%
    d. 50% dan 50%
    e. 20% dan 75%
18. Lazzaro Spallanzani merupakan ilmuwan yang meruntuhkan teori abiogenesis melalui ....
    a. percobaan menggunakan labu berleher seperti angsa berisi air kaldu
    b. percobaan menggunakan labu yang berisi air kaldu, ada yang ditutup dan ada yang tidak
    c. percobaan menggunakan sepotong daging di stoples
    d. percobaan menggunakan perangkat antara lain terdapat ruang bunga api
    e. percobaan dengan merebus air kaldu dari sepotong daging lalu dibiarkan
19. Spesiasi dapat terjadi dikarenakan hal-hal berikut ini, *kecuali* ....
    a. ada penghalang geografis
    b. adaptasi di lingkungan berbeda
    c. tidak dihasilkan keturunan dalam suatu populasi
    d. peristiwa poliploid
    e. populasi yang sangat besar terpisah-pisah
20. Beberapa bukti evolusi adalah sebagai berikut, *kecuali* ....
    a. fosil
    b. susunan biokimia yang berbeda
    c. perbandingan anatomi
    d. spesiasi
    e. variasi

B. Jawablah pertanyaan berikut dengan benar.

1. Apakah perbedaan antara teori Lamarck dan teori Darwin? Jelaskan.
2. Berikan masing-masing contoh yang merupakan organ homolog dan analog.
3. Jelaskan mengenai bukti-bukti terjadinya evolusi.
4. Apakah perbedaan spesiasi allopatrik dan spesiasi simpatrik? Jelaskan.
5. Jelaskan percobaan yang dilakukan oleh Louis Pasteur. Kesimpulan apakah yang didapat?

Soal Tantangan

1. Gambar berikut memperlihatkan beberapa tahap evolusi yang mungkin terjadi jika dua spesies yang berbeda berasal dari satu nenek moyang yang sama melalui evolusi ribuan tahun.



Dengan memerhatikan huruf-huruf pada tahapan tersebut, jelaskan proses evolusi yang terjadi pada gambar tersebut.

2. Sejak dahulu kala, nenek moyang kita mengembangkan tanaman padi-padian untuk dikonsumsi. mereka memilih dan menyilangkan tanaman padi yang Anda kenal sekarang dari sejenis tanaman rumput. Setelah beberapa ratus tahun, tanaman padi sekarang sangat jauh berbeda dengan nenek moyangnya. Kini para ilmuwan mencari nenek moyang tanaman padi hingga ke desa-desa dan pedalaman hutan. Menurut Anda, apakah hal yang dilakukan ilmuwan tersebut penting? Jelaskan.

Kegiatan Semester 2

Penyebab dan Akibat dari Evolusi HIV

HIV adalah virus penyebab AIDS, penyakit menular yang paling mematikan bagi kehidupan manusia. Pada 2004, jumlah penderita AIDS di dunia diperkirakan berjumlah 42 juta orang. Dapat dikatakan bahwa tingkat kematian pada penderita AIDS mencapai 100%. Menanggapi kenyataan tersebut, negara-negara industri maju telah berhasil menciptakan agen antivirus HIV / AIDS sehingga penyebaran virus ini dapat lebih dikendalikan. Akan tetapi, tidak dapat dipungkiri bahwa penyakit ini masih tetap berbahaya, bahkan percobaan klinis masih tetap harus dilakukan.

Penyembuhan AIDS secara total sulit dicapai karena evolusi HIV berlangsung sangat cepat. Oleh karena itu, pembuatan vaksin atau agen antivirus harus dikembangkan secara berkala. Dengan adanya evolusi HIV tersebut, mengapa vaksin harus dibuat secara berkala? Bagaimanakah hubungannya dengan sistem kekebalan tubuh manusia? Apakah yng Anda ketahui mengenai perubahan yang terjadi pada HIV? Mengapa evolusi terjadi pada HIV? Faktor-faktor apakah yang berpengaruh terhadap perubahan tersebut? Bagaimana dengan flu burung?

Berdasarkan uraian tersebut, buatlah karya tulis ilmiah mengenai penyebab dan akibat dari evolusi bibit penyakit (seperti virus dan bakteri). Gunakanlah berbagai referensi berupa buku ataupun artikel ilmiah yang dapat diperoleh dari koran, majalah, ataupun internet. Lakukanlah pencarian referensi secermat mungkin agar permasalahan mengenai tema **Kegiatan Semester 2** ini dapat terjawab. Buatlah karya tulis ilmiah Anda sebaik mungkin, mengikuti kaidah-kaidah penulisan karya tulis yang benar. Presentasikanlah hasil kerja Anda tersebut di depan kelas, kemudian lakukanlah diskusi bersama teman-teman dengan dibantu arahan dan bimbingan dari guru Anda.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

8

Bab 8
Bioteknologi

Pada bab ini, Anda akan diajak untuk dapat memahami prinsip-prinsip dasar bioteknologi serta penerapannya dalam kehidupan. Untuk itu, Anda harus memahami arti, prinsip dasar, dan jenis-jenis bioteknologi serta menjelaskan dan menganalisis peran bioteknologi serta implikasi hasil-hasil bioteknologi dalam kehidupan.

Anda tentu pernah memakan tempe, roti, atau keju, bukan? Bagaimana dengan yoghurt, apakah Anda mengenalnya? Jika jawaban Anda adalah "ya", berarti Anda telah menggunakan beberapa produk hasil bioteknologi. Bioteknologi menggunakan makhluk hidup, pada umumnya berupa mikroorganisme (bakteri dan jamur), untuk menghasilkan produk yang bermanfaat bagi manusia. Walaupun terdengar sebagai sesuatu yang sangat baru, bioteknologi sebenarnya sudah digunakan dalam berbagai proses pada zaman dahulu. Misalnya, penggunaan ragi untuk mengembangkan dan membuat adonan roti serta pembuatan keju dan minuman beralkohol. Sungguh luas ilmu yang Yang Maha Menguasai.

Bagaimanakah prinsip dasar bioteknologi tersebut? Mikroorganisme apa sajakah yang dapat digunakan dalam proses bioteknologi? Apakah manfaat bioteknologi bagi kehidupan manusia?

Melalui diskusi dan kegiatan, Anda diharapkan dapat lebih memahami materi tentang bioteknologi. Selamat belajar.

A. Prinsip Dasar Bioteknologi
B. Jenis-Jenis Bioteknologi
C. Sifat Dasar Mikroorganisme
D. Produk dan Jasa
E. Implikasi Bioteknologi

Soal *Pramateri*

1. Menurut pendapat Anda, apakah yang dimaksud dengan bioteknologi?
2. Mengapa mikroorganisme digunakan dalam bioteknologi?
3. Sebutkan beberapa produk bioteknologi yang Anda ketahui.

A Prinsip Dasar Bioteknologi

Di antara kita mungkin sudah sering mendengar kata bioteknologi. Akan tetapi, Apakah bioteknologi itu? Menurut Yuwono (2006: 1), **bioteknologi** memiliki pengertian penerapan prinsip-prinsip biologi, biokimia, dan rekayasa dalam pengolahan bahan dengan memanfaatkan agensia jasad hidup dan komponen-komponennya untuk menghasilkan barang dan jasa.

Dengan melihat pengertian tersebut, semua produk atau jasa yang berasal dari jasad hidup atau komponennya dan yang dihasilkan dari penerapan teknik biologi, biokimia, dan rekayasa adalah produk atau jasa bioteknologi. Apakah tempe dan tape termasuk produk bioteknologi? Jika Anda kembali melihat pengertian bioteknologi, beberapa produk jasad hidup yang telah dikembangkan ratusan tahun yang lalu, seperti yogurt, kefir, dan tempe, merupakan produk bioteknologi.

Anda mungkin telah menjadi salah satu konsumen makanan produk bioteknologi yang dibuat sederhana (**Gambar 8.1**). Beberapa jenis minuman tradisional, seperti tuak dan arak, juga dibuat dibuat dengan menggunakan bioteknologi sederhana. Nenek moyang kita menemukan teknologi ini secara tidak sengaja. Kemudian, teknik ini diturunkan dari generasi ke generasi.

Sumber: *www.thaifood.com www.users.chariot.net.com*

Gambar 8.1
Produk bioteknologi. (a) Kecap (b) tape ketan hitam dan tape merupakan produk hasil bioteknologi sederhana.

Dapatkah Anda menyebutkan produk bioteknologi sederhana lainnya?

Dalam batasan pengertian bioteknologi, ada beberapa ciri dari suatu proses bioteknologi. Ciri-ciri tersebut sebagai berikut.

1. Adanya agen biologi yang dipergunakan. Agen biologi yang dipergunakan ini tidak hanya dalam bentuk fisik yang dipanen, namun juga termasuk di dalamnya adalah hasil metabolit sekunder atau enzim yang dihasilkan.
2. Penggunaan agen biologi dilakukan dengan suatu cara atau metode tertentu.
3. Adanya produk turunan atau jasa yang dipakai dari proses penggunaan agen biologi tersebut.

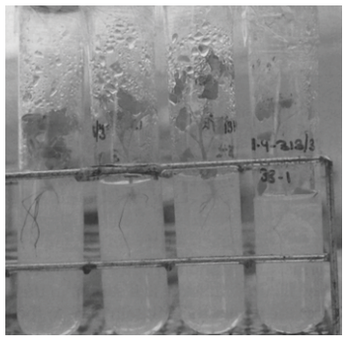
Penerapan dari ciri-ciri bioteknologi tersebut adalah dalam proses pembuatan tape yang menggunakan ragi, atau pembuatan tempe dengan bantuan *Rhizopus* sp. Proses ini dilakukan dengan tahapan tertentu dan memanfaatkan enzim yang dihasilkan oleh agen biologi. Dalam pembuatan tape, ragi (*Saccharomyces cereviceae*) mengeluarkan enzim yang dapat memecah karbohidrat pada beras ketan atau singkong menjadi gula yang lebih sederhana. Adapun pada pembuatan tempe, *Rhizopus* sp. mengeluarkan enzim proteinase yang memecah protein kedelai menjadi protein yang lebih sederhana.

Berbagai kemajuan yang dicapai di bidang ilmu biologi dan ilmu rekayasa lainnya turut mendorong kemajuan pemanfaatan agen biologi secara lebih maju lagi. Selain itu, kondisi kehidupan saat ini juga menuntut adanya

perbaikan terhadap kualitas kehidupan dan kualitas lingkungan sebagai pendukung (perhatikanlah **Gambar 8.2**). Oleh karenanya, diperlukan teknologi alternatif yang terus dikembangkan.

Beberapa faktor yang menyebabkan teknologi alternatif perlu terus dikembangkan adalah:

1. kelaparan yang terjadi akibat tidak seimbangnya populasi manusia dengan tumbuhan pangan yang diproduksi;
2. semakin tereksplorasi kehidupan di dalam laut yang menciptakan banyak sekali potensi untuk dikembangkan dalam berbagai bidang seperti pangan, kesehatan, dan pengembangan di bidang lainnya;
3. semakin berkurangnya sumber daya bahan bakar fosil dan meningkatnya polusi akibat dari penggunaan bahan bakar fosil ini;
4. peningkatan pencemaran lingkungan yang memerlukan penanggulangan dengan cara yang lebih alami;
5. penemuan prinsip-prinsip rekayasa genetika dalam penciptaan varietas spesies baru dan terapi penyakit;
6. penemuan di bidang kesehatan mulai dari pembentukan antibodi, terapi kanker atau tumor, produksi hormon, identifikasi tumbuhan obat yang bermanfaat, serta penemuan lain di bidang farmasi.



Sumber: *Biology or You*, 2002

Gambar 8.2
Teknologi kultur jaringan saat ini banyak dipergunakan dalam bidang pertanian.

Berdasarkan beberapa faktor penyebab di atas maka ada beberapa hal yang menjadi prioritas utama pengembangan bioteknologi, yakni di bidang pangan, lingkungan, kesehatan, dan sumber energi.

Bioteknologi selalu berkaitan dengan reaksi-reaksi biologis yang dilakukan oleh jasad hidup. Jasad hidup yang sering dimanfaatkan dalam biteknologi adalah mikroorganisme. Mengapa? Jasad hidup yang dimanfaatkan bisa dalam bentuk individu atau komponen-komponen tubuhnya, seperti organel, sel, jaringan, bahkan bisa dalam bentuk molekul-molekul tertentu (misalnya, protein, enzim, DNA, atau RNA).

Soal Penguasaan *Materi* 8.1

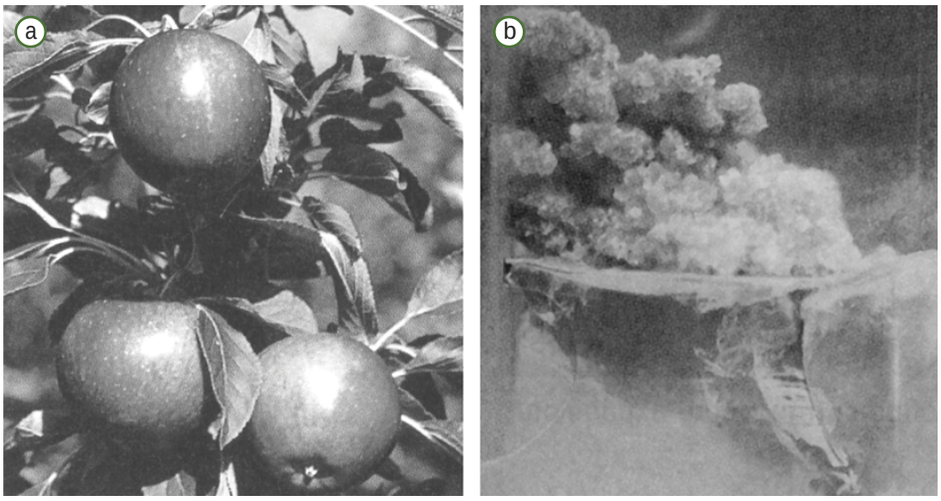
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah yang dimaksud dengan bioteknologi?
2. Sebutkan ciri-ciri dari suatu proses bioteknologi secara umum.
3. Apa syarat suatu produk dikatakan sebagai hasil bioteknologi? Sebutkan contohnya.

B Jenis-Jenis Bioteknologi

Secara umum, bioteknologi dikelompokkan menjadi dua jenis, yakni **bioteknologi konvensional** (sederhana) dan **bioteknologi modern**. Bioteknologi konvensional menggunakan penerapan-penerapan biologi, biokimia, atau rekayasa masih dalam tingkat yang terbatas. Bioteknologi jenis ini belum menggunakan teknik rekayasa molekuler dengan tingkatan yang rumit dan terarah. Kalaupun menggunakan rekayasa molekuler, rekayasa tersebut belum sepenuhnya dapat dikendalikan. Bioteknologi konvensional menggunakan jasad hidup sebagaimana "apa adanya". Apakah contoh produk bioteknologi konvensional?

Bioteknologi modern telah menggunakan teknik rekayasa tingkat tinggi dan terarah sehingga hasilnya dapat dikendalikan dengan baik. Teknik yang sering digunakan saat ini adalah dengan melakukan manipulasi genetik pada suatu jasad hidup secara terarah sehingga diperoleh hasil sesuai dengan yang diinginkan. Perkembangan bioteknologi modern tidak terlepas dari terkuaknya misteri struktur DNA.



Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 8.3
Produksi buah-buahan berkualitas, seperti (a) apel dapat dihasilkan melalui (b) kultur *in vitro*.

Teknik manipulasi yang sering digunakan dalam bioteknologi modern adalah teknik manipulasi bahan genetik (DNA) secara *in vitro*. *In vitro*, adalah proses biologi yang berlangsung dalam kondisi percobaan di luar sel atau organisme, misalnya dalam tabung percobaan (**Gambar 8.3**). Dengan teknik yang dikenal dengan DNA rekombinan atau rekayasa genetika, para ilmuwan dapat menyambung molekul-molekul DNA dari jasad hidup yang berbeda menjadi suatu molekul DNA rekombinan. Rekayasa genetika telah menjadi tulang punggung dari bioteknolgi modern saat ini (Yuwono, 2006: 2).

Tabel berikut menunjukkan contoh bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern.

Tabel 8.1 Contoh Penggunaan Teknik Konvensional dan Bioteknologi Modern dalam Praktik Pertanian

Kegiatan	Teknik Konvensional	Bioteknologi Modern
	Contoh	Contoh
Budidaya tanaman	Penggunaan galur tanaman alami yang belum mengalami modifikasi genetik	Budidaya tanaman transgenik yang membawa gen ketahanan terhadap herbisida
Pengendalian hama dan penyakit	Penggunaan bakteri *Bacillus thuringiensis* alami untuk pengendalian hama	Penggunaan galur tanaman transgenik yang membawa gen *cry* dari *Bacillus thuringiensis*

Sumber: *Bioteknologi Pertanian*, 2006

Soal Penguasaan *Materi* 8.2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah perbedaan bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern? Jelaskan.
2. Sebutkan masing-masing lima contoh produk bioteknologi konvensional dan modern.

C Sifat Dasar Mikroorganisme

Sumber agen biologi yang diperlukan dalam proses bioteknologi, dapat diperoleh dengan cara mengembangbiakan atau menumbuhkan organisme tertentu. Sebagian besar organisme yang digunakan dalam mikroorganisme. Oleh karena itu, pengetahuan dan kemampuan menumbuhkan mikro-organisme menjadi hal yang penting dalam bioteknologi.

Sebelum ilmuwan dapat menggunakan mikroorganisme untuk keperluan fermentasi atau proses bioteknologi lainnya, mereka harus dapat menumbuhkan kultur murni yang tidak terkontaminasi oleh mikroorganisme jenis lain. Kultur tersebut hanya mengandung mikroorganisme yang diperlukan.

Mikroorganisme merupakan agen yang digunakan secara luas dalam proses bioteknologi. Pada dasarnya, mikroorganisme tidak menyediakan suatu produk untuk kita, tetapi mikroorganisme melakukan proses-proses dasar metabolisme untuk dirinya sendiri dalam berkembang biak. Pada proses pembuatan yoghurt, susu merupakan media yang kaya akan protein dan sangat digemari oleh bakteri ataupun jamur. Bakteri *Lactobacillus bulgaricus* yang ditambahkan ke dalam susu akan memfermentasi susu tersebut dan menghasilkan produk olahan yang kita sebut dengan yoghurt. Protein dalam susu seperti kasein diubah menjadi asam laktat oleh bakteri sehingga rasa yoghurt menjadi asam. Semakin banyak asam laktat yang diproduksi, semakin banyak juga jumlah bakteri *Lactobacillus bulgaricus* yang ada (**Gambar 8.4**).

Selain produksi enzim, yang merupakan dasar dari pembuatan produk berbasiskan bioteknologi konvensional, mikroorganisme juga dimanfaatkan karena pertumbuhannya yang sangat cepat. Pembelahan sel mikroorganisme terjadi dalam waktu singkat dan cepat sehingga dalam waktu 24 jam dapat diperoleh keturunan berjumlah banyak. Dalam waktu singkat dengan jumlah yang banyak, maka efisiensi penggunaan waktu oleh mikroorganisme menjadi sangat tinggi. Pengetahuan dasar mengenai mikroorganisme (dibahas dalam cabang ilmu biologi, yakni mikrobiologi) mutlak diperlukan dalam proses pengembangan bioteknologi selanjutnya.

Beberapa alasan yang menyebabkan mikroorganisme tersebut digunakan dalam bioteknologi adalah karena mikroorganisme memiliki sifat-sifat dasar seperti sebagai berikut.

1. Perkembangbiakkan mikroorganisme relatif sangat cepat.
2. Sifat dasar dari mikroorganisme relatif mudah dimodifikasi, misalnya dengan teknik rekayasa genetik.
3. Mikroorganisme mampu memproses bahan baku lebih cepat dibandingkan yang dilakukan hewan maupun tumbuhan sehingga mampu mempercepat kecepatan produksi.

Diketahuinya sifat dasar dari mikroorganisme, seperti pengetahuan mengenai adanya plasmid, menggugah penelitan yang lebih jauh lagi mengenai potensi transgenik (pemindahan gen). Dalam dunia kesehatan, bakteri ini digunakan dalam memproduksi enzim atau hormon yang berguna dalam pengobatan pasien seperti penggunaan bakteri dalam produksi hormon insulin.

Contoh metabolisme mikroorganisme yang dimanfaatkan di dalam dunia kesehatan adalah penemuan zat antibiotik dari jamur *Penicillium* sp. yang ditemukan oleh **Alexander Flemming** pada 1928. Dalam perkembangan selanjutnya, ide mengenai kemampuan metabolisme mikroorganisme, plasmid, dan kemampuan reproduksi menjadi fokus utama dalam penelitian bioteknologi. Selain itu, dikembangkan juga bioteknologi berbasis hewan dan manusia dalam teknologi kloning.

