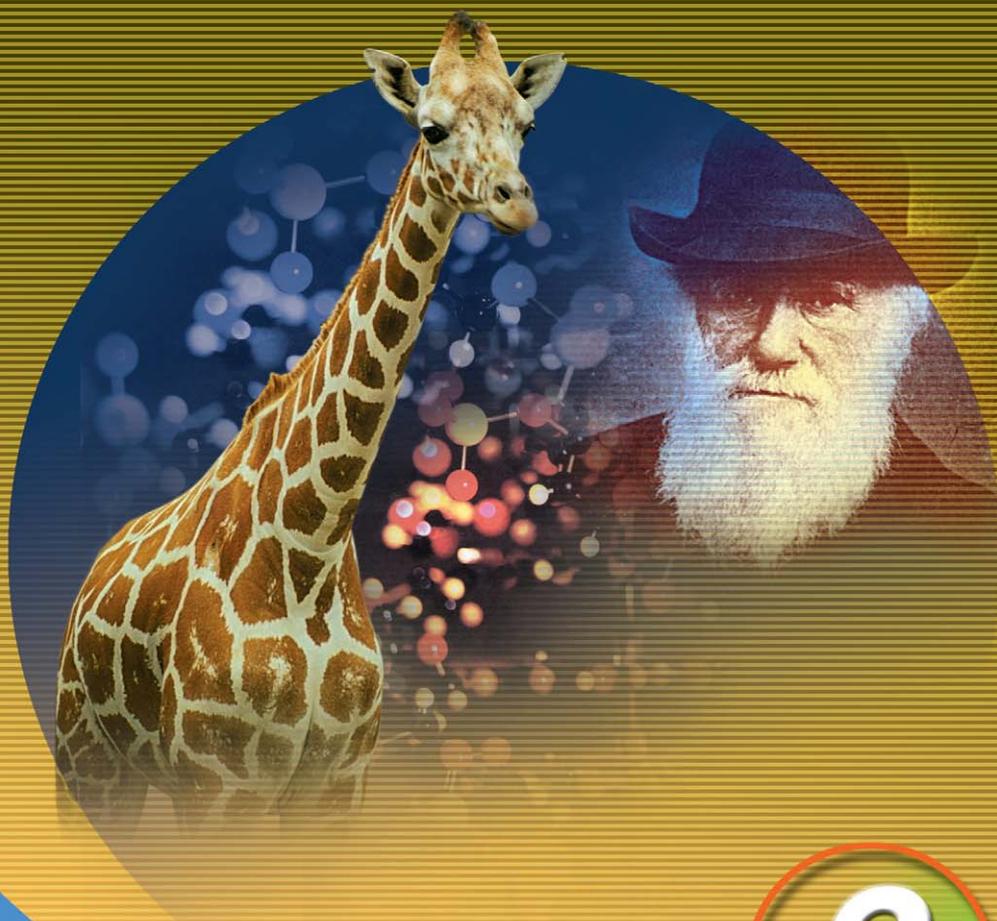


Biologi



3



Subardi
Nuryani
Shidiq Pramono

BIOLOGI



Untuk Kelas XII SMA dan MA



Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

BIOLOGI 3

Untuk Kelas XII SMA dan MA

Oleh:

Subardi, Nuryani, Shidiq Pramono

Editor:

Rr. Yani Muharomah

574.07

SUB

SUBARDI

b

Biologi 3 : Untuk Kelas XII SMA dan MA / Oleh Subardi, Nuryani,
Shidiq Pramono ; editor, Rr. Yani Muharomah. — Jakarta :
Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vi, 122 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 114

Indeks

ISBN 978-979-068-129-3 (no.jld.lengkap)

ISBN 978-979-068-135-4

1. Biologi-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Nuryani III. Shidiq
Pramono IV. Rr Yani Muharomah

Hak Cipta Buku ini telah dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari penerbit CV. Usaha Makmur

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

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 2008, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional. Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

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

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*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

KATA PENGANTAR

Selamat atas keberhasilan kalian memasuki kelas yang lebih tinggi. Bagaimana kesan kalian terhadap pelajaran Biologi selama ini? Mudah-mudahan kalian senang belajar Biologi. Di kelas yang lebih tinggi ini, kalian akan mempelajari Biologi lebih mendalam dan tentunya juga akan lebih menarik.

Materi buku ini telah memenuhi standar buku yang ditetapkan pemerintah. Buku ini disusun secara sederhana, tetapi tanpa meninggalkan kebenaran materi yang harus kalian capai. Dengan kesederhanaan itulah diharapkan dapat membantu kalian dalam proses pembelajaran Biologi.

Setiap awal bab di buku ini disajikan cover bab. Bagian ini berisi ilustrasi dan deskripsi singkat yang menarik berkaitan dengan materi bab yang bersangkutan. Selain itu, di bagian awal bab juga disajikan kata-kata kunci. Kata-kata tersebut menjadi inti pembahasan materi. Karena itu sebaiknya kalian membaca kata-kata kuncinya. Di bagian akhir setiap babnya dilengkapi dengan soal-soal untuk menguji kompetensi kalian setelah mempelajari satu bab.

Akhirnya, semoga buku ini dapat menemani kalian selama proses pembelajaran Biologi. Selamat belajar.

Penulis

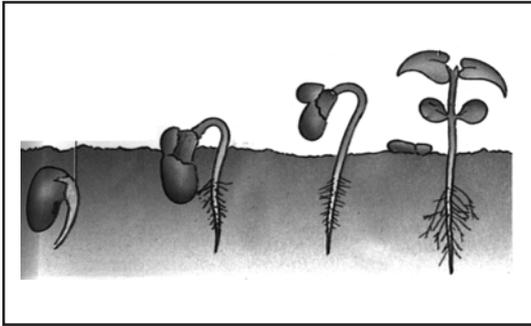
DAFTAR ISI

Kata Sambutan	iii
Kata Pengantar	iv
Bab 1. Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	
A. Tahap-Tahap Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan Berbunga	3
B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan	8
Uji Kompetensi	13
Bab 2. Proses Metabolisme Organisme	
A. Enzim dan Fungsinya	17
B. Metabolisme Karbohidrat	20
C. Metabolisme Lipid (Lemak)	25
D. Metabolisme Protein	26
E. Hubungan Metabolisme Karbohidrat dengan Metabolisme Lemak dan Protein	29
Uji Kompetensi	31
Bab 3. Genetika	
A. Kromosom	35
B. Gen	37
C. Struktur Kimia Materi Genetik	38
Uji Kompetensi	43
Bab 4. Pola-Pola Hereditas	
A. Pembelahan Sel dan Pewarisan Sifat	47
B. Hereditas dalam Hukum Mendell	49
C. Hereditas pada Manusia	54
D. Mutasi	58
Uji Kompetensi	64
Ulangan Semester 1	66

Bab 5. Evolusi	
A. Pengertian Evolusi	74
B. Petunjuk-Petunjuk Evolusi	75
C. Mekanisme Evolusi	79
D. Perkembangan Teori Evolusi	82
E. Tanggapan Teori Evolusi Darwin	85
Uji Kompetensi	88
Bab 6. Bioteknologi	
A. Pengertian Bioteknologi	93
B. Peran Bioteknologi pada Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat (Salingtemas)	101
C. Implikasi Bioteknologi	106
Uji Kompetensi	109
Ulangan Akhir	111
Daftar Pustaka	114
Glosarium	115
Indeks Istilah	118
Indeks Pengarang	120

BAB 1

PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TUMBUHAN



Sumber: *Kamus Biologi Bergambar*, 2005

Tumbuhan adalah makhluk hidup yang mempunyai ciri sebagaimana makhluk hidup lainnya. Salah satu ciri tumbuhan adalah mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan pada tanaman dapat dilihat dari makin besarnya suatu tanaman yang disebabkan oleh jumlah sel yang bertambah banyak dan bertambah besar. Suatu kecambah akan tumbuh menjadi tanaman yang utuh, seperti ditunjukkan gambar di samping.

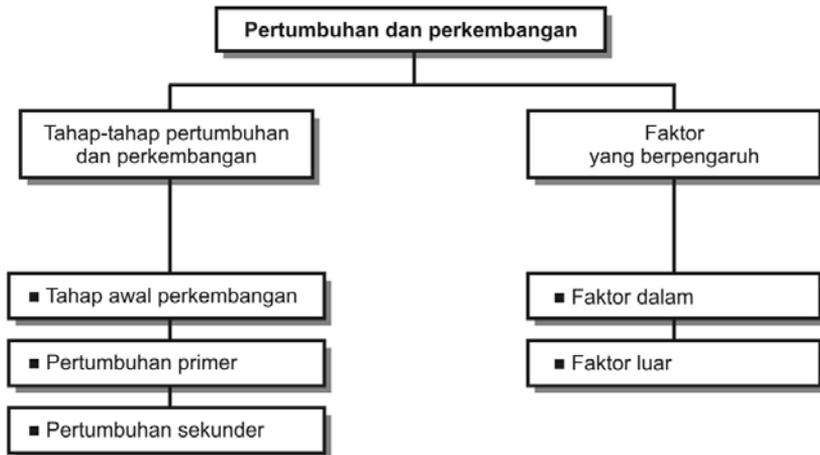
Selain tumbuh, tanaman juga mengalami perkembangan, yaitu proses menuju kedewasaan secara seksual di mana tanaman sudah siap untuk menghasilkan keturunan.

Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

- dapat menjelaskan tahap-tahap pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan berbunga;
- dapat menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.

Kata-kata kunci

- pertumbuhan
- perkembangan
- perkecambahan



Semua organisme dalam hidupnya mengalami proses perubahan biologis. Perubahan tersebut terjadi disebabkan semua organisme mengalami pertumbuhan dan perkembangan. Berlangsungnya proses perubahan biologis dipengaruhi oleh tersedianya faktor-faktor pendukung. Perubahan tanaman kecil menjadi tanaman dewasa dan menghasilkan buah berawal dari satu sel zigot menjadi embrio, kemudian menjadi satu individu yang mempunyai akar, batang, dan daun. Demikian pula hewan, tumbuh dari satu sel zigot menjadi embrio, kemudian berkembang menjadi satu individu lengkap dengan organ-organ yang dimiliki, seperti kaki, kepala, dan tangan. Peristiwa perubahan biologi yang terjadi pada makhluk hidup yang berupa penambahan ukuran (volume, massa, dan tinggi) yang bersifat *irreversibel* disebut pertumbuhan.

Perubahan terjadi selama masa pertumbuhan menuju pada satu proses kedewasaan sehingga terbentuk organ-organ yang mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda. Sebagai contoh, pertumbuhan tanaman membentuk akar, batang, dan daun. Peristiwa perubahan yang demikian disebut *diferensiasi*. Peristiwa diferensiasi menghasilkan perbedaan yang tampak pada struktur dan fungsi masing-masing organ, sehingga perubahan yang terjadi pada organisme tersebut makin kompleks. Proses perubahan biologis seperti ini disebut perkembangan. Perkembangan mengarah pada proses menuju kedewasaan organisme.

Pertumbuhan dan perkembangan merupakan hasil interaksi antara faktor-faktor dalam dan luar. Faktor yang terdapat dalam tubuh organisme, antara lain sifat genetik yang ada di dalam gen dan zat pengatur tumbuh yang merangsang pertumbuhan. Adapun faktor lingkungan merupakan faktor dari luar yang memengaruhi pertumbuhan. Kemudian, potensi genetik hanya akan berkembang apabila ditunjang oleh lingkungan yang cocok. Dengan demikian, sifat yang tampak pada tumbuhan dan hewan merupakan hasil interaksi antara faktor genetik dengan faktor lingkungan secara bersama-sama.

A. Tahap-Tahap Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan Berbunga

1. Tahap Awal Pertumbuhan

Pertumbuhan pada biji telah dimulai pada saat proses fisika, kimia, dan biologi mulai berlangsung. Mula-mula terjadi proses fisika saat biji melakukan *imbibisi* atau penyerapan air sampai biji ukurannya bertambah dan menjadi lunak. Saat air masuk ke dalam biji, enzim-enzim mulai aktif sehingga menghasilkan berbagai reaksi kimia.

Kerja enzim ini antara lain, mengaktifkan metabolisme di dalam biji dengan mensintesis cadangan makanan sebagai persediaan cadangan makanan pada saat perkecambahan berlangsung yang dipakai untuk berkecambah.

Kegiatan

(Berpikir Kritis dan Kecakapan Akademik) Mengamati Pertumbuhan melalui Percobaan Imbibisi

Tujuan: Membuktikan imbibisi menghasilkan reaksi eksoterm dan dapat menimbulkan energi.

Alat dan Bahan:

1. Bak atau ember air
2. Termometer
3. Sepotong agar
4. Kacang hijau atau biji kacang-kacangan yang sudah kering

Cara Kerja:

1. Rendam biji kacang ke dalam air, kemudian pasanglah termometer dalam rendaman itu.
2. Catatlah suhu pada permulaan kegiatan dan perubahan suhu yang terjadi setiap jamnya.
3. Sebagai kontrol, amatilah termometer yang direndam pada air yang berisi rendaman sepotong agar.

Hasil Kegiatan dan Pengamatan:

1. Apakah terjadi perbedaan suhu pada rendaman biji kacang dengan rendaman sepotong agar?
2. Apa beda imbibisi yang diperlihatkan oleh biji kacang dengan sepotong agar?

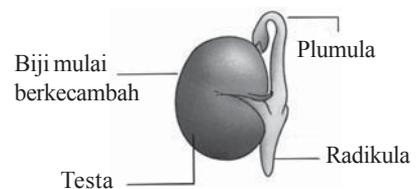
2. Perkecambahan

Perkecambahan adalah munculnya *plantula* (tanaman kecil) dari dalam biji yang merupakan hasil pertumbuhan dan perkembangan embrio. Pada perkembangan embrio saat berkecambah, bagian plumula tumbuh dan berkembang menjadi batang, sedangkan radikula menjadi akar.

Tipe perkecambahan ada dua macam, tipe itu sebagai berikut.

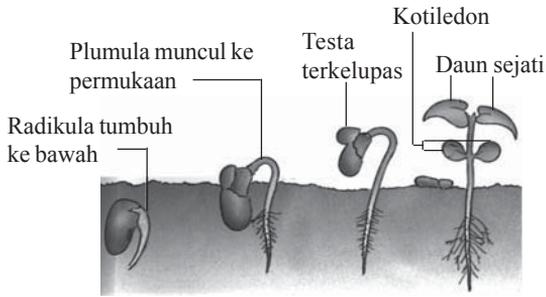
a. Tipe perkecambahan di atas tanah (*Epigeal*)

Tipe ini terjadi, jika plumula (perhatikan Gambar 1.1) muncul di atas permukaan tanah, sedangkan kotiledon tetap berada di dalam tanah.



Sumber : Kamus Biologi Bergambar, 2005

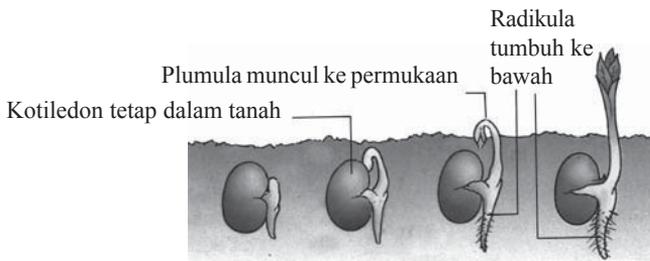
▲ Gambar 1.1 Bagian-bagian biji



Sumber : Kamus Biologi Bergambar, 2005

▲ Gambar 1.2 Epigeal

- b. Tipe perkecambahan di bawah tanah (*hipogeal*)
Tipe ini terjadi, jika plumula dan kotiledon muncul di atas permukaan tanah.



Sumber : Kamus Biologi Bergambar, 2005

▲ Gambar 1.3 Hipogeal

Makanan untuk pertumbuhan embrio diperoleh dari cadangan makanan karena belum terbentuknya klorofil yang diperlukan dalam fotosintesis. Pada tumbuhan dikotil makanan diperoleh dari kotiledon, sedangkan pada tumbuhan monokotil diperoleh dari endosperm.

3. Pertumbuhan Primer

Setelah fase perkecambahan, diikuti pertumbuhan tiga sistem jaringan meristem primer yang terletak di akar dan batang. Pada fase ini tumbuhan membentuk akar, batang, dan daun. Tiga sistem jaringan primer yang terbentuk sebagai berikut.

- Protoderm, yaitu lapisan terluar yang akan membentuk jaringan epidermis.
- Meristem dasar yang akan berkembang menjadi jaringan dasar yang mengisi lapisan korteks pada akar di antara stela dan epidermis.
- Prokambium, yaitu lapisan dalam yang akan berkembang menjadi silinder pusat, yaitu floem dan xilem.

INFO

Di daerah yang memiliki empat musim dalam setahun, pohon tumbuh selama musim semi dan musim panas. Pertumbuhan terutama terjadi pada ujung pohon, pucuk ranting, dan akar. Ranting memanjang dan bunga serta daun muncul dari pucuk. Ujung akar tumbuh memanjang dan menembus lapisan tanah. Akar dan ranting menebal seperti juga batang, sehingga pohon bertambah besar.

Pertumbuhan primer pada akar

Akar muda yang keluar dari biji segera masuk ke dalam tanah, selanjutnya membentuk sistem perakaran tanaman. Pada ujung akar yang masih muda, terdapat empat daerah pertumbuhan sebagai berikut.

a. Tudung akar (*kaliptra*)

Tudung akar atau kaliptra berfungsi sebagai pelindung terhadap benturan fisik ujung akar terhadap tanah sekitar pertumbuhan. Fungsi lain ujung akar, yaitu memudahkan akar menembus tanah karena tudung akar dilengkapi dengan sekresi cairan polisakarida.

Pembedaan antara tudung akar dikotil dan monokotil sebagai berikut.

- Pada tudung akar dikotil, antara ujung akar dengan kaliptra tidak terdapat batas yang jelas dan tidak memiliki titik tumbuh pada kaliptra tersebut.
- Pada tudung akar monokotil, antara ujung akar dan kaliptra terdapat batas yang jelas atau nyata dan mempunyai titik tumbuh tersendiri yang disebut *kaliptrogen*.

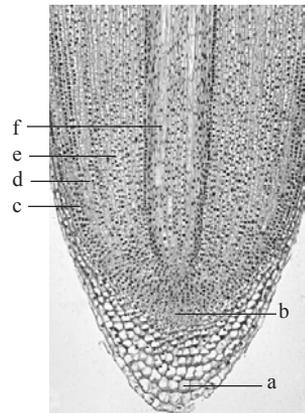
Sel-sel kaliptra yang dekat dengan ujung akar mengandung butir-butir tepung yang disebut *kolumela*.

b. Meristem

Meristem merupakan bagian dari ujung akar yang selnya senantiasa mengadakan pembelahan secara mitosis. Meristem ini terletak di belakang tudung akar. Pada tumbuhan dikotil, sel-sel tudung akar yang rusak akan digantikan oleh sel-sel baru yang dihasilkan oleh sel-sel meristem primer dari perkembangan sel-sel meristem apikal.

c. Daerah pemanjangan sel

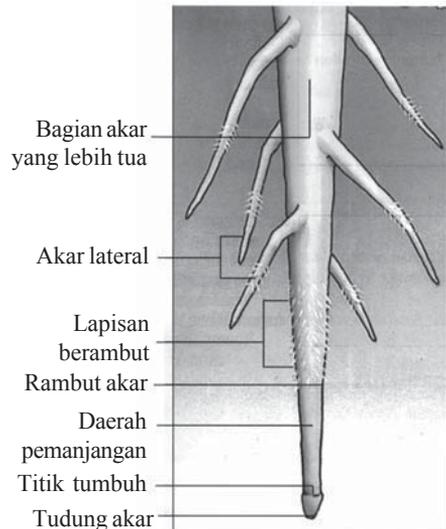
Daerah pemanjangan sel terletak di belakang daerah meristem. Sel-sel hasil pembelahan meristem tumbuh dan berkembang memanjang pada daerah ini. Aktivitas pertumbuhan dan perkembangan memanjang dari sel mengakibatkan pembelahan sel di daerah ini menjadi lebih lambat dari bagian lain. Pemanjangan sel tersebut berperan penting untuk membantu daya tekan akar dan proses pertumbuhan memanjang akar.



a. tudung akar
b. meristem
c. daerah pemanjangan sel
d. korteks
e. floem
f. xylem

Sumber : *Encarta Encyclopedia*

▲ Gambar 1.4 Jaringan meristem apikal akar



Sumber : *Kamus Biologi bergambar, 2005*

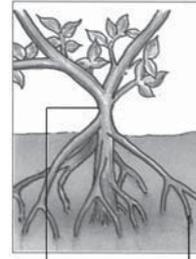
▲ Gambar 1.5 Tudung akar

d Daerah diferensiasi

Pada daerah ini, sel-sel hasil pembelahan dan pemanjangan akan mengelompok se-suai dengan kesamaan struktur. Sel-sel yang memiliki kesamaan struktur, kemudian akan memperoleh tugas membentuk jaringan tertentu.

Pertumbuhan Primer pada Batang

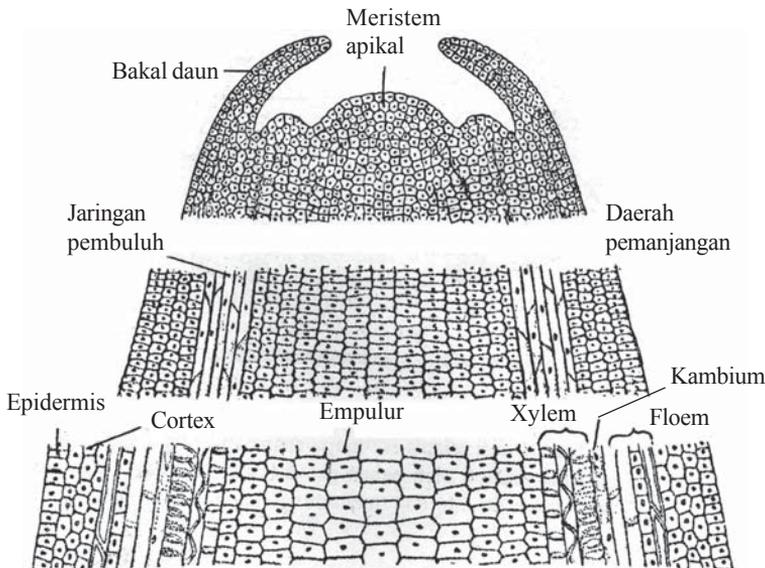
Pertumbuhan dan perkembangan primer pada batang meliputi daerah pertumbuhan (titik tumbuh), daerah pemanjangan, dan daerah diferensiasi. Meristem apikal pada batang dibentuk oleh sel-sel yang senantiasa membelah pada ujung tunas yang biasa disebut kuncup. Di dalam kuncup, ruas batang dan tonjolan daun kecil (*primordia*) memiliki jarak sangat pendek karena jarak *internodus* (antarruas) sangat pendek. Pertumbuhan, pembelahan, dan pemanjangan sel terjadi di dalam *internodus*.



Batang Akar tunjang

Sumber : Kamus Biologi Bergambar, 2005

▲ Gambar 1.6 Struktur akar

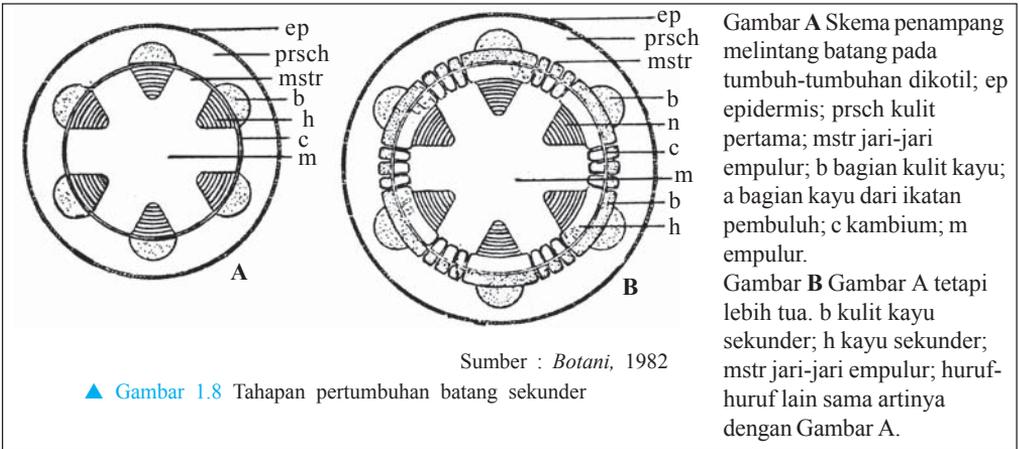


Sumber : Botani, 1982

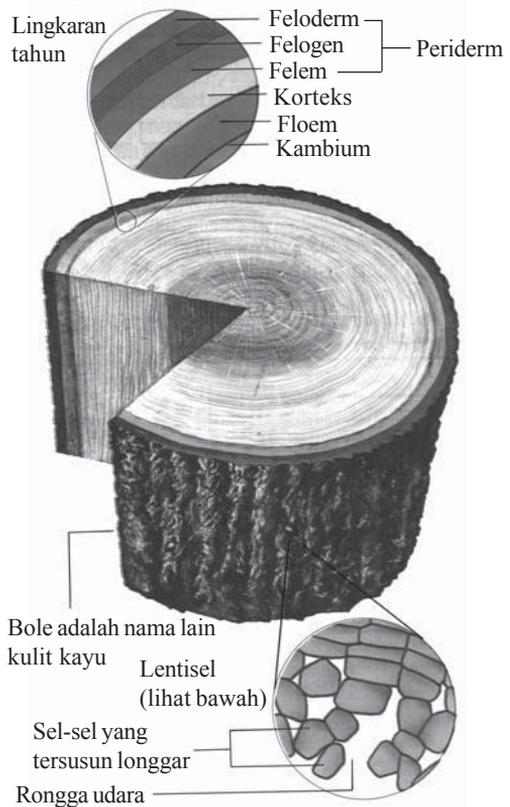
▲ Gambar 1.7 Irisan membujur ujung batang

4. Pertumbuhan Sekunder

Setelah meristem primer membentuk jaringan permanen, kemudian meristem sekunder mengalami pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan sekunder hanya terjadi pada tumbuhan dikotil, yaitu pembentukan kambium yang terbentuk dari parenkim atau kolenkim.



Jika sel kambium membelah ke arah luar, akan membentuk sel floem, sebaliknya jika sel kambium membelah ke arah dalam akan membentuk xilem. Xilem dan floem yang terbentuk dari aktivitas kambium disebut xilem sekunder dan floem sekunder. Pertumbuhan xilem dan floem tersebut menyebabkan batang bertambah besar dan terbentuk lingkaran tahun yang dipengaruhi oleh aktivitas pada musim kemarau dan musim penghujan.



Sumber : *Kamus Biologi Bergambar*, 2005

▲ **Gambar 1.9** Lingkaran tahun pada batang dikotil

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

1. Faktor Dalam yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Faktor dalam yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan adalah gen dan zat pengatur tumbuh.

a. Faktor gen

Faktor penurunan sifat pada keturunan terkandung di dalam gen. Informasi genetik pada gen mengendalikan terbentuknya sifat penampakan secara fisik (fenotip) melalui interaksinya dengan faktor lingkungan.

b. Zat pengatur tumbuh (hormon)

Zat pengatur tumbuh (hormon) pada tanaman ialah senyawa organik yang dalam jumlah sedikit dapat mendukung, menghambat, dan mengubah proses fisiologis tumbuhan. Pada konsentrasi tertentu hormon dapat memacu pertumbuhan, tetapi pada konsentrasi yang tinggi dapat menekan pertumbuhan. Macam-macam hormon sebagai berikut.

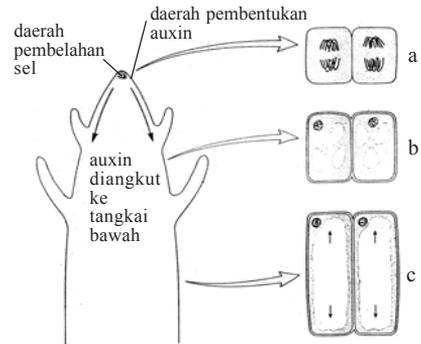
1) Auksin

Auksin mula-mula ditemukan oleh Darwin, dengan percobaan pengaruh penyinaran terhadap koleoptil. Auksin adalah hormon yang berperan merangsang pembelahan sel dan pengembangan sel. Hormon auksin/ IAA memiliki sifat menjauhi cahaya. Hormon ini diproduksi pada ujung tunas akar dan batang. Pengaruh hormon auksin dalam konsentrasi yang berbeda pada bagian tubuh tanaman mengakibatkan terjadinya pertumbuhan yang tidak seimbang. Bagian yang mengandung auksin lebih banyak memiliki kecepatan tumbuh yang lebih besar. Adapun bagian yang kekurangan akan mengalami pertumbuhan lebih lambat. Jika ini terjadi pada pucuk batang, terjadi pembengkokan arah pertumbuhan.

Pengaruh auksin terhadap perkembangan sel memperlihatkan bahwa auksin dapat menaikkan tekanan osmotik, meningkatkan permeabilitas sel terhadap air, menyebabkan pengurangan tekanan pada dinding-dinding sel, meningkatkan sintesis protein, meningkatkan plas-tisitas, mengembangnya dinding sel.

Dilihat dari segi fisiologi, hormon auksin berpengaruh pada:

- a) pengembangan sel;
- b) fototropisme;
- c) geotropisme;
- d) pertumbuhan akar;
- e) partenokarpi;
- f) pembentukan batang.



- a. pembelahan sel secara mitosis dan sel tidak mengalami pembesaran
- b. vakuola-vakuola terbentuk dalam sitoplasma, pembesaran sel dimulai
- c. vakuola-vakuola bergabung sel menjadi luas dan panjang

Sumber : IGCSE Biologi DG. Mackean

▲ Gambar 1.10 Auksin diproduksi di ujung koleoptil

2) Giberelin

Giberelin merupakan jenis hormon yang mula-mula ditemukan oleh **Kuroshawa** dari Jepang. Hormon ini berpengaruh terhadap sifat genetik, pembungaan, penyinaran, dan mobilisasi karbohidrat selama perkecambahan. Hormon ini berperan dalam mendukung perpanjangan sel, aktivitas kambium mendukung pembentukan RNA baru, dan sintesis protein.

3) Sitokinin

Sitokinin ditemukan oleh **Kinetin**. Sitokinin berfungsi untuk:

- merangsang pembelahan sel;
- merangsang pembentukan tunas;
- menghambat efek dominasi apikal oleh auksin pada batang;
- mempercepat pertumbuhan memanjang.

4) Etilen

Dalam keadaan normal, etilen akan berbentuk gas dan berperan apabila terjadi perubahan secara fisiologis pada suatu tanaman. Hormon ini berperan pada proses pematangan buah. Hubungan etilen dengan auksin yaitu etilen memengaruhi pembentukan protein yang diperlukan dalam aktivitas pertumbuhan.

5) Inhibitor

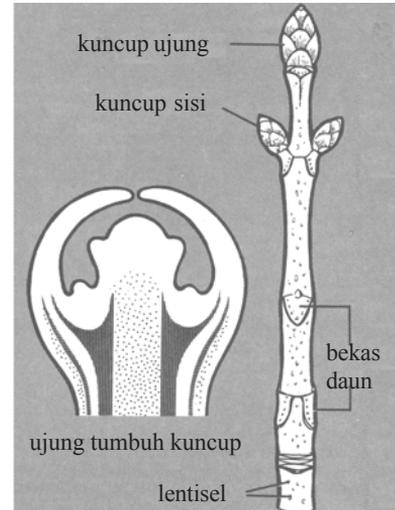
Inhibitor adalah zat yang menghambat pertumbuhan pada tanaman inhibitor. Sering dijumpai pada proses perkecambahan, pertumbuhan pucuk, atau dalam dormansi. Beberapa jenis inhibitor yaitu asam absisat dan *plant growth retardant*. Asam absisat terdapat pada daun, batang, akar, umbi, tunas, buah, dan endosperm. Zat ini mempunyai fungsi berlawanan dengan auksin, giberelin, dan sitokinin. *Plant growth retardant* adalah inhibitor yang berlawanan dengan kegiatan giberelin pada perpanjangan batang.

2. Faktor Luar yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan adalah faktor lingkungan, misalnya nutrisi, air, cahaya, suhu, dan kelembapan.

a. Nutrisi

Nutrisi terdiri atas unsur-unsur atau senyawa-senyawa kimia sebagai sumber energi dan sumber materi untuk sintesis berbagai komponen sel yang diperlukan selama pertumbuhan.



Sumber : *Ilmu Pengetahuan Populer*, 2002

▲ **Gambar 1.11** Dominasi apikal terjadi karena adanya auksin. Hal itu akan hilang apabila pucuk dipangkas

Nutrisi umumnya diambil dari dalam tanah dalam bentuk ion dan kation, sebagian lagi diambil dari udara.

Unsur-unsur yang dibutuhkan dalam jumlah yang banyak disebut unsur makro (C, H, O, N, P, K, S, Ca, Fe, Mg). Adapun unsur-unsur yang dibutuhkan dalam jumlah sedikit disebut unsur mikro (B, Mn, Mo, Zn, Cu, Cl). Jika salah satu kebutuhan unsur-unsur tersebut tidak terpenuhi, akan mengakibatkan kekurangan unsur yang disebut *defisiensi*. Defisiensi mengakibatkan pertumbuhan menjadi terhambat.

b. Air

Air berperan di dalam melarutkan unsur hara dalam proses penyerapan. Air dibutuhkan tumbuhan sebagai pelarut bagi kebanyakan reaksi dalam tubuh tumbuhan dan sebagai medium reaksi enzimatik. Sebagai pelarut, air juga memengaruhi kadar enzim dan substrat sehingga secara tidak langsung memengaruhi laju metabolisme. Kekurangan air pada tanah menyebabkan terhambatnya proses osmosis. Proses osmosis akan berhenti atau berbalik arah yang berakibat keluarnya materi-materi dari protoplasma sel-sel tumbuhan, sehingga tanaman kering dan mati.

c. Cahaya

Cahaya mutlak diperlukan dalam proses fotosintesis. Cahaya secara langsung berpengaruh terhadap pertumbuhan setiap tanaman. Pengaruh cahaya secara langsung dapat diamati dengan membandingkan tanaman yang tumbuh dalam keadaan gelap dan terang. Pada keadaan gelap, pertumbuhan tanaman mengalami *etiologi* yang ditandai dengan pertumbuhan yang abnormal (lebih panjang), pucat, daun tidak berkembang, dan batang tidak kukuh. Sebaliknya, dalam keadaan terang tumbuhan lebih pendek, batang kukuh, daun berkembang sempurna dan berwarna hijau.

Dalam fotosintesis, cahaya berpengaruh langsung terhadap ketersediaan makanan. Tumbuhan yang tidak terkena cahaya tidak dapat membentuk klorofil, sehingga daun menjadi pucat.

d. Suhu

Suhu berpengaruh terhadap fisiologi tumbuhan, antara lain memengaruhi kerja enzim. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan menghambat proses pertumbuhan. Suhu yang paling baik untuk pertumbuhan disebut suhu optimum (10° – 38° C).

INFO

Pigmen klorofil menyebabkan warna hijau pada tanaman. Fotosintesis pada tumbuhan biasanya terjadi di daun, batang, atau bagian lain tanaman, misalnya tanaman kaktus priety lebih banyak mengalami fotosintesis pada batang daripada daunnya. Batang kaktus menyimpan air untuk keperluan fotosintesis.



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, 2005



Sumber: *Kamus Biologi Bergambar*, 2005

▲ Gambar 1.12 Permukaan daun cenderung menghadap ke arah cahaya matahari.

e. Kelembapan

Tanah dan udara yang lembap berpengaruh terhadap pertumbuhan. Pada keadaan lembap, banyak air yang diserap oleh tumbuhan dan sedikit penguapan yang terjadi sehingga mengakibatkan pertumbuhan menjadi cepat. Akibat pemanjangan sel-sel yang cepat, tumbuhan bertambah besar. Pada kondisi ini, faktor kehilangan air sangat kecil karena transpirasi yang kurang. Adapun untuk mengatasi kelebihan air, tumbuhan beradaptasi dengan memiliki permukaan helaian daun yang lebar.

RANGKUMAN

1. Pertumbuhan adalah peristiwa perubahan biologi yang terjadi pada makhluk hidup, berupa penambahan ukuran (volume, massa, dan tinggi) yang bersifat *irreversibel*.
2. Perkembangan adalah perubahan yang terjadi selama masa pertumbuhan menuju pada satu proses kedewasaan sehingga terbentuk organ-organ yang mempunyai struktur dan fungsi yang berbeda.
3. Tahap pertumbuhan awal suatu tanaman adalah adanya proses fisika, yaitu saat biji melakukan imbibisi (penyerapan air hingga biji bertambah ukuran dan menjadi lebih lunak).
4. Perkecambahan adalah munculnya *plantula* (tanaman kecil) dari dalam biji hasil pertumbuhan dan perkembangan embrio.
5. Perkecambahan ada dua macam, yaitu perkecambahan di atas tanah dan di bawah tanah.
6. Pertumbuhan primer berlangsung pada akar, batang, dan daun.
7. Pertumbuhan sekunder terjadi jika setelah pertumbuhan primer tanaman membentuk jaringan permanen.
8. Faktor-faktor dalam yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, yaitu faktor gen dan zat pengatur tumbuh.
9. Faktor-faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, yaitu nutrisi, air, cahaya, suhu, dan kelembapan.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan, kalian tentu sudah memahami dan dapat menjelaskan tahap-tahap pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan bunga, serta faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

Apabila terdapat hal-hal yang menurut kalian belum jelas atau kurang dapat dipahami, carilah referensi bacaan pendukung, serta ulangi mempelajari materi ini dengan cermat.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Tunas dapat membengkok ke atas karena pengaruh hormon
 - a. sitokinin
 - b. asam absisat
 - c. giberelin
 - d. etilen
 - e. auksin
2. Jika kita ingin mendapatkan pohon jambu biji yang berbuah tanpa biji, kita memerlukan hormon
 - a. sitokinin
 - b. kalin
 - c. giberelin
 - d. traumalin
 - e. auksin
3. Dua kecambah diletakkan di suatu tempat, yang satu terkena cahaya, sedangkan yang lain tidak terkena cahaya. Kecambah yang diletakkan di tempat gelap jauh lebih panjang daripada kecambah yang diletakkan di tempat terang. Hal itu menunjukkan bahwa
 - a. cahaya berpengaruh terhadap pertumbuhan
 - b. cahaya merupakan faktor yang tidak diperlukan
 - c. cahaya diperlukan sedikit untuk pertumbuhan
 - d. cahaya merupakan faktor penghambat pertumbuhan
 - e. cahaya berpengaruh besar terhadap pertumbuhan
4. Selama musim kemarau, pada tanaman jati terjadi pengguguran daun. Hal itu terjadi disebabkan adanya konsentrasi hormon yang tinggi pada kuncup, yaitu hormon
 - a. gas etilen
 - b. asam absisat
 - c. giberelin
 - d. traumalin
 - e. auksin
5. Unsur mikro yang menyusun protoplasma tumbuhan adalah
 - a. C, Mg, Fe, dan P
 - b. Zn, Co, Be, dan Mn
 - c. Mg, Cu, Na, dan Fe
 - d. Cu, Mn, P, dan Na
 - e. Mg, Zn, Na, dan Fe
6. Auksin yang dibentuk pada ujung kecambah dipengaruhi oleh cahaya. Apabila disinari pada satu sisi saja, kecambah tersebut
 - a. tidak tumbuh
 - b. tumbuh lurus
 - c. tumbuh membengkok
 - d. tumbuh ke arah datangnya cahaya
 - e. tumbuh menjauhi datangnya cahaya
7. Tiga faktor penting untuk perkecambahan adalah
 - a. air, udara, dan tanah
 - b. air, udara, dan suhu
 - c. tanah, udara, dan suhu
 - d. air, suhu, dan tanah
 - e. tanah, air, dan derajat keasaman
8. Pada pertumbuhan dikenal istilah *etiolasi*, yaitu pertumbuhan yang
 - a. amat cepat dalam keadaan gelap
 - b. lambat dalam keadaan gelap
 - c. amat cepat apabila ada cahaya
 - d. lambat kalau ada cahaya
 - e. tidak dipengaruhi cahaya
9. Pertumbuhan cabang akar pada tumbuhan dikotil terjadi karena aktivitas dari
 - a. floem
 - b. korteks
 - c. periskel
 - d. parenkima
 - e. endodermis

10. Bagian akar yang berfungsi untuk melindungi diri terhadap benturan fisik ujung akar adalah
 - a. kaliptra
 - b. kaliptrogen
 - c. meristem
 - d. floem
 - e. xilem
11. Di bawah ini faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan, *kecuali*
 - a. suhu
 - b. cahaya
 - c. gen
 - d. nutrisi
 - e. air
12. Zat yang bersifat menghambat pertumbuhan pada tanaman disebut
 - a. auksin
 - b. giberelin
 - c. etilen
 - d. sitokinin
 - e. inhibitor
13. Di bawah ini unsur mikro pada faktor luar yang ikut memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan, *kecuali*
 - a. O
 - b. B
 - c. Zn
 - d. Mn
 - e. Cl
14. Kemampuan untuk membentuk jaringan penutup luka pada tanaman dipengaruhi oleh
 - a. auksin
 - b. kalin
 - c. vitamin
 - d. filokalin
 - e. asam traumalin
15. Epigeal adalah perkecambahan
 - a. di dalam biji
 - b. di atas permukaan tanah
 - c. di bawah tanah
 - d. pada pertumbuhan primer
 - e. pada pertumbuhan sekunder

B. Kerjakanlah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

1. Apakah yang dimaksud pertumbuhan dan perkembangan?
2. Sebutkan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan.
3. Jelaskan faktor-faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan tanaman.
4. Mengapa cahaya yang penting untuk proses fotosintesis justru menghambat pertumbuhan?
5. Sebutkan fungsi hormon auksin.

BAB 2

PROSES METABOLISME ORGANISME



Sumber: *Encarta Encyclopedia*

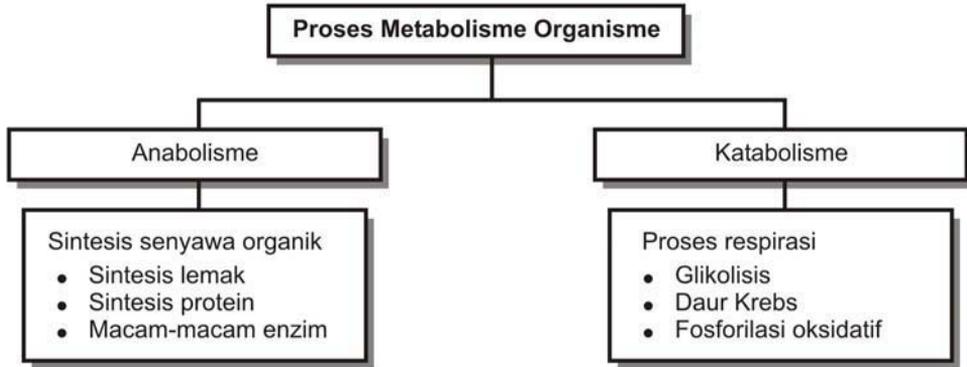
Bersepeda, seperti gambar di samping, dapat meningkatkan laju metabolisme hingga 15 kali laju metabolisme biasa. Denyut jantung meningkat dan oksigen yang masuk makin banyak. Perubahan ini memungkinkan makanan dikatabolisasi lebih cepat untuk menghasilkan energi ekstra yang diperlukan. Salah satu akibatnya adalah naiknya suhu tubuh yang menyebabkan tubuh mengeluarkan banyak keringat.

Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

- dapat menjelaskan enzim dan fungsinya;
- dapat menjelaskan metabolisme karbohidrat;
- dapat menjelaskan metabolisme lipida (lemak);
- dapat menjelaskan metabolisme protein;
- dapat menjelaskan hubungan metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein.

Kata-kata kunci

- metabolisme
- anabolisme
- katabolisme
- enzim
- asam amino
- daur Krebs
- karbohidrat
- lemak
- protein



Metabolisme sangat penting bagi makhluk hidup untuk kelangsungan hidupnya. Metabolisme adalah segala proses reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup, mulai dari makhluk hidup bersel satu sampai makhluk hidup yang susunan tubuhnya sangat kompleks. Metabolisme terdiri atas dua proses sebagai berikut.

1. Anabolisme

Anabolisme adalah proses-proses penyusunan energi kimia melalui sintesis senyawa-senyawa organik.

2. Katabolisme

Katabolisme adalah proses penguraian dan pembebasan energi dari senyawa-senyawa organik melalui proses respirasi. Semua reaksi tersebut dikatalisis oleh enzim, baik oleh reaksi yang sederhana maupun reaksi yang rumit.

Metabolisme juga berperan mengubah zat yang beracun menjadi senyawa yang tak beracun dan dapat dikeluarkan dari tubuh. Proses ini disebut detoksifikasi. Umumnya, hasil akhir anabolisme merupakan senyawa pemula untuk proses katabolisme. Hal itu disebabkan sebagian besar proses metabolisme terjadi di dalam sel. Mekanisme masuk dan keluarnya zat kimia melalui membran sel mempunyai arti penting dalam mempertahankan keseimbangan energi dan materi dalam tubuh. Proses sintesis dan penguraian berlangsung dalam berbagai jalur metabolisme. Adapun hasil reaksi tiap tahap metabolisme merupakan senyawa pemula dari tahap reaksi berikutnya.

A. Enzim dan Fungsinya

Enzim adalah biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma, yang terdiri atas protein atau suatu senyawa yang berikatan dengan protein. Enzim mempunyai dua fungsi pokok sebagai berikut.

1. Mempercepat atau memperlambat reaksi kimia.
2. Mengatur sejumlah reaksi yang berbeda-beda dalam waktu yang sama.

Enzim disintesis dalam bentuk calon enzim yang tidak aktif, kemudian diaktifkan dalam lingkungan pada kondisi yang tepat. Misalnya, tripsinogen yang disintesis dalam pankreas, diaktifkan dengan memecah salah satu peptidanya untuk membentuk enzim tripsin yang aktif. Bentuk enzim yang tidak aktif ini disebut *zimogen*.

Enzim tersusun atas dua bagian. Apabila enzim dipisahkan satu sama lainnya menyebabkan enzim tidak aktif. Namun keduanya dapat digabungkan menjadi satu, yang disebut *holoenzim*. Kedua bagian enzim tersebut yaitu *apoenzim* dan *koenzim*.

Faktor-faktor yang memengaruhi enzim dan aktivitas enzim sebagai berikut.

1. Temperatur atau suhu

Umumnya enzim bekerja pada suhu yang optimum. Apabila suhu turun, maka aktivitas akan terhenti tetapi enzim tidak rusak. Sebaliknya, pada suhu tinggi aktivitas menurun dan enzim menjadi rusak.

2. Air

Air berperan dalam memulai kegiatan enzim. Contoh pada waktu biji dalam keadaan kering kegiatan enzim tidak kelihatan. Baru setelah ada air, melalui imbibisi mulailah biji berkecambah.

3. pH

Perubahan pH dapat membalikkan kegiatan enzim, yaitu mengubah hasil akhir kembali menjadi substrat.

4. Hasil akhir

Kecepatan reaksi dalam suatu proses kimia tidak selalu konstan. Misal, kegiatan pada awal reaksi tidak sama dengan kegiatan pada pertengahan atau akhir reaksi. Apabila hasil akhir (banyak), maka akan menghambat aktivitas enzim.

5. Substrat

Substrat adalah zat yang diubah menjadi sesuatu yang baru. Umumnya, terdapat hubungan yang sebanding antara substrat dengan hasil akhir apabila konsentrasi enzim tetap, pH konstan, dan temperatur konstan. Jadi, apabila substrat yang tersedia dua kali lipat, maka hasil akhir juga dua kali lipat.

6. Zat-zat penghambat

Zat-zat penghambat adalah zat-zat kimia yang menghambat aktivitas kerja enzim. Contoh, garam-garam dari logam berat, seperti raksa.

Contoh-contoh enzim dalam proses metabolisme sebagai berikut.

1. Enzim katalase

Enzim katalase berfungsi membantu pengubahan hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen.

katalase



2. Enzim oksidase

Enzim oksidase berfungsi mempergiat penggabungan O_2 dengan suatu substrat yang pada saat bersamaan juga mereduksikan O_2 , sehingga terbentuk H_2O .

INFO

Enzim sering dimanfaatkan dalam industri pembuatan bir, roti, keju, dan anggur. Pada bidang kedokteran, enzim digunakan untuk membunuh mikroorganisme penyebab penyakit, mempercepat penyembuhan luka, dan mendiagnosis penyakit.

3. Enzim hidrase
Enzim hidrase berfungsi menambah atau mengurangi air dari suatu senyawa tanpa menyebabkan terurainya senyawa yang bersangkutan. Contoh: fumarase, enolase, akonitase.
4. Enzim dehidrogenase
Enzim dehidrogenase berfungsi memindahkan hidrogen dari suatu zat ke zat yang lain.
5. Enzim transphosforilase
Enzim transphosforilase berfungsi memindahkan H_3PO_4 dari molekul satu ke molekul lain dengan bantuan ion Mg^{2+} .
6. Enzim karboksilase
Enzim karboksilase berfungsi dalam pengubahan asam organik secara bolak-balik. Contoh pengubahan asam piruvat menjadi asetaldehida dibantu oleh karboksilase piruvat.
7. Enzim desmolase
Enzim desmolase berfungsi membantu dalam pemindahan atau penggabungan ikatan karbon. Contohnya, aldolase dalam pemecahan fruktosa menjadi gliseraldehida dan dehidroksiaseton.
8. Enzim peroksida
Enzim peroksida berfungsi membantu mengoksidasi senyawa fenolat, sedangkan oksigen yang dipergunakan diambil dari H_2O_2 .

B. Metabolisme Karbohidrat

Karbohidrat adalah senyawa yang tersusun atas unsur-unsur C, H, dan O. Karbohidrat setelah dicerna di usus, akan diserap oleh dinding usus halus dalam bentuk monosakarida. Monosakarida dibawa oleh aliran darah sebagian besar menuju hati, dan sebagian lainnya dibawa ke sel jaringan tertentu, dan mengalami proses metabolisme lebih lanjut.

Di dalam hati, monosakarida mengalami proses sintesis menghasilkan glikogen, dioksidasi menjadi CO_2 dan H_2O , atau dilepaskan untuk dibawa oleh aliran darah ke bagian tubuh yang memerlukan. Hati dapat mengatur kadar glukosa dalam darah atas bantuan hormon insulin yang dikeluarkan oleh kelenjar pankreas. Kenaikan proses pencernaan dan penyerapan karbohidrat menyebabkan glukosa dalam darah meningkat, sehingga sintesis glikogen dari glukosa oleh hati akan naik. Sebaliknya, jika banyak kegiatan maka banyak energi untuk kontraksi otot sehingga kadar glukosa dalam darah menurun.

Dalam hal ini, glikogen akan diuraikan menjadi glukosa yang selanjutnya mengalami katabolisme menghasilkan energi (dalam bentuk energi kimia, ATP).

Faktor yang penting dalam kelancaran kerja tubuh adalah kadar glukosa dalam darah. Kadar glukosa di bawah 70 mg/100 ml disebut hipoglisemia. Adapun di atas 90 mg/100 ml disebut hiperglisemia. Hipoglisemia yang serius dapat berakibat kekurangan glukosa dalam otak sehingga menyebabkan hilangnya kesadaran (pingsan). Hiperglisemia merangsang terjadinya gejala glukosuria, yaitu ketidakmampuan ginjal untuk menyerap kembali glukosa yang telah mengalami filtrasi melalui sel tubuh. Hormon yang mengatur kadar gula dalam darah, yaitu:

1. hormon insulin, dihasilkan oleh pankreas, berfungsi menurunkan kadar glukosa dalam darah;
2. hormon adrenalin, dihasilkan oleh korteks adrenal, berfungsi menaikkan kadar glukosa dalam darah.

Macam-macam proses metabolisme karbohidrat

1. Glikogenesis

Glikogenesis adalah proses pembentukan glikogen dari glukosa. Proses pembentukan glikogen sebagai berikut.

- a. Tahap pertama adalah pembentukan glukosa-6-fosfat dari glukosa, dengan bantuan enzim glukokinase dan mendapat tambahan energi dari ATP dan fosfat.
- b. Glukosa-6-fosfat dengan enzim glukomutase menjadi glukosa-1-fosfat.
- c. Glukosa-1-fosfat bereaksi dengan UTP (*Uridin Tri Phospat*) dikatalisis oleh uridil transferase menghasilkan *uridin difosfat glukosa* (UDP-glukosa) dan pirofosfat (PPi).
- d. Tahap terakhir terjadi kondensasi antara UDP-glukosa dengan glukosa nomor satu dalam rantai glikogen primer menghasilkan rantai glikogen baru dengan tambahan satu unit glukosa.

Istilah yang berhubungan dengan metabolisme penguraian glukosa sebagai berikut.

- Fermentasi atau peragian adalah proses penguraian senyawa kimia yang menghasilkan gas. Dalam hal ini adalah penguraian karbohidrat, etanol, dan CO₂.
- Glikolisis adalah proses penguraian karbohidrat menjadi piruvat.
- Glikolisis anaerob adalah proses penguraian karbohidrat menjadi laktat tanpa melibatkan O₂.

INFO

Pada saat kelaparan, tubuh beradaptasi melalui glukoneogenesis untuk mencegah kekurangan kadar glukosa darah (hipoglikonia) yang bisa berakibat buruk bagi tubuh manusia.

- Respirasi adalah proses reaksi kimia yang terjadi apabila sel menyerap O_2 , menghasilkan CO_2 dan H_2O .

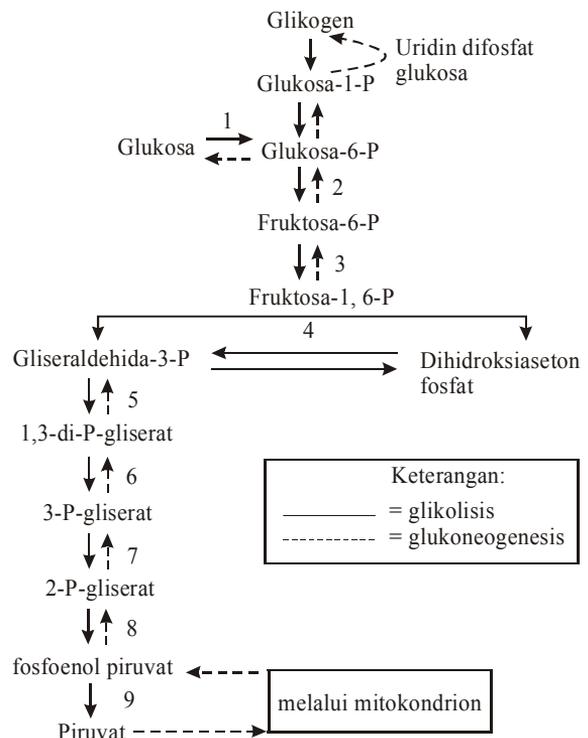
Respirasi dalam arti yang lebih khusus adalah proses-proses penguraian glukosa dengan menggunakan O_2 , menghasilkan CO_2 , H_2O , dan energi (dalam bentuk energi kimia, ATP) yang melibatkan metabolisme glikolisis, Daur Krebs, dan fosforilase bersifat oksidasi.

2. Glikolisis

Glikolisis adalah proses penguraian karbohidrat menjadi piruvat. Karbohidrat di dalam usus yaitu glukosa setelah melalui dinding usus. Glukosa dalam darah sebagian diubah menjadi glikogen. Peristiwa oksidasi glukosa di dalam jaringan terjadi secara bertingkat dan pada tingkat tertinggi dilepaskan energi melalui proses-proses kimiawi (glukosa, glikogen) diubah menjadi piruvat. Piruvat ini merupakan zat antara yang sangat penting dalam metabolisme karbohidrat. Sifat-sifat peristiwa glikolisis, antara lain:

- oksidasi glikogen/glukosa menjadi piruvat laktat;
- dapat berlangsung secara aerob dan anaerob;
- diperlukan adanya enzim dan energi;
- menghasilkan senyawa karbohidrat berat atom tiga;
- terjadi sintesis ATP dari ADP + Pi.

Pada peristiwa glikolisis aerob dihasilkan piruvat, sedangkan pada glikolisis anaerob dihasilkan laktat melalui piruvat. Proses glikolisis secara keseluruhan ditunjukkan oleh skema pada Gambar 2.2. ini.



Sumber : Dok. Penerbit

▲ Gambar 2.2 Skema proses glikolisis secara keseluruhan

Glukoneogenesis adalah pembentukan glukosa dari piruvat (kebalikan glikolisis). Sifat-sifat peristiwa glukoneogenesis antara lain:

- merupakan reaksi yang kompleks;

- b. melibatkan beberapa enzim dan organel sel, yaitu mitokondrion;
- c. terlebih dahulu mengubah piruvat menjadi malat;
- d. metabolisme piruvat diangkut ke dalam mitokondrion dengan cara pengangkutan aktif melalui membran.

Dalam peristiwa glukoneogenesis diperlukan energi sebanding dengan 12 molekul ATP.

Kegiatan

(Berpikir Kritis dan Inovatif)

A. Alat dan Bahan:

1. Tabung reaksi
2. Pemanas
3. Reagen Benedict
4. Glukosa, fruktosa, sukrosa, amilum

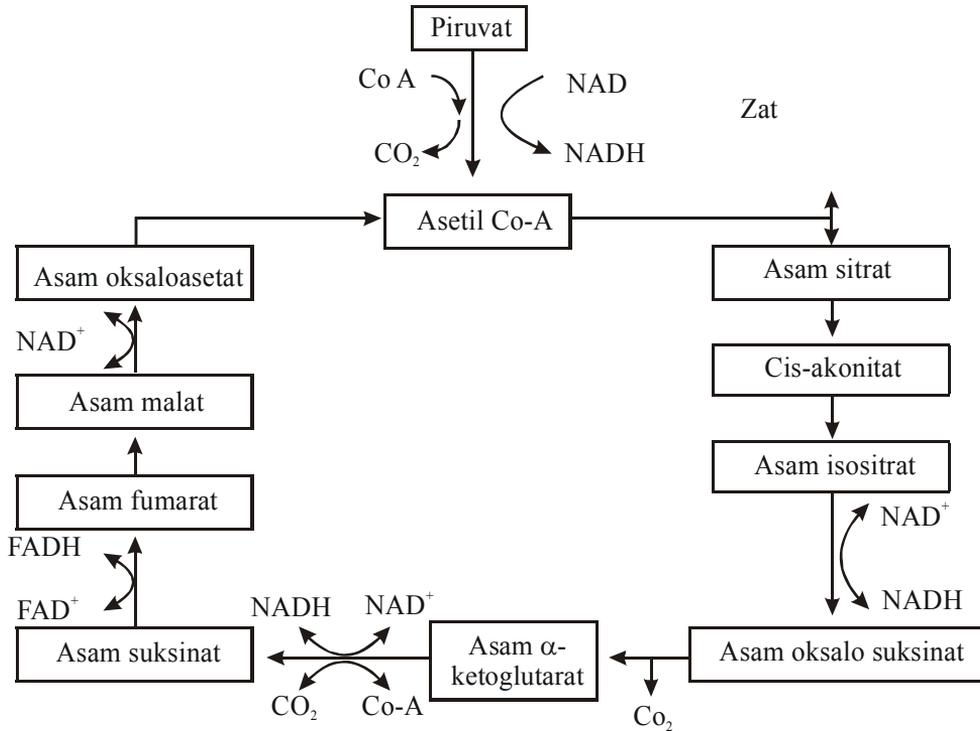
B. Cara Kerja:

1. Siapkan empat tabung reaksi.
2. Masing-masing tabung diisi dengan 2,5 ml Reagen Benedict.
3. Tambahkan empat tetes larutan yang akan diperiksa (0,1 M glukosa; fruktosa; sukrosa; dan amilum/kanji 1%).
4. Campur dan dididihkan selama dua menit atau masukkan dalam pemanas air mendidih selama lima menit.
5. Dinginkan dan periksa endapan yang terbentuk (warnanya).
6. Reaksi positif ditandai adanya warna hijau, merah oranye (merah bata), dan endapan yang tergantung dari banyak dan kasar halusnessnya Cu_2O yang terbentuk.

3. Daur Krebs

Piruvat diubah menjadi asam laktat, etanol, dan sebagian asetat. Asetat khususnya asetil koenzim-A dapat diolah lebih lanjut dalam suatu proses siklis yang disebut lingkaran trikarboksilat. Hal itu dikemukakan oleh Krebs (1937), sehingga disebut juga Daur Krebs. Dalam proses siklik dihasilkan CO_2 dan H_2O , terlepas energi yang mengandung tenaga kimia besar, yaitu ATP (*Adenosin Tri Phosfat*). Daur Krebs merupakan jalur metabolisme yang utama dari berbagai senyawa hasil metabolisme, yaitu hasil katabolisme karbohidrat, lemak, dan protein.

Untuk lebih jelasnya, dapat diamati dalam diagram berikut ini.



Sumber: Dok. Penerbit

▲ Gambar 2.3 Daur Krebs

Tahap-tahap daur asam trikarboksilat (Daur Krebs) sebagai berikut.

- a. Fase pertama, terurainya asam piruvat terlebih dahulu atas CO₂ dan suatu zat yang mempunyai atom C (asetat). Senyawa kemudian bersatu dengan koenzim A menjadi asetil koenzim A.
- b. Fase kedua, bersatunya asam oksaloasetat dengan asetil koenzim A sehingga tersusun asam sitrat.
 - 1) Pembentukan sitrat dari oksaloasetat dengan enzim sitratsinase.
 - 2) Pembentukan isositrat dari sitrat melalui cis-akonitat dengan enzim akonitase.
 - 3) Oksidasi isositrat menjadi α-ketoglutarat dengan enzim isositrat dehidrogenase.
 - 4) Oksidasi α-ketoglutarat menjadi suksinat dengan enzim α-ketoglutarat dehidrogenase.
 - 5) Oksidasi suksinat menjadi fumarat oleh enzim suksinat dehidrogenase.

- 6) Penambahan 1 mol H₂O pada fumarat dengan enzim fumarase menjadi malat.
- 7) Oksidasi malat menjadi oksaloasetat dengan enzim malat dehidrogenase.

Satu molekul asetil co-A dalam Daur Krebs menghasilkan 12 ATP. Adapun satu molekul glukosa akan menghasilkan 38 ATP.

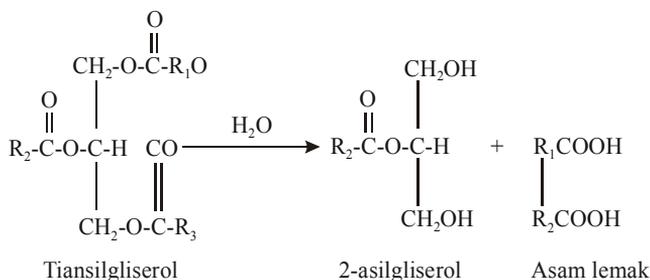
C. Metabolisme Lipid (Lemak)

Lipid (lemak) terdapat dalam semua bagian tubuh manusia terutama dalam otak. Lipid (lemak) mempunyai peran yang sangat penting dalam proses metabolisme secara umum. Beberapa peranan biologi dari lipid sebagai berikut.

1. Sebagai komponen struktur membran.
2. Sebagai lapisan pelindung pada beberapa jasad.
3. Sebagai bentuk energi cadangan.
4. Sebagai komponen permukaan sel yang berperan dalam proses kekebalan jaringan.
5. Sebagai komponen dalam proses pengangkutan melalui membran.

Lipid yang terdapat sebagai bagian dari makanan hewan merupakan campuran lipid yang sederhana (terpena dan steroida) dan yang kompleks (triasilgliserol, fosfolipid, sfingolipid, dan lilin) berasal dari tanaman maupun jaringan hewan. Dalam mulut dan lambung, lipid tadi belum mengalami pemecahan yang berarti. Setelah berada dalam intestin, lipid kompleks terutama triasilgliserolnya dihidrolisis oleh lipase menjadi asam lemak bebas dan sisa.

Enzim lipase diaktifkan oleh hormon epineprin. Enzim ini dibantu oleh garam asam empedu (terutama asam kholat dan taurokholat) yang disekresikan oleh hati. Fungsi garam tersebut ialah mengemulsi makanan berlemak sehingga terbentuklah emulsi partikel lipid yang sangat kecil. Oleh karena itu, permukaan lipid menjadi lebih besar dan lebih mudah dihidrolisis oleh lipase. Enzim ini tidak peka terhadap larutan lemak sempurna. Reaksi hidrolisisnya berlangsung sebagai berikut.