Tokoh Biologi

Alexander Flemming (1881–1955)

Alexander Flemming adalah seorang ahli mikrobiologi dari Inggris yang menemukan antibiotik pertama.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Sumber: *www.arches.uga.com*

Gambar 8.4

Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. Bakteri ini merupakan agen biologi yang membantu dalam pembuatan beberapa produk hasil bioteknologi.

Wawasan Biologi

Selain bermanfaat untuk tujuan baik, bakteri, jamur, dan virus dapat digunakan sebagai senjata biologis. Bakteri *Bacillus anthracis*, *Yersina pestis*, *Clostridium botulinum*, dan virus variola merupakan senjata biologis yang umum digunakan serta memiliki daya bunuh yang besar.

Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Soal Penguasaan *Materi* 8.3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Mengapa mikroorganisme sering digunakan dalam bioteknologi?
2. Sebutkan empat contoh mikroorganisme yang telah dimanfaatkan dalam bioteknologi.

D Produk dan Jasa

Produk dan jasa bioteknologi mampu memberikan manfaat bagi makhluk hidup, khususnya manusia. Contohnya, dahulu untuk memperoleh 1 cc hormon insulin bagi penderita diabetes, diperlukan perasan sekitar sembilan lambung babi. Akan tetapi, dengan adanya teknologi transfer DNA, fragmen DNA penghasil hormon insulin ini dapat dicangkokan pada plasmid sehingga akan ikut dalam metabolisme sel bakteri dan diperoleh hormon insulin kotor. Melalui teknik pemurnian, maka hormon insulin dapat diberikan pada penderita. Selain produk yang sangat menolong ini, ada banyak jenis produk dan jasa bioteknologi dalam kehidupan. Perhatikan penjelasan berikut.

Kata Kunci

- *Lactobacillus subtilis*
- *Lactobacillus bulgaricus*
- Transfer DNA
- Yoghurt
- Keju
- *Curd*

1. Bioteknologi dalam Bidang Pengolahan Pangan

Dalam kehidupan sehari-hari, sebenarnya kita berkaitan erat dengan bioteknologi. Beberapa jenis makanan dan minuman yang kita konsumsi sebenarnya merupakan produk dari bioteknologi. Tape, roti, keju, atau yoghurt adalah beberapa produk bioteknologi yang biasa dikonsumsi. Proses untuk mengolah beberapa jenis makanan tersebut biasa disebut bioteknologi sederhana. Apakah Anda tahu mikroorganisme yang berperan dalam pembuatannya? Berikut contoh makanan dan minuman hasil dari bioteknologi.

a. Yoghurt

Yoghurt merupakan minuman hasil fermentasi susu menggunakan bakteri *Lactobacillus substilis* atau *Lactobacillus bulgaricus* (**Gambar 8.5**). Bakteri yang di manfaatkan mampu mendegradasi protein dalam susu menjadi asam laktat. Proses degradasi ini disebut fermentasi asam laktat dan hasil akhirnya dinamakan yoghurt.

Sumber: *www.genietenvanvers.nl*

Gambar 8.5

Yoghurt merupakan minuman hasil fermentasi susu oleh bakteri *Lactobacillus bulgaricus*.

b. Keju

Keju merupakan contoh produk bioteknologi yang cukup terkenal (**Gambar 8.6**). Keju dibuat dengan bantuan bakteri pada susu. Bakteri tersebut dikenal sebagai bakteri asam laktat atau *Lactobacillus*. Bakteri *Lactobacillus* mengubah laktosa menjadi asam laktat dan menyebabkan susu menggumpal.

Pada pembuatan keju, kondisi pH harus rendah. Kondisi pH yang rendah membuat susu mengental. Akibatnya protein pada susu berubah menjadi semi solid yang disebut *curd*. Proses ini dibantu dengan menambahkan enzim renin. Enzim renin dapat diekstrak dari perut anak sapi. Namun, saat ini enzim renin dapat diproduksi dalam skala besar dengan menggunakan teknik rekayasa genetika.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 8.6

Keju merupakan produk bioteknologi yang dalam pembuatannya, melibatkan mikroorganisme berupa bakteri *Lactobacillus bulgaricus*.

Setelah susu berubah menjadi *curd*, garam ditambahkan. Garam ini selain untuk menambahkan rasa, berfungsi juga sebagai bahan pengawet. Bakteri kemudian ditambahkan sesuai dengan tipe keju yang akan dibuat. Bakteri

yang ditambahkan ini disebut bakteri pematang. Bakteri pematang berguna memecah protein dan lemak yang terdapat dalam keju.

Beberapa jenis keju mempunyai karakteristik tertentu dengan ditambahkan mikroba lain, seperti jamur. Contohnya terdapat pada keju biru, yang mempunyai karakteristik berwarna biru karena ditambahkan jamur pada *curd* kejunya. Untuk mempercepat produksi keju, dapat ditambahkan enzim bakteri selain bakteri pematang itu sendiri.

c. Tempe

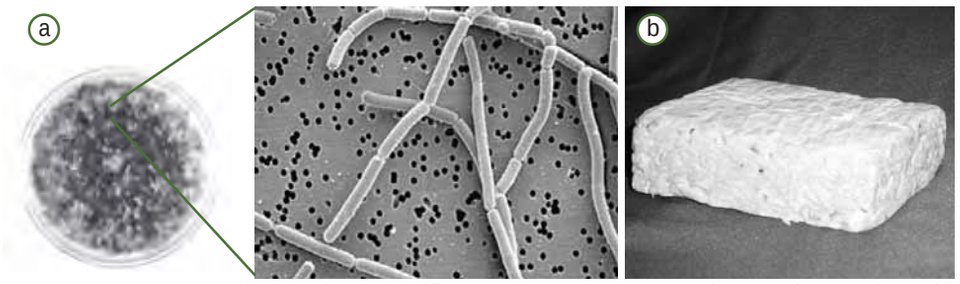
Tempe adalah makanan khas Indonesia. Tempe merupakan makanan yang terkenal di Asia Tenggara dan juga merupakan salah satu contoh produk hasil bioteknologi. Tempe terbuat dari kacang kedelai. Karena terbuat dari kacang kedelai yang merupakan sumber protein tinggi, tempe juga merupakan makanan yang mempunyai nilai gizi tinggi.

Tempe dibuat dari kacang kedelai dengan dibantu oleh aktivitas jamur *Rhizopus oryzae* (**Gambar 8.7**). Proses pembuatan tempe cukup sederhana dan mudah dilakukan. Kacang kedelai dicuci bersih, lalu direbus hingga setengah matang. Kemudian, kacang kedelai setengah matang direndam dalam air selama kurang lebih 12 jam (semalaman).

Dengan direndamnya kacang kedelai, dapat menciptakan kondisi asam sehingga mikroba yang biasanya membusukkan makanan dapat dicegah. Setelah direndam, kacang kedelai kembali dicuci bersih dan direbus kembali hingga matang.

Kata Kunci

- *hi opus ory ae*
- Tempe



Sumber: *www.pfdb.com www.genomenewsnetwork.com Dokumentasi Penerbit*

Gambar 8.7

(a) Jamur *hi opus ory ae* merupakan mikroorganisme yang membantu dalam pembuatan tempe. (b) Jamur ini digunakan dalam bentuk ragi tempe.

Kacang kedelai yang telah matang tersebut lalu didinginkan dan setelah dingin ditambahkan ragi tempe. Ragi tempe adalah jamur *Rhizopus oryzae*. Kacang kedelai yang telah dicampur dengan ragi tempe, lalu dibungkus oleh daun pisang atau plastik yang dilubangi. Setelah dibungkus, lalu diperam (difermentasi) selama satu malam. Akhirnya diperoleh tempe sebagai produk bioteknologi. Untuk menambah wawasan bioteknologi Anda, lakukanlah kegiatan berikut ini.

Kegiatan **8.1**

Pembuatan Tempe

Tujuan

Mempraktikkan cara pembuatan tempe

Alat dan Bahan

Daun pisang, baskom, alat memasak, kacang kedelai, dan ragi tempe

Langkah Kerja

1. Lakukan kegiatan ini bersama kelompok Anda dengan bimbingan guru. Persiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Biji kedelai yang telah dipilih atau dibersihkan dari kotoran, dicuci dengan air yang bersih.

3. Setelah bersih, kedelai direbus dalam air selama 2 jam.
4. Kedelai kemudian direndam 12 jam dalam air panas/hangat bekas air perebusan tadi agar kedelai mengembang.
5. Berikutnya, kedelai direndam dalam air dingin selama 12 jam.
6. Setelah 24 jam direndam seperti pada nomor 3 dan nomor 4, kedelai dicuci dan dikuliti (dikupas).
7. Setelah dikupas, kedelai direbus untuk membunuh bakteri yang kemungkinan tumbuh selama perendaman.
8. Kedelai diambil dari dandang, diletakkan di atas tampah dan diratakan tipis-tipis. Selanjutnya, kedelai dibiarkan dingin sampai permukaan keping kedelai kering dan airnya habis menetes.
9. Sesudah itu, kedelai dicampur dengan ragi guna mempercepat/merangsang pertumbuhan jamur. Proses mencampur kedelai dengan ragi memakan waktu sekitar 20 menit. Tahap peragian (fermentasi) adalah tahap penentu keberhasilan dalam membuat tempe kedelai.
10. Jika campuran bahan fermentasi kedelai sudah rata, campuran tersebut dicetak pada loyang atau cetakan kayu dengan lapisan plastik atau daun yang akhirnya dipakai sebagai pembungkus. Sebelumnya, plastik dilobangi/ditusuk-tusuk. Maksudnya ialah untuk memberi udara supaya jamur yang tumbuh berwarna putih.
11. Campuran kedelai yang telah dicetak dan diratakan permukaannya dihamparkan di atas rak, dan kemudian ditutup selama 24 jam.
12. Setelah 24 jam, tutup dibuka dan campuran kedelai didinginkan atau diangin-anginkan selama 24 jam lagi. Setelah itu, campuran kedelai telah menjadi tempe.
13. Gorenglah tempe tersebut dan cicipi. Bandingkan rasanya dengan biji kedelai sebelum di proses menjadi tempe. Diskusikan hasilnya dan presentasikan di kelas bersama kelompok Anda.

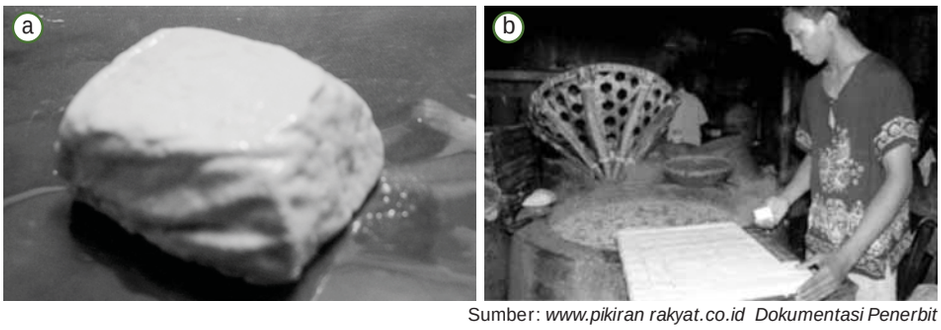
Jawablah pertanyaan berikut untuk menyimpulkan fakta.

1. Apakah kegiatan Anda dengan kelompok Anda berhasil? Jika tidak, mengapa?
2. Menurut Anda faktor apakah yang menentukan kegiatan tersebut berhasil atau gagal?
3. Kegiatan ini merupakan salah satu produk bioteknologi konvensional. Mengapa? Jelaskan alasan Anda.
4. Kesimpulan apakah yang dapat Anda ambil dari kegiatan ini?

d. Tahu

Tahu juga merupakan salah satu contoh produk bioteknologi. Sebagai orang Indonesia, Anda pasti telah mengenal makanan yang bernama tahu, bukan?

Tahu, seperti juga tempe, terbuat dari kacang kedelai. Tahu dibuat dengan cara mencuci kacang kedelai hingga bersih dan merendamnya selama satu malam. Setelah lunak, kacang kedelai digiling menjadi seperti bubur, lalu dididihkan. Setelah dididihkan, bubur kedelai disaring dan ditambahkan kultur bakteri yang dapat menciptakan kondisi asam. Beberapa jenis bakteri yang sering digunakan dalam pembuatan tahu ini adalah bakteri asam laktat. Bubur tahu yang telah ditambahkan bakteri asam laktat ini lalu dicetak, dibumbui, dan diberi garam agar tahan lama (**Gambar 8.8**).



Sumber: *www.pikiran rakyat.co.id Dokumentasi Penerbit*

Gambar 8.8
(a) Tahu merupakan makanan hasil bioteknologi konvensional. (b) Di pabrik tahu, segala pengerjaannya dikerjakan secara konvensional atau menggunakan tangan dan dibantu oleh mikroorganisme.

Bagaimana rasa makanan ini?

Tugas Ilmiah 8.1

Ada banyak sekali peranan bioteknologi dalam bidang produksi makanan, selain pada produksi keju, yoghurt, tempe, tahu, dan kecap yang telah diuraikan. Coba Anda cari informasi lain tentang produk-produk makanan lain yang merupakan contoh hasil dari bioteknologi, seperti nata de coco, dan kimchi. Buatlah laporannya dan bagilah informasi tersebut dengan teman-teman Anda (Misalnya, dengan menampilkannya di majalah dinding sekolah).

2. Bioteknologi dalam Bidang Kesehatan

Dalam bidang kesehatan, bioteknologi sudah lama digunakan. Misalnya, dalam pembuatan antibiotik yang dilakukan oleh **Alexander Flemming** pada tahun 1928. Selain dalam pembuatan antibiotik, bioteknologi berperan dalam bidang kesehatan lainnya, seperti pada pembuatan hormon dan bayi tabung.

a. Antibiotik

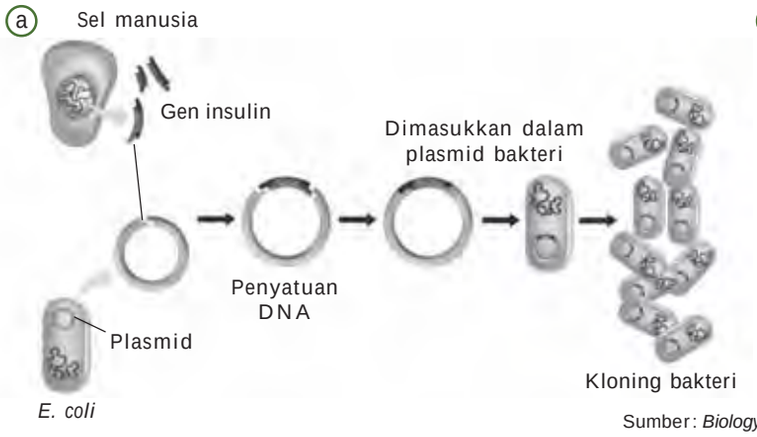
Antibiotik merupakan senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertentu atau dibuat secara semisintetis. Antibiotik berguna menghambat atau membunuh pertumbuhan kuman penyebab penyakit.

Antibiotik pertama yang ditemukan adalah antibiotik yang dihasilkan dari jamur *Penicillium notatum* (**Gambar 8.9**). Penisilin ini adalah antibiotik yang ampuh melawan infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus*.

Antibiotik lainnya yang sekarang banyak dipakai adalah antibiotik yang berasal dari genus *Streptomyces*. Antibiotik yang termasuk kelompok ini adalah *Streptomycin* dan *Tetracycline*. Antibiotik tersebut sangat ampuh melawan bakteri *Tubercullosis*.

b. Hormon

Terdapat penyakit-penyakit tertentu pada manusia yang disebabkan oleh adanya masalah pada hormon. Misalnya, penyakit *diabetes mellitus* (DM) atau lebih dikenal sebagai penyakit kencing manis. Penderita penyakit ini kekurangan hormon insulin sehingga kadar gula dalam darahnya sangat tinggi. Dengan adanya bioteknologi, saat ini hormon insulin telah dapat dihasilkan secara buatan (transgenik) dengan bantuan bakteri *Escherichia coli* (**Gambar 8.10**).



Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Pada sel bakteri *E. coli*, dimasukkan DNA sel manusia yang mengandung gen insulin sehingga bakteri *E. coli* dapat menghasilkan insulin. Karena bakteri dapat berkembang biak dengan cepat maka hormon insulin pun dapat dihasilkan dalam jumlah yang banyak.

Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Gambar 8.9

Hasil teknologi dalam antibiotik. (a) *Penicillium* merupakan penghasil senyawa antibiotik. Antibiotik ini biasanya di kemas dalam bentuk (b) kapsul.

ewaktu Anda sakit pernahkah Anda mengonsumsinya?

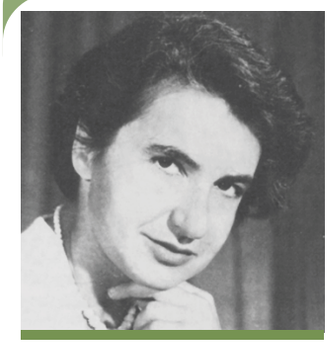
Kata Kunci

- Antibiotik
- Hormon

Gambar 8.10

(a) Pembuatan insulin dilakukan dengan menyisipkan gen insulin ke dalam bakteri. (b) Kini, insulin mudah didapatkan oleh penderita diabetes mellitus dalam bentuk cair.

Tokoh Biologi



Rosalind Franklin
(1920–1958)

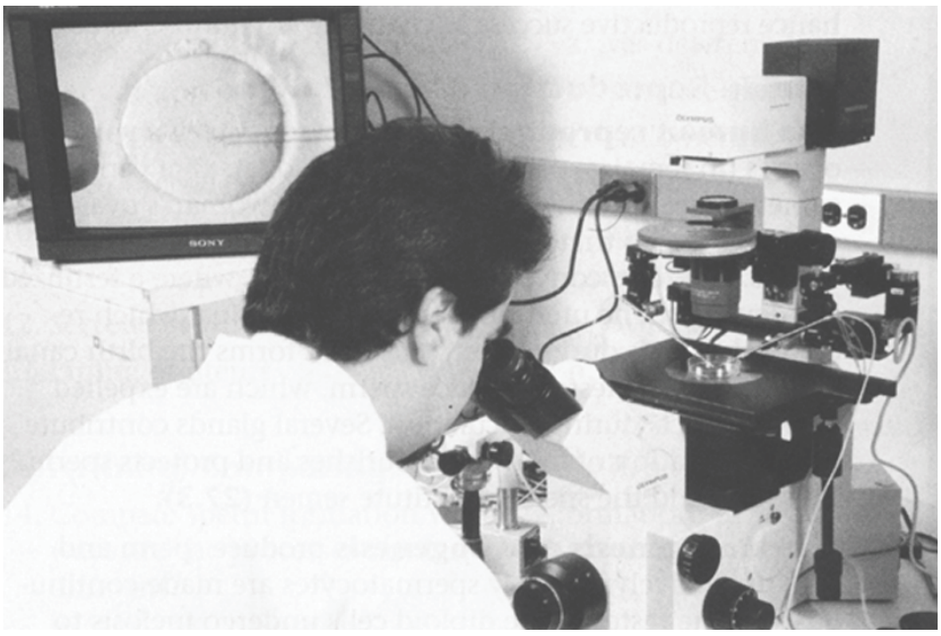
Rosalind Franklin adalah ilmuwan pertama yang meneliti DNA. Ia menggunakan sinar-x untuk mengetahui bentuk molekul DNA. James Watson dan Francis Crick menggunakan temuan Rosalind Franklin. Pada tahun 1953, mereka mengungkapkan model DNA untuk pertama kali. Temuannya ini merupakan salah satu temuan penting bagi perkembangan sains modern.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

c. Bayi Tabung

Untuk dapat menghasilkan seorang bayi, harus terjadi pertemuan antara sel telur ibu dan sel sperma ayah. Kadang kala proses pertemuan sel telur dan sel sperma (fertilisasi) tidak dapat terjadi secara baik. Hal tersebut dapat disebabkan oleh adanya penghalang di saluran telur, atau karena kualitas sperma yang kurang bagus sehingga tidak dapat mencapai sel telur.

Jika terjadi masalah tersebut, dapat diatasi dengan teknologi yang disebut teknologi bayi tabung (**Gambar 8.11**). Teknik bayi tabung ini adalah teknik untuk mempertemukan sel sperma dan sel telur di luar tubuh sang ibu (*in vitro fertilization*). Setelah terjadi pertemuan antara sel sperma dan sel telur ini terjadi, proses selanjutnya, embrio yang dihasilkan ditanamkan kembali di rahim ibu hingga terbentuk bayi dan dilahirkan secara normal.