INFO
<p>Jika penyimpanan glikogen mencapai batasnya, kelebihan karbohidrat diubah menjadi lemak dan disimpan dalam jaringan lemak.</p>

Berdasarkan reaksi tersebut dapat diketahui bahwa lipase pankreas hanya bisa menghidrolisis ikatan ester pada atom C nomor 1 dan 3 yang hasilnya asam lemak bebas dan monoasil gliserol. Dengan bantuan misel-misel garam empedu maka asam lemak bebas, monoasil gliserol, kolesterol, dan vitamin membentuk sebuah kompleks yang kemudian menempel (diabsorpsi) pada permukaan sel mukosal. Senyawa-senyawa tersebut selanjutnya menembus membran sel mukosal dan masuk ke dalamnya. Misel-misel garam empedu melepaskan diri dan meninggalkan permukaan sel mukosal.

Dalam sel mukosal, asam lemak bebas monoasil gliserol disintesis kembali menjadi triasil gliserol yang setelah bergabung dengan albumin, kolesterol, dan lain-lain membentuk siklomikron. Siklomikron tersebut pada akhirnya masuk ke dalam darah, kemudian sampai ke hati dan jaringan lain yang memerlukannya. Sebelum masuk ke dalam sel, triasil gliserol dipecah dulu menjadi asam lemak bebas dan gliserol oleh lipoprotein lipase.

Katabolisme adalah proses penguraian dan pembebasan dari zat-zat organik. Asam lemak adalah suatu senyawa yang terdiri atas panjang hidrokarbon dan gugus karboksilat yang terikat pada ujungnya. Asam lemak mempunyai dua peranan fisiologi yang penting, yaitu:

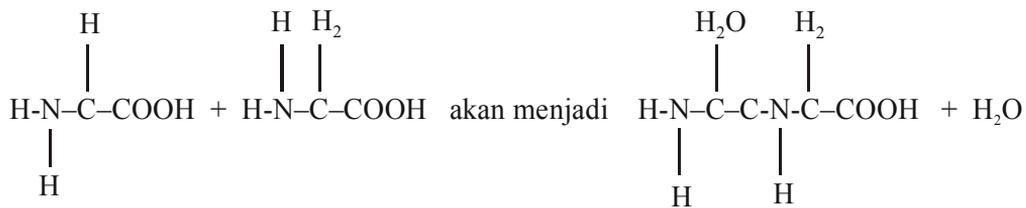
1. pembentuk fosfolipid dan glikolipid yang merupakan molekul *amfipotik* sebagai komponen membran biologi;
2. sebagai molekul sumber energi.

Proses metabolisme lemak sebagai komponen bahan makanan yang masuk ke dalam tubuh hewan, dimulai dengan proses pencernaannya di dalam usus oleh enzim. Asam lemak bersenyawa kembali dengan gliserol membentuk lemak yang kemudian diangkut oleh pembuluh getah bening. Selanjutnya, lemak disimpan di jaringan adiposa (jaringan lemak). Jika dibutuhkan, lemak akan diangkut ke hati dalam bentuk lesitin yang dihidrolisis oleh lipase menjadi asam lemak dan gliserol. Gliserol diaktifkan oleh ATP menjadi gliserol fosfat dan akhirnya mengalami oksidasi, seperti glukosa. Rantai karbon asam lemak diolah di dalam mitokondria sehingga dihasilkan asetil koenzim yang selanjutnya dapat masuk ke dalam Siklus Krebs.

D. Metabolisme Protein

Emil Fisher merupakan orang pertama yang berhasil menyusun molekul protein dengan cara merangkaikan 15 molekul glisin dengan 3 molekul leusin sehingga diperoleh suatu polipeptida. Molekul protein terdiri atas kesatuan-kesatuan kecil yang disebut asam amino. Asam amino yang satu dengan yang lainnya dihubungkan dengan suatu ikatan yang disebut ikatan peptida.

Ikatan peptida ini akan terwujud apabila gugusan karboksil dari asam amino yang satu bergabung dengan gugusan amino dari asam amino yang lain. Di dalam penggabungan molekul asam amino itu, akan terlepas satu molekul air. Hal tersebut dapat dilihat dalam reaksi berikut.



Rangkaian tersebut dapat diperpanjang ke kiri atau ke kanan menurut kehendak kita. Jika diperpanjang ke kanan harus menyambungkan gugusan NH₂, sedangkan jika ke kiri harus menyambungkan gugusan COOH. Dengan demikian, akan diperoleh molekul protein yang berat molekulnya. Penggabungan molekul-molekul asam amino itu dipengaruhi oleh kegiatan fosforilasi. Penyusunan protein yang merupakan bagian dari protoplasma berbentuk suatu rantai panjang, sedangkan molekul protein-protein yang lain mirip bola. Hal itu disebabkan oleh banyaknya lekukan pada rantai tersebut.

Pembongkaran protein menjadi asam amino memerlukan bantuan dari enzim-enzim protease dan air untuk mengadakan proses hidrolisis pada ikatan-ikatan peptida. Hidrolisis ini juga dapat terjadi, jika protein dipanasi, diberi basa, atau diberi asam. Dengan cara demikian, kita dapat mengenal macam-macam asam amino yang tersusun di dalam suatu protein. Namun, kita tidak dapat mengetahui urutan susunannya ketika masih berbentuk molekul protein yang utuh. Di samping itu, asam amino dapat dikelompokkan menjadi asam amino esensial dan asam amino nonesensial.

Asam amino esensial atau asam amino utama adalah asam amino yang sangat diperlukan oleh tubuh dan harus didatangkan dari luar tubuh manusia karena sel-sel tubuh manusia tidak dapat mensintesis sendiri. Asam amino esensial hanya dapat disintesis oleh sel-sel tumbuhan. Contoh asam amino esensial, yaitu leusin, lisin, histidin, arginin, valin, treonin, fenilalanin, triptofan, isoleusin, dan metionin.

Asam amino nonesensial adalah asam amino yang dapat disintesis sendiri oleh tubuh manusia. Contohnya: tirosin, glisin, alanin, dan prolin. Fungsi protein bagi tubuh sebagai berikut.

1. Membangun sel-sel yang rusak.
2. Sumber energi.

INFO
<p>Jonz Jakob Berzelius (1779) ialah ahli kimia asal Swedia sebagai pencipta sebutan "protein" pada 1840. Kata "protein" diambil dari bahasa Yunani <i>proteias</i> yang artinya <i>paling utama</i>.</p>

3. Pengatur asam basa darah.
4. Keseimbangan cairan tubuh.
5. Pembentuk antibodi.

Konsentrasi normal asam amino dalam darah berkisar antara 35–65 mg. Asam amino merupakan asam yang relatif kuat, sehingga di dalam darah dalam keadaan terionisasi. Konsentrasi beberapa asam amino dalam darah diatur dalam batas tertentu oleh sintesis selektif pada bagian sel dan ekskresi selektif oleh ginjal. Hasil akhir pencernaan protein dalam saluran pencernaan hampir seluruhnya asam amino dan hanya kadang-kadang polipeptida atau molekul protein diabsorpsi. Setelah itu asam amino dalam darah meningkat, tetapi kenaikannya hanya beberapa mg. Hal itu dikarenakan sebagai berikut.

1. Pencernaan dan absorpsi protein biasanya berlangsung lebih dari 2–3 jam, sehingga hanya sejumlah kecil asam amino diabsorpsi pada saat itu.
2. Setelah masuk ke dalam darah, asam amino yang berlebihan diabsorpsi dalam waktu 5–10 menit oleh sel di seluruh tubuh. Oleh karena itu, hampir tidak pernah ada asam amino yang konsentrasinya tinggi dalam darah. Namun, *turn over rate* asam amino demikian cepat sehingga banyak protein (dalam gram) dapat dibawa dari satu bagian tubuh ke bagian lain dalam bentuk asam amino setiap jamnya.

Pada hakikatnya semua molekul asam amino terlalu besar untuk berdifusi melalui pori membran sel. Mungkin sejumlah kecil dapat larut dalam matriks sel dan berdifusi ke dalam sel dengan cara lain. Namun, sejumlah besar asam amino dapat ditranspor melalui membran hanya oleh transpor aktif yang menggunakan mekanisme karier.

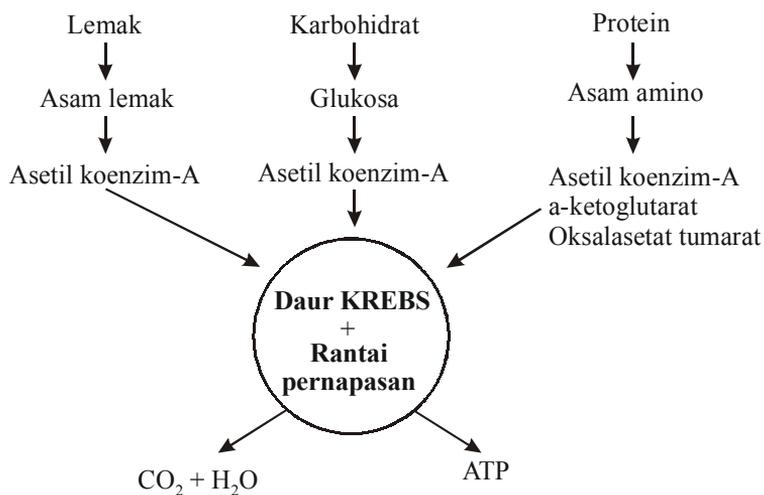
Salah satu fungsi transpor karier asam amino adalah untuk mencegah kehilangan asam amino dalam urine. Semua asam amino dapat ditranspor secara aktif melalui *epithel tubulus proximalis* yang mengeluarkan asam amino dari *filtrat glomerulus* dan mengembalikannya ke darah. Namun, pada tubulus ginjal terdapat batas kecepatan di mana setiap jenis asam amino dapat ditranspor. Berdasarkan alasan ini, apabila sejenis konsentrasi asam amino meningkat terlalu tinggi dalam plasma dan *filtrat glomerulus*, maka kelebihan yang dapat direabsorpsi secara aktif hilang dan masuk ke dalam urine.

Pada orang normal, kehilangan asam amino dalam urine setiap hari tidak berarti. Jadi, hakikatnya semua asam amino yang diabsorpsi dari saluran pencernaan digunakan oleh sel. Segera setelah asam amino masuk ke dalam sel, di bawah pengaruh enzim-enzim intrasel akan dikongjugasi menjadi protein sel.

Oleh karena itu, konsentrasi asam amino di dalam sel selalu rendah. Penyimpanan asam amino dalam jumlah besar terjadi di dalam sel dalam bentuk protein. Akan tetapi, banyak protein intrasel dapat dengan mudah dipecahkan kembali menjadi asam amino di bawah pengaruh enzim-enzim pencernaan lisosom intrasel. Asam amino ini selanjutnya dapat ditranspor kembali ke luar sel masuk ke dalam darah. Beberapa jaringan tubuh, seperti hati, ginjal, dan mukosa usus berperan untuk menyimpan protein dalam jumlah yang besar.

E. Hubungan Metabolisme Karbohidrat dengan Metabolisme Lemak dan Protein

Hasil pencernaan lemak (asam lemak dan gliserol) dan protein (asam amino) masuk ke dalam jalur respirasi sel pada titik-titik yang diperlihatkan. Beberapa titik yang sama bekerja untuk mengalirkan kelebihan zat intermedier ke dalam jalur anabolisme ke sintesis lemak dan asam amino tertentu.



Sumber: Dok. Penerbit

▲ Gambar 2.4 Diagram yang menunjukkan Siklus Krebs sebagai penghasil energi

Daur Krebs merupakan jalur metabolisme yang utama dari berbagai hasil metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein. Hasil dari Siklus Krebs adalah energi ATP, CO₂, dan H₂O. Hal itu terjadi pada makhluk hidup aerob, sedangkan pada makhluk hidup anaerob tidak menggunakan metabolisme Daurl Krebs sebagai penghasil energinya.

Glikolisis anaerob adalah proses penguraian karbohidrat menjadi laktat melalui piruvat tanpa melibatkan O₂. Fermentasi alkohol adalah proses oksidasi glukosa yang menghasilkan etanol dan CO₂.

RANGKUMAN

1. Anabolisme adalah proses-proses penyusunan energi kimia melalui sintesis senyawa-senyawa organik.
2. Katabolisme adalah proses penguraian dan pembebasan energi dari senyawa-senyawa organik melalui proses respirasi.
3. Enzim adalah biokatalisator organik yang dihasilkan organisme hidup di dalam protoplasma. Enzim terdiri atas protein atau suatu senyawa yang berikatan dengan protein.
4. Apoenzim merupakan bagian protein dari enzim, bersifat tidak tahan panas, dan berfungsi menentukan kekhususan dari enzim.
5. Koenzim merupakan gugus prostetik apabila terikat sangat erat pada apoenzim dan berfungsi untuk menentukan sifat dari reaksinya.
6. Faktor-faktor yang memengaruhi enzim dan aktivitasnya, antara lain temperatur atau suhu, air, pH, hasil akhir, substrat, dan zat-zat penghambat.
7. Contoh-contoh enzim dalam proses metabolisme, antara lain enzim katalase, oksidase, hidrase, dehidrogenase, transphosforilase, karboksilase, desmolase, dan periksodase.
8. Karbohidrat merupakan senyawa yang tersusun atas unsur-unsur C, H, dan O.
9. Macam-macam proses metabolisme karbohidrat, yaitu glikogenesis, glikolisis, dan Daur Krebs.
10. Asam lemak adalah suatu senyawa yang terdiri atas rantai panjang hidrokarbon dan gugus karboksilat yang terikat pada ujungnya.
11. Peranan fisiologis asam lemak pembentuk fosfolipid dan glikolipid yang merupakan molekul *amfipotik* sebagai komponen membran biologi, dan sebagai molekul sumber energi.
12. Molekul protein terdiri atas kesatuan-kesatuan kecil yang disebut asam amino. Asam amino ada dua macam, yaitu asam amino esensial dan asam amino nonesensial.
13. Asam amino esensial atau asam amino utama adalah asam amino yang sangat diperlukan oleh tubuh dan harus didatangkan dari luar tubuh manusia karena sel-sel tubuh manusia tidak dapat mensintesis sendiri. Contoh: leusin, lisin, histidin, arginin, valin, treonin, fenilalanin, triptofan, isoleusin, dan metionin.
14. Asam amino nonesensial adalah asam amino yang dapat disintesis sendiri oleh tubuh manusia. Contoh: tirosin, glisin, alanin, dan prolin.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai proses metabolisme organisme, tentu kalian dapat menjelaskan mengenai hal-hal berikut: 1) enzim dan fungsinya; 2) metabolisme karbohidrat; 3) metabolisme lipida (lemak); 4) protein; 5) hubungan metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein.

Apabila ada hal-hal yang menurut kalian belum bisa menguasainya, bacalah kembali materi di depan dengan cermat. Carilah referensi-referensi pendukung dan mintalah bimbingan guru.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Proses penyusunan energi kimia melalui sintesis senyawa-senyawa organik disebut
 - a. katabolisme
 - b. metabolisme
 - c. anabolisme
 - d. kemosintesis
 - e. fotosintesis
2. Proses untuk mengubah zat beracun menjadi zat tidak beracun dan dapat dikeluarkan dari tubuh adalah proses
 - a. fotosintesis
 - b. kemosintesis
 - c. detoksifikasi
 - d. katabolisme
 - e. metabolisme
3. Perhatikan pernyataan-pertanyaan berikut.
 - 1) Anabolisme merupakan bagian dari proses metabolisme.
 - 2) Katabolisme merupakan bagian dari proses metabolisme.
 - 3) Enzim berfungsi mempercepat reaksi kimia.
 - 4) Enzim berfungsi memperlambat reaksi kimia.Pernyataan di atas yang benar ditunjukkan oleh nomor
 - a. 1, 2, dan 3
 - b. 1 dan 3
 - c. 2 dan 4
 - d. 1, 2, 3, dan 4
4. Gabungan dua enzim yang menyebabkan enzim menjadi aktif disebut
 - a. holoenzim
 - b. apoenzim
 - c. koenzim
 - d. sintesis
 - e. zimogen
5. Berikut ini yang *tidak* memengaruhi aktivitas enzim adalah
 - a. substrat
 - b. katalisator
 - c. H₂O
 - d. suhu
 - e. pH
6. Enzim yang berfungsi mengubah hidrogen peroksida menjadi air dan oksigen adalah
 - a. oksidase
 - b. hidrase
 - c. dehidrogenase
 - d. katalase
 - e. peroksida
7. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut.
 - 1) Enzim desmolase berfungsi membantu penggabungan ikatan karbon.
 - 2) Untuk memindahkan hidrogen dari suatu zat ke zat yang lain diperlukan enzim hidrase.
 - 3) Karbohidrat tersusun atas unsur-unsur C, H, dan O.
 - 4) Penguraian karbohidrat menjadi piruvat disebut glikogenesis.Pernyataan di atas yang benar ditunjukkan oleh nomor
 - a. 1, 2, dan 3
 - b. 1 dan 3
 - c. 2 dan 4
 - d. 1, 2, 3, dan 4
8. Hormon yang berfungsi menurunkan kadar glukosa dalam darah adalah
 - a. adrenalin
 - b. tripsin
 - c. linin
 - d. glutamat
 - e. insulin

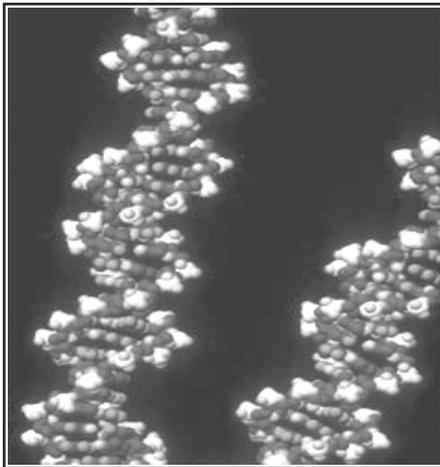
9. Metabolisme karbohidrat yang berfungsi untuk membentuk glikogen dari glukosa disebut
 - a. glikosis
 - b. glikogenesis
 - c. glukosuria
 - d. hipoglisemia
 - e. hiperglisemia
10. Pada metabolisme glukosa, proses penguraian karbohidrat menjadi laktat tanpa melibatkan O_2 terjadi melalui peristiwa
 - a. fermentasi
 - b. glikolisis
 - c. glikolisis anaerob
 - d. respirasi
 - e. bio-energi
11. Glikolisis adalah proses penguraian karbohidrat menjadi piruvat. Berikut ini yang *bukan* merupakan sifat-sifat peristiwa glikolisis adalah
 - a. oksidasi glikogen/glukosa menjadi piruvat dan laktat
 - b. dapat berlangsung secara aerob dan anaerob
 - c. diperlukan energi dan enzim
 - d. terjadi sintesis ATP dari ADP + Pi
 - e. terjadi penguraian karbohidrat, etanol, dan CO_2
12. Pembentukan glukosa dari piruvat (kebalikan glikolisis) disebut
 - a. glukoneogenesis
 - b. fermentasi
 - c. glikogenesis
 - d. glikolisis anaerob
 - e. Daur Krebs
13. Di dalam peristiwa Daur Krebs, satu molekul asetil co-A akan menghasilkan
 - a. 10 ATP
 - b. 12 ATP
 - c. 13 ATP
 - d. 14 ATP
 - e. 15 ATP
14. Salah satu senyawa hasil metabolisme protein adalah NH_3 . Zat ini bersifat racun dan akan diekskresikan dalam bentuk urea. Pembentukan urea ini terjadi di dalam organ
 - a. ginjal
 - b. kantong urine
 - c. usus besar
 - d. vesica urinaria
 - e. hati
15. Berikut ini yang *bukan* termasuk peranan lemak adalah
 - a. sebagai komponen dalam proses pengangkutan melalui membran
 - b. sebagai lapisan pelindung pada beberapa jasad
 - c. sebagai energi cadangan
 - d. sebagai pelarut vitamin B dan C
 - e. sebagai komponen permukaan sel yang berperan dalam proses kekebalan jaringan

B. Kerjakanlah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

1. Apa yang dimaksud anabolisme dan katabolisme?
2. Sebutkan bagian-bagian dari enzim beserta sifat dan fungsinya.
3. Buatlah skema Daur Krebs.
4. Sebutkan peranan fisiologis asam lemak bagi tubuh.
5. Sebutkan hubungan metabolisme lemak, karbohidrat, dan protein sebagai jalur metabolisme menuju Daur Krebs.

BAB 3

GENETIKA



Sumber: *Encarta Encyclopedia*

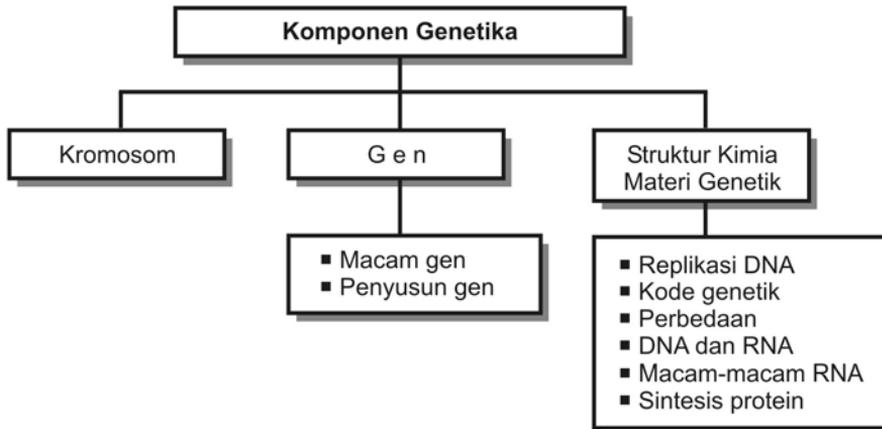
Pewarisan sifat atau karakteristik dari satu generasi ke generasi selanjutnya berhubungan dengan kromosom. Setiap kromosom tersusun atas gen yang mengkode penampilan dan susunan suatu organisme. Setiap kromosom dibentuk oleh molekul DNA dan protein. Molekul DNA, ditunjukkan gambar di samping, merupakan adalah rantai dari banyak gen yang saling berhubungan.

Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

- dapat menjelaskan tentang kromosom;
- dapat menjelaskan tentang gen;
- dapat menjelaskan struktur kimia materi genetik.

Kata-kata kunci

- genetika
- kromosom
- gen
- DNA
- RNA

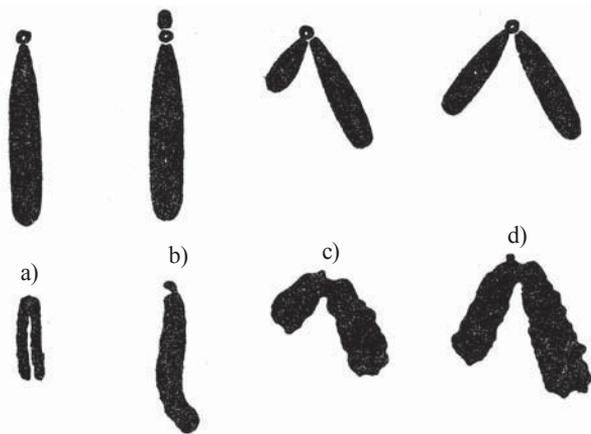


Pada perkembangan generatif makhluk hidup, sifat-sifat dan karakteristik dari kedua induk diwariskan kepada keturunannya. Sifat-sifat dan karakteristik tersebut dikuasai dan dikendalikan oleh faktor-faktor genetik. Faktor-faktor genetik yang menguasai dan mengendalikan sifat-sifat tersebut berada di dalam kromosom, tepatnya pada gen. Gen terdapat dalam lokus yang berupa substansi protein dan tersusun oleh DNA (*Deoxyiribo Nucleid Acid*) dengan susunan yang kompleks.

A. Kromosom

Menurut Wilhelm Roux (1883), kromosom adalah pembawa faktor keturunan. Eksperimen T. Boveri dan Ws. Sutton (1902) membuktikan bahwa kromosom membawa material genetik. Ukuran dan bentuk kromosom bervariasi pada setiap spesies makhluk hidup. Panjang kromosom antara 0,2–50 mikron dengan diameter antara 0,2–20 mikron. Bentuk kromosom pada setiap fase pertumbuhan dalam pembelahan mitosis senantiasa berubah-ubah. Setiap kromosom terdiri atas sentromer dan lengan. Berdasarkan letak sentromer dan lengan, bentuk kromosom dibedakan menjadi empat macam sebagai berikut.

1. Bentuk *telosentrik*, yaitu jika letak sentromer berada di ujung.
2. Bentuk *akrosentrik*, yaitu jika letak sentromer mendekati ujung.
3. Bentuk *submetasentrik*, yaitu jika letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J.
4. Bentuk *metasentrik*, yaitu jika letak sentromer berada di tengah sehingga panjang masing-masing lengan sama.



Sumber: *Biologi Sel*, 1986

▲ **Gambar 3.1** a) Telosentrik, b) Akrosentrik, c) Submetasentrik, dan d) Metasentrik

Sentromer (kinetokor) merupakan bagian kepala kromosom yang berfungsi mengatur pergerakan kromosom pada waktu pembelahan mitosis. Bagian lengan kromosom terdiri atas selaput benang-benang kromosom atau benang nukleosom. Pada nukleosom inilah terdapat gen-gen yang dibangun oleh molekul DNA. Pada setiap spesies, makhluk hidup yang berinti (*eukarion*) mengandung sejumlah kromosom yang tetap.

Susunan dan jumlah kromosom dari setiap individu bervariasi. Berikut gambaran variasi jumlah kromosom pada beberapa organisme.

Tabel 3.1 Jumlah kromosom pada beberapa organisme

No.	Nama organisme	Jumlah kromosom
1.	<i>Drosophila melanogaster</i> (lalat buah)	8 ($n = 4$)
2.	<i>Lumbricus terrestris</i> (cacing tanah)	36 ($n = 18$)
3.	<i>Felis domesticus</i> (kucing)	38 ($n = 19$)
4.	<i>Mus musculus</i> (tikus)	40 ($n = 20$)
5.	<i>Pongo pygmaeus</i> (kera)	42 ($n = 21$)
6.	<i>Cavia coubaya</i> (marmut)	64 ($n = 32$)
7.	<i>Columba livia</i> (merpati)	80 ($n = 40$)
8.	<i>Oryctologus cuniculus</i> (kelinci)	44 ($n = 22$)
9.	<i>Rana pipiens</i> (katak)	26 ($n = 13$)
10.	<i>Apis mellifica</i> (lebah madu)	32 dan 16 ($n = 16$ dan 8)
11.	<i>Culex pipiens</i> (nyamuk)	6 ($n = 3$)
12.	<i>Musca domestica</i> (lalat rumah)	12 ($n = 6$)
13.	<i>Homo sapiens</i> (manusia)	46 ($n = 23$)
14.	<i>Brassica oleracea</i> (kubis)	18 ($n = 9$)
15.	<i>Solanum lycopersicum</i> (tomat)	24 ($n = 12$)
16.	<i>Solanum tuberosum</i> (kentang)	48 ($n = 24$)
17.	<i>Zea mays</i> (jagung)	20 ($n = 10$)
18.	<i>Oryza sativa</i> (padi)	24 ($n = 12$)
19.	<i>Nicotiana tobacum</i> (tembakau)	48 ($n = 24$)
20.	<i>Carica papaya</i> (pepaya)	18 ($n = 9$)
21.	<i>Helianthus annus</i> (bunga matahari)	34 ($n = 17$)
22.	<i>Saccharum officinarum</i> (tebu)	86 ($n = 43$)

Dirangkum dari berbagai sumber

Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan bahwa jumlah kromosom tidak ada hubungannya dengan tingkat atau derajat individu. Makhluk hidup yang diploid ($2n$) akan menghasilkan sel yang haploid (n) pada sel kelaminnya. Hal ini mengakibatkan zigot yang terbentuk pada peristiwa fertilisasi (pembuahan) bersifat diploid.

B. Gen

Istilah gen dikemukakan oleh W. Johannsen (1898) untuk mengganti istilah faktor, elemen, atau determinan pada zaman Mendell. Menurut Morgan, gen adalah suatu zarah yang kompak dan menempati suatu lokus pada kromosom yang mengandung satuan informasi genetika dan mengatur sifat menurun tertentu. Jadi, fungsi gen sebagai berikut.

1. Mengatur pertumbuhan/perkembangan dan metabolisme individu.
2. Menyampaikan informasi genetik dari generasi ke generasi berikutnya.

Tempat gen dalam kromosom yang homolog (kromosom berada dalam pasangan 2) disebut lokus. Sederetan lokus berisi gen yang sealela. Secara kimia gen dibangun oleh DNA. DNA dibentuk oleh tiga macam molekul, yaitu gula pentosa (*deoksiribosa*), asam fosfat, dan basa nitrogen. Basa nitrogen terdiri atas.

1. Basa pirimidin, yaitu basa yang terdiri atas timin (T) dan sitosin (S).
2. Basa purin, yaitu basa yang terdiri atas guanin (G) dan adenin (A).

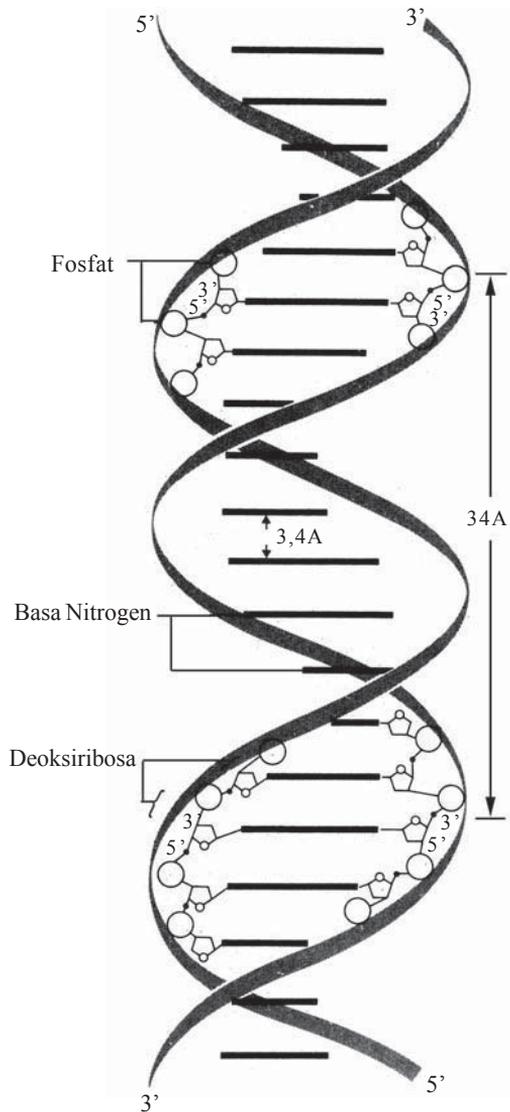
Menurut Watson dan Cricks (1953), berdasarkan analisis foto defraksi sinar X, model DNA digambarkan sebagai tangga tali rangkap yang terpilin yang disebut double helix. Deretan gugusan gula dan asam fosfat merupakan ibu tangga, sedangkan dua dari empat basa nitrogen sebagai anak tangga.

Basa-basa nitrogen yang berpasangan senantiasa tetap, yaitu:

1. guanin dengan sitosin (G – S) atau
2. adenin dengan timin (A-T)

Baik DNA maupun RNA adalah asam nukleat yang penting dalam hereditas. Pada setiap DNA, purin dan pirimidin terikat pada gula deoksiribosa dan sebuah fosfat. Unit ini disebut nukleotida. Macam-macam nukleotida sebagai berikut.

1. Adenin nukleotida: adenin-deoksiribosa-fosfat
2. Guanin nukleotida: guanin-deoksiribosa-fosfat
3. Sitosin nukleotida: sitosin-deoksiribosa-fosfat
4. Timin nukleotida: timin-deoksiribosa-fosfat



Sumber: *Biologi*, 1992

▲ Gambar 3.2 Model rumus bangun DNA menurut Watson dan Cricks

Berdasarkan letaknya, gen dibedakan menjadi dua macam sebagai berikut.

1. Kromogen: gen yang terletak pada kromosom dalam inti.
2. Plasmagen: gen yang terletak pada plasma.

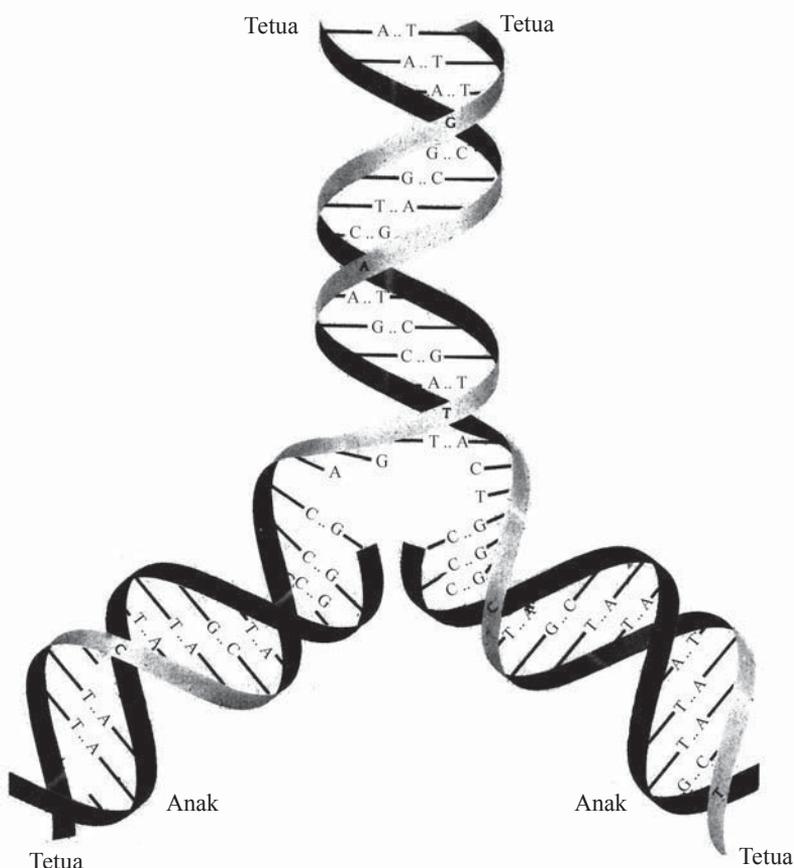
C. Struktur Kimia Materi Genetik

Kromosom terdiri atas DNA dan protein. Informasi genetik yang mengatur aktivitas sel terletak dalam struktur DNA-nya dan bukan pada proteinnya. Makin banyak jumlah kromosom, makin besar kandungan DNA-nya. DNA terdiri atas rangkaian beberapa nukleotida. Nukleotida mengandung nukleosida yang terikat dengan asam fosfat, sedang nukleosida terdiri atas basa nitrogen.

1. Replikasi DNA

DNA mempunyai kemampuan heterokatalik, yaitu mampu membentuk molekul kimia lain dari sebagian rantainya dan autokatalik, yaitu mampu memperbanyak diri.

INFO
Untuk mengetahui informasi genetik suatu organisme potongan DNA dari sampel darah diuji dengan <i>Polymerase Chain Reaction (PCR)</i> . Di bidang kedokteran, metode ini sering dipakai untuk mengidentifikasi penyakit genetik, virus, bakteri, dan kanker.



Sumber : *Biologi*, 1992

▲ **Gambar 3.3** Model replikasi DNA/kromosom menurut Watson dan Cricks

Ketika terjadi pembelahan mitosis, pita kembar yang berpilin pada DNA akan dilepas sebagian oleh enzim DNA polimerase pada ikatan hidrogen antara purin dan pirimidin. Ikatan tersebut lemah, sehingga mudah pecah dibandingkan dengan ikatan kovalen antara fosfat dan deoksiribosa. Setelah ikatan masing-masing berjauhan, selanjutnya akan membentuk pasangan baru. Sebagai contoh, rantai A mendapat pasangan baru B', sedangkan rantai B mendapat pasangan baru A' maka terbentuk dua DNA yang masing-masing memiliki rantai AB' dan A'B.

2. Kode Genetik

Pada struktur DNA, rangkaian purin dan pirimidin berkelompok-kelompok. Masing-masing kelompok terdiri atas tiga basa nitrogen (triplet) yang disebut *kodogen* (kode genetik). Kodogen tertentu menentukan jenis asam amino yang harus dirangkai. Gambaran rangkaian tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Dalam tubuh manusia terdapat 20 macam asam amino dengan kode-kode genetiknya, seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 3.2. Jenis-jenis asam amino dan kodogennya

No.	Nama asam amino	Triplet (kodogen)
1.	Alanin	GCA, GCG, GCC, GCU
2.	Arginin	CGA, CGG, CGC, CGU
3.	Asparagin	AAC, AAU
4.	Asam aspartat	GAC, GAU
5.	Sistein	UGC, UGU
6.	Asam glutamat	GAA, GAG
7.	Glutamin	CAA, CAG
8.	Glisin	GGC, GGU
9.	Histidin	CAC, CAU
10.	Isoleusin	AUC, AUU
11.	Leusin	CUA, CUG, CUC, CUU, UUA, UUG
12.	Lisin	AAA, AAG
13.	Metionin	AUA, AUG
14.	Fenilalanin	UUC, UUU
15.	Prolin	CCA, CCG, CCC, CCU
16.	Serin	UCA, UCG, UCC, UCU
17.	Treonin	ACA, ACG, ACC, ACU
18.	Triptopan	UGA, UGG
19.	Tirosin	UAC, UAU
20.	Valin	GUA, GUG, GUC, GUU

Dirangkum dari berbagai sumber

3. Perbedaan DNA dan RNA

Perbedaan antara DNA dan RNA dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.3. Perbedaan DNA dengan RNA

DNA (Deoksiribo Nucleid Acid)	RNA (Ribosa Nucleid Acid)
1. Hanya terdapat dalam kromosom (nukleus).	1. Selain di nukleus, juga terdapat di sitoplasma terutama di dalam ribosom.
2. Berbentuk rantai <i>doubel helix</i> .	2. Berbentuk rantai tunggal.
3. Kadar tetap dan fungsinya mengendalikan faktor genetik dan sintesis protein.	3. Kadarnya tidak tetap dan fungsinya sebagai sintesis protein.
4. Basa nitrogen terdiri atas purin (adenin (A) dan guanin (G)) dan pirimidin (sitosin (S) dan timin (T)).	4. Basa nitrogennya terdiri atas purin: adenin (A) dan guanin (G) dan pirimidin: sitosin (S) dan urasil (U).
5. Menggunakan deoksiribosa sebagai komponen gulanya.	5. Menggunakan ribosa sebagai komponen gulanya.

Dirangkum dari berbagai sumber

4. Macam-Macam RNA

RNA meliputi RNA duta (RNA-d), RNA transfer (RNA-t), dan RNA ribosom (RNA-r).

a. RNA duta (RNA-d)

RNA-d berfungsi membawa informasi genetik. RNA-d bertindak sebagai pola cetakan untuk membentuk polipeptida dengan mengatur urutan asam amino dari polipeptida yang disusun. RNA-d disebut juga **kodon**, karena bertugas membawa kode-kode genetik (berupa urutan basa nitrogen) dan sebagai cetakan untuk mensintesis protein.

b. RNA transfer (RNA-t)

RNA-t berfungsi menerjemahkan kodon dari RNA-d dan sebagai pengikat asam amino yang akan disusun menjadi protein di dalam ribosom. Pada RNA-t terdapat bagian yang berfungsi sebagai antikodon yang berhubungan dengan kodon dan bagian lain yang berfungsi mengikat asam amino.

c. RNA ribosom (RNA-r)

RNA-r terdapat di dalam ribosom dan dihasilkan oleh gen khusus yang terletak di kromatin pada nukleus.

5. Mekanisme sintesis protein

Proses sintesis protein melibatkan DNA, RNA-d, RNA-t, dan RNA-r. Sintesis protein dibangun di dalam ribosom dengan asam amino yang terdapat di dalam plasma sebagai

bahannya. Sintesis protein terjadi melalui dua tahap sebagai berikut.

a. *Tahap transkripsi*

Proses pembentukan RNA oleh DNA disebut transkripsi. Pada proses transkripsi RNA, transfer informasi genetika dapat berlangsung dari DNA ke RNA. Rantai ganda DNA dibuka oleh enzim polimerase RNA, sekaligus memacu penggabungan *ribonukleosida trifosfat* pada rantai tunggal DNA. Melekatnya enzim polimerase RNA dan DNA tersebut akan menyebabkan terbukanya sebagian kecil dari rantai DNA yang panjang. Akibatnya, basa-basa nitrogen yang telah bebas pada rantai tunggal DNA akan bekerja sebagai cetakan (*templet*) untuk terbentuknya rantai RNA.

Ribonukleosida trifosfat yang telah ada yaitu ATP, GTP, STP, dan UTP akan terikat pada basa nitrogen yang sesuai dari rantai DNA. Dalam hal ini, ATP akan menempel pada basa nitrogen timin, GTP akan menempel pada basa nitrogen sitosin, STP pada basa nitrogen guanin, dan UTP pada basa nitrogen adenin. Dua buah fosfat dari masing-masing ribonukleosida trifosfat akan menjadi ribonukleosida monofosfat. Dengan bantuan enzim polimerase RNA, ribonukleosida monofosfat akan bergabung membentuk rantai ribonukleotida, yang selanjutnya membentuk rantai tunggal RNA. Setelah beberapa saat pembentukan, RNA melepaskan diri dari cetakan DNA. Dengan terlepasnya rantai RNA, maka ikatan hidrogen pada rantai DNA yang telah terputus akan bergabung lagi sehingga terbentuk lagi rantai ganda DNA.

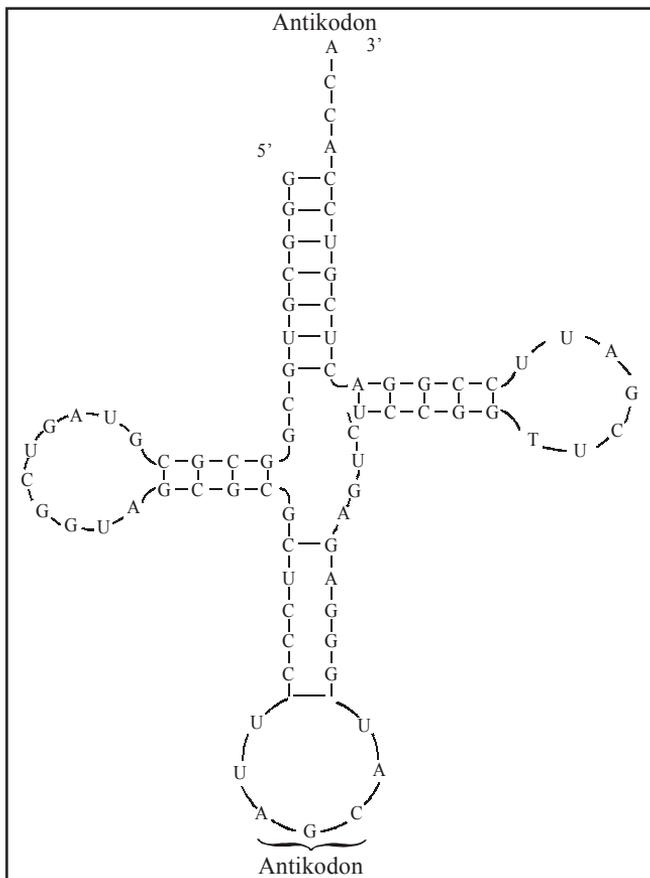
Sintesis RNA dimulai dengan basa adenin atau guanin, dalam hal ini ditentukan oleh basa nitrogen yang terdapat pada rantai DNA cetakan. Hasil rantai tunggal RNA ini adalah RNA-d yang segera keluar dari nukleus sel menuju ribosom pada sitoplasma. Satu molekul RNA-d membuat untaian ribosom untuk mensintesis polipeptida.

b. *Tahap translasi*

Setelah pada tahap transkripsi RNA-d melekat ke ribosom maka RNA-t aktif mengikat asam amino yang larut dalam plasma. Tiap RNA-t mengikat asam amino tertentu, selanjutnya dibawa ke ribosom. Ujung RNA-t berkaitan dengan RNA-d melalui basa nitrogen pasangannya. Basa nitrogen RNA-d yang setangkup dengan basa nitrogen RNA-d disebut *antikodon*.

Skema perjalanan sintesis protein sebagai berikut.

- 1) DNA-t mencetak RNA-d untuk membawa informasi pembentukan protein berdasar urutan basa nitrogennya.
- 2) RNA-d keluar dari inti menuju ribosom dalam plasma.
- 3) RNA-t menuju ke ribosom membawa asam amino yang sesuai dengan kodon yang dibawa RNA-d. RNA-t bergabung dengan RNA-d sesuai dengan pasangan basa nitrogen.
- 4) Asam-asam amino yang terjadi berjajar-jajar dengan urutan yang sesuai kode. Asam amino di dalam ribosom akan membentuk suatu rangkaian yang disebut polipeptida. Kumpulan polipeptida disebut protein.



Sumber: *Biologi 1*, 1992

▲ Gambar 3.4 Struktur RNA-t

RANGKUMAN

1. Kromosom adalah pembawa faktor keturunan.
2. Empat macam bentuk kromosom: telosentrik, akrosentrik, submetasentrik, dan metasentrik.
3. Gen adalah suatu zarah yang kompak dan menempati suatu lokus pada kromosom yang mengandung satuan informasi genetika dan mengatur sifat menurun tertentu.
4. Fungsi gen adalah mengatur pertumbuhan/perkembangan dan metabolisme individu; serta menyampaikan informasi genetik dari generasi ke generasi berikutnya.
5. DNA dibentuk oleh tiga macam molekul, yaitu gula pentosa (deoksiribosa), asam fosfat, dan basa nitrogen.
6. Basa nitrogen terdiri atas: basa pirimidin (terdiri atas timin dan sitosin) dan basa purin (terdiri atas guanin dan adenin).
7. DNA mempunyai kemampuan heterokatalik (mampu membentuk molekul kimia lain dari sebagian rantainya), dan autokatalik (mampu memperbanyak diri).

8. Pada struktur DNA, rangkaian purin dan pirimidin berkelompok-kelompok. Masing-masing kelompok terdiri atas tiga basa nitrogen (triplet) yang disebut **kodogen** (kode genetik).
9. Macam-macam RNA yaitu RNA-d, RNA-t, dan RNA-r.
10. Tahap sintesis protein: tahap transkripsi dan tahap translasi.
11. Proses pembentukan RNA oleh DNA disebut **transkripsi**.
12. Proses translasi merupakan peristiwa melekatnya RNA-d ke ribosom sehingga RNA-t aktif mengikat asam amino yang larut dalam plasma.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai Komponen Genetika, tentu kalian sudah memiliki kemampuan untuk menjelaskan mengenai: kromosom, gen, dan struktur kimia materi genetik. Apabila kalian belum sepenuhnya memahami materi tersebut, ulangilah mempelajari materi tersebut dengan cermat. Carilah referensi-referensi dari buku, internet, maupun keterangan guru. Diskusikan mengenai hal-hal yang belum kamu pahami dengan teman-teman dan gurumu.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Ahli genetika yang membuktikan melalui eksperimen bahwa kromosom membawa material genetik adalah
 - a. Morgan
 - b. Mendell
 - c. Wilhelm Roux
 - d. Spallanzani
 - e. T. Boveri dan Sutton
2. Bentuk kromosom dengan letak sentromer agak jauh dari ujung kromosom dan biasanya membentuk huruf L atau J adalah bentuk
 - a. telosentrik
 - b. akrosentrik
 - c. submetasentrik
 - d. metasentrik
 - e. subakrosentrik
3. Lalat buah sering digunakan para ahli genetika dalam penyelidikan. Berikut ini yang *bukan* termasuk sifat yang dimiliki lalat buah adalah
 - a. mudah diperoleh
 - b. hidup dipengaruhi musim
 - c. bertelur banyak
 - d. jumlah kromosom sedikit
 - e. mudah dipelihara
4. Kromosom berada dalam pasangan-pasangan (kromosom homolog). Gen-gen yang terletak pada lokus yang sama pada kromosom tersebut adalah
 - a. duplikasi
 - b. euploid
 - c. determinan
 - d. mutasi
 - e. alel
5. Berikut ini yang *bukan* basa nitrogen pembentuk DNA adalah
 - a. urasil
 - b. timin
 - c. sitosin
 - d. guanin
 - e. adenin

6. Pada setiap DNA, purin dan pirimidin terikat pada gula deoksiribosa dan sebuah fosfat, unit ini disebut
 - a. nukleolus
 - b. nukleosida
 - c. nukleotida
 - d. nukleus
 - e. gula pentosa
7. Kemampuan DNA memperbanyak diri disebut kemampuan
 - a. heterokatalik
 - b. autokatalik
 - c. alokatalik
 - d. katalisator
 - e. eukatalik
8. Pada makhluk hidup gen diwariskan melalui
 - a. ribosom
 - b. nukleolus
 - c. nukleus
 - d. kromosom
 - e. nukleoplasma
9. Berikut ini yang *bukan* termasuk karakteristik RNA adalah
 - a. berbentuk rantai tunggal
 - b. basa nitrogen terdiri atas purin (adenin dan guanin) dan pirimidin (sitosin dan urasil)
 - c. menggunakan ribosa sebagai gulanya
 - d. kadarnya tidak tetap
 - e. hanya terdapat pada nukleus
10. RNA yang juga bertindak sebagai pola cetakan untuk membentuk polipeptida dengan mengatur urutan asam amino dari polipeptida yang disusun adalah
 - a. RNA-d
 - b. RNA-t
 - c. RNA-m
 - d. RNA-r
 - e. RNA-ase
11. Proses pembentukan RNA oleh DNA disebut
 - a. translokasi
 - b. translasi
 - c. transkripsi
 - d. transformasi
 - e. transmisi
12. RNA akan membentuk cetakan untuk sintesis protein setelah menerima kode genetik dari DNA. Tempat berlangsungnya sintesis protein adalah
 - a. ribosom dalam sitoplasma
 - b. kromosom
 - c. gen dalam lokus
 - d. nukleolus
 - e. nukleus
13. Jika terjemahan kode genetik dalam sintesis protein yang dihasilkan oleh RNA-t adalah AAU UGU AAA, informasi genetik yang dirancang dalam DNA adalah
 - a. TTA ASA TTT
 - b. AAT TGT AAA
 - c. UUA AGA TTT
 - d. AAU AGA UUU
 - e. UUT UGU UUU
14. Berikut ini yang *bukan* bentuk kromosom adalah
 - a. telosentrik
 - b. sentrometrik
 - c. akrosentrik
 - d. submetasentrik
 - e. metasentrik
15. Dalam sintesis protein penyimpangan sering terjadi yang dapat menimbulkan perubahan sifat. Hal ini disebabkan
 - a. DNA salah memberi kode
 - b. RNA-r salah menerjemahkan kode
 - c. RNA-t salah menerjemahkan kode
 - d. RNA-d salah menerjemahkan kode
 - e. RNA-t salah membawa kode

B. Kerjakanlah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

1. Jelaskan perbedaan nukleotida dan nukleosida pada DNA.
2. Jelaskan peristiwa transkripsi dan translasi.
3. Sebutkan perbedaan-perbedaan DNA dan RNA.
4. Sebutkan macam-macam kromosom dan gambarkan masing-masing.
5. Sebutkan dan jelaskan macam-macam gen berdasarkan letaknya.

BAB 4

POLA-POLA HEREDITAS



Sumber: *Jendela Iptek*, 2001

Dalam suatu garis keturunan sering kita jumpai adanya persamaan dan perbedaan induk dengan keturunannya. Namun tidak semua keturunan yang dihasilkan dari induk yang sama mempunyai ketampakan yang sama pula. Anak-anak kucing, seperti gambar di samping, masing-masing mempunyai ciri fisik yang khas. Persamaan dan perbedaan ciri fisik anak-anak kucing disebabkan oleh gen-gen pembawa sifat dari induknya.

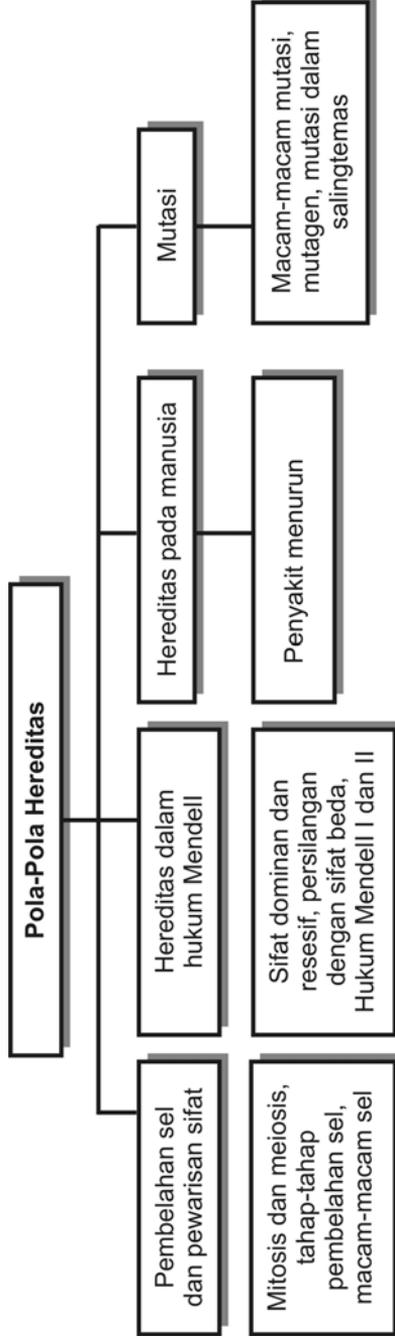
Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

- dapat menjelaskan tentang pembelahan sel dan pewarisan sifat;
- dapat menjelaskan tentang hereditas dalam Hukum Mendell;
- dapat menjelaskan tentang hereditas pada manusia;
- dapat menjelaskan tentang mutasi.

Kata-kata kunci

- sel
- hereditas
- hukum Mendell
- genotipe
- fenotipe
- radiasi

Peta Konsep



Dalam proses perkembangan makhluk hidup, sifat-sifat dari kedua induk akan diwariskan kepada keturunannya. Cabang ilmu biologi yang mempelajari pewarisan sifat dari induk kepada keturunan (hereditas) dan seluk-beluknya disebut genetika. G. J. Mendell diangkat sebagai Bapak Genetika karena dianggap sebagai peletak dasar prinsip-prinsip hereditas yang terkenal sebagai Hukum Mendell.

A. Pembelahan Sel dan Pewarisan Sifat

Menurut Mendell, sifat-sifat yang diturunkan dari induk kepada keturunannya dikendalikan oleh faktor genetik yang terdapat di dalam kromosom yang disebut gen. Pada makhluk hidup, sel penyusun tubuh terdiri atas berikut.

1. Sel somatis (sel tubuh) yang dapat memperbanyak diri melalui pembelahan yang berlangsung secara mitosis.
2. Sel gamet (sel kelamin) yang berupa sperma dan ovum yang dapat diproduksi melalui pembelahan yang berlangsung secara meiosis.

Sel adalah satuan kehidupan terkecil sebagai makhluk hidup. Sifat terpenting sel adalah kemampuan untuk tumbuh dan membelah diri yang menghasilkan molekul-molekul seluler baru dan memperbanyak dirinya. Dalam pertumbuhan dan pembelahan, sel memerlukan sumber energi luar untuk menjamin agar reaksi-reaksi kimia selnya berjalan sesuai dengan biosintesis yang dikehendaki. Di dalam sel terdapat kromosom yang merupakan pembawa sifat keturunan.

Kehidupan sel somatis maupun sel gamet melalui dua fase, yaitu interfase (fase istirahat) dan fase pembelahan. Pada interfase, sel tidak mengadakan aktivitas baik secara fisik maupun reaksi kimia. Adapun fase pembelahan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap Profase

Profase merupakan fase awal dalam pembelahan sel. Profase memiliki subfase sebagai berikut.

- a. Leptonema, ditandai dengan adanya penampakan kromomer.
- b. Zygonema, ditandai dengan terbentuknya kromatid (kromosom mengganda).
- c. Pakhinema, terlihat kromosom masih tetap berpasangan.
- d. Diplonema, pasangan kromatid mulai memisah.
- e. Diakinesis, ditandai dengan nukleolus menghilang dan terbentuk gelendong inti.

2. Tahap Metafase

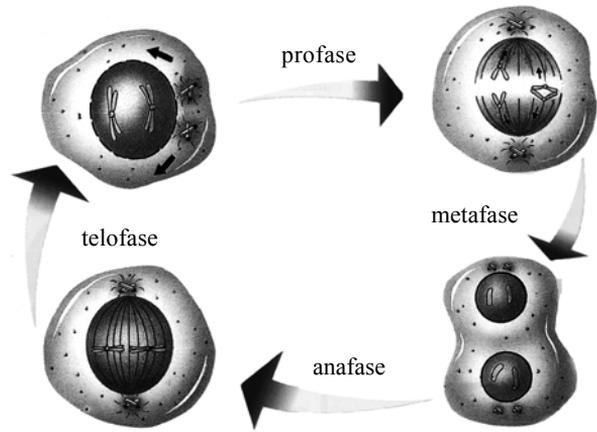
Dalam tahap metafase masing-masing pasangan kromatid berada dalam bidang ekuator.

3. Tahap Anafase

Kromatid bergerak menuju pada masing-masing kutub pembelahan.

4. Tahap Telofase

Dalam tahap ini terjadi pemisahan sitoplasma, pembentukan nukleus dan nukleolus, kemudian terbentuk anak sel (gamet).

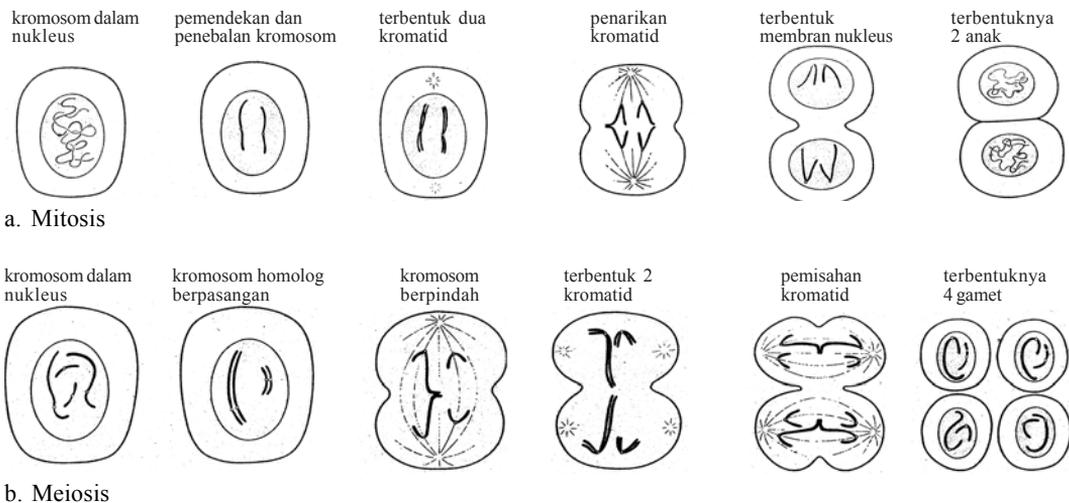


Sumber: *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*, 2003

Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 4.1.

▲ **Gambar 4.1** Fase-fase pembelahan sel mulai dari interfase, profase, metafase, anafase dan telofase

Di dalam tipe sel tubuh, bermacam-macam kromosom yang berbeda selalu muncul dalam dua kopi (berjumlah $2n$ kromosom homolog). Adapun sel kelamin diketahui setengah dari jumlah $2n$ yang ditemukan pada sel-sel somatik. Pada pembagian kromosom selama mitosis, setiap sel anakan menerima 1 kopi dari setiap kromosom yang terdapat dalam sel induk. Sebaliknya, selama pembentukan sel kelamin (meiosis), jumlah kromosomnya tereduksi menjadi n . Jadi, proses pembuahan antara sperma dan telur memulihkan kembali jumlah $2n$ kromosom yang karakteristik untuk sel somatik. Satu kromosom dalam setiap pasangan berasal dari induk jantan, sedangkan lainnya berasal dari induk betina.



Sumber: *IGCSE Biologi D.G. Mackean*

▲ **Gambar 4.2** Suatu perbandingan pembelahan sel secara mitosis dan meiosis.

B. Hereditas dalam Hukum Mendell

Gregor Johann Mendell (1822–1884) adalah seorang rahib dari Kota Brunn, Austria. Beliau mengadakan percobaan terhadap kacang ercis (*Pisum sativum*) yang menghasilkan prinsip-prinsip genetika. Penelitian Mendell diadakan jauh sebelum dikenal mengenai kromosom, DNA, maupun RNA. Dalam percobaannya, Mendell mengandalkan kacang ercis karena memiliki beberapa keuntungan sebagai berikut.

1. Memiliki pasangan-pasangan sifat beda yang menonjol (7 macam), sebagaimana pada tabel berikut.

Tabel 4.1. Pasangan Sifat Beda Tanaman *Pisum sativum*

No.	Sifat beda	Sifat dominan	Sifat resesif
1.	Panjang batang	Tinggi	Pendek
2.	Letak bunga	Aksial	Terminal
3.	Bentuk biji	Bulat	Lonjong
4.	Warna biji	Hijau	Kuning
5.	Warna kulit biji	Kuning	Hijau
6.	Warna bunga	Merah	Putih
7.	Bentuk kulit biji	Halus	Keriput

Sumber: *Biologi 1*, 1992

2. Memiliki bunga sempurna sehingga dapat melakukan penyerbukan sendiri.
3. Mudah disilangkan sehingga mudah menghasilkan hibrid.
4. Siklus hidupnya singkat dan cepat menghasilkan keturunan.

Mendell melakukan percobaan dengan menyilangkan dua induk galur murni yang memiliki satu sifat beda (enam sifat lainnya sama), yaitu induk galur murni berbiji bulat dengan induk galur murni berbiji keriput. Galur murni adalah tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri secara terus-menerus selalu menghasilkan keturunan yang sama dengan induknya, meskipun ditanam berulang-ulang. Hasil percobaan tersebut ternyata seluruh keturunan pertama berbiji bulat. Percobaan berikutnya, masing-masing keturunan pertama disilangkan dengan sesamanya yang akhirnya memunculkan kembali sifat yang tidak muncul pada keturunan pertama. Berarti ada sifat yang tidak muncul atau tertutup.

Sifat yang muncul pada keturunan pertama disebut sifat dominan, dan sifat yang tidak muncul pada keturunan pertama disebut sifat resesif. Sifat resesif baru muncul setelah persilangan dari keturunan pertama. Persilangan dengan sifat beda disebut hibrid (bastar). Pembastaran dengan satu sifat beda disebut monohibrid. Pembastaran dengan dua sifat beda disebut dihibrid.

INFO

Gregor Johann Mendell (1822–1884) ialah seorang biarawan dan ahli botani yang berasal dari Austria. Ia adalah peletak dasar-dasar teori hereditas atau pewarisan sifat genetika. Teori yang disebut Hukum Mendell tersebut menjadi dasar pengembangan genetika modern. Oleh karena itu Mendell dikenal sebagai Bapak Genetika.

Pembastaran dengan tiga sifat beda disebut trihibrid. Jika keturunan pertama dari percobaan Mendell dibiarkan melakukan penyerbukan sendiri atau dengan sesamanya, akan diperoleh 75% sifat dominan, yaitu biji bulat dan 25% sifat resesif, yaitu biji keriput.

Simbol dalam percobaan Mendell yang perlu diketahui:

P = induk

F = filial (anak/keturunan)

F₁ = keturunan pertama (filial-1)

F₂ = keturunan kedua (filial-2)

Sifat beda dinyatakan dalam gen dominan yang ditulis dengan simbol huruf besar. Adapun gen resesif ditulis dengan simbol huruf kecil. Misalnya:

B = simbol untuk gen yang menentukan biji bulat

b = simbol untuk gen yang menentukan biji keriput

Sifat yang tidak tampak namun mampu menentukan hasil keturunan disebut genotipe, sedangkan sifat yang tampak disebut sifat fenotipe. Sel somatis (diploid) mempunyai gen-gen berpasangan, yang disimbolkan dengan pasangan huruf dobel. Misalnya:

BB = simbol untuk tanaman berbiji bulat

bb = simbol untuk tanaman berbiji keriput

Dalam sel somatis, gen-gen dalam keadaan berpasangan karena kromosom-kromosom yang membawa gen-gen tersebut juga berpasangan atau diploid ($2n$). Anggota dari sepasang gen yang memiliki pengaruh berlawanan disebut alela. Misalnya:

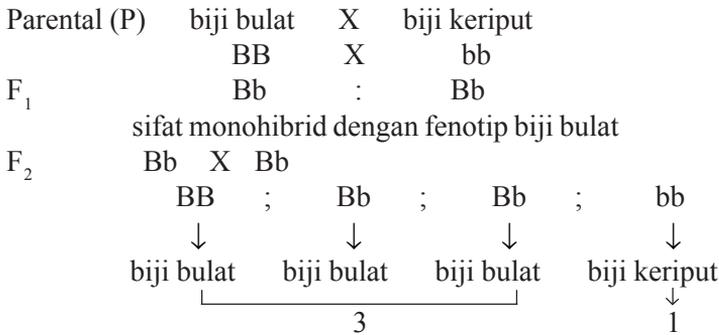
B menentukan sifat biji bulat, dan **b** menentukan sifat biji keriput, maka **B** dan **b** merupakan alel.