Gambar 8.11
Dalam teknik pembuatan bayi tabung, terjadi pertemuan sel telur dengan sel sperma di luar tubuh ibu.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

3. Bioteknologi dalam Bidang Pertanian dan Perkebunan

Bioteknologi ikut berperan dalam memajukan bidang pertanian dan perkebunan. Di bidang pertanian, bioteknologi telah mampu menciptakan tumbuhan-tumbuhan yang memiliki sifat unggul, seperti tahan terhadap hama, produksi panen yang lebih banyak, dan waktu panen yang lebih singkat.

Tumbuhan yang memiliki sifat unggul tersebut dapat diperoleh melalui rekayasa genetika, yaitu dengan memasukkan gen-gen yang memiliki sifat yang dikehendaki pada tumbuhan tersebut. Tumbuhan seperti ini disebut sebagai tumbuhan transgenik.

Tumbuhan transgenik pada dasarnya diperoleh melalui teknik memindahkan gen-gen tertentu yang dikehendaki dari organisme lain yang memilikinya. Misalnya, tumbuhan kentang hasil rekayasa genetika yang dilakukan di Cina. Tumbuhan kentang adalah tumbuhan yang tumbuh subur di daerah tropis dan tidak bisa tumbuh di tempat dingin. Oleh karena itu, pada musim dingin kentang tidak bisa tumbuh di Cina. Untuk mengatasi kendala tersebut maka para ilmuwan Cina memasukkan gen tahan dingin dari ikan yang hidup di tempat dingin ke dalam gen kentang sehingga diperoleh kentang yang tahan dingin dan dapat ditanam di daerah yang beriklim dingin.

Contoh tumbuhan-tumbuhan transgenik lainnya yang telah berhasil dibuat adalah tumbuhan yang dapat melakukan pemupukan sendiri, tumbuhan yang tahan terhadap penyakit tertentu, dan tumbuhan yang dapat menghasilkan pestisida sendiri.

Dalam hal pestisida atau pembasmian hama tumbuhan, bioteknologi juga telah berhasil mengembangkan pestisida alami dengan menggunakan makhluk hidup yang berperan sebagi agen pengendali secara alami atau disebut *biological control agent*. Misalnya, pada tumbuhan kubis yang sering diserang oleh hama berupa larva ulat Lepidoptera.

Dengan bantuan bioteknologi, larva Lepidoptera tersebut dapat dibasmi dengan menggunakan bakteri *Bacillus thuringiensis* (Bt) (**Gambar 8.12**). Bakteri Bt secara alami menghasilkan racun bagi larva Lepidoptera, namun tidak berbahaya bagi makhluk hidup lain selain larva tersebut. Kini, bakteri Bt telah diproduksi dalam skala industri dan telah dipasarkan sebagai pestisida alami. Bahkan kini terdapat tumbuhan jagung yang telah disisipi gen bakteri Bt sehingga mampu menghasilkan pestisida sendiri.

Peran bioteknologi lainnya dalam bidang pertanian dan perkebunan adalah dengan ditemukannya teknik kultur jaringan. **Teknik kultur jaringan** merupakan suatu teknik memperbanyak tumbuhan dalam skala besar dan waktu yang singkat.

Teknik kultur jaringan dibuat dengan mengambil sel atau jaringan pada tumbuhan, bisa melalui potongan kecil daun, akar, batang, atau bagian tumbuhan yang lainnya. Potongan tumbuhan tersebut lalu ditumbuhkan di suatu medium yang telah dipersiapkan dan mengandung semua zat yang diperlukan untuk pertumbuhan tumbuhan. Dari potongan tumbuhan tersebut, akan tumbuh menjadi individu baru yang utuh (lihat **Gambar 8.13**). Teknik kultur jaringan ini menggunakan sifat totipotensi sel. Sifat totipotensi adalah sifat sel yang mampu menjadi satu individu baru utuh.

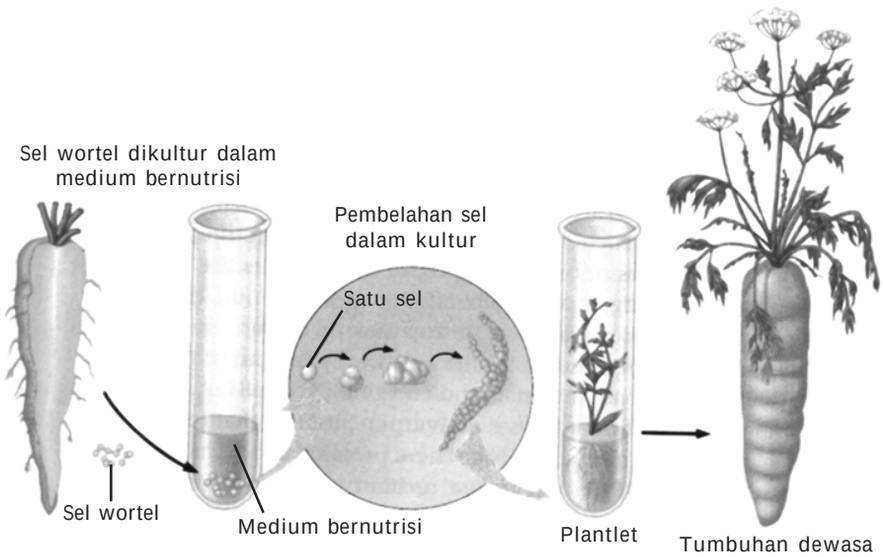
Sumber: *www.magma.com*

Gambar 8.12

Bakteri *Bacillus thuringienis* merupakan salah satu agen pengendali secara alami. Bakteri ini digunakan untuk membasmi larva Lepidoptera.

Kata Kunci

- *Bacillus thuringiensis*
- Kultur jaringan



Sumber: *www.arc.agris. a Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 8.13

Proses kultur jaringan pada tumbuhan wortel.

Medium apakah yang digunakan dalam kultur jaringan?

Keuntungan-keuntungan yang dapat diperoleh dari teknik kultur jaringan ini adalah:

a. dapat dilakukan di lahan yang sempit, artinya tidak diperlukan lahan yang luas untuk memproduksi bibit tumbuhan yang banyak;
b. bibit tumbuhan dapat diperoleh dalam jumlah yang banyak dengan waktu yang singkat;
c. bibit tumbuhan yang didapat dari teknik kultur jaringan mempunyai sifat yang seragam dan sama dengan induk tumbuhannya.

4. Bioteknologi dalam Bidang Peternakan

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bioteknologi telah berhasil menciptakan hormon yang diproduksi oleh mikroorganisme. Ternyata, produksi hormon tersebut diperlukan juga dalam bidang peternakan.

Saat ini, hewan-hewan ternak biasa diberi vaksin dan hormon pertumbuhan sehingga hewan-hewan ternak tahan terhadap penyakit tertentu dan produksinya meningkat.

Contohnya, beberapa sapi diberi hormon pertumbuhan sapi *Bovine Growth Hormone* (BGH) yang dibuat dari bakteri *E. coli* berguna untuk menaikkan produksi susu. Dengan diberikannya BGH, produksi daging yang dihasilkan juga dapat meningkat.

Vaksin hasil bioteknologi juga telah banyak berperan dalam bidang peternakan. Misalnya, vaksin yang diberikan kepada sapi untuk mencegah penularan penyakit mulut dan kuku, juga vaksin yang diberikan kepada ternak unggas untuk mencegah penyakit tetelo atau *new castle disease* (NCD).

5. Bioteknologi dalam Bidang Pengelolaan Lingkungan

Dalam bidang pengelolaan lingkungan hidup, bioteknologi juga memegang peranan yang penting. Misalnya, penggunaan bakteri aktif di instalansi-instalansi pengolahan air limbah. Untuk mengefisienkan pengolahan limbah, digunakan mikroorganisme yang dapat mengubah sampah organik menjadi substansi yang lebih sederhana.

Penggunaan mikroorganisme untuk pengelolaan lingkungan juga telah terbukti ketika terjadi kebocoran kapal tanker. Minyak mentah yang mencemari pantai dibersihkan menggunakan bakteri yang dapat mengurai minyak mentah tersebut (**Gambar 8.14**).

Gambar 8.14
Bakteri yang sedang disemprotkan untuk mengurai tumpahan minyak di pantai.

Sumber: *Biology: E ploring Life*, 1994

Contoh lain penerapan bioteknologi dalam bidang pengelolaan lingkungan adalah pembuatan biogas dari limbah-limbah organik yang ada. Biogas ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.

Tugas Ilmiah 8.2

Bioteknologi sangat jelas telah memegang peranan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Cari dan kumpulkanlah oleh Anda artikel-artikel yang berhubungan dengan peran bioteknologi dalam berbagai bidang kehidupan, selain yang telah dijelaskan pada subbab ini. Jika ada, carilah juga mengenai dampak positif dan negatif penggunaan produk bioteknologi tersebut dalam masyarakat. Buatlah menjadi sebuah karya tulis dan presentasikan di hadapan teman-teman kelas Anda.

Soal Penguasaan *Materi* 8.4

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Mengapa bioteknologi banyak digunakan dalam berbagai bidang?
2. Sebutkan contoh produk bioteknologi yang sering Anda temukan dalam kehidupan sehari-hari.
3. Jelaskan peranan bioteknologi dalam kesehatan.

E Implikasi Bioteknologi

Teknologi yang diciptakan oleh manusia tentu mempunyai implikasi terhadap kehidupan manusia itu sendiri. Begitu pula dengan ditemukan dan digunakannya bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari.

1. Implikasi dalam Kehidupan

Adanya perkembangan dalam bioteknologi telah menimbulkan harapan baru bagi kesembuhan penderita kelainan-kelainan genetis. Penyediaan obat-obatan dapat dilakukan secara massal dengan harga yang lebih murah. Perkembangan bibit unggul dan reproduksi tumbuhan secara cepat dengan hasil yang maksimal juga menjadi keuntungan yang dapat dirasakan oleh masyarakat luas.

Namun dibalik semua harapan itu, terdapat pengaruh lain yang harus diwaspasai. Produk bioteknologi yang dipatenkan, umumnya berasal dari luar negeri, dapat membantu petani sekaligus menciptakan ketergantungan penggunaan bibit. Pada umumnya, tumbuhan transgenik merupakan tumbuhan steril dan tidak dapat diperbanyak secara konvensional. Hal ini sangat merugikan petani karena untuk mendapatkannya mereka harus terus membeli bibit dan tidak dapat melakukan pembibitan. Dengan begitu, maka akan terjadi kebergantungan dari negara penghasil pangan ke negara penghasil bibit.

Teknologi bayi tabung dan teknologi kloning merupakan salah satu contoh teknologi yang masih diperdebatkan hingga kini. Mungkin untuk teknologi bayi tabung yang menggunakan sel sperma dan sel telur dari pasangan suami istri, tidak banyak dipertentangkan dan merupakan jalan keluar bagi pasangan yang sulit memiliki keturunan. Bagaimana jika sel telur ditanam pada wanita lain? Apa pendapat Anda jika sel sperma didapat bukan dari pasangan suami istri?

Begitu juga dengan teknologi kloning. Meskipun teknologi ini membawa harapan bagi penderita kelainan genetis, namun kloning pada manusia ditentang banyak kalangan karena dianggap bertentangan dengan moral, agama, dan etika. Teknologi kloning yang pernah dilakukan adalah pada domba Dolly. Perhatikan **Gambar 8.15**.

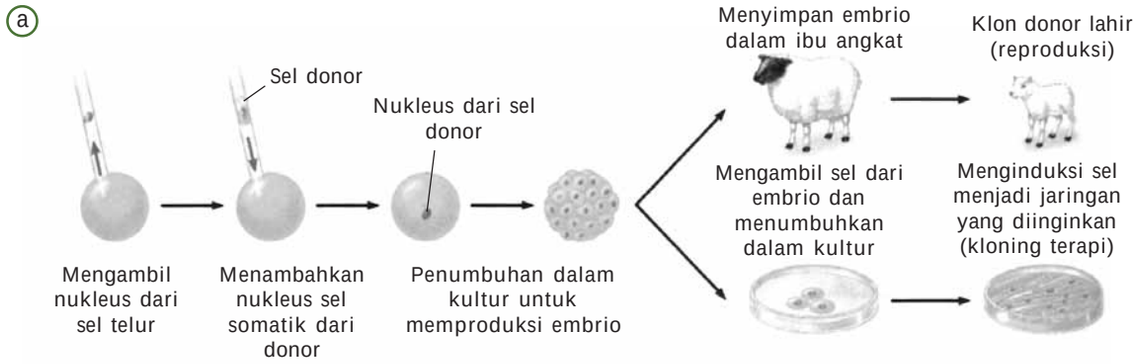
Wawasan Biologi

Colin Pitchfonk adalah orang pertama yang didakwa bersalah atas pemerkosaan dan pembunuhan yang diselesaikan melalui sidik DNA. Kasus pembunuhan yang merenggut nyawa dua orang wanita muda pada tahun 1983 dan 1986 ini terjadi di kota Narborough, Inggris. Hal ini dapat dilakukan karena urutan DNA setiap orang berbeda, kecuali untuk kembar identik.

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Kata Kunci

- Bayi tabung
- Kloning



Gambar 8.15

(a)Teknik kloning yang dilakukan pada sel hewan telah menghasilkan klon domba yang diberi nama (b) domba Dolly.

Apa pendapat Anda jika kloning dilakukan terhadap manusia?

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006 *www.inet.com*

Dampak yang mungkin kurang diperhatikan adalah dampak yang timbul pada kehidupan liar. Penggunaan tumbuhan transgenik yang tahan terhadap hama pengganggu, ternyata mengakibatkan masalah terhadap organisme *non target*. Beberapa jenis burung yang secara alami memakan hama pengganggu dan kupu-kupu penghisap nektar bunga tumbuhan transgenik dapat terkena imbasnya juga. Pengamatan di lokasi percobaan tumbuhan kapas transgenik yang disisipi gen bersifat insektisida dan herbisida, ditemukan kematian lebah dalam jumlah yang cukup tinggi.

Jika hal ini sudah terjadi dan terlanjur dibiarkan maka Indonesia sebagai negara dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi dan penghasil pangan akan sangat dirugikan. Keanekaragaman hayati kita adalah sumber dari ilmu pengetahuan yang seharusnya digunakan untuk kesejahteraan bangsanya.

Jadi, dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pada dasarnya perkembangan dalam bioteknologi memiliki dampak yang positif maupun yang negatif. Oleh karena itu, dalam menggunakan bioteknologi, manusia dituntut untuk berperilaku bijak, tidak berlebihan, dan memerhatikan dampaknya di masa yang akan datang.

Kata Kunci

- Bioteknologi
- GMO

2. Polemik dalam Pengembangan Teknologi

Teknologi yang diciptakan pada awalnya betujuan untuk membantu. Namun, karena keterbatasan manusia dalam memprediksi mengakibatkan kurang cermatnya penanggulangan dampak akibat teknologi yang dikembangkan itu. Dalam memprediksi hal tersebut, maka banyak sekali perdebatan mengenai dampak yang akan diterima dikemudian hari. Organisasi LSM (Lembaga Swadaya Masyarakat) internasional banyak yang mengkhawatirkan dampak lanjutan akibat mengonsumsi organisme yang

telah mengalami modifikasi genetik (GMO = *genetic modified organism*). Bentuk kehati-hatian terhadap peredaran benih transgenik mungkin dapat dilihat dari contoh kasus berikut.

Penggunaan GMO secara luas telah dilakukan di Amerika. Hampir 57 persen dari kacang kedelai dan 30 persen dari tumbuhan jagung yang dibudidayakan di Amerika pada tahun 1999 adalah GMO yang resisten terhadap serangan hama dan gulma. Pada bulan Februari 1999, setidaknya ada 64 tumbuhan budidaya GMO yang telah disetujui oleh pemerintah Amerika Serikat dan Kanada, 20 di Jepang, namun hanya ada delapan di Eropa.

Kehati-hatian terhadap GMO ditunjukkan oleh negara-negara Eropa yang belum mendapat kepastian mengenai tingkat keamanan baik terhadap manusia ataupun lingkungan secara keseluruhan. Lingkungan hidup di sekitar kita wajib dijaga, karena meskipun tidak dapat digunakan secara langsung, lingkungan hidup beserta kehidupan liar di dalamnya mempunyai manfaat yang besar bagi kehidupan seluruh makhluk hidup di dalamnya.

Perkembangan ilmu pengetahuan lebih jauh telah mampu membawa ilmuwan untuk bukan hanya memodifikasi, melainkan 'menciptakan' makhluk hidup. Hal ini dimungkinkan dengan semakin majunya teknologi kloning makhluk hidup. Tanpa adanya fertilisasi antara dua gamet, sebuah individu organisme dapat diciptakan. Perkembangan kloning ini telah menuju pada praktik kloning yang dilakukan pada manusia. Sejauh ini, belum ada satupun negara di dunia yang melegalkan praktik kloning pada manusia dalam suatu undang-undang atau konstitusi. Perkembangan kloning pada manusia ini telah menimbulkan suatu polemik etika perikemanusiaan.

Meskipun pada dasarnya kloning berupaya untuk membantu pasangan mandul yang ingin memperoleh keturunan atau membantu seseorang yang tidak ingin memiliki pasangan untuk memeroleh keturunan. Namun, para ahli memerhatikan efek psikologis yang terjadi apabila anak yang dilahirkan tersebut memiliki sifat yang identik seperti orangtua biologis mereka, sebagai konsekuensi hasil kloning. Efek psikologis yang mungkin ditimbulkan antara lain adalah perasaan terkucil karena tidak ada kejelasan akan identitas mereka hingga dapat mengakibatkan kerawanan sosial. Apa pendapat Anda?

Soal Penguasaan *Materi* 8.5

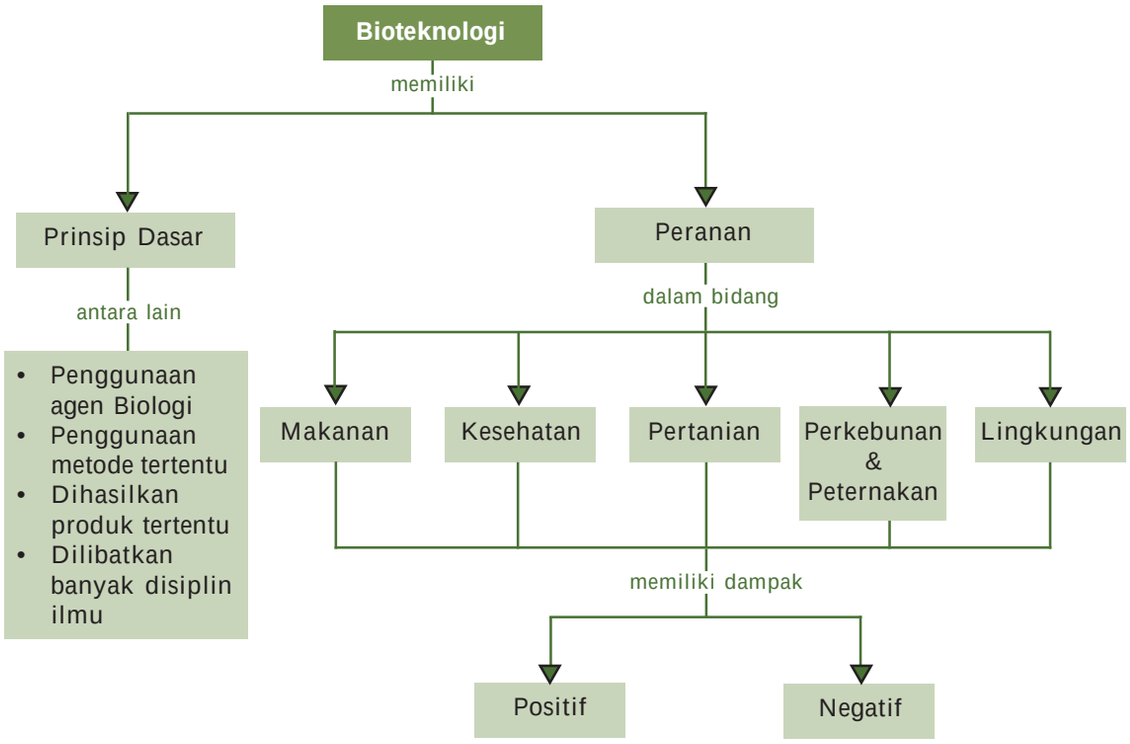
Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

1. Apakah produk bioteknologi memiliki dampak tertentu? Jika ada, sebutkan contohnya.
2. Perdebatan seperti apakah yang terjadi pada pengembangan GMO?