Jika individu memiliki genotip yang terdiri atas alela yang sama, misalnya **BB** atau **bb** disebut homozigot. Apabila genotipenya terdiri atas alela yang tidak sama, misalnya **Bb** disebut heterozigot. Gen dikatakan sealela satu sama lain apabila terletak pada kromosom homolog lokus yang bersesuaian sehingga memengaruhi atau mengawasi proses perkembangan yang sama tetapi dengan cara yang berlainan. Pada peristiwa lain, alela bisa memiliki lebih dari dua anggota. Alela yang demikian disebut alela ganda (*multiple allele*). Contoh, peristiwa *multiple allelomorfi* pada kelinci yang memiliki empat cara yang berlainan.

Gamet yang terbentuk merupakan sel yang haploid maka gen-gennya bebas tidak berpasangan. Gamet disimbolkan dengan satu huruf. Misalnya:

B = simbol untuk gamet yang menentukan biji bulat

b = simbol untuk gamet yang menentukan biji keriput

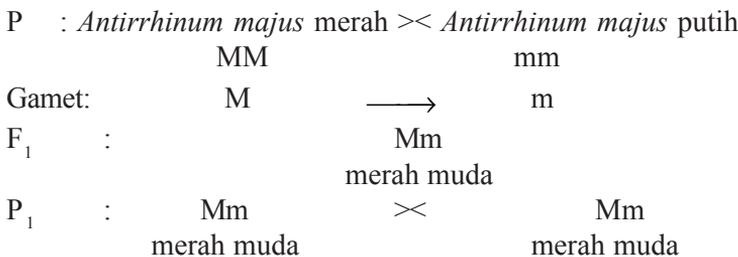


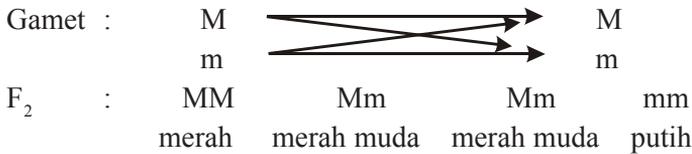
Berdasarkan percobaan-percobaannya, Mendell menyusun hipotesis sebagai berikut.

1. Setiap sifat organisme dikendalikan oleh sepasang gen yang berasal dari kedua induknya.
2. Tiap-tiap pasangan gen menunjuk bentuk alternatif sesamanya. Kedua bentuk alternatif itu disebut alela.
3. Adanya sifat dominan yang menutup sifat resesif. Jika keduanya berada bersama-sama disebut sealela.
4. Pada proses meiosis, sesuai dengan prinsip segregasi (pemisahan) maka faktor-faktor keturunan akan memisah dalam bentuk gamet. Selanjutnya, pada proses pembuahan gamet-gamet jantan dan betina yang memisah tersebut akan berpasangan secara acak.
5. Individu murni mempunyai dua alela yang sama, misalnya BB atau bb.

Prinsip pemisahan gen-gen pada meiosis disebut Prinsip Segregasi (Hukum I Mendell).

Pada peristiwa intermedier, tidak terdapat sifat dominan atau resesif sehingga penyilangan dua galur murni menghasilkan keturunan yang berbeda dengan mengambil sifat alternatif antara kedua induknya. Contoh percobaan Mendell pada penyilangan *Antirrhinum majus* berbunga merah galur murni (MM) dengan *Antirrhinum majus* berbunga putih galur murni (mm) menghasilkan F₁ yang seluruhnya berbunga merah muda (Mm). Jika disilangkan sesama F₁, maka F₂ yang dihasilkan berbunga merah, merah muda, dan putih dengan perbandingan 1: 2: 1. Adapun diagram persilangannya sebagai berikut.





Pada eksperimen berikutnya, Mendell menyilangkan kacang ercis galur murni yang memiliki dua sifat beda (dihibrid). Kacang ercis biji bulat warna kuning disilangkan dengan biji keriput warna hijau. Sifat bulat dominan terhadap keriput dan sifat kuning dominan terhadap hijau sehingga F₁ seluruhnya berbiji bulat warna kuning. Pada persilangan F₁ terhadap sesamanya atau jika dibiarkan melakukan penyerbukan sendiri, akan diperoleh kombinasi keturunan sebagai berikut.

bulat kuning : bulat hijau : keriput kuning : keriput hijau
 9 : 3 : 3 : 1

dengan diagram persilangan sebagai berikut.

P : bulat kuning >< keriput hijau
 BBKk bbkk

Gamet : BK bk

F₁ : BbKk
 bulat kuning

P₁ : BbKk >< BbKk
 bulat kuning bulat kuning

Gamet : BK BK
 Bk Bk
 bK bK
 bk bk

F₂ :

♀ \ ♂	BK	Bk	bK	bk
BK	BBKk	BBKk	BbKK	BbKk
Bk	BBKk	BBkk	BbKk	Bbkk
bK	BbKK	BbKk	bbKK	bbKk
bk	BbKk	Bbkk	bbKk	bbkk

Berdasarkan diagram di atas, disimpulkan sebagai berikut.

1. F₁ seluruhnya bergenotipe BbKk dan berfenotipe bulat kuning.
2. Menghasilkan 9 macam genotipe, sedangkan fenotipenya ada 4 sebagai berikut.
 - a. Bulat kuning (dominan-dominan) = $\frac{9}{16}$ bagian.
 - b. Bulat hijau (dominan-resesif) = $\frac{3}{16}$ bagian.

c. Keriput kuning (resesif-dominan) = $\frac{3}{16}$ bagian.

d. Keriput hijau (resesif-resesif) = $\frac{1}{16}$ bagian.

Dengan demikian, Mendell menjelaskan setiap alela secara bebas diturunkan pada tiap-tiap gamet. Setiap gamet hanya menerima satu faktor sifat menurun dari sifat pasangan alela. Gejala yang menunjukkan adanya pemilihan kombinasi (berpasangan) secara bebas disebut Hukum Asortasi Mendell (Hukum II Mendell).

Pada penyilangan dengan tiga sifat beda disebut trihibrid. Apabila masing-masing induk galur murni disilangkan, maka akan dihasilkan gamet F_1 sebanyak 8 macam, sehingga jumlah macam genotipe $F_2 = 27$ macam. Jumlah kemungkinan fenotipe $F_2 = 8$ macam. Perbandingan fenotipe $F_2 = 27: 9: 9: 9: 3: 3: 3: 1$. Untuk mencari jumlah macam gamet kemungkinan genotipe dan kemungkinan fenotipe pada F_2 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.2 Jumlah Macam Gamet dan Kemungkinan Genotipe dan Fenotipe

Jumlah sifat beda	Jumlah macam gamet	Jumlah macam kemungkinan genotipe F_2	Jumlah macam kemungkinan fenotipe F_2	Pemisahan fenotipe F_2 pada dominan penuh
1	$2^1 = 2$	$3^1 = 3$	$2^1 = 2$	3 : 1
2	$2^2 = 4$	$3^2 = 9$	$2^2 = 4$	9 : 3 : 3 : 1
3	$2^3 = 8$	$3^3 = 27$	$2^3 = 8$	27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1
n	2^n	3^n	2^n	3^n dan seterusnya

Pada beberapa uji persilangan, jika keturunan F_1 disilangkan dengan salah satu induknya disebut persilangan balik (*back cross*). Sifat keturunan yang dihasilkan dari persilangan balik adalah sama. Untuk mengetahui genotipe dari suatu individu maka disilangkan dengan individu yang sudah diketahui genotipenya, yaitu homozigot resesif. Persilangan semacam ini disebut uji silang (*test cross*).

Beberapa penyimpangan semu yang terjadi pada Hukum Mendell sebagai berikut.

1. Polimeri

Polimeri adalah pembastaran heterozigot dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri tetapi memengaruhi bagian yang sama pada suatu organisme. Pada percobaan Nelson Ehle terhadap gandum biji merah dan biji putih, seolah-olah terjadi sifat-sifat intermediat F_2 yang diperoleh dengan rasio fenotipe = 15 merah : 1 putih.

2. Kriptomeri

Kriptomeri adalah hilangnya pengaruh faktor dominan dan baru kelihatan pengaruhnya apabila bersama-sama dengan faktor dominan lainnya. Percobaan kriptomeri dilakukan Correns (1912) terhadap bunga *Linaria maroccana* yang berbunga merah dengan berbunga putih. Seluruh F_1 berbunga ungu, tetapi F_2 terdiri atas tiga macam fenotipe, yaitu ungu, merah, dan putih dengan perbandingan 9 : 3 : 4.

3. Epistasi dan Hipostasi

Epistasi adalah faktor dominan yang menutup faktor dominan lain yang bukan alelanya. Gen yang menutup disebut epistasi, sedangkan gen yang ditutup disebut hipostasi. Percobaan Nelson Ehle terhadap gandum biji hitam dengan gandum biji kuning, keturunan F_1 semuanya berkulit biji hitam. Keturunan F_2 menghasilkan biji hitam, kuning, putih dengan perbandingan 12 : 3 : 1.

Beberapa hal yang juga menyimpang dari Hukum Mendell yaitu terjadinya peristiwa pautan dan pindah silang. Akan tetapi Mendell berhasil menguraikan terjadinya penyimpangan ini. Pada peristiwa pautan, gen yang mengatur sifat satu berpaut dengan gen yang mengatur sifat lainnya. Padahal, gen-gen tersebut terletak pada kromosom yang sama dan tidak dapat disegregasikan dengan bebas. Adapun, pada peristiwa pindah silang terjadi karena gen-gen terletak pada kromosom yang sama dan dipindahkan bersama melalui gamet pada keturunannya. Akan tetapi di dalam pembentukan gamet sebagian kecil dari gen-gen itu berpindah tempat, sedangkan yang lain tetap pada kromosom semula. Peristiwa ini disebut pindah silang (*crossing over*).

C. Hereditas pada Manusia

Untuk mempelajari genetika manusia, biasanya digunakan *pedigree* (peta silsilah), yaitu catatan asal-usul seseorang mulai dari nenek moyang sampai generasi berikutnya dan menerapkan hasil penelitian genetika hewan. Hal itu dikarenakan antara hewan dan manusia mengandung persamaan sifat dan karakter.

Jenis kelamin pada manusia dikendalikan oleh sepasang kromosom seks. Pada pembelahan meiosis seorang perempuan hanya menghasilkan satu macam sel gamet, yaitu X, sedang pada laki-laki menghasilkan dua macam sel gamet, yaitu X dan Y. Oleh karena itu, dalam pembuahan ayah akan memberikan kromosom X kepada anak perempuan dan kromosom Y pada anak laki-laki.

Ada beberapa penyakit yang diwariskan oleh kedua orang tua kepada anaknya. Penyakit ini disebut penyakit menurun. Umumnya, penyakit menurun bersifat resesif yang hanya muncul pada keadaan homozigot resesif, sedangkan yang bersifat heterozigot adalah normal carier (pembawa sifat). Penyakit/cacat ini ada yang diwariskan melalui autosom dan kromosom seks.

1. Cacat dan penyakit menurun tidak terpaut seks

a. Albinisme (albino = bule)

Albino adalah kelainan akibat kulit tidak mampu memproduksi pigmen kulit (warna kulit). Contoh:

Pasangan normal heterozigot (normal carier) kawin dengan pasangan normal heterozigot (normal carier), memiliki kemungkinan 25%, keturunannya adalah albino.

Apabila gen P = gen yang menyebabkan pembentukan pigmentasi

gen p = gen yang tidak menyebabkan pembentukan pigmentasi

	Pp	×	Pp
	Normal carier		Normal carier
Gamet	P		P
	p		p

Kombinasi keturunan: PP, Pp, Pp, pp

Keterangan:

PP, Pp, = normal

pp = albino

b. Gangguan mental

Penyakit yang termasuk gangguan mental, yaitu debil, imbesil, dan idiot. Ciri-ciri gangguan mental yaitu adanya gejala kebodohan, refleks lamban, dan kekurangan pigmen. Gangguan mental umumnya berasal dari pasangan yang kedua orang tuanya normal heterozigot atau normal carier. Contoh:

Apabila A = normal

a = gangguan mental

maka pasangan ayah normal carier dan ibu carier

	Aa	×	Aa
Gamet	A		A
	a		a

Kombinasi keturunannya: AA, Aa = normal dan aa = gangguan mental.

INFO

Pernikahan dengan keluarga dekat memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk memperoleh gen resesif dan pada keturunannya dan dikhawatirkan membawa sifat penyakit menurun.

2. Penyakit Menurun Terpaut Seks

a. Buta warna (*colour blind*)

Penyakit ini dikendalikan oleh gen resesif yang terpaut seks (terpaut pada kromosom X). Kemungkinan tipe genotipe orang normal dan buta warna sebagai berikut.

$XX, X^{cb}X$ = wanita normal

$X^{cb}X^{cb}$ = wanita buta warna

XY = pria normal

$X^{cb}Y$ = pria buta warna

Kegiatan Diskusi

(Rasa Ingin Tahu dan Kecakapan Sosial)

1. Buatlah kelompok diskusi yang terdiri 4–5 siswa.
2. Buatlah bagan persilangan yang memunculkan wanita normal, wanita buta warna, wanita carier, pria buta warna, dan pria normal.
3. Mengapa tidak pernah terdapat pria carier?
4. Jelaskan faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya penyakit buta warna.
5. Diskusikan dengan kelompok kalian.

b. Haemofili

Haemofili adalah kelainan darah di mana darah sukar membeku. Apabila sifat normal dibawa oleh gen X^H , dan sifat haemofili dibawa oleh gen X^h , maka dapat diketahui bila orang memiliki genotipe:

$X^H X^H, X^H X^h$ = wanita normal

$X^h X^h$ = wanita haemofili (letal)

$X^H Y$ = pria normal

$X^h Y$ = pria haemofili

Kegiatan Diskusi

(Rasa Ingin Tahu dan Kecakapan Sosial)

1. Buatlah kelompok diskusi yang terdiri atas 3–4 siswa.
2. Buatlah peta silsilah yang menggambarkan dimunculkannya keturunan yang bergenotipe wanita normal, wanita carier, wanita haemofili, pria normal, dan pria haemofili.
3. Mengapa tidak pernah terdapat wanita haemofili?
4. Mengapa meneliti genetika manusia harus digunakan pedigree dan tidak meneliti objek secara langsung?
5. Diskusikan dengan kelompok kalian.

Golongan darah

Penggolongan darah pada manusia didasarkan atas ada tidaknya aglutinogen (antigen) tertentu di dalam sel darah merah. Golongan darah manusia ada empat macam sebagai berikut.

- Golongan darah A, apabila dalam sel darah merah terdapat aglutinogen A.
- Golongan darah B, apabila dalam sel darah merah terdapat aglutinogen B.
- Golongan darah O, apabila dalam sel darahnya tidak terdapat aglutinogen.
- Golongan darah AB, apabila dalam sel darah merah terdapat aglutinogen A dan B.

Tabel 4.3

Hubungan antara Fenotipe Golongan Darah, Genotipe, dan Kemungkinan Macam Gamet

Fenotipe Golongan darah	Genotipe	Macam sel gamet
A	$I^A I^A, I^A I^O$	I^A, I^O
B	$I^B I^B, I^B I^O$	I^B, I^O
AB	$I^A I^B$	I^A, I^B
O	$I^O I^O$	I^O
4 macam	6 macam	3 macam

Dirangkum dari berbagai sumber

Rhesus faktor

Landsteiner dan Weiner (1946) menemukan antigen lain yaitu antigen rhesus. Menurut Landsteiner dan Weiner, golongan darah manusia dibedakan menjadi:

- golongan Rh^+ , apabila dalam sel darahnya ditemukan antigen rhesus,
- golongan Rh^- (rh), apabila dalam sel darahnya tidak ditemukan antigen rhesus.

Apabila ibu yang bergolongan Rh^- mengandung embrio Rh^+ mengakibatkan dalam tubuh ibu terbentuk zat anti-Rh. Dengan demikian, kemungkinan untuk kelahiran pertama akan selamat, karena zat anti-Rh yang terbentuk belum banyak. Akan tetapi, apabila terjadi kehamilan kedua maka embrio akan mengalami anemia berat (*eritroblastosis foetalis*) yang mengakibatkan tubuh embrio mengembung oleh cairan, hati dan limpa membengkak, kulit berwarna keemasan, dan embrio akan mati (*letal*).

Tabel 4.4**Fenotipe, Genotipe, dan Macam Gamet Rhesus Faktor**

Fenotipe	Genotipe	Macam gamet
Rhesus +	$I^{Rh} I^{Rh}$, $I^{Rh} I^{rh}$	I^{Rh} , I^{rh}
Rhesus -	$I^{rh} I^{rh}$	I^{rh}

Dirangkum dari berbagai sumber

D. Mutasi**1. Macam-Macam Mutasi**

Materi genetik pada suatu saat dapat mengalami perubahan. Perubahan sifat keturunan secara umum disebut mutasi. Mutasi yang menunjukkan fenotipe sedikit berbeda dari sifat normal menimbulkan variasi. Ada dua macam variasi sebagai berikut.

a. Variasi genetik

Variasi genetik adalah variasi yang disebabkan oleh perubahan materi genetik. Sifat ini akan diwariskan kepada keturunannya.

b. Variasi lingkungan

Variasi lingkungan adalah variasi yang disebabkan oleh perubahan lingkungan. Sifat ini tidak diwariskan kepada keturunannya.

Berdasarkan tempat terjadinya, perubahan materi genetik (mutasi) dibedakan menjadi dua macam sebagai berikut.

a. Mutasi kecil (*point mutation*)

Mutasi kecil adalah perubahan yang terjadi pada susunan molekul gen (DNA), sedangkan lokus gennya tetap. Mutasi jenis ini menimbulkan alela.

b. Mutasi besar (*gross mutation*)

Mutasi besar adalah perubahan yang terjadi pada struktur dan susunan kromosom. Istilah khusus untuk mutasi kromosom adalah aberasi.

Berdasarkan faktor penyebabnya, mutasi dapat dibedakan menjadi dua macam sebagai berikut.

a. Mutasi alamiah (spontan)

Perubahan genetik yang disebabkan oleh alam, antara lain sinar kosmos, sinar radioaktif, dan sinar ultraviolet.

b. Mutasi induksi (buatan)

Perubahan genetik yang disebabkan oleh usaha manusia, antara lain penggunaan bahan radioaktif, penggunaan senjata nuklir, dan reaktor atom.

Penyebab terjadinya mutasi disebut mutagen. Mutagen dapat berasal dari:

- a. bahan fisika, misalnya radiasi yang dipancarkan oleh bahan radioaktif,
- b. bahan kimia, misalnya fenol, benz pyrene, metil cholaithrene, metil Hg, pestisida, formaldehid, colchicine,
- c. bahan biologi, misalnya virus penyebab kerusakan kromosom. Virus hepatitis menimbulkan aberasi pada darah dan tulang.

Mutasi yang terjadi di dalam tubuh dapat berupa perubahan somatis (mutasi autosom), dan perubahan generatif atau gametis (mutasi kromosom seks). Perubahan somatis (mutasi autosom) terjadi pada jaringan tubuh, misal epitel, otot, tulang, dan saraf. Adapun perubahan generatif atau gametis (mutasi kromosom seks) terjadi pada gonade (kelamin).

2. Mutasi Kromosom

Mutasi kromosom meliputi perubahan jumlah kromosom dan perubahan struktur kromosom. Pada spesies, terdapat seperangkat kromosom (genom) dengan jumlah kromosom yang konstan. Pada gamet mengandung n kromosom, sedangkan sel somatis mengandung $2n$ kromosom. Akan tetapi, kadang-kadang terjadi ketidakteraturan yang terjadi selama mitosis, atau meiosis sehingga menghasilkan sel-sel dengan jumlah kromosom yang bervariasi. Hal itu terjadi melalui proses duplikasi atau adisi atau kehilangan seluruh perangkat kromosom. Kejadian-kejadian yang menyangkut perubahan kromosom, sebagai berikut.

a. Euploidi

Euploidi artinya sel-sel yang mengandung seperangkat kromosom. Jenis-jenis euploidi, sebagai berikut.

1) Monoploidi

Organisme monoploidi memiliki satu genom (n kromosom) dalam sel tubuhnya. Hal itu terjadi pada sebagian besar bakteri, fungi, alga, lumut, dan serangga *Hymenoptera*. Organisme monoploidi kurang kuat dan bersifat steril karena kromosom homolog tidak memiliki pasangan selama meiosis.

2) Diploidi

Organisme diploidi memiliki dua genom ($2n$ kromosom) pada setiap sel somatis. Keadaan ini sangat menunjang fertilitas, keseimbangan pertumbuhan, adaptasi, dan kemampuan hidup.

3) Poliploidi

Organisme poliploidi memiliki kromosom lebih dari dua genom ($2n$ kromosom). Misal, triploid ($3n$), tetraploid ($4n$), dan pentaploid ($5n$). Pengaruh poliploidi terhadap sel atau individu, antara lain:

- terjadinya pertumbuhan raksasa;
- jumlah kandungan vitamin pada tumbuhan poliploidi lebih banyak;
- kesuburan atau fertilitas umumnya berkurang.

INFO
Tumbuhan dapat mengalami kelainan kromosom yang disebut poliploidi (kromosom yang berjumlah lebih dari dua). Tumbuhan ini umumnya memiliki kualitas yang lebih baik sehingga sering diterapkan pada tanaman.

b. Aneuploidi

Aneuploidi adalah variasi jumlah kromosom yang hanya menyangkut bagian genom atau salah satu kromosom. Beberapa macam aneuploidi sebagai berikut.

1) Monosomik

Monosomik adalah peristiwa hilangnya satu kromosom dari sepasang kromosom homolog dengan rumus genom ($2n - 1$), sehingga menghasilkan dua jenis gamet, yaitu (n) dan ($n - 1$).

2) Nulisomik

Nulisomik adalah peristiwa hilangnya sepasang kromosom homolog dengan rumus genom ($2n - 2$). Organisme yang mengalami nulisomik menunjukkan ciri-ciri kurang kuat, kurang fertil, dan daya tahan hidup rendah.

3) Trisomik

Trisomik adalah organisme diploid yang memiliki satu kromosom ekstra atau tambahan dengan rumus genom ($2n + 1$), sehingga gamet yang dihasilkan adalah ($n + 1$) dan (n).

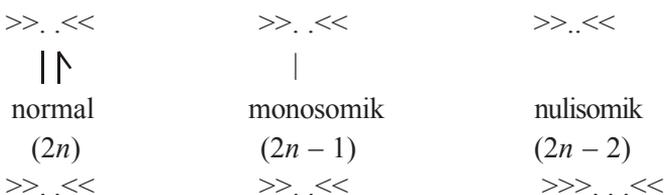
4) Tetrasomik

Jika satu pasang kromosom berada dalam tambahan seperangkat kromosom organisme dengan rumus genom ($2n + 2$) disebut tetrasomik.

5) Trisomik ganda

Trisomik ganda, jika suatu organisme diploid dengan dua kromosom yang berbeda masing-masing menghasilkan trisomik ganda dengan rumus genom ($2n + 1 + 1$).

Berikut ini gambar beberapa kariotipe pada lalat jantan:



|||
trisomik
($2n + 1$)

||||
tetrasomik
($2n + 2$)

|||
trisomik ganda
($2n + 1 + 1$)

Perubahan struktur kromosom

Perubahan struktur kromosom merupakan penyimpangan yang terjadi di dalam kromosom (intrakromosom). Ada jenis-jenis perubahan struktur kromosom, sebagai berikut.

a. Defisiensi atau delesi

Delesi terjadi ketika kromosom kehilangan sebagian segmennya. Defisiensi ini mempunyai pengaruh genetik, antara lain efek letal (kematian) dan pseudodominan (pemunculan fenotipe sifat resesif, seperti sifat dominan).

b. Duplikasi

Duplikasi terjadi jika kromosom memperoleh tambahan sebagian segmen kromosom lainnya. Duplikasi mempunyai efek genetik, antara lain melindungi pengaruh gen resesif yang merugikan untuk evaluasi materi genetik, dan menghasilkan efek posisi (menghasilkan fenotipe baru).

c. Inversi G

Inversi G adalah pembalikan urutan pada susunan gen. Inversi G berperan menekan terjadinya peristiwa pindah silang.

d. Translokasi

Translokasi adalah pertukaran sebagian kromosom dengan kromosom nonhomolog lainnya sehingga menghasilkan efek posisi.

3. Peranan Mutasi dalam Salingtemas

Beberapa teknik yang digunakan dalam mutasi buatan menghasilkan keuntungan bagi kesejahteraan manusia. Pemanfaatan sinar radioaktif pada mutasi buatan, yaitu melalui radiasi sinar alfa, beta, dan gama serta sinar-X mampu meningkatkan hasil produksi pertanian. Penyinaran bertahap pada biji jagung dan biji gandum menghasilkan biji jagung dan biji gandum jenis unggul. Pada tanaman tomat dan apel, radiasi dapat digunakan untuk meningkatkan ukuran besar buahnya. Mutasi dalam bentuk poliploidi dimanfaatkan untuk peningkatan hasil pertanian melalui produksi buah tanpa biji dengan kualitas kandungan vitamin dan gizi yang tinggi, contoh, semangka, melon, dan lombok.

Radiasi terhadap pertumbuhan sel dilakukan terhadap titik tumbuh tanaman umbi-umbian. Hal itu bertujuan untuk menghambat tunas. Dengan demikian hasil fotosintesis tidak banyak digunakan untuk pertumbuhan vegetatif tetapi tetap tersimpan dalam bentuk umbi, sehingga produksi umbi tersebut dapat dipertahankan. Radiasi juga digunakan untuk pemilihan bibit unggul pada jenis padi-padian. Hal tersebut telah dikembangkan di lembaga penelitian khusus padi, misal IRRI.

Radioisotop berperan dalam proses pemupukan. Pupuk fosfat (^{32}P) merupakan pendeteksi terhadap umur tanaman tertentu. Radiasi juga berperan dalam memberantas hama melalui sterilisasi teknik jantan mandul. Radiasi juga dimanfaatkan untuk menimbulkan daya bunuh terhadap berbagai jenis bakteri makanan (mensterilkan makanan) dalam upaya pengawetan makanan. Sinar-X digunakan untuk mendiagnosis berbagai penyakit, misalnya kanker. Akibat radiasi tersebut pertumbuhan sel terhambat dan mengalami degenerasi yang diikuti kematian sel kanker tersebut. Sementara sinar ultraviolet dimanfaatkan untuk mensterilkan ruang operasi dan alat-alat operasi.

RANGKUMAN

1. Genetika adalah cabang ilmu biologi yang mempelajari tentang pewarisan sifat dari induk kepada keturunannya (hereditas) dan seluk-beluknya.
2. G. J. Mendell diangkat sebagai Bapak Genetika karena dianggap sebagai peletak dasar prinsip-prinsip hereditas, yang terkenal dengan Hukum Mendell.
3. Pada makhluk hidup, sel penyusun tubuh terdiri atas sel somatis (sel tubuh) yang dapat memperbanyak diri melalui pembelahan yang berlangsung secara mitosis, dan sel gamet (sel kelamin) yang berupa sperma dan ovum yang dapat diproduksi melalui pembelahan yang berlangsung secara meiosis.
4. Tahap pembelahan sel meliputi tahap profase, tahap metafase, tahap anafase, dan tahap telofase.
5. Galur murni adalah tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri secara terus-menerus dan selalu menghasilkan keturunan yang sama dengan induknya, meskipun ditanam berulang-ulang.
6. Persilangan dengan sifat beda disebut hibrid (bastar). Pembastaran dengan satu sifat beda disebut monohibrid, dengan dua sifat beda disebut dihibrid, dan pembastaran dengan tiga sifat beda disebut trihibrid.
7. Individu yang memiliki genotipe terdiri atas alela yang sama disebut homozigot. Apabila genotipenya terdiri atas alela yang tidak sama disebut heterozigot.
8. Prinsip pemisahan gen-gen pada meiosis disebut Prinsip Segregasi (Hukum I Mendell).

9. Gejala yang menunjukkan adanya pemilihan kombinasi (berpasangan) secara bebas disebut Hukum Asortasi Mendell (Hukum II Mendell).
10. Beberapa penyimpangan semu dari Hukum Mendell, antara lain polimeri, kriptomeri, epistasi, dan hipostasi.
11. Pada umumnya penyakit menurun bersifat resesif yang hanya muncul pada keadaan homozigot resesif, sedangkan yang bersifat heterozigot adalah normal carier (pembawa sifat).
12. Contoh penyakit menurun tidak terpaut seks, antara lain albino dan gangguan mental. Adapun penyakit menurun terpaut seks antara lain buta warna dan haemofili.
13. Perubahan sifat keturunan secara umum disebut mutasi.
14. Macam-macam mutasi adalah mutasi alamiah (spontan) dan mutasi induksi (buatan).
15. Mutagen adalah penyebab terjadinya mutasi. Mutagen dapat berasal dari bahan fisika, kimia, dan biologi.
16. Mutasi kromosom meliputi perubahan jumlah kromosom dan perubahan struktur kromosom.
17. Perubahan-perubahan kromosom, antara lain euploidi (monoploidi, diploidi, poliploidi) dan aneuploidi (monosomik, nulisomik, trisomik, tetrasomik, trisomik ganda).
18. Perubahan struktur kromosom, antara lain defisiensi atau delesi, duplikasi, inversi G, dan translokasi.
19. Pemanfaatan sinar radioaktif pada mutasi buatan, yaitu melalui radiasi sinar alfa, beta, dan gama, serta sinar-X dimanfaatkan untuk meningkatkan hasil produksi pertanian, bidang kesehatan, bidang lingkungan, bidang teknologi, dan bidang keilmuan.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai pola-pola hereditas, tentu kalian sudah memahami dan memiliki kemampuan untuk menjelaskan mengenai hal-hal berikut.

1. Pembelahan
2. Hereditas dalam Hukum Mendell
3. Hereditas pada manusia

Apabila kalian belum memahami, cobalah pelajari dengan membaca kembali secara cermat dan carilah referensi-referensi yang lain. Untuk lebih memantapkan pemahaman kalian, diskusikan dengan teman-teman dan mintalah bimbingan guru kalian.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

- Prinsip segregasi (pemisahan gen-gen) pada waktu meiosis merupakan dasar dari Hukum
 - I Mendell
 - II Mendell
 - III Mendell
 - Asortasi
 - Hereditas
- Tahap pembelahan sel di mana kromatid bergerak menuju masing-masing kutub pembelahan merupakan tahap
 - profase
 - metafase
 - anafase
 - telifase
 - interfase
- Berikut ini yang *bukan* merupakan ciri pembelahan mitosis adalah
 - terjadi pada sel somatis
 - hasil akhir dua sel anakan
 - jumlah kromosom sel anakan = jumlah kromosom sel induk
 - terjadi pada pembentukan sperma
 - sel bersifat diploid ($2n$)
- Kacang ercis yang digunakan dalam percobaan Mendell memiliki keuntungan untuk mengetahui hasil keturunan, yaitu
 - memiliki 7 pasang sifat beda yang menonjol
 - memiliki bunga yang tidak sempurna
 - sulit menghasilkan hibrida
 - siklus hidupnya panjang
 - keturunan yang dihasilkan sedikit
- Tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri secara terus-menerus dan selalu menghasilkan keturunan yang sama dengan induknya meskipun ditanam berulang-ulang disebut
 - dominan
 - resesif
 - galur murni
 - heterozigot
 - hibrida
- Jika keturunan pertama dari dua induk galur murni yang berbeda disilangkan dengan sesamanya, maka akan diperoleh lagi sifat kedua induknya yang dominan dan resesif dengan perbandingan
 - 20% : 80%
 - 45% : 55%
 - 50% : 50%
 - 75% : 25%
 - 40% : 60%
- Sifat yang tidak tampak, namun mampu menentukan hasil keturunan dan disimbolkan dengan huruf-huruf adalah sifat
 - dominan
 - resesif
 - fenotipe
 - genotipe
 - alela
- Pada peristiwa intermedier, F_2 yang dihasilkan berbunga merah muda: merah : putih dengan perbandingan
 - 3 : 1 : 1
 - 9 : 3 : 3
 - 1 : 2 : 1
 - 1 : 3 : 1
 - 2 : 1 : 1
- Jika keturunan F_1 disilangkan kembali dengan salah satu induknya sehingga keturunan yang dihasilkan sama, hal ini disebut
 - uji silang (*test cross*)
 - up breeding*
 - crossing*
 - dihybrid
 - back cross*

10. Pada peristiwa pindah silang, sebagian kromosom berpindah menuju ke kromosom lain sehingga ada gamet yang memiliki kromosom lebih dan anak yang memiliki kromosom kurang. Penyebab peristiwa tersebut adalah
 - a. terjadi kerusakan dalam sel
 - b. kerusakan gen-gen kromosom
 - c. peristiwa mutasi pada sel gamet, sehingga pembagian kromosom tidak sama
 - d. kromosom mengalami mutasi
 - e. kegagalan pemisahan dalam sel somatis
11. Pada perkawinan, ayah bergolongan darah AB dan ibu bergolongan darah AB, kemungkinan golongan darah pada keturunan yang dihasilkan adalah
 - a. golongan darah A, B, dan AB
 - b. golongan darah A dan B
 - c. golongan darah AB
 - d. golongan darah O
 - e. golongan darah O, A, B, dan AB
12. Apabila kromosom kehilangan satu kromosom dari sepasang kromosom homolog dengan rumus genom $2n - 1$, maka termasuk macam aneuploidi
 - a. monosomik
 - b. nulisomik
 - c. trisomik
 - d. tetrasomik
 - e. trisomik ganda
13. Beberapa jenis perubahan struktur kromosom, antara lain bertambahnya sebagian kromosom pada kromosom lain. Peristiwa ini disebut
 - a. defisiensi
 - b. translokasi
 - c. delesi
 - d. inversi-G
 - e. duplikasi
14. Berikut ini yang *bukan* pemanfaatan sinar radioaktif terhadap peningkatan produksi pangan adalah
 - a. pemilihan bibit unggul
 - b. produksi buah tanpa biji
 - c. sterilisasi teknik jantan mandul
 - d. pengawetan makanan
 - e. penentuan umur pertumbuhan
15. Pada prinsipnya pembudidayaan jenis tanaman yang menguntungkan bagi manusia, misal anggur, semangka, tomat, melon tanpa biji akan merugikan jika ditinjau dari kehidupan tanaman itu sendiri, karena
 - a. tanaman menjadi kerdil
 - b. kualitas rasa berkurang
 - c. tidak dapat membentuk alat perkembangbiakan generatif
 - d. tidak dapat membentuk alat perkembangbiakan vegetatif
 - e. banyak membutuhkan pupuk

B. Kerjakan soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

1. Sebutkan tujuh sifat beda yang menonjol dari kacang ercis (*Pisum sativum*) yang dijadikan percobaan Mendell pada proses persilangan atau pembastaran.
 - c. termasuk uji persilangan apa proses di atas?
2. Pada persilangan ercis biji bulat warna kuning (dominan galur murni) dengan ercis biji bulat warna kuning (heterozigot),
 - a. buatlah diagram persilangannya.
 - b. bagaimana hasil keturunannya?
3. Jelaskan peristiwa *eritroblastosis foetalis* pada bayi yang mengakibatkan bayi letal (mati).
4. Sebutkan macam-macam mutagen dan pengaruhnya terhadap mutan.
5. Sebutkan peranan radiasi radioaktif terhadap peningkatan produksi pangan.

ULANGAN SEMESTER 1

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

- Proses pertumbuhan merupakan peristiwa perubahan biologis. Berikut ini yang *bukan* menunjukkan proses pertumbuhan adalah
 - bertambah banyaknya jumlah sel
 - pertambahan volume sel
 - bertambahnya jumlah massa sel
 - bersifat reversibel atau dapat balik
 - bertambahnya jumlah akumulasi zat antarsel
- Auksin yang dibentuk pada ujung kecambah dipengaruhi oleh cahaya. Apabila disinari hanya pada satu sisi saja, maka pertumbuhan kecambah
 - tumbuh menjauhi datangnya cahaya
 - tumbuh membengkok
 - tumbuh ke arah datangnya cahaya
 - tumbuh lurus
 - tidak tumbuh
- Jaringan berikut yang mempunyai sifat meristematis, yaitu sel-selnya mempunyai kemampuan membelah terus-menerus adalah
 - felem
 - kolenkima
 - feloderma
 - felogen
 - floem
- Jaringan berikut merupakan jaringan primer yang akan membentuk xilem dan floem pada daerah diferensiasi, yaitu
 - protoderma
 - meristem dasar
 - provasikuler
 - prokambium
 - promeristem
- Berikut ini yang *bukan* merupakan jaringan sekunder pada batang adalah
 - parenkim sekunder
 - kambium gabus
 - floem sekunder
 - xilem sekunder
 - gabus
- Berikut ini yang *bukan* merupakan peran cahaya terhadap proses pada tumbuhan adalah
 - untuk fotolisis diperlukan cahaya
 - cahaya mempercepat pertumbuhan
 - cahaya diperlukan dalam proses fotosintesis
 - diperlukan dalam fotosintesis
 - tanpa cahaya mengakibatkan etiolasi
- Hormon yang berperan dalam menstimuli pembelahan dan pengembangan sel adalah
 - etilen
 - sitokinin
 - giberelin
 - traumalin
 - auksin
- Lingkar tahun merupakan garis gelap terang pada batang yang dipengaruhi oleh aktivitas musim kemarau dan musim penghujan. Berikut ini yang *bukan* faktor penyebab terbentuknya lingkaran tahun adalah
 - aktivitas kambium
 - aktivitas xilem sekunder
 - aktivitas floem sekunder
 - aktivitas fotosintesis
 - transpirasi pada daun tumbuhan
- Berikut ini zat yang sering terdapat pada proses perkecambahan dan berperan sebagai inhibitor adalah
 - auksin
 - giberelin
 - sitokinin
 - asam absisat
 - etilen

10. Daerah pertumbuhan ujung akar yang berperan dalam pembentukan jaringan tertentu adalah
 - a. daerah pemanjangan
 - b. daerah diferensiasi
 - c. daerah tudung akar
 - d. lapisan dalam
 - e. lapisan luar
11. Proses pembongkaran pada sel yang berperan dalam menghasilkan energi adalah
 - a. katabolisme
 - b. metabolisme
 - c. anabolisme
 - d. kemosintesis
 - e. fotosintesis
12. Enzim merupakan biokatalisator organik yang dihasilkan oleh organisme yang terdiri atas protein. Fungsi pokok enzim yaitu
 - a. menguraikan energi
 - b. mempercepat dan memperlambat reaksi kimia
 - c. membentuk deposisi zat dalam sel
 - d. mengatur metabolisme sel
 - e. menetralkan racun
13. Enzim bila dipisahkan terdiri atas apoenzim dan koenzim. Yang menyebabkan enzim menjadi aktif adalah
 - a. holoenzim
 - b. apoenzim
 - c. koenzim
 - d. sintesis
 - e. zimogen
14. Berikut ini yang *bukan* sifat-sifat enzim adalah
 - a. mengalami denaturasi pada temperatur tinggi
 - b. spesifik untuk reaksi tertentu
 - c. tidak berubah pada waktu reaksi berlangsung
 - d. tidak memengaruhi keseimbangan reaksi
 - e. lebih efektif dalam jumlah yang besar
15. Berikut ini faktor yang *tidak* memengaruhi enzim dan aktivitasnya adalah
 - a. temperatur
 - b. air
 - c. substrat
 - d. zat-zat penghambat
 - e. jumlah enzim
16. Karbohidrat yang telah dicerna di usus akan dapat diserap oleh dinding usus jika sudah dalam bentuk
 - a. polisakarida
 - b. disakarida
 - c. zat pati
 - d. monosakarida
 - e. amilum
17. Proses penguraian glukosa dengan melibatkan O_2 menghasilkan CO_2 , H_2O , dan energi yang melibatkan jalan metabolisme glikosis, Daur Krebs, dan fosforilase oksidatif merupakan arti fisis dari
 - a. glikosis
 - b. glikogenesis
 - c. glukoneogenesis
 - d. respirasi
 - e. glikoneogenesis
18. Asam lemak terdiri atas rantai panjang hidrokarbon dan gugus karboksilat. Pada proses metabolisme, peranan fisiologi dari asam lemak adalah
 - a. pembentuk fosfolipid dan glikolipid
 - b. hidrolisis zat makanan
 - c. mengaktifkan enzim
 - d. pembentuk gliserol
 - e. dapat disimpan di hati
19. Asam amino esensial adalah asam amino yang bersifat
 - a. dapat disintesis oleh tubuh
 - b. dapat disintesis oleh tumbuh-tumbuhan
 - c. mudah disimpan di otot
 - d. mudah rusak karena enzim
 - e. bukan sebagai sumber energi

20. Jalur metabolisme yang utama dari berbagai hasil metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein sebagai penghasil energi adalah
- Daur Krebs
 - daur asam amino
 - glikolisis
 - glikoneogenesis
 - glukoneogenesis
21. Bentuk kromosom yang letak sentromernya berada di tengah sehingga panjang masing-masing lengan sama adalah bentuk
- telosentrik
 - akrosentrik
 - submetasentrik
 - subakrosentrik
 - metasentrik
22. Makhluk hidup yang diploid ($2n$) pada sel kelaminnya akan dihasilkan jumlah kromosom sebanyak
- n
 - $2n$
 - $3n$
 - $5n$
 - $4n$
23. Suatu zarah yang kompak dan menempati suatu lokus pada kromosom serta mengandung satuan informasi genetik disebut
- kromosom seks
 - nukleosom
 - gen
 - nukleous
 - kromatid
24. Replikasi DNA merupakan kemampuan DNA dalam memperbanyak diri. Kemampuan tersebut dinamakan
- heterokatalik
 - autokatalik
 - alokatalik
 - katalisator
 - eukatalik
25. Berikut ini yang *bukan* merupakan ciri-ciri karakteristik DNA adalah
- berbentuk rantai tunggal
 - hanya terdapat pada kromosom
 - hanya menggunakan deoksiribosa sebagai komponen gulanya
 - kadarnya tetap dan fungsinya mengendalikan faktor genetis dan sintesis protein
 - basa nitrogen terdiri atas purin (adenin dan guanin) dan pirimidin (sitosin dan urasil)
26. DNA dan RNA merupakan dua jenis asam nukleat yang mempunyai peranan sebagai penyampai informasi genetik. Di dalam sintesis protein, sering terjadi penyimpangan yang menimbulkan perubahan sifat. Hal ini disebabkan oleh
- DNA salah memberi kode
 - RNA-t salah membawa kode
 - RNA-d salah menerjemahkan kode
 - RNA-t salah menerjemahkan kode
 - RNA-r salah menerjemahkan kode
27. Protein sangat dibutuhkan oleh organisme. Protein yang terdapat di dalam sel disusun berdasarkan kode genetik yang terdapat pada
- RNA-d yang terdapat dalam nukleus
 - RNA-d sebagai pembawa kode genetik
 - RNA-t sebagai pencari asam amino
 - RNA-r dan RNA-d dalam ribosom
 - DNA yang terdapat dalam inti
28. Proses pencetakan RNA oleh DNA merupakan tahap
- translokasi
 - transisi
 - transkripsi
 - transformasi
 - transemisi

29. Tahap translasi adalah melekatnya RNA-d ke ribosom dan aktifnya RNA-t mengikat asam amino yang larut dalam plasma. Tiap RNA-t mengikat asam amino tertentu yang selanjutnya akan dibawa ke
- sitoplasma
 - ribosom
 - nukleus
 - nukleolus
 - mitokondria
30. RNA yang berfungsi menerjemahkan kodon dari RNA-d sehingga berfungsi sebagai antikodon adalah
- RNA-r
 - RNA-t
 - kode RNA
 - RNA kodogen
 - RNA antikodon
31. Sel yang mengandung n kromosom yang dibentuk melalui pembelahan secara meiosis adalah
- sel tubuh
 - sel otot
 - sel gamet
 - sel somatis
 - sel induk
32. Tahap pembelahan sel yang kromatidnya berada pada bidang ekuator adalah tahap
- profase
 - telofase
 - anafase
 - interfase
 - metafase
33. Persilangan dengan tiga sifat beda disebut
- hibrida
 - dihybrid
 - tetrahybrid
 - trihybrid
 - monohybrid
34. Berikut ini yang *bukan* hipotesis Mendell adalah
- sifat organisme dikendalikan oleh sepasang gen yang berasal dari kedua induknya
 - tiap pasangan gen menunjuk bentuk alternatif sesamanya yang disebut alela
 - individu murni memiliki alela yang sama
 - adanya sifat dominan yang menutup sifat resesif
 - setiap individu hasil keturunan memiliki sifat yang persis seperti induknya.
35. Jika disilangkan, ercis berbiji bulat warna kuning (dominan) terhadap ercis berbiji keriput warna hijau (resesif), dihasilkan F_1 seluruhnya berbiji bulat warna kuning. Apabila F_1 tersebut disilangkan dengan sesamanya, akan diperoleh kombinasi bulat hijau : bulat kuning : keriput hijau : keriput kuning adalah
- 9 : 3 : 3 : 1
 - 1 : 3 : 9 : 1
 - 1 : 9 : 3 : 3
 - 3 : 9 : 1 : 3
 - 9 : 1 : 3 : 3
36. Jika diketahui genotipe $AaBbCCDd$, macam gametnya berjumlah
- 4
 - 6
 - 8
 - 10
 - 12
37. Apabila ibu dari golongan darah A dan bapak dari golongan B, maka kemungkinan anak-anaknya adalah golongan darah
- A dan B
 - A
 - B
 - AB
 - A, B, AB, dan O
38. Joko bermata normal menikah dengan Eni yang bersifat pembawa buta warna, maka anak-anaknya mempunyai kemungkinan
- perempuan normal 25%, perempuan pembawa 25%
 - perempuan normal 50%, laki-laki buta warna 25%
 - semuanya normal
 - perempuan normal 75%, perempuan pembawa 25%
 - laki-laki buta warna 75%, perempuan pembawa 25%

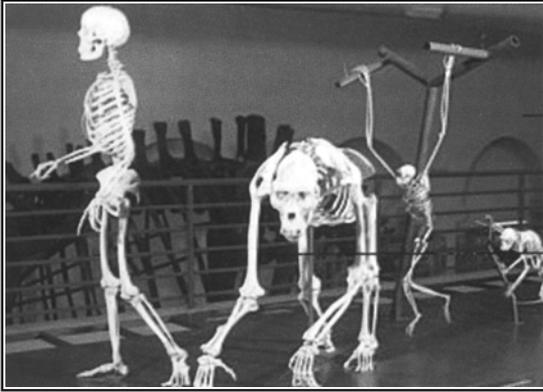
39. Untuk memperoleh bibit tomat yang berbuah besar dan tanpa biji dilakukan mutasi buatan yang bertujuan membentuk poliploidi. Bagi tanaman, hal itu merugikan karena
- tidak mampu membentuk alat vegetatif
 - tidak mampu membentuk alat generatif
 - umur menjadi pendek
 - jumlah buahnya berkurang
 - tanaman menjadi lemah
40. Perubahan struktur kromosom dapat terjadi pada perubahan susunan gen tanpa mengubah potensi dari kromosom tersebut. Peristiwa ini disebut
- inversi
 - delesi
 - duplikasi
 - aberasi
 - translokasi

B. Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat.

- Jelaskan perbedaan pertumbuhan dan perkembangan.
- Sebutkan tiga daerah pada ujung akar yang sedang mengalami pertumbuhan dan fungsinya masing-masing.
- Sebutkan fungsi dan sifat-sifat enzim.
- Apa yang dimaksud glikolisis?
- Jelaskan jalur utama yang dipakai oleh metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein hingga menghasilkan energi.
- Jelaskan yang dimaksud gen, kromosom, dan nukleotida.
- Jelaskan tahap-tahap sintesis protein.
- Apa yang dimaksud galur murni, *test cross*, dan *back cross*?
- Sebutkan macam-macam mutagen.
- Apabila diketahui gen B = biji bulat, K = warna kuning, buatlah bagan persilangan antara biji bulat warna kuning heterozigot dengan biji keriput warna hijau. Jika diketahui populasi tanaman 800, berapa fenotipe masing-masing keturunan?

BAB 5

EVOLUSI



Sumber: *Ensiklopedi Sains & Kehidupan*, 2003

“*The Origin of Species*” adalah sebuah buku yang diterbitkan oleh Charles Darwin pada tahun 1859. Buku ini berdampak besar terhadap cara berpikir dunia barat. “*The Origin of Species*” menjelaskan bahwa semua makhluk hidup di bumi ini merupakan hasil keturunan dari moyang yang sama yang mengalami modifikasi.

Pernyataan ini dikenal dengan Teori Evolusi. Gambar di samping menunjukkan perbandingan anatomi seekor mamalia terhadap mamalia yang lain.

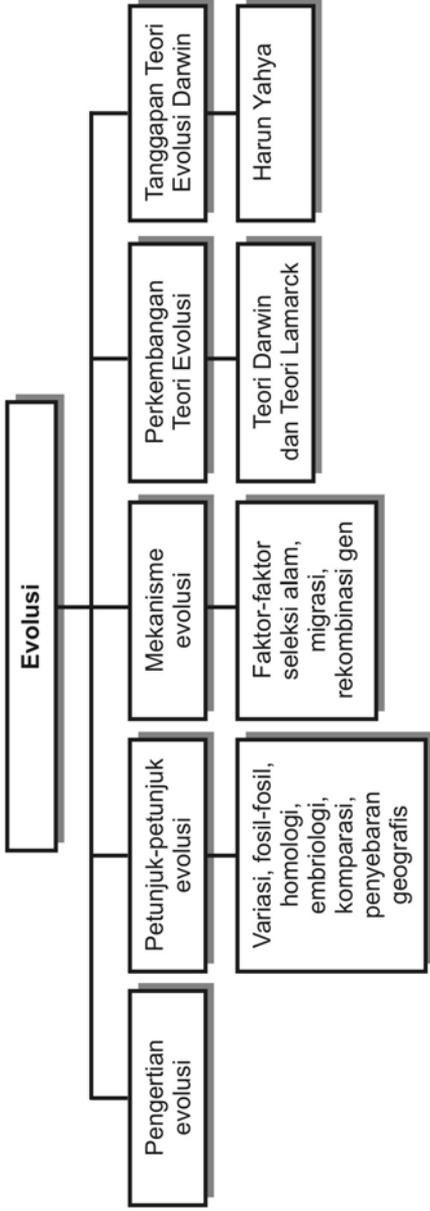
Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

- dapat menjelaskan pengertian evolusi;
- dapat menjelaskan petunjuk-petunjuk evolusi;
- dapat menjelaskan mekanisme evolusi;
- dapat menjelaskan perkembangan Teori Evolusi;
- dapat menjelaskan tanggapan Teori Evolusi Darwin.

Kata-kata kunci

- abiogenesis
- biogenesis
- evolusi
- variasi
- fosil
- homologi
- seleksi alam
- varian

Peta Konsep

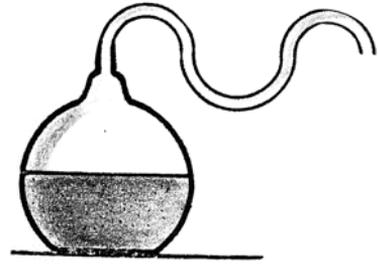


Evolusi di permukaan bumi diawali dengan adanya asal-usul kehidupan di muka bumi ini. Beberapa ilmuwan maupun ahli yang mengemukakan pendapat atau argumentasi tentang asal-usul kehidupan ini, di antaranya Archbishop Usser (1650 SM) dan Armagh (Inggris) yang menyimpulkan bahwa bumi dan kehidupan di dalamnya diciptakan oleh Tuhan pada waktu yang telah ditentukan (Teori Penciptaan). Adapun Teori Cosmozoa mengatakan bahwa kehidupan di bumi berasal dari ruang angkasa. Hal ini dapat diamati pada banyaknya molekul organik, seperti sianogen maupun asam hidrosianida yang ditemukan di bumi.

Pada akhir abad ke-17, seorang ilmuwan IPA berkebangsaan Belanda yaitu Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723) mengemukakan teori asal-usul kehidupan yang dikenal dengan Teori Abiogenesis (kehidupan berasal dari benda mati). Teori ini sama halnya dengan Teori Generatio Spontanea (Abiogenesis) dari Aristoteles (384–322 SM). Lain halnya dengan teori yang dikemukakan oleh seorang ahli IPA Francisco Redi (1616–1628) melalui percobaannya yang terkenal dengan dua toples yang masing-masing berisi daging, dan salah satu toples ditutup rapat. Hasil dari percobaan ini ternyata dapat menyanggah Teori Abiogenesis dengan kesimpulannya (Teori Biogenesis) bahwa kehidupan berasal dari benda hidup bukan benda mati. Teori ini kemudian diperkuat oleh Lazzaro Spallanzani (1729–1799) yang melakukan eksperimen dengan tiga buah tabung yang berisi air kaldu. Tabung pertama dibiarkan terbuka, sedangkan tabung kedua dan ketiga dipanasi sampai mendidih selama 15 menit. Pada tabung kedua dibiarkan mulutnya terbuka, sedangkan tabung ketiga ditutup rapat dengan lapisan lilin. Setelah dibiarkan selama tujuh hari, air kaldu yang tutupnya terbuka menjadi keruh penuh dengan bakteri, sedang air kaldu yang tertutup keadaannya masih seperti semula.

Berdasarkan eksperimen L. Spallanzani, ternyata ada kelemahannya yaitu dengan tertutupnya tabung, maka hal tersebut menutup kemungkinan adanya gaya yang masuk untuk hidup. Untuk itu, Louis Pasteur (1822–1895) seorang ahli biokimia dan mikrobiologi dari Prancis mengadakan riset dengan mengganti tabung yang tertutup tersebut dengan pipa panjang berlekuk (seperti leher angsa) yang terbuka atau dapat berhubungan dengan udara luar. Hal ini diperkirakan jika ada bakteri tidak akan dapat masuk ke dalam tabung karena tertahan dalam leher angsa tersebut. Berdasarkan hasil ini, berakhirlah Teori Abiogenesis dan digantikan Teori Biogenesis dengan pernyataannya yang terkenal *omne vivum ex ovo omne ovum ex vivo* (kehidupan berasal dari telur, telur berasal dari makhluk hidup).

Berdasarkan hasil eksperimen Louis Pasteur yang berhasil menumbangkan Teori Abiogenesis itu, kemudian ahli biokimia Rusia Oparin (1929) dan ahli kimia Amerika Harold Urey (1893) mengemukakan tentang Teori Urey dan Teori Oparin. Teori tersebut menyatakan bahwa kehidupan berawal dari atmosfer yang kemudian berkembang menjadi berbagai makhluk hidup seperti sekarang ini.



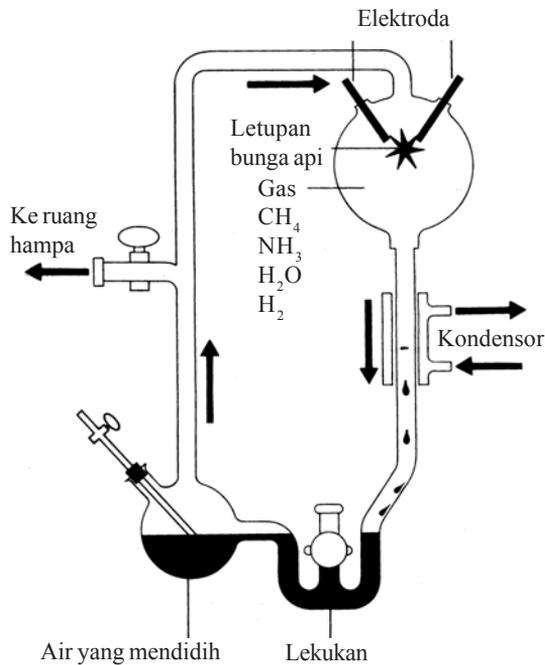
Sumber: *Ensiklopedi Sains & Kehidupan*, 2003

▲ Gambar 5.1 Percobaan Biogenesis (Louis Pasteur)

Untuk membuktikannya, Stanley Miller (1953) mahasiswa dari Universitas Chicago, membuat serangkaian alat percobaan dengan tabung kaca yang diatur pemasukan gas-gas CH_4 , NH_3 , H_2 , dan H_2O . Alat tersebut dilengkapi dengan elektrode-elektrode bersumber listrik, yang berfungsi untuk menghasilkan loncatan bunga api sekaligus sebagai pencampur dari gas-gas tadi. Hasil dari loncatan bunga api yang bertegangan tinggi membentuk satu senyawa kimia yaitu asam amino.

Atmosfer bumi kita kaya akan zat-zat kimia seperti CH_4 (metana), NH_3 (amoniak), dan hidrogen. Zat-zat kimia tersebut bersama air dalam bentuk uap air akan mengadakan reaksi dengan sinar-sinar kosmis dan loncatan-loncatan listrik alam membentuk protein, yang merupakan komponen dasar makhluk hidup.

Berdasarkan beberapa teori yang mengemukakan tentang asal-usul kehidupan tersebut, menjadikan pengetahuan awal dalam membuka ragam kehidupan yang ada sampai saat sekarang ini. Setelah itu, banyak ilmuwan-ilmuwan yang menyelidiki lebih lanjut tentang keanekaragaman makhluk hidup di bumi ini. Dengan kata lain, pengetahuan evolusi menjadi perhatian serta bahan penyelidikan yang menarik.



Sumber: *Biologi*, 1992

▲ Gambar 5.2 Percobaan Stanley Miller

A. Pengertian Evolusi

Evolusi pada makhluk hidup adalah perubahan yang dialami makhluk hidup secara berangsur-angsur dalam waktu yang lama sehingga terbentuk spesies baru. Kajian yang membahas tentang kejadian makhluk hidup yang bisa beraneka ragam di bumi ini disebut dengan Teori Evolusi.

Para ilmuwan biologi, seperti Charles Darwin (Inggris, 1809–1882) menyatakan bahwa makhluk hidup selalu mengalami perubahan secara berangsur-angsur dalam waktu yang relatif lama. Dengan adanya perubahan tersebut, mengakibatkan timbulnya sifat-sifat baru. Sifat baru yang mula-mula merupakan penyimpangan sedikit dari sifat asli, namun karena berlangsung terus-menerus dalam waktu yang lama akhirnya menyebabkan munculnya jenis makhluk hidup baru dengan sifat yang berbeda dari sifat asal makhluk hidup tersebut.

Para ahli biologi telah mengakui bahwa makhluk hidup yang ada sekarang berasal dari makhluk hidup pada masa lalu. Bukti adanya petunjuk kehidupan pada masa lalu yang berbeda terdapat pada tiap-tiap lapisan bumi dengan adanya perubahan yang nyata dari masa ke masa. Lapisan bumi yang paling atas menunjukkan adanya kegiatan pada masa yang paling muda. Makin ke bawah, memberi petunjuk pada masa yang lebih tua. Spesies-spesies yang hidup pada lapisan bumi yang atas, berasal dari kehidupan pada lapisan bumi di bawahnya. Begitu seterusnya, sehingga makhluk hidup yang ada sekarang berasal dari makhluk hidup pada masa lampau yang mengalami beberapa perubahan melalui peristiwa evolusi.

B. Petunjuk-Petunjuk Evolusi

Petunjuk evolusi digunakan untuk menjawab kebenaran tentang adanya evolusi. Petunjuk evolusi berupa fakta-fakta yang terdapat di bumi yang mendukung peristiwa evolusi sebagai berikut.

1. Variasi dari Individu-Individu dalam Satu Keturunan

Kenyataan di alam tidak pernah ditemukan individu yang sama persis, meskipun dalam satu keturunan. Adanya perbedaan tersebut menimbulkan variasi. Individu yang mengalami variasi disebut varian. Darwin berpendapat variasi-variasi tersebut dipengaruhi oleh faktor dari luar, misal makanan, suhu, dan tanah. Jika individu yang telah mengalami perubahan berada pada tempat yang berbeda dari asalnya, dalam perkembangannya akan mengalami perubahan yang sifatnya menetap dan akan makin berbeda dengan nenek moyang dari tempat asal-usulnya. Darwin juga berpendapat pada peristiwa domestikasi spesies yang dimulia-kan, manusia berasal dari spesies liar yang kemudian mengalami perubahan yang akhirnya terjadi variasi. Terjadinya variasi digunakan sebagai petunjuk adanya evolusi yang mengarah pada terbentuknya spesies-spesies baru.

INFO

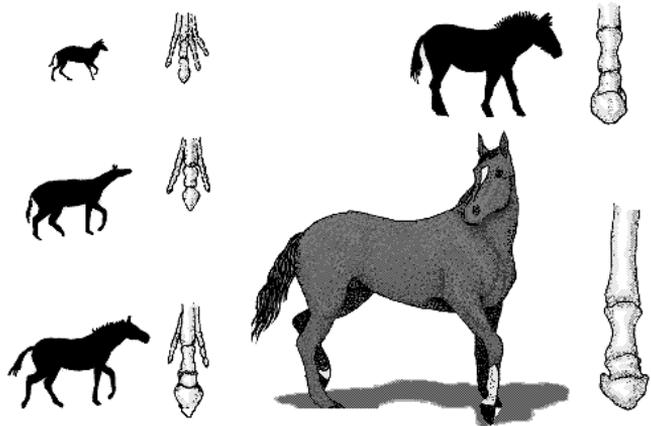
Charles Robert Darwin (1809-1882) adalah seorang ilmuwan dari Inggris yang mencetuskan teori evolusi melalui proses seleksi alam. Sampai saat ini, karyanya yang berjudul "*The Origin of Species by Means of Natural Selection*" mengundang pendekatan di kalangan para ilmuwan. Meskipun demikian, pemikiran Darwin menjadi dasar ilmu evolusi.



Sumber: *Ensiklopedi Umum Pelajar*, 2005

2. Petunjuk Fosil dari Berbagai Lapisan Bumi

Fosil digunakan sebagai petunjuk evolusi karena merupakan sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang telah membatu yang berada pada lapisan-lapisan bumi. Lapisan-lapisan bumi menunjukkan tingkat usia bumi sehingga dapat dijadikan petunjuk adanya hewan atau tumbuhan pada masa-masa tertentu. Umur fosil ditentukan berdasarkan lapisan bumi tempat fosil ditemukan. Dengan membandingkan macam-macam fosil dari berbagai lapisan bumi diperoleh petunjuk bahwa telah terjadi evolusi. Adanya perubahan bentuk-bentuk fosil dari lapisan bumi yang tua ke lapisan bumi yang muda, merupakan petunjuk mengenai adanya evolusi. Ditemukannya fosil kuda secara lengkap pada setiap zaman geologi menunjukkan adanya perubahan secara berangsur-angsur dalam waktu yang lama sesuai dengan perubahan masa. Kuda yang pertama ditemukan disebut *Eohippus* yang hidup pada zaman Eosin 60 juta tahun yang lalu.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*

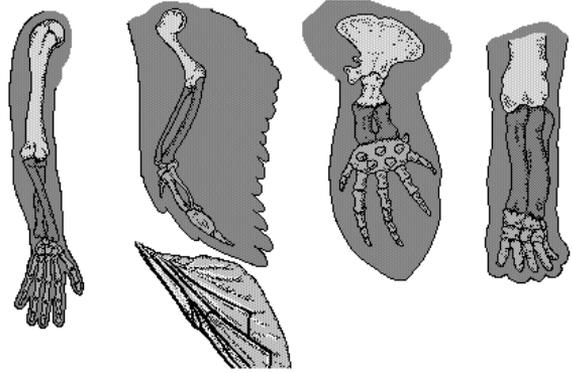
▲ Gambar 5.3 Evolusi Kuda

Perubahan-perubahan yang terjadi dari *Eohippus* sampai *Equus* adalah sebagai berikut.

- Ukuran dari sebesar kucing berkembang sampai menjadi sebesar kuda seperti sekarang.
- Perkembangan kepala makin besar sehingga jarak antara ujung mulut dengan mata makin panjang.
- Leher makin tumbuh panjang dan mudah digerakkan.
- Perkembangan geraham depan dan belakang makin sempurna untuk menghancurkan makanan (rumput) secara mekanis.
- Anggota tubuh makin panjang, sehingga kemampuan berlari makin cepat.
- Perubahan bentuk dan jumlah jari kaki dari berjumlah 5 hingga tinggal satu jari yang tumbuh membesar dan panjang. Jari ke-2 dan ke-4 mereduksi hingga tidak berfungsi lagi.

3. Homologi Antarorgan-organ pada Makhluk Hidup

Homologi adalah organ-organ yang mempunyai bentuk asal sama dan kemudian berubah strukturnya sehingga fungsinya berbeda. Homologi digunakan sebagai petunjuk evolusi dengan membandingkan asal-usul organ-organ makhluk hidup tersebut dari berbagai spesies. Contoh, tangan manusia homolog dengan kaki depan kucing, kuda, buaya, dan vertebrata lainnya, namun fungsi dari anggota depan masing-masing spesies tersebut berbeda. Sebaliknya, organ-organ yang sama fungsinya tetapi memiliki asal-usul yang berbeda disebut analog. Contoh, sayap burung analog dengan sayap serangga. Macam-macam anggota gerak itu pada spesies-spesies tersebut mengalami modifikasi yang adaptif.