Rangkuman

1. Prinsip dasar dari bioteknologi adalah adanya penggunaan agen biologi, menggunakan metode tertentu, dihasilkannya suatu produk turunan, dan melibatkan banyak disiplin ilmu.
2. Mikroorganisme banyak digunakan dalam proses bioteknologi karena perkembangbiakannya yang relatif cepat, mudah dimodifikasi, dan mampu memproses bahan baku lebih cepat.
3. Bioteknologi dapat diterapkan dalam berbagai bidang, misalnya bidang pengolahan makanan, bidang kesehatan, bidang pertaniaan dan perkebunan, serta bidang lingkungan.
4. Bioteknologi memiliki pengaruh terhadap kehidupan masyarakat. Bioteknologi memberikan harapan baru bagi penyembuhan penyakit serta peningkatan kualitas dan kuantitas produksi dalam bidang lainnya.
5. Produk bioteknologi dapat menyebabkan perdebatan di masyarakat. Berbagai produk bioteknologi, seperti kloning menimbulkan perdebatan besar terutama jika teknologi tersebut dilakukan pada manusia.

Peta Konsep



Kaji Diri

Setelah mempelajari materi dan peta konsep Bab Bioteknologi, Anda diharapkan telah memahami bioteknologi serta produk-produknya. Ternyata produk bioteknlogi telah lama Anda gunakan juga, bukan! Mulai dari produk makanan hingga kain yang Anda kenakan sebagai pakaian, dapat berasal dari proses bioteknologi. Masih banyak produk bioteknologi lainnya dan Anda mungkin tidak menyadarinya. Produk bioteknologi telah menjadi bagian kehidupan manusia.

Di akhir pembelajaran, rumuskanlah materi yang belum Anda pahami. Kemudian, diskusikan dengan teman-teman atau guru Anda.

Evaluasi Materi Bab 8

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

1. Berikut adalah beberapa ciri dari suatu proses bioteknologi, *kecuali* ....
   a. menggunakan mikroorganisme sebagai agen biologi
   b. penggunaan agen biologi dilakukan dengan suatu cara atau metode tertentu
   c. proses yang ada pada bioteknologi bertahap, rumit, dan kompleks
   d. dihasilkannya produk yang termodifikasi
   e. hanya melibatkan satu disiplin ilmu
2. Berikut adalah contoh hasil bioteknologi, yaitu ....
   a. pembuatan agar-agar
   b. pembuatan minuman buah-buahan
   c. pembuatan manisan buah-buahan
   d. pembuatan tempe
   e. pembuatan saus tomat
3. Alasan mikroorganisme banyak digunakan dalam bioteknologi di antaranya adalah sebagai berikut, *kecuali* ....
   a. dapat bereproduksi sangat cepat
   b. dapat dengan mudah mengubah mikroorganisme sehingga dapat memodifikasi produk
   c. dapat dipindahkan dalam bentuk material mentah / baku dari produk jadinya secara cepat
   d. mengggunakan mikroorganisme artinya memproduksi makanan dengan terbebas dari faktor iklim
   e. mikroorganisme berukuran sangat kecil
4. Berikut merupakan contoh peranan bioteknologi dalam bidang makanan adalah ....
   a. pembuatan vaksin
   b. pembuatan hormon
   c. pembuatan antibiotik
   d. pembuatan yoghurt
   e. bayi tabung
5. Salah satu keuntungan dari kultur jaringan adalah ....
   a. tidak diperlukan lahan yang luas
   b. memerlukan tumbuhan yang memiliki sifat sangat unggul
   c. tumbuhan yang dihasilkan memiliki sifat yang bervariasi
   d. harus dilakukan pada kondisi yang sangat steril
   e. dapat dilakukan di manapun
6. Yoghurt merupakan salah satu produk bioteknologi. Bahan baku yoghurt adalah ....
   a. susu cair murni
   b. susu vanila
   c. susu cokelat
   d. keju
   e. susu stroberi
7. Jamur yang digunakan pada pembuatan tempe adalah jamur ....
   a. *Aspergillus wenti*
   b. *Rhizopus oryzae*
   c. *Penicilium notatum*
   d. *Saccharomyces* sp.
   e. *Zygosaccharomyces*
8. Apakah yang dimaksud dengan bayi tabung ....
   a. bayi dalam tabung
   b. bayi tanpa pembuahan
   c. bayi yang proses fertilisasinya di luar tubuh ibunya
   d. bayi hasil rekayasa genetika
   e. bayi hasil kloning
9. Apakah yang dimaksud dengan tumbuhan transgenik ....
   a. tumbuhan hasil rekayasa genetika yang memiliki sifat unggul
   b. tumbuhan hasil rekayasa genetika yang memiliki sifat berbeda
   c. tumbuhan hasil rekayasa genetika yang memiliki sifat bervariasi
   d. tumbuhan hasil rekayasa genetika yang memiliki sifat yang diinginkan
   e. tumbuhan hasil rekayasa genetika yang memiliki sifat buruk
10. Pernyataan-pernyataan berikut ini adalah bahan baku dan produksi dari hasil penggunaan bioteknologi tradisional.

No	Organisme
1.	Ikan segar menghasilkan sosis kering
2.	Susu menghasilkan yogurt
3.	Kacang kapri menghasilkan tauco
4.	Susu skim menghasilkan skim asam
5.	Ketan hitam menghasilkan kecap

Berikut yang menunjukkan pernyataan paling benar adalah ....
   a. 1 dan 3
   b. 1 dan 4
   c. 2 dan 3
   d. 2 dan 4
   e. 3 dan 5
11. Makanan tradisional Indonesia yang diperoleh dari hasil proses bioteknologi adalah ....
   a. keju
   b. yogurt
   c. sake
   d. tempe
   e. roti
12. Alexander Flemming adalah orang pertama yang menemukan antibiotik. Antibiotik temuannya tersebut dihasilkan dari jamur ....
   a. *Staphylococcus*
   b. *Penicillium notatum*
   c. *Tetracyline*
   d. *Streptomycin*
   e. *Rhizopus*

13. Bayi tabung adalah salah satu hasil kemajuan bioteknologi dalam bidang ....
    a. mikrologi
    b. embriologi
    c. fisiologi
    d. kesehatan
    e. pertanian
14. Senyawa yang diproduksi oleh mikroorganisme yang berfungsi melawan infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Staphylococcus* adalah ....
    a. insulin
    b. interferon
    c. interleukin 2
    d. pektinase
    e. penisilin
15. Keistimewaan pembiakan vegetatif tumbuhan dengan cara kultur jaringan adalah ....
    a. merupakan bibit unggul yang cepat bereproduksi
    b. bibit yang seragam dalam jumlah yang besar dan cepat
    c. tidak diperlukan perawatan yang khusus
    d. bibit yang beragam dan tahan terhadap hama
    e. merupakan bibit yang memiliki sifat-sifat lebih baik dari induknya
16. Domba dolly adalah hewan hasil bioteknologi yang menggunakan teknik ....
    a. rekayasa genetika
    b. kloning
    c. bayi tabung
    d. kembar indentik
    e. inseminasi
17. Dalam bidang pertanian, bioteknologi dalam aplikasinya digunakan sebagai agen pengendali alami dalam membasmi hama, contohnya hama dari larva Lepidoptera. Berikut bakteri yang memiliki kemampuan tersebut adalah ....
    a. *Penicillium notatum*
    b. *Lactobacillus bulgaricus*
    c. *Rhizopus oryzae*
    d. *Bacillus thuringiensis*
    e. *Lactobacillus substilis*
18. Berikut merupakan makanan dan minuman hasil bioteknologi konvensional, *kecuali* ....
    a. kecap
    b. tahu
    c. tempe
    d. yoghurt
    e. antibiotik
19. Berikut *bukan* faktor yang menyebabkan perlunya pengembangan teknologi alternatif adalah ....
    a. tereksplorasinya sumber daya alam di laut
    b. tingginya populasi manusia
    c. tingginya tingkat pencemaran
    d. semakin berkurangnya sumber bahan bakar fosil
    e. telah tercapainya keseimbangan alam
20. Bagi masyarakat, bioteknologi harus memberikan konstribusi yang bermanfaat. Berikut manfaat bioteknologi bagi masyarakat dalam bidang lingkungan adalah ....
    a. menghasilkan bahan makanan
    b. menghasilkan bahan minuman
    c. menghasilkan organisme yang mirip melalui kloning
    d. menemukan cara dalam mengatasi sampah menggunakan mikroorganisme
    e. menghasilkan individu baru melalui bayi tabung

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

1. Mengapa mikroorganisme sering digunakan dalam proses bioteknologi?
2. Apakah ciri-ciri proses yang melibatkan bioteknologi.
3. Jelaskan keuntungan digunakannya teknik kultur jaringan dalam memperbanyak tumbuhan.
4. Jelaskan implikasi dari bioteknologi dalam kehidupan manusia.
5. Jelaskan peranan bioteknologi dalam bidang pengelolaan lingkungan.

Soal Tantangan

1. Kini, pembuatan tanaman dan hewan transgenik relatif lebih mudah. Para ilmuwan telah banyak melakukan penyisipan gen asing ke dalam tanaman atau hewan. Hasilnya, seperti tanaman tahan hama dan tomat tahan lama. Namun, pengaruh organisme transgenik terhadap lingkungan belum banyak diketahui. Apa bahaya memasukkan organisme transgenik bagi lingkungan? Apa keuntungan bagi perusahaan dan pengusaha organisme transgenik? Apa pengaruhnya bagi petani dan peternak? Apa keuntungan dan kerugiannya bagi masyarakat? Menurut Anda, keputusan regulasi seperti apa yang harus diambil menanggapi masalah organisme transgenik?
2. Pada 2003, di Amerika telah dilakukan kloning terhadap banteng jawa dari sel kulit yang telah dibekukan. Sel kulit tersebut berasal dari banteng yang mati pada 1980. Inti sel somatis banteng dimasukkan dalam sel telur sapi, kemudian sel telur ditanam pada rahim sapi Angus. Hal ini membuktikan kemungkinan dilakukannya kloning hewan yang telah punah meskipun hewan betina spesies tersebut tidak ada. Namun, kloning terhadap hewan yang telah punah dikhawatirkan dapat mengubah keseimbangan ekosistem, mengapa? Jelaskan beserta contoh spesiesnya.

Evaluasi Materi Semester 2

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

1. Orang yang mengemukakan bahwa evolusi terjadi karena adanya seleksi alami terhadap faktor genetis adalah ....
   a. August Weismann
   b. Charles Darwin
   c. Jean Baptiste de Lamarck
   d. George Cuvier
   e. Alfred Russel Wallace
2. Berikut *bukan* merupakan petunjuk terjadinya evolusi, yaitu ....
   a. terdapatnya variasi dalam satu spesies
   b. ditemukannya fosil
   c. adanya kesamaan susunan biokimia
   d. adanya homologi pada organ tertentu
   e. terjadinya mutasi
3. Organ yang memiliki bentuk asal sama, namun memiliki fungsi yang berbeda disebut ....
   a. seleksi alam
   b. homolog
   c. analog
   d. allopatrik
   e. simpatrik
4. Isolasi geografi akibat adanya penghalang (*barrier*) dapat memengaruhi ....
   a. spesiasi suatu individu
   b. penyebaran suatu individu
   c. spesiasi individu dalam suatu populasi
   d. kegiatan reproduksi
   e. punahnya suatu individu dalam populasi tertentu
5. Spesiasi yang terjadi tanpa adanya penghalang (*barrier*) adalah ....
   a. spesiasi geografi
   b. spesiasi allopatrik
   c. spesiasi reproduksi
   d. spesiasi organ
   e. spesiasi simpatrik
6. Menurut hukum Hardy-Weinberg evolusi akan terjadi dalam suatu populasi jika ....
   a. tidak ada mutasi
   b. tidak ada seleksi alam
   c. ukuran populasi besar
   d. terjadi seleksi alam
   e. terjadi kawin acak
7. Berikut adalah tokoh yang mengemukakan tentang *generatio spontanea* adalah ....
   a. Louis Pasteur
   b. Aristoteles
   c. Francesco Redi
   d. Stanley Miller
   e. Harold Urey
8. Orang yang membuktikan teori Urey adalah ....
   a. Alexander Ivanovich Oparin
   b. Louis Pasteur
   c. Francesco Redi
   d. Alexander Flemming
   e. Stanley Miller
9. Fosil adalah ....
   a. sisa tumbuhan dan hewan pada masa yang lalu
   b. sisa bagian tubuh organisme yang ditemukan di lapisan batuan
   c. organ tubuh tumbuhan dan hewan purba
   d. oganisme yang telah musnah
   e. sisa tubuh organisme yang telah membatu
10. Ilmuwan yang sependapat dengan Darwin pada masa itu mengenai evolusi adalah ....
    a. Goerge Cuvier
    b. Jean Baptiste de Lamarck
    c. Alfred Russel Wallace
    d. August Weismann
    e. Hugo De Vries
11. Hal yang *tidak* diungkapkan dalam pemikiran evolusi oleh Darwin adalah ....
    a. evolusi terjadi melalui seleksi alami
    b. gen berperan dalam evolusi
    c. makhluk hidup mengalami evolusi
    d. spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies yang sebelumnya
    e. makhluk hidup beradaptasi dengan lingkungannya
12. Isolasi reproduksi yang terjadi karena perbedaan masa kesuburan pada populasi tertentu disebut ....
    a. isolasi temporal
    b. isolasi perilaku
    c. isolasi ekologi
    d. sterilitas hibrid
    e. inviabilitas hibrid
13. Di suatu daerah, terdapat penderita albino 25 orang. Adapun jumlah seluruh penduduk daerah tersebut adalah 10.000 orang. Sifat albino dikendalikan oleh gen homozigot resesif aa. Penduduk daerah tersebut yang membawa sifat albino heterozigot adalah ....
    a. 475 orang
    b. 500 orang
    c. 950 orang
    d. 4.750 orang
    e. 9.500 orang
14. Bioteknologi merupakan teknologi yang menggunakan mikroba atau makhluk hidup untuk menghasilkan produk baru yang unggul. Contoh hasil dari bioteknologi konvensional adalah ....
    a. yoghurt
    b. tempe
    c. nata de coco
    d. antibiotik
    e. hormon
15. Contoh peran bioteknologi dalam bidang pertanian adalah ....
    a. penyemprotan pestisida
    b. pemberian pupuk
    c. pemberian DDT

d. pembasmian hama secara biologis
e. perkembangan tumbuhan tanpa diberi pupuk

16. Berikut *bukan* merupakan keuntungan dari teknik kultur jaringan pada tumbuhan adalah ....
a. dapat dilakukan di lahan sempit
b. bibit tumbuhan dapat diperoleh dalam jumlah banyak dengan waktu singkat
c. bibit memiliki sifat yang sama dengan induknya
d. memiliki sifat unggul
e. mudah terserang hama penyakit

17. Keju dibuat dengan teknik bioteknologi dengan bantuan bakteri ....
a. *Lactobacillus*
b. *Streptococcus*
c. *Rhizopora*
d. *Staphylococcus*
e. *Streptomycin*

18. Dalam proses bayi tabung, embrio tumbuh di ....
a. tabung reaksi
b. laboratorium
c. uterus
d. tuba Fallopi
e. ovarium

19. Hal yang menjadi dasar dalam melakukan kultur jaringan pada tumbuhan adalah ....
a. pembelahan meiosis pada sel kelamin
b. sifat haploid pada sel gamet
c. pembelahan mitosis pada meristem
d. sifat totipotensi sel
e. kemampuan sel tumbuhan berkembang biak

20. Pada proses kloning domba Dolly, nukleus sel telur diganti dengan nukleus dari sel somatis. Hal ini dilakukan karena ....
a. sel telur usianya sudah tua
b. sel telur bersifat diploid
c. sel somatis memiliki jumlah kromosom 2n
d. sel somatis memiliki ukuran besar
e. sel somatis penyusun tubuh terbanyak

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

1. Sebutkan pokok utama dari teori evolusi Charles Darwin.
2. Jelaskan perbedaan teori evolusi antara Lamarck dan Darwin.
3. Jelaskan percobaan yang dilakukan oleh Francesco Redi.
4. Sebutkan pemanfaatan bioteknologi dalam bidang farmasi.
5. Apakah yang dimaksud dengan bioteknologi? Bagaimanakah polemik yang terjadi pada pengembangan bioteknologi? Berikan contohnya.
6. Sebutkan dan jelaskan bukti-bukti terjadinya evolusi.
7. Pada suatu populasi terdapat pria buta warna sebanyak 36%. Berapakah persentase wanita buta warna pada populasi tersebut?

Evaluasi Materi Akhir Tahun

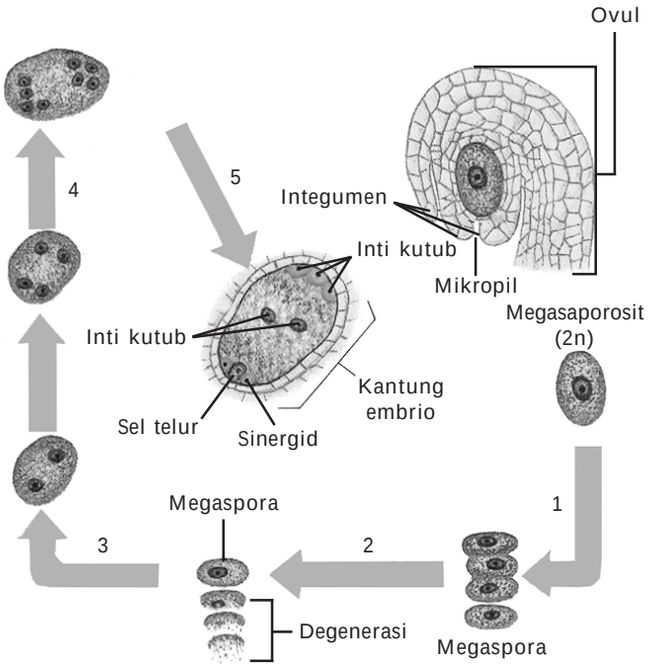
A. Pilihlah salah satu jawaban yang paling tepat dan kerjakanlah pada buku latihan Anda.

1. Pada proses perkecambahan pada biji tumbuhan, organ tanaman yang pertama kali muncul adalah ....
   a. akar
   b. batang
   c. daun
   d. bunga
   e. akar dan daun

2. Berikut ini adalah faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan.
   1) cahaya
   2) hormon
   3) air
   4) genetik
   5) suhu
   6) enzim

   Faktor-faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan adalah ....
   a. 1, 3 dan 6
   b. 2, 4 dan 6
   c. 5, 4 dan 6
   d. 1, 2 dan 6
   e. 2, 3 dan 6

3. Perhatikan gambar berikut.

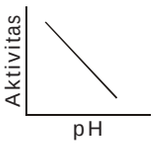


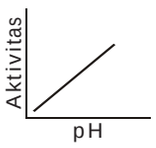
   Meiosis terjadi pada nomor ....
   a. 1
   b. 2
   c. 3
   d. 4
   e. 5

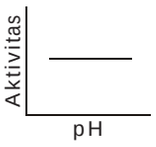
4. *Bukan* termasuk rangkaian respirasi sel adalah ....
   a. glikolisis
   b. siklus krebs
   c. siklus transfor elektron
   d. dekarboksilasi oksidatif
   e. siklus Calvin-Benson

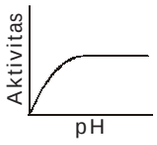
5. Berikut ini yang *bukan* termasuk sifat enzim adalah ....
   a. enzim tidak tahan pada pH yang sangat rendah
   b. enzim tidak tahan pada pH yang sangat tinggi
   c. enzim bekerja secara spesifik
   d. enzim hanya berperan pada proses katabolisme
   e. di dalam enzim terdapat protein

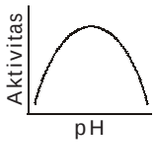
6. Kadar pH sangat berpengaruh pada aktivitas enzim. Berikut ini, grafik yang menggambarkan hubungan antara pH dan aktivitas enzim adalah ....

   a. 

   b. 

   c. 

   d. 

   e. 