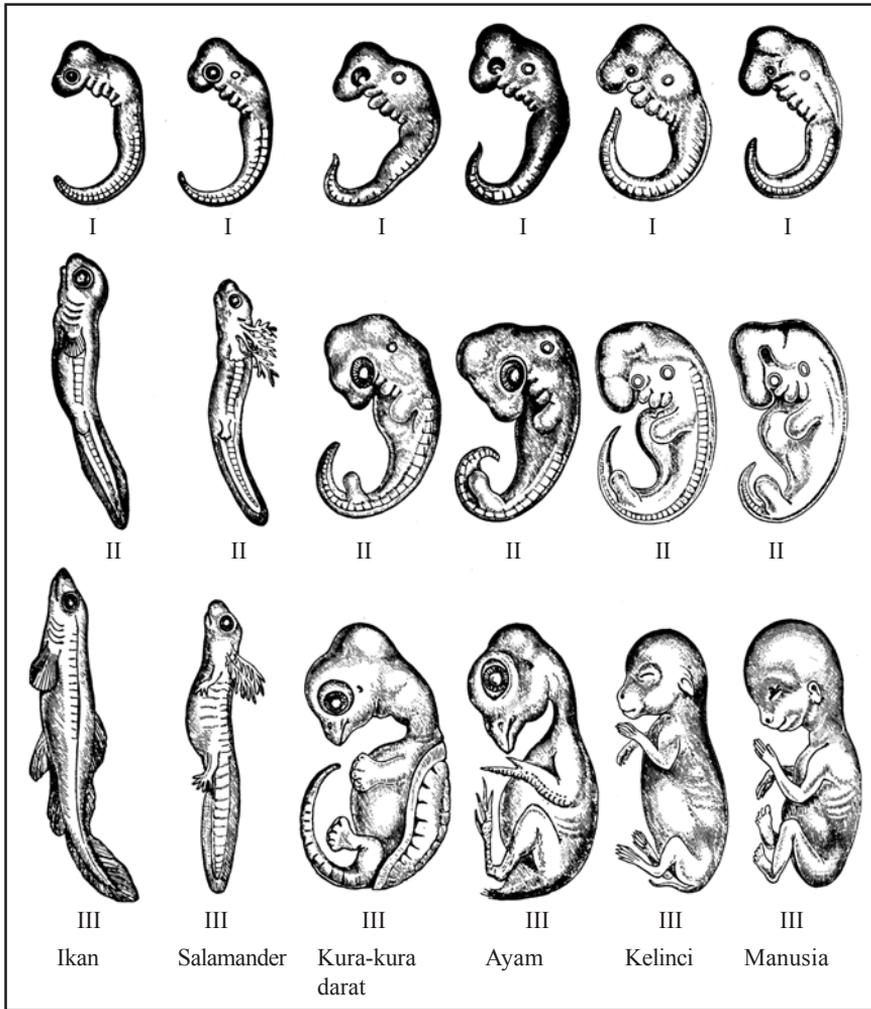


Sumber: *Encarta Encyclopedia*

▲ Gambar 5.4 Homologi anggota tubuh depan berbagai macam Vertebrata

4. Embriologi Perbandingan dalam Perkembangan Makhluk Hidup

Embriologi adalah ilmu yang mempelajari tentang perkembangan embrio. Perkembangan embrio menunjukkan adanya kesamaan pada fase-fase perkembangannya. Haeckel (1834–1919) mengemukakan Teori Rekapitulasi yang menyatakan bahwa suatu organisme atau individu dalam perkembangannya (ontogeni) cenderung untuk merekapitulasi tahap-tahap perkembangan yang telah dilalui nenek moyangnya (filogeni). Filogeni adalah sejarah perkembangan organisme dari filum paling sederhana hingga paling sempurna. Ontogeni adalah sejarah perkembangan organisme dari zigot sampai dewasa. Ontogeni organisme merupakan ulangan dari sejarah perkembangan evolusi atau dengan kata lain ontogeni merupakan ulangan singkat dari filogeni. Dalam embriologi perbandingan terdapat hubungan kekerabatan pada Vertebrata yang ditunjukkan adanya persamaan bentuk perkembangan yang dialami dari zigot sampai embrio. Makin banyak persamaan yang dimiliki embrio-embrio menunjukkan makin dekatnya hubungan kekerabatan.



Sumber: *Biologi*, 1992

▲ Gambar 5.5 Perkembangan bermacam-macam embrio Vertebrata

5. Pengaruh Penyebaran Geografis Makhluk Hidup

Letak geografis berpengaruh terhadap faktor-faktor utama yang menentukan berbagai tipe atau karakteristik habitat tertentu. Iklim merupakan faktor utama yang menentukan tipe tanah maupun spesies tumbuhan yang tumbuh di daerah tersebut. Sebaliknya jenis tumbuhan yang ada menentukan jenis hewan dan mikroorganisme yang akan menghuni daerah tersebut. Pada dasarnya iklim tergantung pada matahari. Matahari bertanggung jawab tidak hanya sebagai intensitas cahaya yang tersedia untuk proses fotosintesis tetapi juga temperatur pada umumnya. Komponen iklim lain yang menentukan organisme apa yang dapat hidup di suatu daerah adalah kelembapan. Curah hujan yang banyak diperlukan

untuk mendukung pertumbuhan pohon-pohon yang besar, sedangkan curah hujan yang sedikit membantu komunitas yang didominasi oleh pohon-pohon pendek, semak belukar, dan rumput. Dengan demikian iklim merupakan salah satu faktor utama terbentuknya daerah-daerah biografi. Daerah-daerah biografi menekankan terutama pada sejarah evolusi (perkembangan) dari kelompok-kelompok organisme. Dari mana mereka berasal, bagaimana mereka menyebar, dan bagaimana distribusinya pada masa sekarang dapat menjelaskan tentang sejarahnya pada masa lalu.

C. Mekanisme Evolusi

Tidak ada makhluk hidup yang sama persis meskipun berada dalam satu spesies. Keberadaan macam-macam karakteristik yang dimiliki individu berperan sebagai pembeda antara individu yang satu dengan yang lain. Sifat-sifat yang berbeda yang terdapat pada individu-individu dalam satu spesies disebut variasi. Individu yang mengalami variasi disebut varian. Jika satu spesies hidup pada suatu tempat yang berbeda dari asal-usulnya, keturunan-keturunan berikutnya akan mengalami perubahan sehingga spesies tersebut tidak sama dengan spesies dari asal-usulnya, dengan demikian muncul varian.

Sifat dan karakteristik yang dimiliki suatu individu ditentukan oleh gen. Perubahan yang terjadi pada gen menyebabkan terjadinya perubahan sifat pada individu. Faktor-faktor apa saja yang menyebabkan perubahan gen? Perubahan gen disebabkan adanya mutasi gen dan rekombinasi gen. Mutasi gen adalah perubahan susunan kimia dari suatu gen. Mutasi gen merupakan mekanisme evolusi yang sangat penting. Pewarisan sifat dari induk ke generasi berikutnya terjadi melalui gamet induk. Kenyataan itu menyebabkan setiap gamet mengandung beribu-ribu gen, setiap individu menghasilkan beribu-ribu gamet, sehingga jumlah generasi yang terjadi sedemikian banyak selama masih adanya spesies tersebut. Berdasarkan kenyataan tersebut, dapat diprediksi jumlah mutasi gen melalui laju mutasi gen dari suatu spesies.

Pemunculan mutasi gen seakan-akan terjadi secara spontan, misalnya di antara seribu biji yang normal ditemukan satu biji yang tidak normal. Biji yang tidak normal tersebut menghasilkan embrio yang abnormal. Hal ini terjadi melalui mutasi gen sehingga laju mutasi spontan pada biji tersebut dikatakan 1 : 1.000 atau 10^{-3} . Laju mutasi suatu spesies adalah angka-angka yang menunjukkan jumlah gen-gen yang bermutasi di antara seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu dari suatu spesies.

Angka laju mutasi gen yang menguntungkan sangat kecil, yaitu sekitar 1 : 1.000. Akan tetapi, karena jumlah generasi selama spesies tersebut hidup cukup besar, maka jumlah mutasi yang menguntungkan mencapai angka yang cukup besar pula. Misalnya terdapat data sebagai berikut.

1. Angka laju mutasi per gen adalah 1 : 200.000.
2. Jumlah gen dalam individu yang mampu bermutasi sebesar 1.000.
3. Perbandingan antara mutasi gen yang menguntungkan dengan mutasi yang terjadi adalah 1 : 1.000.
4. Jumlah populasi spesies 100.000.000.
5. Jumlah generasi selama spesies itu ada sebesar 5.000.

Untuk mengetahui mutasi gen yang menguntungkan selama spesies itu masih ada adalah sebagai berikut.

1. Jumlah gen yang bermutasi = $\frac{1}{200.000} \times 1.000 = \frac{1}{200}$ gen.
 Jumlah mutasi yang menguntungkan dari gen yang bermutasi
 $= \frac{1}{200} \times \frac{1}{1.000} = \frac{1}{200.000}$
2. Dalam setiap generasi mutasi gen yang menguntungkan =
 $\frac{1}{200.000} \times 100.000.000 = 500$ gen
3. Selama spesies itu ada (5.000 generasi) akan terjadi mutasi gen yang menguntungkan sebesar = $500 \times 5.000 = 2.500.000$ gen.

Apabila mutasi yang menguntungkan cukup besar, hal ini memberi peluang munculnya spesies yang adaptif menjadi besar pula. Adanya peristiwa mutasi gen yang menguntungkan, memunculkan spesies dengan sifat:

1. lebih adaptif;
2. daya fertilitas dan daya ketahanan spesies meningkat;
3. sifat baru yang menguntungkan.

Evolusi terjadi lebih berpeluang disebabkan adanya mutasi gen yang menguntungkan pada individu setiap spesies. Seperti halnya suksesi (persebaran kronologi makhluk dalam suatu daerah), evolusi memunculkan individu-individu (spesies-spesies) yang berbeda pada setiap masanya. Awal mula suksesi, spesies yang hidup pada suatu tempat dan waktu tertentu hanya dihuni oleh beberapa spesies yang mampu beradaptasi terhadap lingkungan awalnya. Pada tahap berikutnya, spesies-spesies yang lama akan mati meninggalkan materi-materi fisik tertentu. Proses

pelapukan maupun penambahan unsur hara mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi fisik lingkungan. Perubahan itu memungkinkan hidupnya spesies-spesies baru yang lebih cocok untuk adaptasi terhadap lingkungan tersebut. Sama halnya dengan evolusi, munculnya mutasi gen yang menguntungkan akan muncul pula individu-individu baru dengan daya adaptasi yang tinggi terhadap perubahan lingkungan yang terjadi.

Adanya perubahan lingkungan yang terjadi dari masa ke masa, mengakibatkan individu-individu yang hidup pada masa-masa tersebut mengalami perubahan pula. Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa spesies-spesies yang hidup dari masa ke masa mengalami perubahan-perubahan. Demikianlah yang menjadi dasar terjadinya evolusi.

Evolusi juga didukung adanya faktor-faktor sebagai berikut.

1. Seleksi Alam

Alam mengadakan seleksi terhadap makhluk hidup yang ada di dalamnya. Hanya makhluk hidup yang dapat beradaptasi yang mampu bertahan hidup dan berkembang biak, sedangkan yang tidak mampu beradaptasi akan punah dan gagal melangsungkan kehidupannya.

2. Migrasi

Migrasi adalah perpindahan spesies-spesies ke tempat-tempat baru. Perpindahan tersebut menghasilkan pola kehidupan baru yang mendukung terjadinya perubahan pada spesies-spesies tersebut. Pada tempat yang baru generasi-generasi yang muncul akan berbeda dari spesies-spesies nenek moyang asal-usulnya.

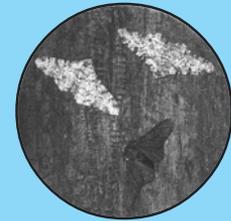
3. Rekombinasi Gen

Rekombinasi gen terjadi melalui perkawinan yang menyebabkan perubahan frekuensi gen pada generasi berikutnya. Melalui perkawinan silang, akan dihasilkan varietas baru. Varietas baru ini terjadi akibat pembuahan atau penyerbukan dari individu lain sehingga terjadi rekombinasi gen. Rekombinasi gen-gen yang disebabkan oleh perkawinan silang merupakan dasar terjadinya evolusi, karena melalui rekombinasi memungkinkan adanya variasi baru.

Apabila varietas-varietas baru yang terbentuk menempati daerah yang sangat berbeda dan tidak memungkinkan terjadinya interhibridisasi, dua varietas baru tersebut akan mengalami perubahan-perubahan yang pada akhirnya akan menjadi dua spesies yang berbeda.

INFO

Perubahan habitat seiring dengan perubahan lingkungan. Dua abad lalu di Inggris hidup ngengat berbintik yang sayapnya berwarna cerah. Warna ini mirip dengan batang pohon habitatnya hingga burung pemangsa sukar mengenalinya. Setelah revolusi industri, asap cerobong pabrik mengubah warna batang pohon menjadi lebih gelap, hingga ngengat itu mudah dikenali. Lama-kelamaan muncul ngengat baru berwarna gelap, hingga dapat menyamar dengan baik pada batang pohon itu.



Sumber: *Ensiklopedi Populer Anak*, 2001

Proses pembentukan spesies baru ini disebut spesiasi. Spesiasi dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut.

1. **Isolasi Reproduksi**

Apabila dua spesies yang asal-usulnya sama, kemudian terjadi perubahan yang mendasar sehingga mengakibatkan tidak terjadinya kesamaan alat reproduksi dan tidak terjadi interhibridisasi, maka spesies tersebut menjadi dua kelompok populasi simpatrik (populasi yang berbeda spesies).

2. **Isolasi Geografis**

Isolasi geografis merupakan pemisahan kedua spesies simpatrik karena letak geografis yang mengakibatkan tidak terjadinya interhibridisasi.

3. **Domestikasi**

Penjinakan hewan-hewan liar menjadi hewan peliharaan disebut domestikasi. Domestikasi menyebabkan terjadinya penyimpangan dari keadaan aslinya sehingga mengarah pada terbentuknya spesies baru. Secara alami, hewan-hewan peliharaan akan memisahkan diri dari hewan-hewan liar dan mempersempit peluang terjadinya interhibridisasi.

4. **Peristiwa Poliploidi**

Poliploidi adalah suatu keadaan yang tidak normal, di mana jumlah kromosom menjadi berlipat ganda sehingga tidak mewarisi sifat dari induknya dan menyebabkan terbentuknya spesies baru. Peristiwa poliploidi antara lain dipengaruhi oleh radiasi dan zat kimia tertentu.

D. Perkembangan Teori Evolusi

Walaupun telah banyak para ahli yang mengemukakan tentang evolusi, namun Darwinlah yang dianggap sebagai orang yang mencetak Teori Evolusi. Teori Evolusi didasarkan pada seleksi alam, dan didukung dengan fakta-fakta yang merupakan pedoman bagi penyelidikan biologi. Teori Evolusi yang diciptakan oleh Darwin dimulai dari ekspedisinya di Kepulauan Galapagos pada tahun 1835. Kepulauan Galapagos terletak 900 km di sebelah barat Pantai Ekuador, Amerika Selatan. Di pulau ini, Darwin meneliti berbagai macam kura-kura dan burung finch (pipit). Burung-burung itu mempunyai variasi bentuk dan ukuran paruh yang berbeda-beda. Burung ini mempunyai sifat yang sama dengan burung-burung yang hidup di Ekuador, Amerika Selatan. Dari hasil penelitiannya, ternyata burung-burung finch di Kepulauan Galapagos beraneka ragam dalam bentuk tubuh, besar kecilnya paruh, dan perilaku.

Berdasarkan kesamaan sifat yang ada, Darwin menduga burung finch di Galapagos berasal dari keturunan yang sama dengan burung finch dari Amerika Selatan. Karena migrasi, burung tersebut berpindah ke Kepulauan Galapagos yang mempunyai keadaan lingkungan berbeda dengan tempat asalnya. Pada lingkungan baru yang beraneka ragam, dihasilkan 14 spesies burung finch yang dapat dibeda-bedakan menurut ukuran dan bentuk paruhnya. Perbedaan-perbedaan ini diduga ada hubungannya dengan jenis makanan. Adapun jenis-jenis burung finch sebagai berikut.

1. Burung finch dengan paruh tebal dan kuat merupakan pemakan biji-bijian yang terdapat di tanah. Burung finch jenis ini ditemukan sebanyak enam spesies.
2. Burung finch dengan paruh lurus merupakan burung pengisap madu. Burung finch jenis ini mempunyai berbagai macam bentuk paruh yang berlainan yang dipengaruhi dari pohon-pohon penghasil madu.
3. Burung finch dengan paruh tebal, lurus, dan berlidah pendek merupakan burung pematuk dalam mencari mangsa. Burung-burung tersebut serupa tetapi masing-masing memiliki ciri khas yang berbeda.

Darwin, dalam membentuk pendapatnya tentang timbulnya spesies banyak dipengaruhi oleh isi buku Charles Lyell (Inggris, 1797–1875) dalam bukunya yang berjudul *Principles of Geology*, dan Thomas Robert Malthus (Inggris, 1766–1834) dalam bukunya yang berjudul *An Essay on The Principle of Population*. Kedua pendapat tersebut memengaruhi anggapan Darwin dalam mencari jawaban tentang terbentuknya makhluk hidup sekarang.

Di alam, individu yang tidak sesuai dan tidak mampu beradaptasi akan punah dan hanya individu yang sesuai yang menghasilkan generasi selanjutnya. Seleksi alam telah berperan terhadap munculnya penyimpangan-penyimpangan atau perubahan-perubahan pada makhluk hidup. Darwin mengumpulkan fakta-fakta yang berguna untuk memperkuat teorinya. Kumpulan semua hasil studinya disusun ke dalam sebuah buku yang berjudul *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (Timbulnya Spesies Baru Melalui Seleksi Alam) pada tahun 1859. Buku ini memuat dua teori sebagai berikut.

1. Spesies yang hidup sekarang berasal dari spesies yang hidup di masa lampau.
2. Evolusi terjadi melalui seleksi alam.

Para ahli ilmu pengetahuan ada yang sependapat dengan teori ini, dan ada pula yang menolak kedua teori Darwin tersebut.

Berbeda dengan pendapat Lamarck yang juga mengemukakan Teori Evolusi, bahwa perubahan-perubahan yang terjadi pada suatu individu disebabkan oleh pengaruh lingkungan. Lamarck berpendapat bahwa organ-organ yang terlatih dan sering digunakan akan berkembang dan membesar. Sebaliknya, jika tidak sering digunakan akan mengecil dan mereduksi, akhirnya lenyap. Silang pendapat antara Lamarck dan Darwin di antaranya mengenai jerapah berleher panjang dan berleher pendek. Menurut Lamarck, jerapah yang berleher panjang pada mulanya berasal dari jerapah yang berleher pendek, tetapi karena harus mencapai daun-daun dari pohon yang tinggi maka lehernya tumbuh menjadi agak panjang. Sifat leher panjang ini diturunkan pada generasi berikutnya, sehingga dari generasi ke generasi, jerapah memiliki leher panjang.

Darwin tidak sependapat, menurutnya nenek moyang jerapah terdiri atas individu yang berleher panjang dan pendek. Jerapah yang berleher panjang mudah memperoleh makanan sehingga dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya. Adapun jerapah yang berleher pendek punah karena tidak mampu mempertahankan kelangsungan hidupnya. Dengan demikian, evolusi terjadi melalui seleksi alam terhadap populasi jerapah.

Teori Lamarck menekankan peranan lingkungan terhadap terbentuknya perubahan-perubahan pada suatu individu, tetapi sifat-sifat tersebut tidak dapat diturunkan. Percobaan August Wismann (1834–1914) membuktikan pada pemotongan ekor tikus sampai pada 20 generasi, ternyata generasi ke-21 tetap memiliki ekor seperti generasi sebelumnya. Menurut Wismann, evolusi menyangkut tentang cara diwariskannya gen-gen melalui sel-sel kelamin, misalnya evolusi adalah gejala seleksi alam terhadap faktor-faktor genetika.

Kegiatan

(Kecakapan Vokasional Personal)

1. Urutkan fosil-fosil manusia purba dalam berbagai tingkatan berdasarkan perkiraan masa hidupnya dari berbagai sumber informasi.
2. Bandingkan kemajuan-kemajuan yang dimiliki dari berbagai tingkatan manusia purba tersebut.
3. Buatlah prediksi alur perubahan yang berangsur-angsur dari tingkatan manusia purba hingga diperoleh urutan alur perubahan yang menunjukkan tingkat kemajuan.
4. Bandingkan alur perubahan yang menuju tingkat kemajuan tersebut dengan manusia modern. Adakah hubungan alur manusia purba tersebut dengan manusia modern?

5. Tuliskanlah kesimpulan dari kegiatan yang kamu lakukan.
6. Presentasikan kesimpulanmu di depan kelas.

E. Tanggapan Teori Evolusi Darwin

Perjalanan Teori Evolusi Darwin sampai sekarang terus mendapatkan kritik dan penolakan-penolakan dari berbagai ahli dan ilmuwan. Dalam konteks agama, Teori Evolusi terkait dengan keyakinan bahwa Tuhan adalah pencipta makhluk hidup, sementara Teori Evolusi menyangkal terjadinya fenomena tersebut dan menggantinya dengan konsep evolusi. Penolakan Teori Evolusi menurut beberapa ahli hanya merupakan *conjecture* atau dugaan belaka tanpa dukungan fakta. Adanya tingkatan kemajuan bentuk hidup, dari pengamatan fosil suatu strata ke strata berikutnya menunjukkan adanya perencanaan dalam penciptaan makhluk hidup dan bukan merupakan perubahan alami akibat adanya tekanan dari lingkungan.

Argumentasi lain dari ilmuwan yang menolak konsep Teori Evolusi adalah dipertanyakannya apakah variasi dapat terakumulasi sebagaimana yang dikatakan Darwin. Ilmuwan tersebut juga mempertanyakan apakah usia bumi cukup lama untuk memungkinkan seleksi alam sehingga menghasilkan demikian beranekanya makhluk hidup. Bukti-bukti fosil oleh beberapa ahli geologi tidak mendukung gambaran terjadinya evolusi yang bertahap. Jika suatu spesies berasal dari spesies lain melalui perubahan sedikit demi sedikit, mengapa tidak terlihat sejumlah besar bentuk transisi di manapun? Mengapa tidak ditemukan bukti-bukti spesies di kerak bumi dalam jumlah tak terhitung? Mengapa tidak ditemukan jenis-jenis peralihan dengan kekerabatan yang erat?

Saat ini sudah banyak buku yang ditulis ilmuwan yang menentang Teori Evolusi. Beberapa di antaranya: Norman Macbeth (1971, *Darwin Retried: An Appeal to Reason*), Michael Denton (1985, *Evolution: A Theory in Crisis*), Robert Saphiro (1986, *Origins: A Sceptics Guide to The Creation of Life on Arth*), Michael J. Behe (1996, *Darwin's Black Box*), W.R. Bird (1991, *The Origin of Species Revisited*), Elaine Morgan (1994, *The Scars of Evolution*). Penolakan lain terhadap Teori Evolusi Darwin disampaikan oleh Harun Yahya, seorang penulis dari Turki. Harun Yahya (2004) menolak terhadap mekanisme yang menyebabkan terjadinya proses evolusi. Menurutnya, tidak pernah dikemukakan sebuah bukti yang menunjukkan bahwa seleksi alam telah menyebabkan makhluk hidup berevolusi.

Seleksi alam hanya menyatakan bahwa makhluk hidup yang lebih mampu menyesuaikan diri dengan kondisi alam habitatnya akan mendominasi dengan cara memiliki keturunan yang mampu bertahan hidup. Sebaliknya, yang tidak mampu akan punah. Sebagai contoh, dalam sekelompok rusa yang hidup di bawah ancaman pemangsa. Secara alamiah rusa-rusa yang mampu berlari lebih cepat akan dapat bertahan hidup. Akan tetapi, hingga kapan pun proses ini berlangsung tidak akan membuat rusa-rusa menjadi spesies lain. Dengan demikian, seleksi alam tidak dapat melakukan apa pun sampai variasi-variasi menguntungkan terjadi.

Mutasi didefinisikan sebagai pemutusan atau penggantian yang terjadi pada molekul DNA. Dalam kenyataannya, mutasi bersifat kecil, acak, dan berbahaya. Mutasi jarang terjadi, kalau pun terjadi kemungkinan besar mutasi tidak berguna sehingga karakteristik mutasi ini menunjukkan bahwa mutasi tidak mengarah pada perkembangan evolusioner. Suatu perubahan acak pada organisme bersifat tidak berguna atau membahayakan. Ada tiga alasan utama mutasi tidak dapat dijadikan bukti yang mendukung pernyataan evolusi sebagai berikut.

1. Efek langsung dari mutasi membahayakan. Karena, mutasi hampir selalu merusak makhluk hidup yang mengalaminya.
2. Mutasi tidak menambahkan informasi baru pada DNA suatu organisme. Mutasi tidak dapat memberi makhluk hidup organ atau sifat baru.
3. Agar dapat diwariskan pada generasi selanjutnya, mutasi harus terjadi pada sel-sel reproduksi organisme tersebut. Perubahan acak yang terjadi pada sel biasa tidak dapat diwariskan pada generasi berikutnya.

Darwin menyebutkan variasi dalam suatu spesies sebagai bukti kebenaran teorinya. Akan tetapi, variasi bukanlah evolusi. Variasi hanyalah hasil aneka kombinasi informasi genetik yang sudah ada dan tidak menambahkan karakteristik baru pada informasi genetik. Pada makhluk hidup, semua usaha pengawinan untuk menghasilkan variasi-variasi baru tidak meyakinkan dan ada batasan-batasan yang ketat di antara spesies-spesies makhluk hidup yang berbeda. Artinya, sangat mustahil bagi peternak mengubah sapi menjadi spesies berbeda dengan cara mengawinkan varietas-varietasnya.

Darwin mengemukakan bahwa makhluk dengan organ-organ yang mirip (homolog) memiliki hubungan evolusi di antara mereka dan organ-organ ini diwarisi dari nenek moyang yang sama. Hal ini ditentang, karena homologi hanya merupakan argumen yang didasarkan kemiripan fisik. Tidak pernah dibuktikan satu fosil nenek moyang yang memiliki struktur homolog. Hal ini

dibuktikan sebagai berikut.

1. Organ-organ homolog ditemukan pula pada spesies-spesies yang berbeda.
2. Kode-kode genetik beberapa makhluk yang memiliki organ homolog sama sekali berbeda.
3. Perkembangan embriologis organ-organ homolog benar-benar berbeda pada makhluk-makhluk yang berbeda.

Dengan demikian, riset genetik dan embriologis telah membuktikan bahwa konsep homologi yang dinyatakan Darwin sebagai bukti evolusi makhluk-makhluk hidup dari nenek moyang yang sama tidak dapat dianggap sebagai bukti.

Menurut Teori Evolusi, setiap spesies hidup berasal dari satu nenek moyang. Spesies yang ada sebelumnya lambat laun berubah menjadi spesies lain dan semua spesies muncul dengan cara ini. Perubahan ini berlangsung sedikit demi sedikit dalam jangka waktu jutaan tahun. Hal yang menjadi penolakan adalah seharusnya terdapat banyak spesies peralihan selama periode perubahan yang panjang ini.

RANGKUMAN

1. Kajian yang membahas tentang kejadian makhluk hidup yang bisa beraneka ragam di bumi ini disebut Teori Evolusi.
2. Petunjuk evolusi meliputi: variasi-variasi yang terjadi pada individu dalam satu keturunan, petunjuk fosil dari berbagai lapisan bumi, homologi antar-organ-organ pada makhluk hidup, embriologi perbandingan dalam perkembangan makhluk hidup, dan pengaruh penyebaran geografis.
3. Sifat-sifat yang berbeda, yang terdapat pada individu-individu dalam satu spesies disebut variasi. Individu yang mengalami variasi disebut varian.
4. Laju mutasi suatu spesies adalah angka-angka yang menunjukkan jumlah gen-gen yang bermutasi di antara seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu dari suatu spesies.
5. Faktor-faktor pendukung evolusi, antara lain: seleksi alam, migrasi, dan rekombinasi gen.
6. Proses pembentukan spesies baru disebut spesiasi.
7. Faktor-faktor yang memengaruhi terbentuknya spesies baru: isolasi reproduksi, isolasi geografis, domestikasi, dan peristiwa poliploidi.
8. Mutasi didefinisikan sebagai pemutusan atau penggantian yang terjadi pada molekul DNA.
9. Ilmuwan yang menentang Teori Evolusi, beberapa di antaranya: Norman Macbeth (1971, *Darwin Retried: An Appeal to Reason*), Michael Denton (1985, *Evolution: A Theory in Crisis*), Robert Saphiro (1986, *Origins: A Sceptics Guide to The Creation of Life On Erth*), Michael J. Behe (1996, *Darwin's Black Box*), W. R. Bird (1991, *The Origin of Species Revisited*), Elaine Morgan (1994, *The Scars of Evolution*), dan selanjutnya penolakan terhadap Teori Evolusi Darwin disampaikan oleh Harun Yahya (2004), seorang penulis dari Turki.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai evolusi, tentu kalian sudah memiliki kemampuan untuk memahami dan menjelaskan mengenai pengertian evolusi, petunjuk-petunjuk evolusi, mekanisme evolusi, hasil studi evolusi serta kecenderungan teori evolusi.

Apabila ada hal-hal yang kalian masih belum jelas pahami dan menguasainya, bacalah kembali dengan cermat materi di depan. Jika perlu bacalah referensi-referensi pendukung dari buku-buku maupun internet, atau diskusikan dengan teman-teman dan gurumu.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Ilmu yang membahas tentang fosil sebagai petunjuk tentang adanya evolusi adalah
 - a. palaentologi
 - b. arkeologi
 - c. evolusi
 - d. geologi
 - e. antropologi
2. Kesamaan kekerabatan antara perkembangan yang terjadi pada Vertebrata ditunjukkan oleh
 - a. proses perkembangan zigot sampai akhir embrio
 - b. proses perkembangan tahap-tahap embrio
 - c. bentuk dari fase zigot sampai awal embrio
 - d. bentuk embrio
 - e. bentuk zigot
3. Menurut Darwin, faktor-faktor yang memengaruhi adanya variasi pada makhluk hidup adalah
 - a. tanah, mutasi gen, dan rekombinasi gen
 - b. suhu, tanah, dan makanan
 - c. suhu, makanan, dan mutasi gen
 - d. makanan, mutasi gen, dan seleksi
 - e. seleksi, mutasi gen, dan rekombinasi gen
4. Tangan pada manusia homolog dengan sayap burung sebab
 - a. keduanya mempunyai fungsi yang berbeda, walau sama-sama mempunyai tulang pengumpil
 - b. keduanya mempunyai fungsi dan struktur yang berbeda
 - c. keduanya mempunyai asal-usul yang sama, tetapi mempunyai fungsi yang berbeda
 - d. sayap burung berkembang jauh berbeda daripada tangan manusia
 - e. sayap burung ditumbuhi bulu untuk terbang, tangan manusia tidak
5. Meskipun perwujudan mutasi yang menguntungkan sangat kecil, namun mutasi merupakan mekanisme evolusi yang sangat penting. Berikut ini yang tidak mendukung kenyataan tersebut adalah
 - a. jumlah populasi banyak sekali
 - b. jumlah gamet mengandung beribu-ribu gen
 - c. setiap individu menghasilkan beribu-ribu gamet
 - d. jumlah generasi selama spesies itu ada banyak sekali
 - e. kemampuan reproduksi populasi mengalami perubahan

6. Mutasi gen kebanyakan merugikan karena
- menghasilkan gen letal
 - terjadi pada mutan
 - terjadi pada poliploidi
 - terjadi pada gen resesif
 - terjadi pada gen dominan
7. Domestikasi merupakan suatu usaha manusia untuk memenuhi kebutuhannya dengan
- melakukan pembastaran
 - melakukan inseminasi buatan
 - melakukan vegetatif buatan
 - menggunakan bibit unggul
 - menjadikan hewan liar menjadi hewan peliharaan
8. Penjinakan hewan liar menjadi hewan peliharaan disebut
- domestikasi
 - poliploidi
 - isolasi
 - spesiasi
 - mutasi
9. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut ini.
- Spesiasi adalah proses pembentukan spesies baru.
 - Salah satu faktor yang memengaruhi evolusi adalah isolasi reproduksi.
 - Salah satu kelemahan Teori Evolusi Darwin adalah tidak ditemukannya bukti individu peralihan.
 - Salah satu bukti evolusi adalah adanya mutasi gen.
- Pernyataan yang benar adalah nomor
- 1, 2, dan 3
 - 1 dan 3
 - 2 dan 4
 - 4
 - 1, 2, 3, dan 4
10. Teori Evolusi yang menyebutkan bahwa perubahan-perubahan yang terjadi pada suatu individu disebabkan oleh pengaruh lingkungan adalah pendapat dari
- Darwin
 - Lamarck
 - Harun Yahya
 - Saphiro
 - Haeckel
11. Suatu keadaan yang tidak normal, di mana jumlah kromosom menjadi berlipat ganda sehingga tidak mewarisi sifat dari induknya dan menyebabkan terbentuknya spesies baru disebut
- monoploidi
 - rekombinasi gen
 - poliploidi
 - mutagen
 - translokasi
12. Perhatikan nama-nama ilmuwan berikut ini.
- | | |
|------------|------------|
| 1. Haeckel | 4. Saphiro |
| 2. Lamarck | 5. Pasteur |
| 3. Malthus | |
- Ilmuwan yang menentang Teori Evolusi adalah nomor
- 1, 2, 3
 - 1 dan 3
 - 2 dan 4
 - 4
 - 1, 2, 3, dan 4
13. Salah satu bukti adanya evolusi adalah homologi. Anggota-anggota tubuh berikut yang *tidak* homolog adalah
- kaki manusia dengan kaki ayam
 - sirip depan ikan paus dengan kaki depan katak
 - kaki depan lembu dengan sayap burung
 - tangan manusia dengan sayap burung
 - sayap burung dengan sayap kupu-kupu

14. Pada suatu habitat, mula-mula terdapat banyak spesies namun sekarang spesies-spesies tersebut mulai punah. Ini menunjukkan adanya perubahan frekuensi keseimbangan gen dalam populasi. Hal ini terjadi karena
- seleksi alam
 - mutasi alam
 - variasi
 - kompetisi
 - hibridisasi
15. Beberapa hal berikut yang *bukan* merupakan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap spesiasi adalah
- isolasi reproduksi
 - isolasi geografi
 - peristiwa poliploidi
 - domestikasi
 - interhibridisasi

B. Kerjakanlah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

- Sebutkan teori-teori beserta ilmunya yang mendukung Teori Evolusi Darwin.
- Jelaskan peranan mutasi gen dan rekombinasi gen terhadap mekanisme evolusi.
- Jelaskan terbentuknya spesies baru yang berbeda dari nenek moyangnya. Faktor-faktor apa penyebabnya?
- Jelaskan perbedaan pokok pendapat Darwin dan Lamarck mengenai zarahap berleher panjang dan berleher pendek.
- Sebutkan faktor-faktor yang menyebabkan penolakan terhadap Teori Evolusi Darwin.