7. Dua zat penting yang digunakan dalam reaksi pembentukan glukosa pada reaksi terang dan siklus Calvin yaitu ....
   a. NADPH dan fosfogliseraldehida
   b. ATP dan asam fosfogliseraldehida
   c. ATP dan NADPH
   d. NADPH dan asam fosfogliseraldehida
   e. ATP dan asam fosfogliserat

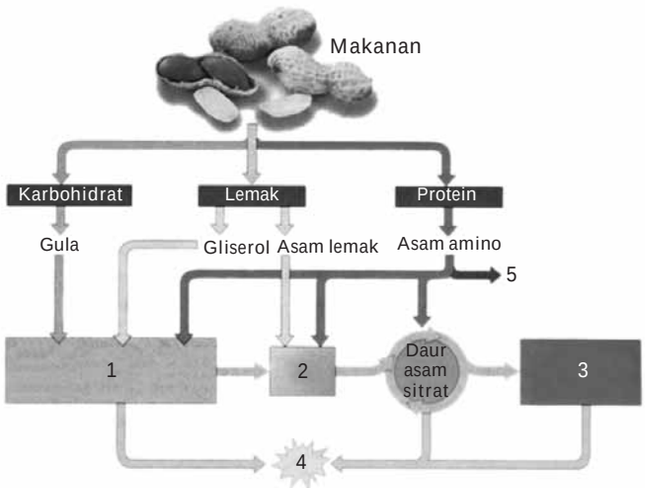
8. Reaksi pengkilatan CO_2 pada fotosintesis berlangsung di dalam ....
   a. sitoplasma
   b. klorofil
   c. kloroplas
   d. amiloplas
   e. stomata

9. Fungsi hormon asam absisat adalah ....
   a. menghambat pembelahan sel, menunda perbungaan dan menyebabkan absisi atau pengguguran daun
   b. membantu proses penuaan, dermansi pucuk, dan perbungaan
   c. berperan dalam pembelahan sel, pemanjangan sel, morfogenesis, dominansi apikal dan dormansi
   d. memengaruhi pembentukan pucuk atau tunas baru dan jaringan yang luka
   e. berperan dalam dominansi apikal, pemanjangan sel, perkembangan buah, perbungaan, dan mobilisasi cadangan makanan dari dalam biji

10. Berikut ini *bukan* merupakan makronutrien untuk tumbuhan, adalah ....
    a. magnesium
    b. besi
    c. sulfur
    d. fosfor
    e. kalium

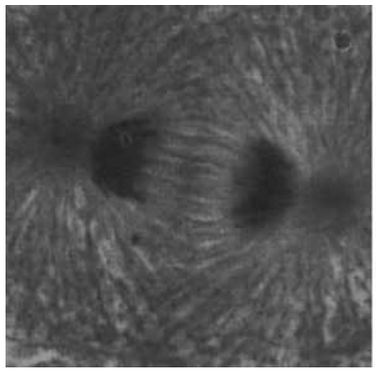
Untuk menjawab nomor 11 dan nomor 12, perhatikan gambar berikut.

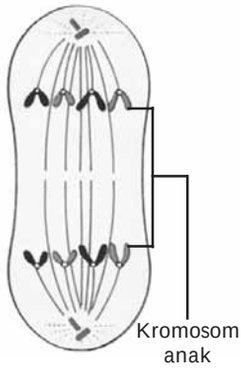
11. Manakah yang dimaksud dengan nukleosom ....
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
12. Pernyataan yang *tidak* tepat mengenai gambar tersebut adalah ....
    a. kromosom tersusun atas DNA
    b. DNA merupakan substansi pembawa nukleosom
    c. lengan kromosom (krematid) dibentuk berdasarkan molekul DNA
    d. gen terdiri atas DNA
    e. kromosom tersusun atas nukleotida
13. Perhatikan gambar berikut.



    Di manakah Asetil KoA terbentuk?
    a. 1
    b. 2
    c. 3
    d. 4
    e. 5
14. Suatu rantai sense DNA berupa TGC-ACG-CAG-CGG-GCC-GTC, maka antikodonnya ....
    a. ACG-TGC-GTC-GCC-CGG-CAG
    b. GCC-TGC-CGG-ACG-CAG-GTC
    c. CGG-TGC-ACG-TGC-CAG-GCC
    d. ACG-UGC-GUC-CGG-CGG-CAG
    e. UGC-ACG-CAG-CGG-GCC-GUC
15. Komponen yang *tidak* berperan langsung dalam proses translasi adalah ....
    a. DNA
    b. mRNA
    c. tRNA
    d. asam amino
    e. ribosom
16. Perhatikan gambar berikut.

    Tipe kromosom tersebut adalah ....
    a. metasentrik
    b. submetasentrik
    c. akrosentrik
    d. telosentrik
    e. polisentrik
17. Berikut ini basa nitrogen yang terdapat di RNA adalah ....
    a. guanin, adenin, urasil, dan sitosin
    b. urasil, timin, sitosin, dan guanin
    c. adenin, guanin, timin, dan sitosin
    d. sitosin, adenin, timin, dan urasil
    e. urasil, timin, sitosin, dan guanin
18. Profase *tidak* ditandai dengan tahap ....
    a. memendek dan bertambah tebalnya kromosom
    b. nukleus mulai terurai
    c. kromosom membelah secara memanjang membentuk kromatid
    d. kromosom bergerak menuju kutub-kutub pembelahan
    e. sentriol mengalami duplikasi
19. Berikut merupakan tahap-tahap mitosis adalah ....
    a. profase – metafase – telafase – anafase
    b. profase – telofase – metafase – anafase
    c. profase – metafase – anafase – telofase
    d. profase – telofase – anafase – metafase
    e. profase – anafase – metafase – telofase
20. Gambar berikut menunjukkan suatu pembelahan sel, yaitu pada fase ....





    a. anafase
    b. metafase
    c. profase
    d. interfase
    e. telofase

21. Berikut ini pernyataan yang benar tentang persilangan monohibrid adalah ....
    a. persilangan antara sepasang alel yang terdapat pada satu lokus
    b. persilangan dengan tiga sifat beda
    c. persilangan antara sepasang alel yang terdapat pada dua lokus
    d. persilangan dengan alel yang berbeda pada tiga lokus yang berbeda
    e. persilangan dengan dua sifat beda

22. Jika individu CcDD dan CcDD (c dan d bersifat resesif) disilangkan, rasio fenotipe keturunannya adalah ....
    a. 3 : 1
    b. 12 : 3 : 1
    c. 9 : 3 : 3 : 1
    d. 9 : 3 : 4
    e. 15 : 1

23. Jika orang bergolongan darah AB dan orang bergolongan darah O dikawinkan, kemungkinan menghasilkan anak bergolongan darah ....
    a. A homozigot
    b. O
    c. AB
    d. B heterozigot
    e. B homozigot

24. Jika seorang wanita bergolongan darah A heterozigot dan carier hemofilia menikah dengan laki-laki bergolongan darah B heterozigot dan normal, kemungkinan menghasilkan anak laki-laki bergolongan darah O dan hemofilia adalah ....
    a. 3,125 %
    b. 6,25 %
    c. 12,25 %
    d. 25 %
    e. 50 %

25. Faktor yang menentukan jenis kelamin pada anak adalah ....
    a. pola makan ibu saat mengandung
    b. kromosom pada sperma
    c. lamanya hari antara ovulasi dan fertilisasi
    d. kromosom pada ovum
    e. posisi oviduk saat fertilisasi dilakukan

26. Berikut ini merupakan tahapan sintesis protein.
    1) mRNA keluar inti menuju ribosom di dalam sitoplasma
    2) tRNA membawa asam-asam amino menuju mRNA di ribosom
    3) mRNA dibentuk dalam inti sel oleh DNA
    4) mRNA bergabung dengan ribosom
    5) terbentuk rantai polipeptida yang dikehendaki

    Urutan sintesis protein yang benar adalah ....
    a. 3 – 1 – 4 – 2 – 5
    b. 3 – 1 – 2 – 4 – 5
    c. 3 – 1 – 5 – 2 – 4
    d. 3 – 1 – 4 – 5 – 2
    e. 3 – 1 – 5 – 4 – 2

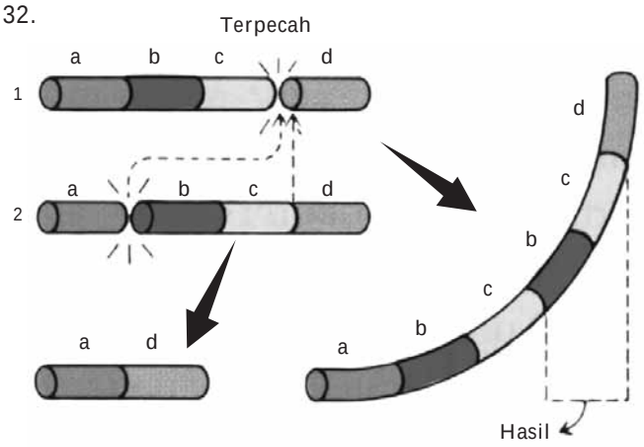
27. Pembelahan sel diawali dengan ....
    a. kromosom menuju bidang ekuator
    b. terbentuknya membran pemisah
    c. lenyapnya selaput inti
    d. perubahan kromosom menjadi kromatid
    e. kromosom menuju ke kutub sel

28. Pada proses delesi terjadi ....
    a. penambahan gen pada kromosom homolog dari kromosom pasangannya
    b. kromosom bentuk homolog saling berdekatan
    c. pertukaran gen dari suatu kromosom lain yang tidak homolog
    d. hilangnya sebagian gen pada kromosom
    e. perubahan urutan letak gen dalam suatu kromosom

29. Jika seseorang memiliki ciri wajah bulat, mulut sering terbuka, dan IQ rendah, maka orang tersebut mengidap sindrom ....
    a. Down
    b. Turner
    c. Patau
    d. Klinefelter
    e. Edwards

30. Sindrom Turner memiliki susunan kromosom ....
    a. 22AA + XXY
    b. 22AA + XO
    c. 45A + XX/XY
    d. 43A + XX/XY
    e. 22AA + XXX

31. Mutasi gen dapat berarti perubahan pada ....
    a. letak kromosom dalam inti sel
    b. letak gen dalam kromosom
    c. jumlah gen dalam suatu kromosom
    d. letak nukleotida dalam gen
    e. jumlah kromosom dalam inti sel

32. 

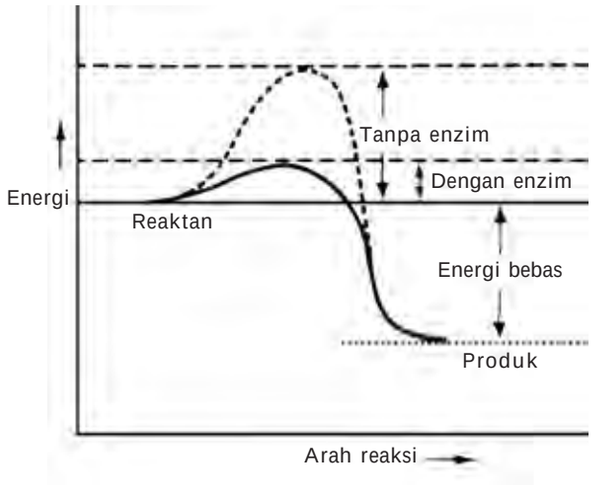
    Gambar tersebut menunjukkan proses ....
    a. delesi kromosom
    b. duplikasi kromosom
    c. translokasi kromosom
    d. inversi kromosom
    e. kotenasi kromosom

33. Fakta yang mendasari pernyataan Darwin tentang evolusi terjadi karena seleksi alami adalah ....
    a. kelangsungan hidup yang bervariasi
    b. suatu populasi organisme yang stabil tidak mengalami perubahan
    c. kekuatan-kekuatan lingkungan menyebabkan perubahan struktur tubuh secara bertahap
    d. suatu populasi organisme dapat bertahan hidup jika mampu beradaptasi dengan lingkungan
    e. pewarisan sifat individu dipengaruhi oleh faktor lingkungan

34. Pernyataan yang menyatakan hubungan antara evolusi kimia dan asal-usul kehidupan di bumi adalah ....
    a. kerja sama antarmolekul organis dalam sup purba amat mungkin menghasilkan tipe sel primitif
    b. interaksi beberapa molekul dan bahan organik secara acak dapat menjadi awal suatu organisme yang muncul
    c. terbentuknya asam nukleat dan protein di atmosfer pada masa menjadi dasar terbentuknya makhluk hidup awal
    d. sup purba yang kaya bahan-bahan organik menghasilkan organisme heterofilik yang dapat mereplikasi diri
    e. variasi komposisi sup primordial di berbagai areal akan mengarah pada terbentuknya koaservat sebagai bahan mentah proses biokimia
35. Manakah yang merupakan homolog ....
    a. sayap kelelawar dengan sayap kupu-kupu
    b. sirip dada lumba-lumba dengan sayap serangga
    c. tangan manusia dengan sirip dada ikan paus
    d. sayap serangga dengan sayap burung
    e. antena pada kecoa dan kumis pada ikan lele
36. Dua hal utama yang menyebabkan evolusi terjadi adalah ....
    a. adaptasi dan filogeni
    b. filogeni dan ontogeni
    c. adaptasi dan ontogeni
    d. seleksi alami dan variasi genetik
    e. spesiasi dan variasi genetik
37. Antibodi monoklonal diproduksi menggunakan ....
    a. teknik hibridoma
    b. teknologi enzim
    c. teknik DNA rekombinan
    d. kloning terapi
    e. kultur jaringan
38. Kemajuan bioteknologi didukung oleh beberapa disiplin ilmu, antara lain ....
    a. Fisika, Geografi, dan Biologi
    b. Biokimia, Mikrobiologi, dan Genetika
    c. Kimia, Geologi, dan Matematika
    d. Geologi, Geofisika, dan Kimia
    e. Biologi, Biofisika, dan Kimia
39. Perbedaan antara bioteknologi modern dan bioteknologi kovensional adalah ....
    a. kegunaannya
    b. jenis mikroorganismenya
    c. bahan dasarnya
    d. waktu yang diperlukannya
    e. perlakuan terhadap mikroorganismenya
40. Berikut adalah beberapa mikroorganisme yang berperan dalam bioteknologi bidang pengolahan pangan. Bakteri yang digunakan dalam proses fermentasi susu dalam pembuatan yoghurt adalah ....
    a. *Escherichia coli*
    b. *Staphylococcus*
    c. *Acetobacter cillinum*
    d. *Penicillium notatum*
    e. *Lactobacillus bulgaricus*

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

1. Apa yang dimaksud dengan
    a. kotiledon
    b. epikotil
    c. hipokotil
    d. koleoptil
    e. radikula
2. Jelaskan, bagaimana lingkaran tahun pada tumbuhan dikotil terbentuk.
3. Jelaskan pengaruh enzim terhadap energi aktivasi pada grafik berikut.



4. Pada fermentasi alkohol, asam piruvat diubah menjadi etanol atau etil alkohol melalui dua langkah reaksi. Jelaskan.
5. Sebutkan tipe-tipe kromosom dan jelaskan.
6. Jelaskan perbedaan antara DNA dan RNA.
7. Sebutkan tahapan mitosis dan jelaskan.
8. Jika ayam yang membawa sifat jengger walnut (RrPp) disilangkan dengan ayam berjengger pea (rrPP), berapakah perbandingan fenotipe dan genotipe dari hasil persilangan tersebut, dan sebutkan fenotipenya.
9. Jelaskan dan sertai dengan gambar, perbedaan delesi, duplikasi, translokasi, dan inversi pada kromosom.
10. Jelaskan tahap pembuatan hormon insulin secara secara rekayasa genetika.

Apendiks 1

Kunci Jawaban

Bab 1 Pertumbuhan dan Perkembangan

Soal Penguasaan Materi 1.1

1. Pertumbuhan adalah perubahan kuantitatif dari ukuran sel, organ, atau keseluruhan organisme.
   Perkembangan adalah perubahan kualitatif berupa pendewasaan dan kematangan sel, serta diiringi oleh spesialisasi fungsi sel.
3. Pertumbuhan sekeunder disebabkan oleh adanya aktivitas kambium dan kambium gabus (felogen). Hasilnya, batang tumbuhan dikotil akan semakin membesar karena pembentukan xilem sekunder dan floem sekunder. Hal ini menyebabkan kerusakan pada epidermis batang sehingga felogen berperan penting sebagai pembentuk lapisan gabus yang menjadi pelindung batang dari perubahan cuaca.

Soal Penguasaan Materi 1.2

1. Faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan meliputi hormon dan enzim yang memicu serangkaian proses pada sel. Hormon yang terdapat pada tumbuhan meliputi auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, dan etilen.

Evaluasi Materi Bab 1

A. Pilihan ganda

1.	a	11.	b
3.	d	13.	e
5.	b	15.	c
7.	d	17.	e
9.	e	19.	a

B. Esai

1
- Faktor internal: hormon pertumbuhan (auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, etilen)
- Faktor eksternal: nutrisi, cahaya, temperatur, air, pH, dan oksigen.

3. Fungsi hormon giberelin: dominansi apikal, pemanjangan sel, perkembangan buah dan perbungaan.
5. Auksin memengaruhi arah pertumbuhan suatu tanaman.

Bab 2 Metabolisme

Soal Penguasaan Materi 2.1

1. Kerja enzim dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.
   a. Temperatur: semua enzim memiliki kondisi temperatur spesifik agar dapat bekerja secara optimal.
   b. pH: enzim bekerja pada kondisi pH yang sangat spesifik sehingga enzim tidak akan merusak sel lain yang berada di sekitarnya.
   c. Konsentrasi substrat dan kondisi enzim: reaksi akan optimal apabila perbandingan konsentrasi substrat dan enzim sesuai.
   d. Kofaktor: membantu dalam penguatan ikatan antara enzim dan substrat.
   e. Inhibitor enzim: inhibitor akan bersaing dengan substrat.
   f. Kadar air: rendahnya kadar air dapat menyebabkan enzim tidak aktif.
3. ATP berfungsi sebagai sumber energi utama yang berasal dari aktivitas pelepasan satu gugus fosfat.

Soal Penguasaan Materi 2.2

1. Anabolisme adalah reaksi penyusunan zat dari senyawa sederhana menjadi senyawa kompleks. Contohnya, fotosintesis dan kemosintesis.
3. Secara umum, fotosintesis dipengaruhi oleh dua faktor, yakni hereditas dan lingkungan. Contoh faktor hereditas adalah potensi tumbuhan untuk membentuk kloroplas. Faktor lingkungan yang dimaksud meliputi temperatur, intensitas cahaya, air, mineral, CO_2, dan O_2.

Soal Penguasaan Materi 2.3

1. Penguraian terhadap karbohidrat, lemak, dan protein untuk menghasilkan ATP akan melalui proses glikolisis. Sebelumnya, lemak diuraikan terlebih dahulu menjadi gliserol dan asam lemak, protein menjadi asam amino. Karbohidrat yang terlibat dalam glikolisis adalah disakarida dan polisakarida. Asam lemak biasanya akan langsung diubah menjadi asetil-KoA. Asam amino akan menjadi asetil-KoA dan atau langsung masuk ke dalam daur asam sitrat. Seluruh hasil penguraian ketiga komponen makanan tersebut akan masuk ke rantai transpor elektron.

Evaluasi Materi Bab 2

A. Pilihan ganda

1.	c	11.	b
3.	b	13.	c
5.	c	15.	d
7.	c	17.	e
9.	b	19.	e

B. Esai

1. Respirasi aerob membutuhkan oksigen, sedangkan respirasi anaerob tidak membutuhkan oksigen. Energi yang dihasilkan pada respirasi aerob lebih tinggi dibandingkan pada respirasi anaerob.
3. Proses yang terjadi pada reaksi terang yang berlangsung di membran tilakoid:
   - penyerapan energi cahaya dilakukan oleh klorofil untuk diubah menjadi energi kimia;
   - dihasilkan ATP dan $NADPH_2$;
   - fotolisis air yang menghasilkan oksigen.
5. Orang yang berolahraga terus-menerus akan merasa lelah sebab sel dalam tubuhnya memerlukan oksigen yang banyak untuk menghasilkan energi bagi tubuhnya.

Bab 3 Substansi Genetik

Soal Penguasaan Materi 3.1

1. Tipe-tipe kromosom meliputi telosentrik, akrosentrik, submetasentrik, dan metasentrik.
3.

Pembeda	Autosom	Gonosom
Fungsi	Mengendalikan sifat tubuh	Mengatur jenis kelamin
Susunan kromosom pada jantan dan betina	Sama	Berbeda (contoh: betina XX dan jantan XY)

Soal Penguasaan Materi 3.2

1. Kromosom homolog adalah pasangan kromosom yang memiliki kesamaan bentuk, ukuran, maupun jumlah jenis gen yang dikandungnya.
3. Homozigot dominan adalah genotipe yang memiliki jenis alel yang sama untuk mengendalikan satu sifat dominan.
   Homozigot resesif adalah genotipe yang memiliki jenis alel yang sama untuk mengendalikan satu sifat resesif.
   Heterozigot adalah genotipe yang memiliki jenis alel yang berbeda untuk mengendalikan satu sifat dominan.

Soal Penguasaan Materi 3.3

1. Alel adalah gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian dari pasangan kromosom homolog, tetapi memiliki pengaruh dalam cara yang berbeda.
3. Suatu alel disebut alel tunggal jika suatu gen memiliki satu alel saja, seperti gen T dengan alel t. Adapun alel ganda jika terdapat lebih dari satu alel, seperti gen I^A dengan alel I^B dan I^O.

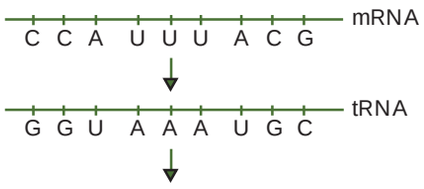
Soal Penguasaan Materi 3.4

1. DNA tersusun atas asam fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen.
3. Nukleosida adalah gabungan dari basa nitrogen dan gula pentosa.
   Nukleotida adalah gabungan dari nukleosida dan gugus fosfat.

Soal Penguasaan Materi 3.5

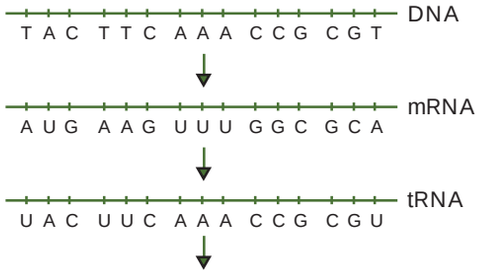
1. RNA nongenetik dibedakan menjadi RNA duta, RNA ribosom, dan RNA transfer.
3. RNA berperan dalam sintesis protein (dinamakan RNA nongenetik) dan sebagai pembawa materi genetik, seperti pada virus (dinamakan RNA genetik).

Soal Penguasaan Materi 3.6

1. mRNA berperan membawa kopi dari kode genetik yang terdapat pada DNA.
3. 

   Asam amino: glisin – lisin – sistein

Soal Penguasaan Materi 3.7

1. Sintesis protein meliputi tahap transkripsi dan transaksi. Transkripsi merupakan tahap pembuatan kopi kode genetik dari DNA yang dibawa oleh mRNA. Hal ini berlangsung dalam inti sel. Selanjutnya, mRNA akan bergerak menuju sitoplasma dan menempel pada ribosom untuk menjalani translasi, yakni penerjemahan kode genetik pada mRNA menjadi asam amino. Asam amino tersebut merupakan hasil penerjemahan pasangan basa pada mRNA yang dibawa oleh tRNA.
3. 

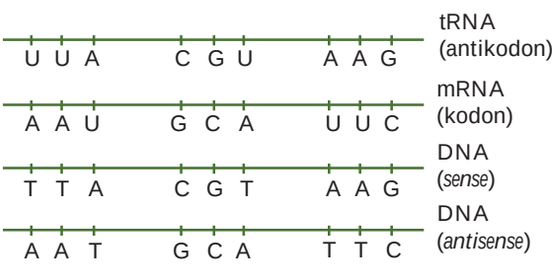
   Asam amino: tirosin – fenil – lisin – prolin – arginin

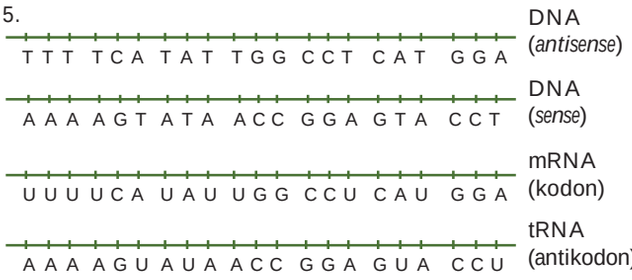
Evaluasi Materi Bab 3

A. Pilihan ganda

1.	a	11.	b
3.	e	13.	d
5.	e	15.	a
7.	c	17.	c
9.	e	19.	c

B. Esai

1. Gen merupakan unit bahan genetis yang dimiliki oleh makhluk hidup. Gen merupakan materi yang kompak dan tersusun atas satuan informasi genetik. Gen mengatur berbagai macam karakter, baik karakter fisik maupun karakter psikis.
3. 

5. 

   Jadi, urutan asam amino hasil sintesis protein adalah:
   lys – ser – ile – thr – gly – val – pro

Bab 4 Reproduksi Sel

Soal Penguasaan Materi 4.1

1. Profase: membran inti menghilang; metafase: kromatid di bidang pembelahan; anafase: kromosom menuju kutub berlawanan; telofase: membran inti terbentuk kembali.
3. Sitokinesis pada sel hewan ditandai dengan pembentukan *mid body* yang mengandung mikrotubula, sedangkan sitokinesis pada sel tumbuhan ditandai dengan pembentukan fragmoplas yang mengandung aparatus Golgi.

Soal Penguasaan Materi 4.2

1. Pada meiosis I, terjadi pembagian jumlah kromosom tetrad pada satu sel diploid sehingga dihasilkan dua sel haploid. Sementara pada meiosis II, terjadi penarikan lengan kromsom tetrad pada dua sel haploid sehingga dihasilkan empat sel haploid.
3. Pada mitosis dihasilkan 2 sel anak dengan sifat yang sama. Pada meiosis dihasilkan 4 sel baru dengan sifat yang berbeda-beda.

Soal Penguasaan Materi 4.3

1. Meiosis.
2. Sperma tumbuhan dihasilkan dari mikrosporosit (2n), setelah mengalami meiosis dan dua kali mitosis. Sel telur tumbuhan dihasilkan dari megasporasit (2n), setelah mengalami meiosis, degenerasi, dan tiga kali mitosis.

Evaluasi Materi Bab 4

A. Pilihan ganda

1. d
3. e
5. e
7. b
9. d
11. a
13. c
15. b
17. c
19. d

B. Esai

1. Tujuan mitosis:
   - Membantu sel memelihara ukurannya
   - Menjaga keseimbangan jumlah DNA dan RNA
   - Mengganti sel yang rusak
   - Pertumbuhan dan perkembangan
3. a. Spermatid adalah spermatosit yang sudah mengalami meiosis
   b. Badan polar adalah ootid yang berdegenerasi atau mati
   c. Sitokinesis adalah pembelahan sitoplasma
5. Terjadi proses transkripsi RNA, tRNA, mRNA, dan sintesis berbagai jenis protein.

Bab 5 Pola Pewarisan Sifat Organisme

Soal Penguasaan Materi 5.1

1. Dengan adanya reproduksi sel yang akan menghasilkan gamet, pewarisan sifat dapat terjadi.
3. Kemungkinan ciri tubuh tinggi merupakan ciri resesif dan kedua orangtua tersebut memiliki genotipe heterozigot. Oleh sebab itu, mereka memiliki kemungkinan untuk memiliki anak bergenotipe homozigot resesif untuk ciri tinggi tubuh.

Soal Penguasaan Materi 5.2

1. Pindah silang terjadi ketika meiosis pada gen-gen yang terpaut, tetapi mempunyai jarak lokus yang berjauhan.
2. Contoh penyimpangan semu dari hukum Mendel adalah interaksi gen (atavisme) pada jengger ayam, kriptomeri pada warna bunga, polimeri pada biji gandum, epistasis dan hipostasis pada warna kulit labu, serta komplementer pada warna bunga *Lathyrus adoratus*.

Soal Penguasaan Materi 5.3

1. Penyakit keturunan yang terpaut kromosom seks antara lain buta warna dan hemofilia.
3. Seorang anak dapat bergolongan darah O dari hasil perkawinan antara ayah yang bergolongan darah A heterozigot dan ibu yang bergolongan darah B heterozigot.

Evaluasi Materi Bab 5

A. Pilihan ganda

1. a
3. e
5. d
7. c
9. c
11. a
13. d
15. a

B. Esai

1. a. tumbuhan kacang ercis (*Pisum sativum*) memiliki variasi yang cukup kontras.
   b. dapat melakukan penyerbukan sendiri
   c. dapat menghasilkan keturunan
   d. mudah dikawinsilangkan.
3. a. Turunan yang buta warna = 25%
   b. Anak laki buta warna = 50%
   c. Anak wanita buta warna = 0%
5. Albino, brakidaktili, gangguan mental, polidaktili, dan diabetes mellitus.

Bab 6 Mutasi

Soal Penguasaan Materi 6.1

1. Pada manusia, mutasi yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi mutasi gen dan mutasi kromosom.

Soal Penguasaan Materi 6.2

1. Penyebab mutasi dapat dikelompokkan menjadi mutagen alami dan mutagen buatan.
   Mutagen alami : sinar radioaktif, kosmis, ultraviolet
   Mutagen buatan : DDT, pestisida, fumigant, sinar X, sinar α, sinar β

Soal Penguasaan Materi 6.3

1. Dampak mutasi antara lain:
   a. menghasilkan tanaman poliploidi
   b. kelainan pada tubuh akibat sindrom Down, sindrom Edwards, sindrom Patau
   c. menimbulkan kanker

Evaluasi Materi Bab 6

A. Pilihan ganda

1. b
3. a
5. b
7. d
9. d
11. d
13. a
15. d
17. a
19. c

B. Esai

1. - Mutagenesis adalah peristiwa terjadinya mutasi.
   - Mutasi adalah hasil mutasi.
   - Mutagen adalah penyebab.
3. Perbedaan antara mutasi gen dan mutasi kromosom adalah mutasi gen terjadi karena perubahan urutan basa pada DNA atau dapat dikatakan sebagai perubahan nukleotida pada DNA, sedangkan mutasi kromosom adalah perubahan yang terjadi pada bentuk atau set kromosomnya.
5. Contoh mutagen kimia adalah DDT, pestisida, dan fumigant.
   Contoh mutagen fisika adalah sinar α, sinar β, dan sinar γ.

Evaluasi Materi Semester 1

A. Pilihan ganda

1. c
3. d
5. a
7. a
9. a
11. b
13. a
15. a
17. c
19. a
21. e
23. e
25. e

B. Esai

1. a. Auksin: hormon pemacu pertumbuhan pada ujung batang dan akar tanaman.
   b. Rizokalin: hormon pemacu pertumbuhan akar.
   c. Antokalin: hormon pemacu pertumbuhan bunga.
   d. Giberelin: hormon pemacu perpanjangan batang suatu tanaman.
3. Peristiwa yang berlangsung pada reaksi terang fotosintesis, di antaranya adalah penerimaan energi cahaya oleh klorofil, pembentukan ATP dan $NADPH_2$, fotolisis air, serta dihasilkannya oksigen.
5. Transkripsi merupakan pembentukan mRNA dan translasi merupakan proses penerjemahan kodon pada RNA menjadi urutan asam amino oleh tRNA.
7. Sitokenesis merupakan proses pemisahan sitoplasma yang akan menghasilkan dua sel anak.

9. Pada mitosis, hanya terjadi pembelahan sel biasa, sedangkan pada meiosis terjadi pembelahan sel yang menghasilkan sel anak dengan jumlah kromosom setengah dari induknya (reduksi).

Bab 7 Evolusi

Soal Penguasaan Materi 7.1

1. Charles Darwin, Alfred Russel Wallace, George Cuvier, Jean Baptiste de Lamarck, dan August Weismann.
3. Variasi dalam satu spesies, fosil, kemiripan biokimia, serta perbandingan anatomi dan embrio.

Soal Penguasaan Materi 7.2

1. Variasi dalam suatu populasi merupakan bahan mentah terjadinya evolusi. Variasi timbul akibat mutasi, baik mutasi gen maupun mutasi kromosom.
3. Evolusi tidak akan terjadi dalam populasi apabila:
   a. tidak ada mutasi;
   b. tidak ada seleksi alam;
   c. ukuran populasi sangat besar;
   d. semua anggota populasi dapat berkembang biak;
   e. semua anggota populasi dapat kawin secara acak;
   f. keturunan dihasilkan dalam jumlah yang sama;
   g. tidak ada migrasi.

Soal Penguasaan Materi 7.3

1. Teori abiogenesis menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda atau materi tidak hidup dan kehidupan terjadi secara spontan. Sementara itu, teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup lagi.
3. Zat-zat anorganik, seperti air, metana, karbon dioksida, dan metana membentuk zat organik akibat adanya radiasi dari energi listrik yang berasal dari petir. Hal ini berlangsung dalam sup purba selama jutaan tahun sehingga terbentuklah sel pertama. Evolusi biologi berlangsung sejak sel pertama mampu memperbanyak diri melalui pembelahan sel.

Evaluasi Materi Bab 7

A. Pilihan ganda

1.	a	11.	c
3.	c	13.	b
5.	c	15.	e
7.	d	17.	a
9.	c	19.	c

B. Esai

1. Teori Lamarck
   Terbentuknya populasi zarapah berleher panjang dikarenakan proses adaptasi.

   Teori Darwin
   Seleksi alami menyebabkan zarapah berleher pendek punah dan hanya zarapah yang berleher panjang yang tersisa.
3. Bukti-bukti terjadinya evolusi, antara lain:
   a. variasi dalam suatu spesies → dipengaruhi oleh faktor genetis dan lingkungan.
   b. fosil → memberikan informasi mengenai peristiwa yang terjadi di masa lalu.
   c. kemiripan susunan biokimia → setiap makhluk hidup tersusun atas komponen kimia yang sama, namun dalam susunan kode-kode genetik yang spesifik.
   d. perbandingan anatomi → adaptasi menyebabkan kesamaan bentuk asal yang sama dengan jenis makhluk hidup lainnya, tetapi fungsinya berbeda (homolog). Selain itu, ada pula organ yang memiliki fungsi yang sama, namun struktur dasarnya berbeda (analog).
5. Louis Pasteur menggunakan labu berleher angsa dalam percobaannya. Kemudian, Louis membandingkan air kaldu dalam labu tersebut dengan air kaldu yang terdapat dalam labu lainnya (tidak berleher angsa) setelah dipanaskan dan didinginkan. Berdasarkan hal tersebut Louis membuktikan mikroorganisme bukan berasal dari air kaldu.

Bab 8 Bioteknologi

Soal Penguasaan Materi 8.1

1. Bioteknologi adalah penerapan prinsip-prinsip biologi, biokimia, dan rekayasa dalam pengolahan bahan dengan memanfaatkan agensia jasad hidup dan komponen-komponennya untuk menghasilkan barang dan jasa.
3. Suatu produk merupakan hasil bioteknologi jika terdapat agen biologi yang digunakan. Baik organisme utuh atau turunannya. Contohnya, tempe, roti, dan kecap.

Soal Penguasaan Materi 8.2

1. Bioteknologi konvensional menggunakan penerapan-penerapan biologi, biokimia, dan rekayasa dalam tingkat yang terbatas. Sementara itu, bioteknologi modern telah menggunakan teknik rekayasa tingkat tinggi dan terarah sehingga hasilnya dapat dikendalikan dengan baik.

Soal Penguasaan Materi 8.3

1. Karena mikroorganisme dapat melakukan proses-proses dasar metabolisme untuk dirinya sendiri dalam berkembang biak sehingga dapat menghasilkan suatu produk. Selain itu, perkembangbiakannya cepat, sifat dasarnya dapat dimodifikasi, dan dapat dipelihara dalam suatu kultur.

Soal Penguasaan Materi 8.4

1. Karena produk dan jasa bioteknologi mampu memberikan manfaat bagi makhluk hidup, khususnya manusia.
3. Dalam bidang kesehatan, bioteknologi berperan pada pembuatan antibiotik, hormon, dan bayi tabung.

Soal Penguasaan Materi 8.5

1. Bioteknologi memiliki beberapa dampak terhadap kehidupan. Sebagai contoh, ketergantungan petani pada pembelian bibit unggul transgenik yang biasanya steril, kematian organisme *nontarget* akibat memakan tanaman transgenik yang tahan hama, dan perdebatan yang terus berlanjut mengenai kloning.

Evaluasi Materi Bab 8

A. Pilihan ganda

1.	e	11.	d
3.	d	13.	b
5.	a	15.	b
7.	b	17.	d
9.	a	19.	e

B. Esai

1. Mikroorganisme sering digunakan dalam bioteknologi karena:
   - perkembangbiakkan mikroorganisme relatif sangat cepat;
   - sifat dasar dari mikroorganisme relatif mudah dimodifikasi, yakni dengan teknik rekayasa genetik;
   - mikroorganisme dapat memproses bahan baku lebih cepat dibandingkan yang dilakukan hewan maupun tumbuhan sehingga mampu mempercepat proses produksi.
3. a. dapat dilakukan di lahan yang sempit, artinya tidak diperlukan lahan yang luas untuk memproduksi bibit tumbuhan yang banyak;

b. bibit tumbuhan dapat diperoleh dalam jumlah yang banyak dengan waktu yang singkat;
c. bibit tumbuhan yang didapat dari teknik kultur jaringan mempunyai sifat yang seragam dan sama dengan induk tumbuhannya.

5. Misalnya, dapat diaplikasikan dalam penanganan pencemaran limbah minyak mentah.

Evaluasi Materi Semester 2

A. Pilihan ganda

1.	a	11.	b
3.	b	13.	c
5.	e	15.	e
7.	b	17.	a
9.	e	19.	d

B. Esai

1. Pokok utama dari teori evolusi Darwin adalah:
   - perubahan-perubahan pada suatu organisme terjadi karena seleksi alami;
   - *survival of the fittest* (siapa yang paling kuat dia akan bertahan);
   - *struggle for existance* (berjuang keras untuk bertahan).
3. Redi melakukan percobaan dengan menggunakan daging segar dan dua stoples. Stoples pertama diisi dengan daging dan dibiarkan terbuka (tidak ditutup), sedangkan stoples kedua diisi daging dan ditutup rapat.
5. Bioteknologi adalah teknologi yang menggunakan makhluk hidup, pada umumnya berupa mikroorganisme. Bioteknologi bertujuan menghasilkan produk yang unggul, bermanfaat, dan berharga bagi manusia.
7. 12,96%

Evaluasi Materi Akhir Tahun

A. Pilihan ganda

1.	a	21.	c
3.	a	23.	b
5.	d	25.	b
7.	c	27.	d
9.	b	29.	a
11.	c	31.	d
13.	b	33.	d
15.	a	35.	c
17.	a	37.	c
19.	c	39.	e

B. Esai

1. a. Kotiledon: keping biji, bagian dari kecambah yang berperan dalam penyediaan makanan bagi kecambah
   b. Epikotil: bakal batang yang berasal dari tunas embrionik.
   c. Hipokotil: bakal akar yang berasal dari tunas embrionik.
   d. Koleoptil pelindung epikotil pada tumbuhan monokotil.
   e. Radikula: bakal akar pada kecambah.
3. Keberadaan enzim akan mengurangi penggunaan energi aktivasi.
5. Telosentrik, akrosentrik, metasentrik, dan submetasentrik.
7. Profase, metafase, anafase, dan telofase
9. • Delesi: peristiwa hilangnya satu segmen kromosom karena patah.
   • Duplikasi: terulangnya bagian kromosom yang identik pada bagian segmen kromosom yang lain karena pindah silang.
   • Translokasi: pemindahan fragmen kromosom dari satu kromosom ke kromosom yang lain.
   • Inversi: perubahan arah dari segmen kromosom.

Apendiks 2

Sistem Metrik

Ukuran	Satuan dan Singkatan	Persamaan Metrik	Konversi dari Metrik ke Satuan Inggris	Konversi dari Inggris ke Satuan Metrik
Panjang	1 kilometer (km) 1 meter (m) 1 sentimeter (cm) 1 milimeter (mm) 1 mikrometer (μm) (dahulunya mikron, μ) 1 nanometer (nm) (dahulunya milimikron, mμ) 1 angstrom (Å)	= 1.000 (10^3) meter = 100 (10^2) sentimeter = 1.000 milimeter = 0,01 (10^{-2}) meter = 0,001 (10^{-3}) meter = 10^{-6} meter, (10^{-3} mm) = 10^{-9} meter (10^{-3} μm) = 10^{-10} meter (10^{-4} μm)	1 km = 0,62 *mile* 1 m = 1,09 *yard* 1 m = 3,28 *feet* 1 m = 39,37 *inches* 1 cm = 0,394 *inch* 1 mm = 0,039 *inch*	1 *mile* = 1,61 km 1 *yard* = 0,914 m 1 *foot* = 0,305 m 1 *foot* = 30,5 cm 1 *inch* = 2,54 cm
Lebar	1 hektar (ha) 1 meter persegi (m^2) 1 sentimeter persegi (cm^2)	= 10.000 meter persegi = 10.000 sentimeter persegi = 100 milimeter persegi	1 ha = 2,47 *acres* 1 m^2 = 1,196 *square yards* 1 m^2 = 10,764 *square foot* 1 cm^2 = 0,155 *square inch*	1 *acre* = 0,0405 ha 1 *square yard* = 0,8361 m^2 1 *square foot* = 0,0929 m^2 1 *square inch* = 6,4516 cm^2
Massa	1 ton (t) 1 kilogram (kg) 1 gram (g) 1 miligram (mg) 1 mikrogram (μg)	= 1.000 kilogram = 1.000 gram = 1.000 miligram = 10^{-3} gram = 10^{-6} gram	1 kg = 2,205 *pounds* 1 g = 0,0353 *ounce*	1 *pound* = 0,4536 kg 1 *ounce* = 28,35 g
Volume (padat)	1 meter kubik (m^3) 1 sentimeter kubik (cm^3 atau cc) 1 milimeter kubik (mm^3)	= 1.000.000 sentimeter kubik = 10^{-6} meter kubik = 10^{-9} meter kubik (10^{-3} sentimeter kubik)	1 m^3 = 1,308 *cubic yards* 1m^3 = 35,315 *cubic feet* 1 cm^3 = 0,061 *cubic inch*	1 *cubic yards* = 0,7646 m^3 1 *cubic feet* = 0,0283 m^3 1 *cubic inch* = 16.387 cm^3
Volume (cair dan gas)	1 kiloliter (kl atau kL) 1 liter (L) 1 mililiter (mL) 1 mikroliter (μl atau μL)	= 1.000 liter = 1.000 mililiter = 10^{-3} liter = 1 sentimeter kubik = 10^{-6} liter (10^{-3} mililiter)	1 kL = 264,17 *gallons* 1 L = 0,264 *gallons*	1 *gallon* = 3,785 L
Waktu	1 detik (s) 1 milidetik (ms)	= $\frac{1}{60}$ menit = 10^{-3} detik		
Suhu	derajat celsius (°C)		$^oF = \frac{9}{5}\ ^oC + 32$	$^oC = \frac{5}{9}\left(^oF - 32\right)$

Sumber: *Chemistry*: *The Central cience*, 2000

Kamus Biologi

A

Aberasi kromosom: kelengkapan kromosom yang abnormal sebagai akibat kehilangan duplikasi atau pengaturan kembali bahan genetika.

Abiogenesis: teori yang mengatakan bahwa makhluk hidup berasal dari benda, disebut juga teori *generatio spontanea*. Teori ini dianut oleh Aristoteles. Menurut teori ini, dari lumpur dapat muncul cacing dan dari kaldu busuk dapat muncul ulat dan ulat ini dapat menjelma menjadi lalat.

Adaptasi: (1) proses modifikasi yang dilewati makhluk sehingga berfungsi lebih baik lagi pada suatu lingkungan; (2) perkembangan ciri makhluk dalam lingkungannya untuk meningkatkan peluang hidupnya dan dapat menghasilkan keturunan.

Adenin: basa nitrogen kelompok putih

Akrosom: organel pada bagian ujung kepala sperma yang dikeluarkan oleh badan Golgi untuk mencerna selaput telur sehingga memungkinkan terjadinya fertilisasi.

Albino: kulit dan jaringan turunannya tidak berpigmen.

Alel: satu di antara bentuk alternatif gen tertentu pada lokus kromosom yang sama, berbeda urutan DNA-nya, tetapi memengaruhi fungsi yang sama.

Amitosis: proses pemisahan diri menjadi dua makronukleus sebelum pembelahan atau pemisahan selnya.

Anafase: tahap mitosis dan meiosis yang terjadi setelah metafase berupa proses pemisahan sebagian kromosom atau kromosom homolog yang bergerak ke arah kutub gelendong.

Analog: organ yang memiliki fungsi sama, tetapi struktur dan asal-usulnya berbeda.

Aneuploidi: suatu keadaan jika jumlah kromosom suatu individu tidak merupakan kelipatan tepat perangkat haploid jenisnya.

Antigen: mukopolisakarida yang menjadi landasan penentuan jenis golongan darah pada sistem ABO, terdapat pada permukaan erotrosit dan berbeda satu sama lain.

Asam amino: senyawa organik amfoterik dengan formula bangun umum yang terdapat bebas dalam organisme, dan terpolimerisasi untuk membentuk dipeptida, oligopeptida, dan polipeptida

Apoenzim: komponen protein suatu holoenzim apabila kofaktor dibuang.

Atavisme: pemunculan kembali suatu ciri setelah beberapa generasi, biasanya disebabkan oleh gen resesif atau gen komplementer.

Autosom: kromosom kecuali kromosom seks, tidak berperan langsung terhadap pertumbuhan gonad, seks, dan reproduksi.

B

Basa nitrogen: pasangan basa nukleotida purin-pirimidin yang diikat hidrogen pada rantai berlawanan molekul DNA berulir lengkap.

Bayi tabung: hasil pembuahan sel telur oleh sel sperma pada piring kaca di laboratorium. Setelah tumbuh menjadi beberapa sel, dimasukkan ke dalam rahim.

Benang spindel: disebut juga gelendong; kumpulan mikrotubula yang bertanggung jawab pada penarikan kromosom ekariot ketika terjadi pembelahan inti.

Biogenesis: teori yang menyatakan bahwa semua organisme hidup bermula dari bentuk kehidupan yang ada sebelumnya.

Bioteknologi: teknologi yang menggunakan makhluk hidup, pada umumnya berupa mikroba (jamur, bakteri) untuk menghasilkan produk berharga bagi manusia.

Brakidaktili: berjari pendek; ada ruas jari yang bersatu sehingga panjang jari keseluruhan menjadi pendek.

Buta warna: tidak bisamelihat salah satu warna (merah atau hijau). Akan tetapi, tidak dapat melihat semua warna.

D

Daur asam sitrat: disebut juga daur Krebs; substrat untuk daur ini adalah asetat yang terikat koenzim A sebagai asetil KoA yang dihasilkan oleh glikolisis.

Defisiensi: penyakit yang disebabkan tidak adanya beberapa nutrient esensial, terutama vitamin dan asam amino esensial.

Denaturasi: perubahan yang terjadi pada molekul-molekul protein berupa bola dan asam nukleat dalam larutan sebagai reaksi terhadap keadaan ekstrim dari suhu, pH, serta kehadiran urea, alkohol, atau detergen.

Determinasi seks: pengendalian keberadaan dan perbedaan kelamin.

Diabetes mellitus: penyakit kencing manis, disebabkan pankreas kurang menyekresikan hormon insulin atau hormon tersebut tidak aktif mengubah gula yang berkadar tinggi dalam darah menjadi glikogen di dalam hati dan otot

Diferensiasi: proses yang menjadikan sel atau klon sel menerima fungsi-fungsi biokimia dan morfologi khusus yang sebelumnya tidak ada. Sel-sel yang ditentukan seperti itu biasanya kehilangan kemampuan untuk membelah.

Dihibrid: menyilangkan dua individu (biasanya dalam satu spesies, tetapi dapat juga sekali waktu beda spesies) yang memiliki karakter berbeda.

Diploid: (1) keadaan perangkat kromosom jika setiap kromosomnya (kecuali kromosom kelamin) diwakili dua kali (2n); (2) memiliki dua perangkat kromosom yang jumlahnya dua kali jumlah haploidnya.

DNA: *deoxyribonucleic acid*; asam nukleat pembentuk bahan-bahan genetis pada seluruh bagian sel, beberapa organel, dan banyak virus; komponen utama dari kromosom dan plasmid, terdiri atas dua rantai.

Dominan: suatu sifat yang diekspresikan sama dalam kondisi homozigot dan kondisi heterozigot.

Double helix: rantai rangkap yang ditemukan pada DNA, pada ujung rantai rangkap terdapat ujung 5' yang berpasangan dengan rantai ujung 3'.

E

Embriologi: ilmu yang mempelajari tentang perkembangan embrio.

Enzim nuklease: enzim yang memecahkan ikatan pada DNA.

Enzim: katalis protein yang dihasilkan oleh sel dan bertanggung jawab untuk laju dan kekhususan yang tinggi dari satu atau lebih reaksi biokimia intraseluler atau ekstraselular.

Epistasis: interaksi gen tidak beralel yang menyebabkan satu gen dominan terhadap gen lainnya.

Eukariotik: kelompok makhluk hidup yang inti selnya (karion = inti) lengkap memiliki selaput (karioteka).

Euploidi: poliploidi yang jumlah kromosomnya merupakan kelipatan tepat jumlah dasar jenis leluhur yang menghasilkan.

Evolusi: perubahan genetika tidak terbalikkan dalam garis keturunan yang menyebabkan kladogenesis atau pemecahan satu jenis menjadi beberapa jenis baru.

F

Fenotipe: sifat terlihat suatu organisme yang dihasilkan oleh genotipe bersama-sama, berbeda urutan DNA-nya, tetapi memengaruhi fungsi yang sama.

Fermentasi: perubahan enzimatik dan anaerobik dari senyawa organik (khususnya gula, lemak) oleh mikroorganisme untuk menghasilkan produk-produk yang lebih sederhana.

Fitokrom: pigmen protein tumbuhan yang terdapat dalam dua bentuk berbeda, tetapi dapat saling memengaruhi. Pr mengabsorsi sinar merah (660 nm) dan Pfr mengabsorsi sinar merah-jauh (730 nm).

Floem: jaringan penyalur makanan utama.

Fosil: sisa tubuh makhluk yang sudah musnah dan tertanam dalam sedimen batuan bumi, ada yang berupa cetakan tubuh dan berupa bagian tubuh yang membatu.

Fotoperiodisme: respon biologis terhadap perubahan dalam rasio terang dan gelap dalam daur 24 jam.

Fotosintesis: pembentukan molekul organik dari molekul anorganik yang bergantung pada cahaya, berlangsung dalam kloroplas dan sel alga hijau-biru dan beberapa bakteri.

Fotosistem: sistem pigmen yang terdapat pada organisme untuk proses fotosintesis.

Fragmoplas: sistem mikrotubula berbentuk gelendong yang terbentuk di antara dua nukleus turunan sel tumbuhan yang di dalamnya terbentuk lempeng sel.

G

Gen: unit materi genetik yang tersusun atas DNA.

Gene pool: jumlah total seluruh gen dalam populasi pada suatu waktu tertentu.

Genotipe: konstitusi genetika suatu organisme untuk membedakannya dari penampilan fisiknya (fenotipe).

Glikolisis: degradasi anaerob terhadap glukosa dalam sitosol untuk menghasilkan piruvat.

Glukosa: gula heksosa, terdiri atas enam buah karbon; umumnya terdapat pada tumbuhan dan hewan terutama dalam bentuk senyawa dimer disakarida.

GMO: *genetic modified organism*, organisme hasil rekayasa genetika.

Guanin: basa nitrogen kelompok putih

Golongan darah: tipe dalam sistem penggolongan darah manusia yang didasarkan pada ada tidaknya aglutinasi sel darah merah apabila darah dari golongan tidak serasi dicampur; dibedakan menjadi golongan darah A, B, AB, dan O serta beberapa tipe lainnya.

Gonosom: kromosom kelamin; mengandung gen-gen yang berperan dalam pertumbuhan gonad, seks, dan reproduksi.

H

Haploid: memiliki jumlah kromosom yang khas untuk gamet suatu organisme.

Hemofilia: penyakit kegagalan pembekuan darah yang terpaut seks pada manusia.

Heterotrof: menunjukkan organisme-organisme yang bergantung pada beberapa sumber senyawa organik eksternal sebagai cara untuk memperoleh energi dan atau material.

Heterozigot: individu diploid yang mewarisi alel berbeda pada satu atau beberapa lokus.

Hipostasis: penekanan ekspresi suatu gen oleh gen lain yang tidak sealel.

Holoenzim: kompleks enzim dan kofaktor.

Homolog: organ yang memiliki bentuk dan struktur yang sama karena berasal-usul sama atau memiliki bahan genetik sama.

Homozigot: individu atau sel yang ditandai dengan homozigositas; sifat memiliki alel serupa dalam lokus berkaitan pada kromosom homolognya.

Hormon: zat yang disekresi secara langsung ke dalam darah oleh kelenjar tanpa saluran dan dibawa ke sel atau organ sasaran sehingga menimbulkan respon khusus dan respon adaptasi fisiologis

Hukum I Mendel: hukum segregasi yang menyatakan bahwa faktor-faktor sepasang ciri selalu disegregasikan; pemisahan kedua anggota setiap pasang alel yang dimiliki parental diploid ke dalam gamet sehingga dihasilkan turunan yang berbeda.

Hukum II Mendel: hukum pemisahan bebas yang menyatakan bahwa anggota-anggota pasangan faktor yang berbeda terpisah secara bebas; anggota pasangan berbeda alel terpisah secara bebas ke dalam gamet selama proses gametogenesis.

I

Inhibitor: penghambat; dapat berupa gen yang menghambat pekerjaan gen lain, dapat pula berupa produk suatu gen yang bertindak demikian dalam suatu proses metabolisme atau daur sel.

Interfase: masa antara dua mitosis atau saat antara pembelahan mitosis pertama dan mitosis kedua.

Isolasi reproduksi: tidak adanya aktivitas perkawinan antarajenis berbeda.

K

Kambium: suatu meristem, merupakan lapisan sel-sel yang membelah secara aktif dan terdapat di antara xilem dan floem.

Kemosintesis: aktivitas perolehan energi dari reaksi organik sederhana.

Kloning: pembentukan klon atau replika genetika yang persis sama.

Kloroplas: butiran dalam sel tumbuhan hijau yang mengandung klorofil.

Kode genetik: asam amino yang menyebabkan setiap triplet digabungkan ke dalam protein selama sintesis protein.

Kodon: satuan sandi RNA kurir (*messenger RNA*) yang terdiri atas triplet nukleotida yang basanya berpasangan dengan triplet yang sesuai (antikodon) dari suatu molekul RNA transfer (*transfer RNA*) yang sepadan.

Koenzim: molekul organik yang berfungsi sebagai kofaktor dalam reaksi enzim, tetapi koenzim hanya sementara mengikatkan diri pada molekul enzim.

Kofaktor: senyawa nonprotein esensial untuk satu atau beberapa reaksi enzim yang berkaitan. Salah satu jenis kofaktor adalah koenzim.

Kombinasi parental: kromosom yang terbentuk dari kromatid yang tidak mengalami pindah silang.

Kriptomeri: suatu bentuk interaksi dua gen untuk mem bentuk satu karakter, yang pada suatu generasi karakter itu tidak muncul (tersembunyi). Akan tetapi, pada generasi berikutnya muncul kembali.

Kromatid: kedua lengan anak kromosom yang membelah dan berlekatan pada sentromer, terlihat pada profase dan metafase. Setelah pembelahan sentromer, kromatid yang bersandar itu masing-masing akan menjadi kromosom.

Kromatin: kompleks asam amino (DNA dan RNA) dan protein yang menyusun kromosom eukariot, sangat kuat meresap zat pewarna basa.

Kromosom homolog: kromosom yang berpasangan ketika meiosis berlangsung.

Kromosom: (1) pada prokariot: molekul DNA melingkar yang mengandung keseluruhan perangkat instruksi genetika yang sangat diperlukan bagia kehidupan sel; (2) pada eukariot: satu di antara struktur membenang yang tersusun atas kromatin dan membawa informasi genetika yang tersusun dalam urutan memanjang.

Kultur jaringan: teknik untuk memelihara fragmen jaringan hewan atau tumbuhan atau sel-sel yang terpisah setelah diambil dari organisme.

L

Letal: menyebabkan kematian di maja janin; subletal menyebabkan kematian masa kanak-kanak.

Lokus: posisi yang diduduki gen pada suatu kromosom.

M

Megaspora: satu di antara empat sel haploid dibentuk melalui meiosis yang akan membelah menghasilkan gametofit betina tumbuhan.

Meiosis: tipe pembelahan sel dan nukleus sehingga jumlah kromosom direduksi dari diploid menjadi haploid.

Meristem: bagian tanaman tempat terjadinya pembelahan mitosis secara aktif yang merupakan asal dari jaringan permanen, terdapat pada ujung batang dan akar.

Mesofil: tempat terjadinya fotosintesis, terdiri atas dua lapisan: sel bentuk pagar atau palisade (atas) dan lapisan bunga karang atau spons (bawah).

Metafase: tahap mitosis dan meiosis yang ditandai dengan kromosom mencapai kesetimbangan posisi pada bidang ekuator.

Mikrospora: sel pertama generasi gametofit jantan tumbuhan yang kemudian berkembang menjadi serbuk sari.

Mikrotubula: salah satu filamen protein sitoskeleton yang ditemukan pada hampir semua sel eukariota, silia, flagela, badan basal, sentriol, serta gelendong mitosis dan meiosisnya.

Mitosis: proses pembelahan inti dengan melibatkan formasi gelendong dan kromosom, serta menghasilkan anak-anak sel yang inti-intinya memiliki jumlah kromosom yang sama dengan sel-sel induknya.

Mutagen: agen fisik atau kimia yang meningkatkan frekuensi mutasi di atas laju mutasi spontan.

Mutan: organisme yang memiliki gen bermutasi yang terlihat pada fenotipenya.

Mutasi: proses yang menyebabkan suatu gen mengalami perubahan struktur.

N

Nukleosida: basa purina atau pirimidina yang melekat pada ribosa atau deoksiribasa.

Nukleotida: salah satu satuan monomer yang menyusun polimer DNA atau RNA, terdiri atas basa purin atau pirimidin yang melekat pada ribosa atau deoksiribasa.

O

Oogenesis: pembentukan telur yang berlangsung dalam ovarium, mulai dari proliferasi, meiosis, hingga pematangan.

P

Perkembangan: kejadian-kejadian kompleks yang menyebabkan organisme multiselular mencapai bentuk dan ukuran tertentu.

Pertumbuhan: pada tingkat individu, biasanya meliputi peningkatan masa kering suatu organisme (atau bagian dari satu organisme).

Pindah silang: pertukaran timbal balik antara bagian-bagian kromatid homolog pada profase meiosis pertama.

Polidaktili: jari lebih dari lima, biasanya enam.

Polimeri: suatu karakter genetik yang diatur oleh banyak gen, disebut juga karakter kuantitatif.

Polipeptida: molekul yang terdiri atas satu rantai sejumlah asam amino yang diikat dengan ikatan peptida.

Profase: tahap pertama mitosis atau meiosis yang menunjukkan kromosom mulai jelas terlihat.

Prokariot: kelompok makhluk hidup yang inti selnya sederhana karena tak berselaput.

R

Radioisotop: isotop suatu unsur yang tidak stabil, yang terombak secara spontan dan mengeluarkan pola radiasi yang khas.

Rekombinan: individu atau sel baru yang muncul sebagai hasil baru rekombinasi.

Replikasi DNA: proses biologi yang di dalamnya DNA dupleks direplikasi secara semikonservatif dan dikatalisis oleh DNA polimerase.

Resesif: suatu sifat yang diekspresikan dalam kondisi homozigot.

Respirasi: pelepasan energi secara enzimatik dari senyawa organik (terutama karbohidrat dan lemak) yang memerlukan oksigen (respirasi aerob) atau tidak (respirasi anaerob). Istilah respirasi anaerob kadang-kadang digunakan sebagai sinonim fermentasi. Pada sel eukariota, hanya sel yang mempunyai mesosom yang dapat melangsungkan respirasi aerob.

Rhesus: faktor (antigen) Rh, berasal dari nama Latin sejenis kera di India, yang dulu banyak diekspor ke Eropa dan Amerika untuk eksperimen serologi.

Ribosom: organel yang terlibat dalam sintesis protein.

RNA: golongan asam nukleat; berbeda dengan DNA karena memiliki rantai tunggal, mengandung ribosa, dan pada RNA urasil menggantikan timin.

S

Sentromer: bagian kromosom yang terletak pada titik ekuator kumparan pada metafase, tempat melekat benang penarik gelendong.

Siklus Calvin: serangkaian reaksi fotosintesis berenzim yang menyebabkan tereduksinya karbon dioksida menjadi 3-fosfogliseraldelhida, sedangkan akseptor karbon dioksida (ribulosa 1,5-bifosfat) dihidupkan kembali.

Sintesis protein: pembentukan protein oleh sel pada ribosom yang menyangkut penyatuan molekul asam amino dalam urutan yang benar.

Sitokinesis: perubahan yang terjadi pada sitoplasma ketika pembelahan inti. Berakhir dengan pembagian sitoplasma sel induknya ke dalam sel-sel anaknya.

Sitosin: basa nitogrn kelompok pirimidin

Spermatogenesis: pembentukan spermatozoa dari spermatogonia, menempuh tiga tahap: 1) pembentukan spermatosit I, 2) meiosis, 3) spermiogenesis.

Spermiogenesis: pendewasaan spermatid untuk menjadi spermatozoa.

Spesiasi: pemecahan suatu jenis leluhur menjadi jenis-jenis baru yang muncul bersamaan pada suatu waktu.

Substrat: (1) bahan tempat melekat dan tempat hidup makhluk hidup; (2) bahan yang dikatalisis oleh enzim.

T

Telofase: tahap akhir mitosis dan meiosis ketika nukleus akan kembali ke interfase.

Teori Cuvier: teori yang mengungkapkan bahwa setiap hewan sedemikian rupa telah disesuaikan dengan lingkungannya sehingga ia dapat berfungsi sepenuhnya di lingkungan tersebut.

Teori Darwin: teori yang menyatakan bahwa mekanisme evolusi biologi melibatkan seleksi alami variasi adaptif.

Teori Lamarck: teori yang menyatakan bahwa jenis dapat berubah menjadi jenis lain secara bertahap dalam upayanya memenuhi kebutuhan hidupnya, bersama-sama dengan efek kumulatif organ tubuh yang dipakai atau terbuang.

Teori Urey: teori yang merupakan hasil pencarian jawaban mengenai asal makhluk di bumi. Ia mengamati perilaku atmosfer bumi di masa purba, dan keadaan yang kira-kira sama yang mungkin terdapat kini di suatu planet lain di jagat raya.

Test cross: persilangan antara individu yang genotipenya tidak diketahui dengan individu lain yang homozigot untuk ciri resesif pada lokus yang hendak diteliti.

Timin: basa nitrogen kelompok pirimidin

Transkripsi: produksi molekul RNA di luar cetakan DNA oleh RNA polimerase.

Translasi: proses dihasilkannya polipeptida pada proses sintesis protein.

U

Urasil: basa nitrogen kelompok pirimidin pada RNA

V

Variasi: penyimpangan penampilan individu dalam suatu kelompok yang tidak disebabkan oleh perbedaan umur, kelamin, atau posisi dalam daur hidup.

X

Xilem: jaringan pembuluh, menyalurkan air dan garam mineral yang diambil akar ke seluruh tumbuhan yang ditopangnya secara mekanis.

Indeks (*ubjcts* dan *uthors*)

A

aberasi kromosom 110
ABO 49, 50, 104
adenin 51, 52, 54, 56, 62
akrosentrik 45
Akrosom 73
albino 36, 50, 91, 92, 98, 99, 100, 106
alel 43, 47, 48, 49, 50, 51, 61, 82, 84, 90, 99, 104, 130, 135, 136, 139, 140, 141
    ganda 48, 49, 50, 51, 63
    tunggal 48, 49, 50, 51
allopoliploidi 114
anabolisme 17, 24, 31, 39, 40
anafase 114
analog 132, 133
aneuploidi 114, 115
aneusomi 114
antibiotik 159, 162, 163
Antigen 49
antikodon 56, 60, 61, 64
antisense 56, 57, 59, 64
apoenzim 19
asam absisat 8, 12
asam amino 9, 38, 39, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 101, 110, 111, 133
asam piruvat 25, 26, 27, 29, 30, 31, 38, 39
asetil KoA 28, 29, 39
atavisme 86, 87
ATP 9, 18, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 36, 38, 39, 60, 146
auksin 7, 9, 12
autokatalitik 52, 53
autopoliploidi 114
autosom 44, 46, 63, 97, 99, 101, 106, 115, 116, 117, 119
autotrof 24, 34

B

Bacillus anthracis 158
    thuringiensis 158, 164, 165, 172
bakal akar primer 3
bayi tabung 163, 164, 167
benang spindel 67, 68, 71, 72
biological control agent 165
bioteknologi 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169
Bovine Growth Hormone 166
brakidaktili 98, 99, 100, 106
buta warna 63, 102, 106, 141, 142

C

Campbell 25, 39, 66, 71, 110
cell plate 68
Chrysanthenum indicum 11
crossing over 71, 73, 94

D

daur asam sitrat 24, 25, 26, 27, 38, 39
daur Krebs 24, 27, 39
dekarboksilasi oksidatif 25, 26, 27, 39, 40
delesi 110, 111, 112, 120
    delesi interkalar 112
    delesi terminal 112
deoksiribonukleosida 51, 52, 53
determinasi seks 81, 96
diabetes mellitus 163
DNA 157, 158, 160, 163, 164, 167
dominan 47, 48, 49, 50, 80, 82, 83, 84, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 98, 100, 101, 104
dominansi apikal 7, 8
double helix 44, 52, 56, 59
Drosophila melanogaster 93, 97, 109, 112

E

eksergonik 24, 25
eksoenzim 20, 21
elongasi 59, 60
embriologi 93
endergonik 24
endoenzim 20, 21
energi aktivasi 18, 19, 20, 25
enzim 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 32, 35, 36, 38, 40, 42, 53, 58, 59, 60, 63, 73, 80, 101, 123, 124
    nuklease 53
epistasis 79, 86, 90, 91, 106, 107, 108
    dominan 86, 90, 91
    resesif 90
etiolasi 10, 14

F

feloderm 5
felogen 4, 5
feredoksin 9
fermentasi 30, 31, 40, 146, 159, 160, 162
    alkohol 30, 40
    asam laktat 30, 31, 40, 160
filial 82
fitokrom 10, 11
floem 4, 5
    primer 5
    sekunder 5
fosforilasi 18, 35
fosil 131, 132, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 157
fotoautotrof 146
fotolisis 34, 42
fotoperiodisme 10
fotosintesis 3, 9, 10, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 133, 146, 147
fotosistem 34, 35
fototropisme 7

fragmoplas 68
frameshift mutation 111

G

gagal berpisah 114, 115, 118
gametogenesis 65, 66, 72, 73, 74, 77, 114, 115
gangguan mental 98, 99, 100, 101
gen 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 58, 59, 60, 61, 62, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 106, 110, 111, 112, 113, 114, 118, 119, 121, 122, 123, 133, 136, 137, 139, 140, 141, 148, 158, 159, 163, 164, 165, 168
gen letal 79, 81, 96, 97, 98, 99, 106
letal dominan 98
letal resesif 98, 99
generatio spontanea 142, 150
genom 114
genotipe 48, 49, 50, 58, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 114, 137, 141
giberelin 7, 8, 12
glikolisis 24, 25, 26, 29, 30, 31, 38, 39, 40, 146
glukosa 18, 19, 21, 24, 25, 26, 30, 31, 35, 36, 38, 39, 40, 101
GMO (*Genetically modified organism*) 168, 169
golongan darah 49, 50, 104, 105
gonosom 44, 46, 96, 97, 99, 102, 103, 106, 115, 119
Gould 20, 23
granum 32
gugus prostetik 19

H

hemofilia 102, 103
hereditas 43, 79, 80, 81, 98, 106
heterogamet 97
heterokatalis 52, 53
heterokromosom 46
heterozigot 80, 83, 84, 85, 87, 98, 100, 101, 102, 103
hidroponik 10
hipokotil 3, 4
Hopson 71
hormon 6, 7, 8, 13

I

in vitro 158, 164
inhibitor 23, 40, 123
kompetitif 23
nonkompetitif 23
inisiasi 59, 60
insersi 110, 111, 120
integumen 75, 76
interfase 66, 70, 71, 77, 78
inversi 112, 113, 120, 121, 122, 124
parasentris 113
perisentris 113
Iskandar 127, 130, 134
isolasi 137, 138, 139, 140
postzigotik 137, 139
prazigotik 137, 138, 139

K

kambium 4, 5, 12, 13
gabus 4, 5
intervaskular 4
karbohidrat 9
katabolisme 17, 24, 31, 39, 40, 41, 42, 123
katenasi 112, 113, 120, 121, 122
keju 30, 155, 160, 161, 163, 171, 174
kemosintesis 30, 31, 37, 41
Keeton 20, 23
kloning 159, 163, 167, 168, 169, 171, 172, 174
klorofil 9, 10
kloroplas 7, 10
klorosis 9
kode genetik 43, 55, 56, 57, 58, 59, 60
kodon 56, 57, 58, 59, 60, 61, 110
koenzim 9
kofaktor 9
kolam gen 140, 141
koleoptil 2, 3, 4, 7
kombinasi parental 95, 96
komplementer 86, 92, 93
kotiledon 2, 3, 4
kriptomeri 86, 88, 92, 106
kromatid 44, 66, 67, 68, 71, 72, 93, 95, 114
kromatin 44, 66, 71
kromosom 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 61, 63, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 82, 84, 86, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 102, 106, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 136, 140
kromosom homolog 70, 71, 93, 113
kultur jaringan 157, 164, 165

L

Lactobacillus 159, 160, 161
bulgaricus 159, 160, 161, 172
subtilis 160
Lathyrus adoratus 92
lemak 160
Linaria maroccana 88
lingkaran tahun 4, 5
lokus 89, 90, 95, 96

M

megaspora 74, 75
meiosis 45, 65, 66, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 93, 94, 95, 96, 114
meristem 2, 3, 4, 9
apikal 9
primer 3
sekunder 3
mesofil 32
metabolisme 17, 18, 19, 24, 25, 37, 40, 159, 160
metafase 44, 66, 67, 70, 71, 72
metasentrik 45
mid body 68
mikrospora 74, 75
mitokondria 24, 25, 28, 29, 40, 56, 147, 148
mitosis 4, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76

monohibrid 79, 80, 82, 83, 99, 106
monoploid 114
morfogenesis 8
mRNA 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 78, 110, 111
mutagen 110, 118, 119, 120
  fisika 118
  kimia 118, 119, 120
mutasi 46, 109, 110, 111, 112, 113, 117, 118, 119, 120, 134, 136, 137, 139, 140, 141, 143, 150
  alami 118, 119, 120
  buatan 118, 120
  gen 110, 111, 119, 136, 137
  kromosom 110, 111, 113, 117, 119, 120, 136
  titik 110

N

NADH 18, 25, 26, 27, 28, 29, 30
nekrosis 9
neutral-day plant 11, 15
new castle disease 166
nondisjunction 114, 115, 116, 121
nukleosida 9, 51, 52, 55, 110
nukleus 44, 56, 59, 61, 63, 70, 72, 168
nutrisi 6, 8, 10, 12, 13, 24

O

oksigen 8, 10, 12, 13, 14, 17, 24, 26, 28, 30, 31, 34, 40, 144, 147, 149
oogenesis 72, 73, 74
oogonium 73
organel 24, 32, 34, 66, 68, 123, 147, 157
ovul 74, 75, 76

P

parental 50, 81, 82, 84, 87, 93, 95, 96
partenogenesis 46, 97
Patau 116, 117, 119
pati 9, 38
pautan 81, 93, 94, 95, 96, 106
pembelahan reduksi 70
Penicillium notatum 159, 163
perkecambahan 2, 3, 4, 11
  epigeal 3, 4
  hipogeal 3, 4
perkembangan 1, 2, 3, 6, 7, 10, 12, 13, 14, 15, 46, 51, 65, 66, 109, 119, 128, 130, 131, 134, 148, 150, 157, 159, 164, 167, 168, 169
pertumbuhan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 16, 37, 65, 72, 77, 97, 109, 117, 123, 124, 134, 162, 163, 165, 166
  primer 2, 3, 5, 12
  sekunder 3, 4, 5, 7, 12
pindah silang 71, 73, 79, 93, 94, 95, 112
Pisum sativum 81, 82
plastosianin 9, 34
polidaktili 98, 99, 101, 117
polimeri 86, 89, 90, 106
polinukleotida 52, 53, 54, 57
poliploid 46, 118, 140
populasi 12, 95, 119, 130, 132, 134, 135, 136, 137, 139, 140, 141, 150, 157
primordium daun 4
profase 66, 70, 71, 72, 73
prokariot 66, 142, 148, 149
promoter 58, 59
protein 9, 11, 17, 19, 20, 21, 22, 28, 38, 39, 40, 43, 44, 47, 49, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 66, 67, 78, 104, 109, 110, 111, 133, 146, 156, 157, 159, 160, 161
  histon 44, 61
purin 51, 53, 55, 56, 110

R

radikula 3, 4
radioisotop 132
reaksi gelap 34, 35, 36
reaksi terang 34, 35
rekayasa genetika 157, 158, 159, 160, 164
rekombinan 95, 96, 158
rekombinasi gen 107, 136, 137
replikasi 53, 55, 66, 118
resesif 47, 48, 49, 50, 61, 80, 82, 83, 84, 87, 90, 91, 92, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 140, 141
respirasi 12, 24, 25, 29, 30, 32, 33, 37, 38, 39, 40
  aerob 24, 30, 40
  anaerob 24, 30, 40
rhesus 104, 105
Rhizopus oryzae 160, 161
ribosom 9, 55, 56, 59, 60, 61
RNA 43, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 66, 79, 146, 148, 157
  genetik 55
  nongenetik 55
rRNA 55, 56, 62, 78
RuBP 35, 36, 39

S

Scuriurus alberti 139
Scuriurus kaibabensis 139
sel kelamin 2, 3, 45, 46, 66, 70, 72, 73, 106, 119, 130
sel somatik 72, 168
seleksi 127, 128, 129, 130, 134, 135, 136, 139, 140, 141, 145, 146, 150, 151
  disruptif 135, 136
  stabilisasi 135
semikonservatif 53
sense 56, 57, 59, 110
sentromer 44, 45, 67, 71, 72, 96, 113
short-day plant 11
sinapsis 70, 71
sindrom 112, 114, 115, 116, 117, 119
  Down 116, 119
  Edwards 116, 117, 119
  Jacobs 116, 117
  Klinefelter 114, 115, 119
  Patau 116, 117, 119
  Turner 114, 115, 116, 119
sinergid 75, 76
sintesis protein 9, 43, 44, 55, 56, 58, 60, 61, 146

sitokinesis 66, 68, 69, 71, 72, 74, 75, 76
sitokinin 8, 12
sitokrom 9, 28, 29, 34, 35
spermatogenesis 72, 73, 74
spermatosit 73, 74
spermiogenesis 72, 73, 74
spesiasi alopatrik 140
spesiasi simpatrik 140, 153
spesies 44, 70, 111, 127, 128, 130, 131, 132, 134, 137, 138, 139, 140, 149, 150, 151, 157
sporangium 75
Staphylococcus 163
Starr 134
stomata 9, 10, 32, 35
stroma 32, 35, 123
submetasentrik 45
sup primordial 146, 152
sup purba 145, 146

T

Taggart 134
tahu 160, 162, 163
telofase 66, 68, 70, 71, 72, 73
telosentrik 45
tempe 155, 156, 160, 161, 162, 163
temperatur 6, 8, 11, 12, 13, 21, 22, 36, 37, 40
teori abiogenesis 126, 142, 143, 144, 145, 150, 151
teori biogenesis 142, 143, 145, 150, 151
teori evolusi 125, 126, 127, 129, 130, 131, 145, 146, 150, 151
teori *induced fit* 20
teori *lock and key* 20
terminasi 59, 60
terminator 59
test cross 85, 88, 93, 94, 96
tetrad 71
tilakoid 32, 34
timidin 52, 54
timin 51, 52, 56, 57, 61, 62
transfer DNA 160
transfer elektron 9, 23, 25, 28, 29, 30, 39, 40, 123, 146
transisi 124
transkripsi 57, 58, 59, 60, 61, 66, 78, 124, 146
translasi 58, 59, 60, 61, 111, 123, 124
translokasi 112, 113, 120
triploid 46, 114
tRNA 55, 56, 60, 61, 62, 66
tropisme 7
Tuberculosis 163
tudung akar 4
tunas embrionik 3

U

uji silang 108

V

vernalisasi 11

W

W. Bateson 86, 92
waktu geologis 148

X

xilem 4, 5
primer 5
sekunder 5

Y

yoghurt 30, 155, 159, 160, 163
Yuwono 56

Z

zat pengatur tumbuh 8

Daftar Pustaka

Aberchrombie, M., *et al*.1997. *Kamus Lengkap Biologi*. Penerjemah T. Siti Sutarmi dan Nawangsari Sugiri. Jakarta: Erlangga.

Anonim. 1995. *The Plant World, The World Book Encyclopedia of Science*. Chicago: World Book, Inc.

Audesirk, T. and Gerald Audesirk. 1999. *Biology Life on Earth*. *5th edition*. New Jersey: Prentice Hall.

Brurn, G.D., Larry McKane, and Gerry Karp. 1994. *Biology: Exploring Life*. New York: John Wiley & Sons.

Burnei, David. 1994. *Concise Encyclopedia Nature*. London: Dorling Kindersler.

Campbell, N. A. 1998. *Biology*. California: The Benjamin / Cummings Publishing.

Campbell, N.A., *et al*. 2006. *Biology Concepts & Connections*. California: The Benjamin / Commings Publishing Company.

Enger, E.D. and Frederick C. Ross. 2000. *Concepts in Biology 9th edition*. Boston: McGraw-Hill.

Guttman, N.A. 1999. *Biology*. New York: Mc Graw Hill.

Hopson, Janet L. and Norman K. Wesselt. 1990. *Essential of Biology*. New York: Mc Graw-Hill.

Indonesian Heritage. 1996. Jakarta: Buku Antar Bangsa.

Iskandar, Djoko T. 2001. *Catatan Kuliah Evolusi*. Bandung: Penerbit ITB.

Jefferies, David. 1999. *Cloning Frontiers of Genetics Engineering*. Leicester: Silverdall.

Keeton, W. T. and J.L. Gould. 1986. *Biological Science.* Edisi Keempat. New York: W.W. Norton.

Kimball, J.W. 1983. *Biology 5th edition*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.

Levine, J. S. and K. R. Miller. 1991. *Biology: Discovering life*. Massachusets: D.C Heath and Company.

Lehninger, Albert T., 1995. *Dasar-Dasar Biokimia*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

Mader, S. S. 1995. *Biologi: Evolusi, Kepelbagaian, dan Persekitaran*. Penerjemah Rosiyah Abd. Latif, dkk. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka Kementerian Pendidikan Malaysia.

Mader, S.S. 1998. *Biology*. International Edition. Boston: USA McGraw-Hill.

McKee, Trudy and J. R. McKee. 1996. *Biochemistry*. Wm. C. Brown Publisher.

Mclaren, J. E. and Lissa Rotundo. 1985. *Heath Biology*. Massachuset: D.C Heath and Company.

Milani, J.P. *et al*. 1992. *Biological Science: An Ecological Approach*. *Green version 7th edition*. Kendall / Hunt Publishing Co., Keper.

Moore, Randy, *et al*. 1995. *Biology*. Indiana polis: Brown Publisher.

Page, D. S. 1997. *Prinsip-Prinsip Biokimia*. Edisi Kedua. Penerjemah R. Soendoro. Jakarta: Erlangga.

Parker, Steve. 1997. *Jendela IPTEK*: *Kehidupan.* Jakarta: Balai Pustaka.

Parker, Steve. 1997. *Jendela IPTEK*: *Evolusi*. Jakarta: Balai Pustaka.

Salisbury, F.B and C.W. Ross.1995. *Fisiologi Tumbuhan Jilid 3*. Bandung: Penerbit ITB.

Solomon, *et al*. 1993. *Biology 3rd edition*. Saunders College Publishing, New York.

Starr, Cacie and Ralph Taggart. 1990. *Biology: The Unity and Diversity of Life*. Edisi Ketujuh. California: Wadswarth.

Wildan, Y. 1999. *Kamus Biologi*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia.

William, Garreth. 2002. *Biology for You*. Cheltenham: Nelson Thornes Ltd.

Yuwono, Tribowo. 2006. Bioteknologi Pertanian. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Sumber lain:

Koran Tempo, Januari 2006

osulibrary.oregonstate.edu, Maret 2006

www.arc.agris.za, Mei 2006

www.arches.uga.com, Juli 2006

www1.batan.go.id, September 2006

www.biografiasyvidas.com, Mei 2006

www.eatonhand.com, Maret 2006

www.genietenravers.nl, Juni 2006

www.genomenewsnetwork.com, Mei 2006

www.inet.com, Juni 2006

www.kompas.com, 12 April 2002; 21 April 2006; 28 Agustus 2006

www.lionseeds.com, Juni 2006

www.magma.com, Juli 2006

www.medgen.genetics.com, Mei 2006

www.pfdb.com,

www.pikiran-rakyat.co.id, Juli 2006

www.softireland.com, Juni 2006

www.suarasurabaya.com, April 2006

www.thaifood.com, Maret 2006

www.users.chariot.net.com, Maret 2006

www.wikipedia.org, Maret–Agustus 2006

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

Praktis Belajar Biologi

Disajikan untuk menambah wawasan siswa tentang makhluk hidup serta interaksi dengan lingkungannya. Buku ini dapat mengarahkan siswa untuk berpikir cerdas dan kreatif dalam memecahkan masalah di lingkungan sekitar.

ISBN 978-979-068-823-0 (no. jilid lengkap)
ISBN 978-979-068-826-1

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks palajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 27 Tahun 2007 Tanggal 25 Juli 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp12.980,--

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