BAB 6

BIOTEKNOLOGI



Sumber: *Encarta Encyclopedia*

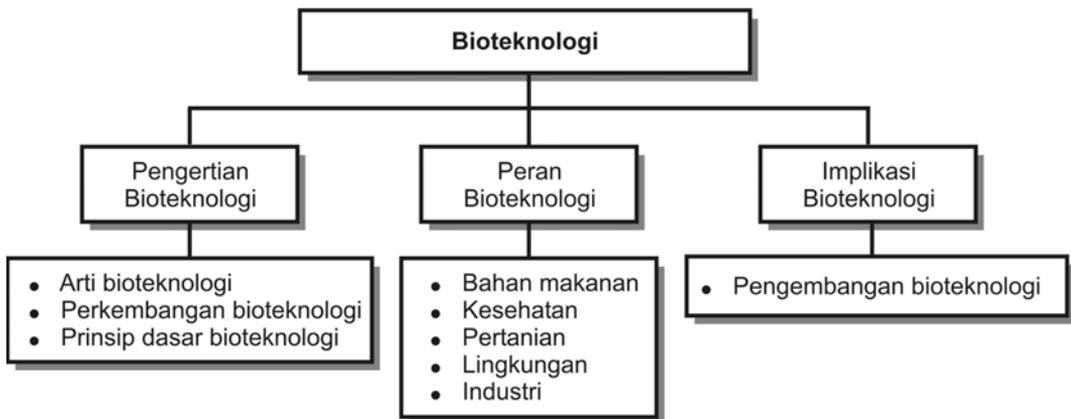
Sifat dasar manusia adalah mempunyai rasa ingin tahu. Berawal dari rasa ingin tahu, kemudian berkembang menjadi pengetahuan. Berbekal pengetahuan manusia berusaha memenuhi kebutuhannya dengan cara yang makin mudah, sehingga lahir teknologi. Salah satunya adalah bioteknologi yaitu teknologi di bidang biologi. Penanaman tembakau, seperti gambar di samping akan berhasil dengan lebih baik jika menerapkan bioteknologi.

Tujuan pembelajaran kalian pada bab ini adalah:

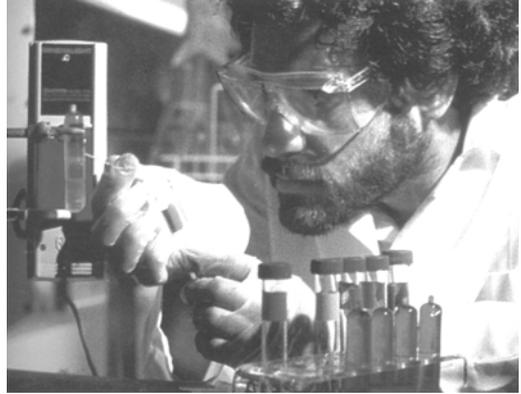
- dapat menjelaskan pengertian bioteknologi;
- dapat menjelaskan peran bioteknologi pada sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas);
- dapat menjelaskan tentang implikasi bioteknologi.

Kata-kata kunci

- bioteknologi
- enzim
- DNA
- fermentasi
- substrat
- mikroorganisme
- rekayasa genetika



Kata bioteknologi pertama muncul sekitar tahun 1979. Pada saat itu E.F. Hutton mendapatkan hak paten untuk kata bioteknologi. Istilah tersebut digunakan sebagai penjelasan atas suatu masalah yang berkaitan dengan rekayasa genetika atau *genetic engineering*. Selain itu, juga seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang makin pesat menuntut terpenuhinya segala kebutuhan manusia yang bermuara pada tingkat perbaikan kesejahteraannya. Seperti halnya yang terdapat dalam pengetahuan biologi, istilah bioteknologi mengacu pada suatu bentuk interaksi antara biologi dengan teknologi yang mencakup semua jenis produksi melalui proses transformasi biologis.



Sumber: *Jendela Iptek*, 2001

▲ **Gambar 6.1** Seorang peneliti sedang mengadakan penelitian rekayasa genetik

Bioteknologi dikembangkan untuk meningkatkan nilai bahan mentah dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme atau bagian-bagiannya, misalnya bakteri dan kapang. Selain itu, bioteknologi juga memanfaatkan sel tumbuhan atau sel hewan yang dikembangbiakkan sebagai konstituen berbagai proses industri. Penggunaan mikroorganisme tersebut secara terarah dan terkontrol, yang merupakan aplikasi terpadu antara biokimia, mikrobiologi, dan teknologi kimia. Manfaat yang dirasakan manusia dari kegiatan tersebut antara lain dalam bidang industri, kesehatan, pertanian, dan peternakan. Khususnya penggunaan biokimia, mikrobiologi, dan rekayasa kimia secara terpadu mempunyai tujuan untuk mencapai penerapan teknologi dari kemampuan mikroba dan sel kultur jaringan. Dalam bioteknologi bidang-bidang ilmu yang harus dipelajari antara lain biologi sel, biokimia, fisiologi, mikrobiologi, genetika, dan biorekayasa.

Dalam bab ini tersaji hal-hal yang dapat kita pelajari dalam bioteknologi beserta manfaat dari bioteknologi itu sendiri.

A. Pengertian Bioteknologi

1. Arti Bioteknologi

Seperti telah disebutkan di awal pendahuluan, bahwa istilah bioteknologi merupakan teknologi yang menggunakan bahan hayati atau sejenisnya guna menghasilkan barang atau jasa dalam skala industri sebagai sarana pemenuhan kebutuhan manusia. Definisi tersebut merupakan definisi dari bioteknologi secara tradisional atau konvensional.

Adapun definisi bioteknologi modern menyatakan bahwa istilah bioteknologi merupakan teknologi yang menggunakan bahan hayati yang telah direkayasa secara *invitro* guna menghasilkan barang atau jasa dalam skala industri sebagai sarana pemenuhan kebutuhan manusia.

Berdasarkan dua pengertian bioteknologi tersebut, maka bioteknologi adalah penggunaan biokimia, mikrobiologi, dan rekayasa genetika secara terpadu untuk menghasilkan barang atau lainnya bagi kepentingan manusia. Biokimia mempelajari struktur kimiawi organisme. Adapun rekayasa genetika adalah aplikasi genetik dengan mentransplantasi gen dari satu organisme ke organisme lain. Ciri-ciri utama bioteknologi sebagai berikut.

- a. Adanya agen biologi berupa mikroorganisme, tumbuhan, atau hewan.
- b. Adanya pendaugunaan secara teknologi dan industri.
- c. Produk yang dihasilkan adalah hasil ekstraksi dan pemurnian.

Berbagai kebutuhan manusia telah terpenuhi dengan adanya bioteknologi tersebut, di antaranya penyediaan berbagai jenis makanan, seperti tempe, brem, keju, roti, kecap, dan berbagai jenis minuman, seperti anggur, sake, bir, yogurt, dan vitamin. Selain dalam bidang pangan tersebut, bioteknologi juga diterapkan dalam bidang kesehatan (misalnya untuk menghasilkan obat-obatan), di bidang pertanian (misalnya untuk menghasilkan pupuk, untuk mendapatkan bibit tanaman yang bervariasi unggul dan tahan hama), dan di bidang yang lainnya.



Sumber: *Jendela Iptek*, 2001

▲ **Gambar 6.2** Penggunaan helikopter untuk menyemprot tanaman hasil rekayasa genetik agar tahan terhadap herbisida pembasmi tanaman pengganggu

Menurut Perhimpunan Bioteknologi Eropa, bioteknologi diartikan sebagai penggunaan biokimia, mikrobiologi, dan rekayasa kimia secara terpadu dengan tujuan untuk penerapan teknologi dari kapasitas mikroba dan sel-sel jaringan yang dibiakkan. Dalam penerapan yang lain, bioteknologi saat sekarang biasa untuk rekayasa genetik. Rekayasa genetik merupakan usaha mengubah atau memanipulasi bahan atau materi genetik organisme secara *invitro* dengan menambah, mengganti, mengurangi, atau memodifikasi gen sehingga didapatkan organisme dengan ciri kemampuan yang baru.

Gen-gen yang digunakan untuk rekayasa genetik dapat berasal dari organisme sejenis atau organisme yang berbeda jenis tanpa mengenal batas spesies. Rekayasa genetik dilakukan dengan cara yang disebut teknik rekombinan DNA. Teknik ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan peralatan yang canggih.

2. Perkembangan Bioteknologi

Dalam perkembangannya, bioteknologi banyak didukung ilmu-ilmu yang berbasis molekuler seperti biologi molekuler, genetika molekuler, sel, jaringan dan biokimia. Dukungan yang tak kalah pentingnya yaitu dari sarana komputer yang memadai (canggih), karena bidang kajian bioteknologi adalah fenomena hayati pada tingkat molekuler yang memerlukan efisiensi serta akurasi perhitungan-perhitungan yang rumit.

Perkembangan bioteknologi dapat dikelompokkan menjadi empat tahapan sebagai berikut.

- a. Bioteknologi pada era generasi pertama yaitu bioteknologi sederhana pada produksi makanan dan tanaman serta pengawetan makanan melalui penggunaan mikroba secara tradisional.

Pada tahun 6000 SM orang-orang Babilonia telah berhasil membuat bir dengan fermentasi jasad renik. Peristiwa ini merupakan proses bioteknologi yang tertua. Tiga ribu tahun kemudian, orang-orang Sumeria mampu mengembangkan pembuatan bir hingga memiliki berbagai cita rasa (20 macam). Hingga saat sekarang, bioteknologi dapat memberdayakan jenis-jenis minuman serta tanaman dalam varietas yang beragam. Contoh-contoh produk era ini antara lain pembuatan tempe, tape, dan cuka.

- b. Bioteknologi pada era generasi kedua yaitu proses bioteknologi yang berlangsung dalam keadaan tidak steril.

Peristiwa ini merupakan bentuk fermentasi di tempat yang terbuka, sehingga dapat memungkinkan terkontaminasi oleh mikroorganisme lainnya. Fermentasi adalah suatu proses perombakan dari senyawa yang lebih kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan bantuan mikroorganisme. Beberapa jenis produk yang dihasilkan oleh bioteknologi ini, antara lain etanol, asam asetat, asam sitrat, asam laktat, dan gliserin. Sekarang proses pembuatan kompos atau pengolahan limbah juga merupakan contoh jenis bioteknologi fermentasi ini.

- c. Bioteknologi pada era generasi ketiga, yaitu proses bioteknologi yang berlangsung dalam kondisi steril.

Bioteknologi jenis ini merupakan proses-proses biologis atau fermentasi di tempat yang tertutup sehingga menjaga jangsan sampai ada mikroorganisme luar yang mengontaminasi. Beberapa contoh produk hasil bioteknologi ini, antara lain jenis obat-obat antibiotika (pinisilin, tetrasiklyn, streptomisiyn, kloromfenikol, dan vitamin B₁₂, giberin, kortison atau steroid lainnya, asam amino terutama asam glutamat, dan berbagai enzim.

- d. Bioteknologi pada era generasi baru, yaitu proses bioteknologi yang diterapkan pada hasil keilmuan baru (bioteknologi baru).

Berbagai hasil keilmuan baru tentang penerapan bioteknologi sebagai berikut.

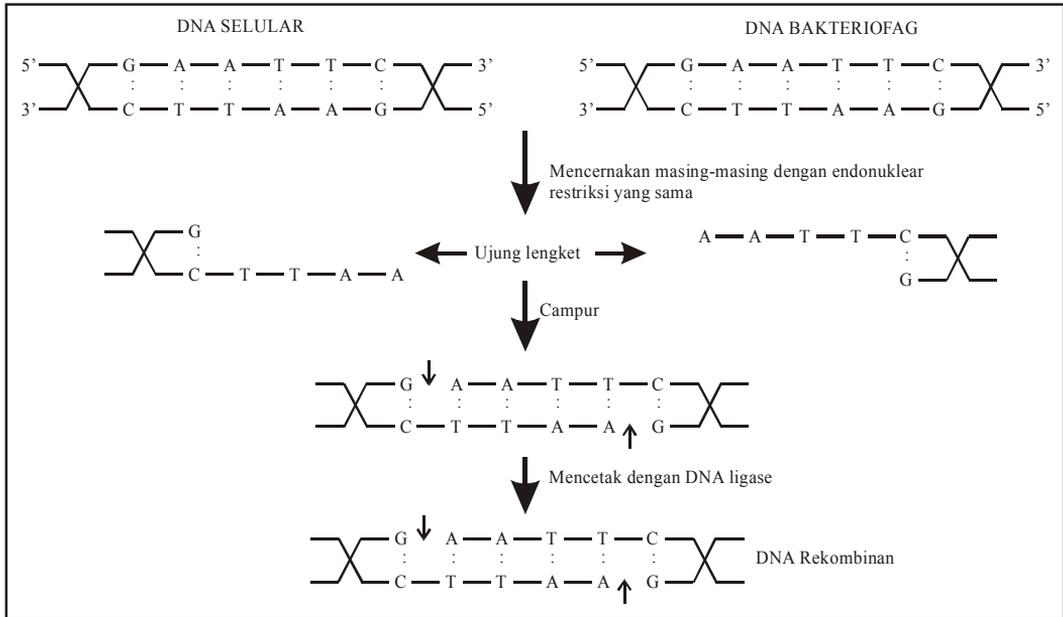
- 1) Penelitian tentang enzim, yang mempelajari tentang aktivitas sel-sel dan enzim yang diatur aktivitasnya. Salah satu contohnya adalah produksi insulin, interferon, dan antibodi monoklonal.
- 2) Keilmuan tentang rekayasa genetika.

Rekayasa genetik merupakan usaha untuk mengubah atau memanipulasi bahan/materi genetik suatu organisme secara invitro melalui penambahan, penggantian, pengurangan, atau modifikasi gen sehingga diperoleh ciri-ciri dengan kemampuan baru. Penambahan gen dilakukan dengan teknologi *rekombinan DNA* atau yang sering disebut kloning gen. Misalnya, membuat DNA rekombinan yang memiliki program untuk membuat insulin. Insulin adalah protein yang bertugas mengontrol metabolisme gula darah dalam tubuh manusia, dan sebagainya. Teknologi ini memberikan kesempatan tak terbatas bagi terbentuknya kombinasi baru dari gen, yang tentunya tidak akan terjadi secara alami pada kondisi normal.

Rekayasa genetik dimulai sejak Mendell menemukan faktor yang diturunkan, kemudian sebuah penelitian terhadap transfer DNA bakteri dari suatu sel ke sel yang lainnya melalui lingkaran DNA kecil yang disebut *plasmid*. Plasmid berfungsi sebagai kendaraan pemindah atau vektor.

INFO

Di Indonesia, pengembangan bioteknologi dilakukan di beberapa lembaga, seperti Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), dan Lembaga Biologi Molekuler Eijkman.



Sumber: *Biologi 1*, 1992

▲ Gambar 6.3 Prosedur DNA Rekombinan

Teknologi rekombinan DNA ini dapat dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

- Pelacakan DNA target dari organisme donor untuk diekstraksi. Selanjutnya, DNA target dipotong secara enzimatik dan diligasi (digabungkan) ke DNA yang lain (vektor kloning) untuk membentuk DNA rekombinan (DNA *insert construct*).
- Vektor dengan insert ini, kemudian dipindahkan dan dipelihara di dalam sel inang. Pemasukan DNA ke sel inang/bakteri dikenal dengan istilah transformasi.
- Sel-sel inang yang dapat mengalami transformasi kemudian dipisahkan dan diisolasi dari sel-sel yang tidak mengalami transformasi, serta ditumbuhkan.
- Jika diperlukan, DNA rekombinan (DNA) tersebut dapat dimanipulasi untuk meyakinkan bahwa produk protein yang dikodekan oleh DNA klon diproduksi oleh sel inang.

Pembentukan DNA rekombinan, dimulai dari pemotongan dengan enzim-enzim *endonuklease restriksi* (*endonuklease* = enzim yang memotong/mencerna DNA, *restriksi* memotong untai DNA pada posisi/urutan basa N spesifik) sampai dengan digabungkan dan terbentuk DNA rekombinan.

Enzim-enzim tersebut ditemukan di dalam bakteri dan secara normal digunakan untuk melindungi dirinya sendiri dari infeksi virus. Enzim tersebut akan memotong DNA bervirus menjadi potongan-potongan yang tidak membahayakan tanpa melakukan kerusakan pada DNA bakterinya sendiri. Berikut ini beberapa contoh enzim endonuklease restriksi.

Tabel 6.1 Beberapa jenis enzim endonuklease restriksi

Enzim Endonuklease Restriksi	Sumber Enzim	Urutan Basa N yang dikenal (tanda titik adalah titik pemotongan)
Eco R1	<i>Eschericia coli</i>	G.AATTC CTTAA.G
Hind III	<i>Haemophilus influenzae</i>	A.AGCTT TTCGA.A
Hpa II	<i>Haemophilus</i>	C.CGG GGC.C
BamH I	<i>Bacillus amyloliquefacienns</i>	G.GATCC CCTAG.G
Mbo I	<i>Moraxella bovis</i>	.GATC CTAG.

Dirangkum dari berbagai sumber

3) Teknik kultur jaringan

Teknik pengembangbiakan secara vegetatif pada organisme makin canggih. Hal ini sejak ditemukannya teknik klon, yaitu produksi suatu organisme dari satu sel tunggal yang diambil dari tubuh sel tumbuhan atau hewan. Sel tunggal ini merupakan somatik dan bukan sel kelamin sehingga sel ini mengandung dua perangkat kromosom. Jadi, sel ini memiliki semua informasi genetik yang diperlukan untuk menghasilkan suatu individu yang lengkap pada saat dirangsang untuk tumbuh. Teknik peng-klon-an pada sel tumbuhan dirasakan lebih mudah dibandingkan dengan sel hewan, karena sel tumbuhan memiliki sifat yang lebih sederhana. Sel tumbuhan juga memiliki sifat *totipotensi*, yaitu kemampuan untuk membentuk tubuh secara lengkap dengan akar, batang, dan daun.

Totipotensi pertama kali dikenalkan oleh G. Haberlandt seorang ahli fisiologi Jerman. Selanjutnya, diperkuat oleh F.C. Steward yang berhasil membuktikan *totipotensi* dari satu sel wortel yang dikultur pada medium tertentu dan kemudian menghasilkan tanaman wortel yang utuh dan lengkap.

Totipotensi dikembangkan sebagai dasar dalam mengembangkan tumbuhan secara *invitro* atau kultur jaringan, yaitu mengembangbiakkan tumbuhan secara vegetatif dengan menggunakan sebagian jaringan pada media tertentu. Media yang dimaksudkan adalah media yang harus mengandung semua kebutuhan yang diperlukan seperti unsur makro, mikro, sumber karbohidrat, zat pengatur tumbuh, vitamin, dan bahan organik lainnya. Beberapa keuntungan dari penggunaan kultur jaringan sebagai berikut.

- a) Propagasi klonal, yaitu didapatkannya turunan secara genetik yang identik dengan induknya atau seragam dalam jumlah yang besar.
 - b) Dapat dipergunakan sebagai pemuliaan tanaman, seperti seleksi, kultur *anther* atau *polen*, kultur protoplas, dan fusi protoplas.
 - c) Dapat diperoleh tumbuhan yang bebas dari virus, karena menggunakan eksplan yang benar-benar bebas virus.
 - d) Metabolisme sekunder, yaitu sifat *totipotensi* yang tidak terbatas pada struktur, tetapi menyangkut kemampuan mensintesis bahan kimia alami.
 - e) Dipergunakan untuk pelestarian plasma nutfah.
- 4) Teknik pengindraan secara molekuler
 - 5) Kelengkapan rancang bangun suatu alat untuk menumbuhkan mikroba yang memungkinkan berlangsungnya suatu reaksi biologi.
 - 6) Teknik bayi tabung

Dengan penemuan teknik *laparoscopi*, memungkinkan sel sperma suami dan sel telur istri difertilisasikan dalam cawan petri atau dalam tabung (*invitro*). Karena pembuahan terjadi di luar, maka teknik ini disebut dengan fertilisasi *invitro* (dalam tabung). Hasil pembuahan tersebut, kemudian ditanamkan kembali ke dalam rahim istri, sehingga istri dapat mengandung dan melahirkan anak sebagaimana biasanya. Bayi yang diproses seperti tersebut dinamakan bayi tabung. Teknik ini pertama kalinya dikenalkan oleh Steptoe dan Edward dari Inggris pada tahun 1977. Teknik bayi tabung ini biasanya dilakukan jika pasangan suami istri dinyatakan secara medis dalam keadaan normal namun karena sesuatu hal sulit untuk terjadinya fertilisasi. Kesulitan tersebut bisa disebabkan tersumbatnya saluran tuba fallopii oleh sesuatu atau adanya antibodi sel benih suami.



Sumber: *Encarta Encyclopedia*

▲ Gambar 6.4 Anak sapi

7) Teknologi Hibridoma

Teknologi hibridoma adalah suatu cara untuk menyatukan dua sel dari jaringan-jaringan berbeda suatu organisme yang sama atau bahkan organisme yang berbeda, sehingga diperoleh satu sel tunggal (sel hibrid). Selanjutnya, sel hibrid dapat dikembangbiakan, sehingga diperoleh bertriliun-triliun sel, yang masing-masing mengandung satu set gen komplet dari dua sel aslinya. Sebagai contoh, salah satu dari dua sel yang asli mungkin berupa sel manusia. Sel tersebut khusus mensekresikan produk yang berguna seperti antibodi atau hormon. Hormon atau antibodi disekresikan dalam jumlah sangat sedikit, karena hasil produksi dikendalikan mekanisme pengaturan sel yang normal.

Jika sel tersebut dilebur dengan sel kanker (sel yang tidak memiliki pengendalian normal terhadap pertumbuhan dan sintesis protein), maka produksi hormon atau antibodi secara dramatis meningkat. Peristiwa peleburan dua sel seperti tersebut, menghasilkan sel hibrid dan dikenal sebagai hibridoma (*hibrid* = sel asli yang dicampur, *oma* = kanker). Tujuan teknik hibridoma adalah untuk menghasilkan antibodi dalam jumlah yang besar, sehingga dapat digunakan untuk diagnostik dan terapeutik. Selain itu, teknik ini merupakan jalan untuk menyilang atau memotong dalam spesies secara genetik pada sel eukariotik yang tidak dapat diselesaikan dengan cara peleburan gamet secara seksual. Secara umum sel-sel tidak melebur secara otomatis, sehingga ilmuwan berusaha merancang teknik laboratorium untuk menstimulir sel-sel tersebut berfusi atau bergabung.

8) Tanaman Transgenik

Tanaman transgenik merupakan jenis tanaman hasil rekayasa genetika. Teknik pembuatan jenis tanaman ini hampir sama dengan teknik pembuatan insulin. Biasanya dalam tanaman yang direkayasa tersebut dimasukkan beberapa sifat, seperti tahan hama, tahan gulma, mampu memproduksi protein tambahan, dan sebagainya. Berikut ini beberapa jenis tanaman transgenik beserta ciri-cirinya yang baru.

Tabel 6.2. Jenis-Jenis Tanaman Transgenik

No.	Nama jenis tanaman	Ciri-ciri yang baru
1	<i>Oilseed rape</i> (kanola)	– toleran terhadap herbisida, meningkatkan kandungan minyak sterilitas jantan, meningkatkan enzim <i>phytase</i>
2	Bit gula (<i>Sugar beet</i>)	– toleran terhadap herbisida, resisten terhadap virus, dan perubahan metabolisme karbohidrat
3	Ubi jalar	– resisten terhadap hama, penyakit jamur, virus, nematoda, dan perubahan metabolisme
4	Tembakau	– resisten terhadap nematoda, perubahan pigmen, perubahan respon terhadap cahaya, perubahan respon fitokrom, sterilitas jantan
5	Jagung	– toleran terhadap herbisida
6	Gandum	– toleran terhadap herbisida, resisten terhadap penyakit jamur, perubahan metabolisme karbohidrat, dan peningkatan mutu roti (<i>baking quality</i>)
7	Tomat	– pengendalian pemasakan buah
8	Bit pakan ternak	– toleran terhadap herbisida
9	Poplar	– perubahan kandungan <i>lignin</i>
10	Strawberi	– resisten terhadap hama
11	Apel	– resisten terhadap hama dan penyakit jamur
12	Chicory	– toleran terhadap herbisida
13	Eucalyptus	– toleran terhadap herbisida

Dirangkum dari berbagai sumber

3. Prinsip Dasar Bioteknologi

Sesuai dengan definisi dari bioteknologi itu sendiri, maka prinsip dasar dari bioteknologi adalah memanipulasi atau merekayasa bahan hayati dengan unsur teknologi untuk menghasilkan suatu produk atau jasa yang dapat dipergunakan bagi kebutuhan manusia.

B. Peran Bioteknologi pada Sains, Lingkungan, Teknologi, dan Masyarakat (Salingtemas)

Perkembangan bioteknologi tidak dapat dipisahkan dari perkembangan mikroorganismenya. Salah satu contohnya, yaitu pada proses fermentasi yang dibantu keberadaan mikroorganismenya. Mikroorganismenya yang paling banyak berperan dalam proses fermentasi maupun pembusukan bahan makanan adalah bakteri dan jamur, yang terdiri atas kapang, khamir, dan virus.

Dalam beberapa hal pertumbuhan mikroorganisme pada bahan pangan yang menguntungkan sangat diharapkan, hal ini demi perbaikan mutu gizi, dan mutu daya cerna. Berikut ini, beberapa contoh peranan mikroorganisme dalam berbagai bidang kehidupan manusia yang bermanfaat sekaligus merupakan implikasi bioteknologi dalam bidang sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas).

1. Bidang Bahan Makanan

Dalam perkembangan tentang bahan makanan saat sekarang ini banyak dipengaruhi oleh bantuan mikroorganisme yang menguntungkan. Berdasarkan hasil percobaan, berikut ini ditampilkan tabel pemanfaatan mikroorganisme baik fermentasi substrat padat, hasil, dan mikrobanya.

Tabel 6.3. Mikroorganisme (mikroba) yang bermanfaat

No.	Substrat	Mikroorganisme	Hasil (Produk)	Keterangan
1	Jerami, serbuk kayu, kertas bekas	<i>Agaricus bisporus</i> , <i>Lentinus edodes</i> , <i>Volvariella volvacea</i>	Jamur	Eropa dan Asia
2	Ketan, singkong	<i>Saccharomyces cerevisea</i> , <i>Endomyopsis sp</i> , ragi	Fermentasi	
3	Kedelai	<i>Rizhopus sp</i>	Kecap	
4	Kedelai	<i>Rhizopus oligosporus</i> , <i>Mucor sp</i>	Tempe	
5	Ampas kacang tanah	<i>Neurospora sitophila</i>	Oncom	Jawa Barat
6	Susu	<i>Penicillium sp</i>	Keju	
7	Bijih logam mutu rendah	<i>Thiobacillus sp</i>	Pencucian logam	
8	Gula, tebu, molase	<i>Aspergillus niger</i>	Asam organik	
9	Bahan organik campuran	<i>Actinomyces</i> , jamur, bakteri	Kompos	
10	Komponen limbah	<i>Protozoa</i> , bakteri, jamur	Perlakuan limbah	

Dirangkum dari berbagai sumber

Kegiatan

(Kecakapan Personal dan Kewirausahaan)

Buatlah tulisan atau artikel ilmiah tentang pembuatan produk makanan yang menggunakan bantuan mikroorganisme, khususnya yang berada dekat rumahmu.

Kumpulkan tugas tersebut kepada guru untuk diberikan tanggapan.

Selain tabel tentang manfaat mikroorganisme, berikut ini juga ditampilkan tabel tentang beberapa manfaat enzim hasil aktivitas dari mikroorganisme (mikroba) beserta pemanfaatannya.

Tabel 6.4. Mikroorganisme, Enzim, dan Pemanfaatannya

No.	Mikroorganisme	Enzim	Manfaat
1	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Alkohol dehidrogenase	Uji alkohol
2	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Bacillus subtilis</i>	Deamilase	Industri makanan Pabrik tenun
3	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Aspergillus oryzae</i>	Amiglukosidase	Produksi gula dari sirup jagung
4	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Bacillus coagulans</i> , <i>Penicillium camemberti</i>	Asparaginase	Obat leukemia getah bening akut
5	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Penicillium vitale</i> , <i>Micrococcus lysodeiktikus</i>	Katalase	Pemisahan H ₂ dalam banyak proses
6	<i>Trichoderma viride</i>	Selulase	Pembuatan sayuran yang didehidrase
7	<i>Bacillus coagulans</i> , <i>Streptomyces phaeochromogeus</i>	Glukosa isomerase	Produksi fruktosa dari buah-buahan
8	<i>Aspergillus niger</i> ; <i>Aspergillus oryzae</i>	Pektinase	Fermentasi buah kopi Pengobatan alergi penisilin
9	<i>Bacillus subtilis</i>	Penisillinase	Produksi penisilin semisintesis
10	<i>Escherichia coli</i>	Penisilinasilase	Pengempuk daging
11	<i>Bacillus subtilis</i>	Protease	Pelunak adonan roti
12	<i>Aspergillus oryzae</i>	Protease (kapang)	Produksi keju
13	<i>Mucor sp</i>	Renin	

Dirangkum dari berbagai sumber

2. Bidang Kesehatan

Dalam bidang kesehatan, mikroorganisme banyak menghasilkan berbagai jenis antibiotika dan vaksin. Baik mikroorganisme yang termasuk kelompok bakteri, fungi, atau jamur. Berbagai kemajuan bioteknologi dalam bidang kesehatan telah mampu membantu kehidupan manusia, seperti contoh berikut ini.

- a. Di Jerman telah mampu memengaruhi proses pertumbuhan suatu mikroorganisme yang dapat menghasilkan senyawa kimia *cobaltaminea*, yaitu sejenis vitamin B₁ yang berperan dalam pembentukan darah.

- b. Di Jepang, kegiatan bioteknologi mampu menghasilkan enzim pencernaan yang diperlukan oleh penderita kencing manis (*diabetes melitus*).
- c. Penemuan vaksin cacar dari serum darah oleh Edward Jenner.
- d. Penemuan antibiotika pertama oleh Louis Pasteur dari jamur *Penicillium* sp. Antibiotika adalah bahan-bahan bersumber hayati yang pada kadar rendah mampu menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Antibiotika tersebut sangat manjur untuk mengobati penyakit, khususnya penyakit yang diakibatkan perkembangan mikroorganisme.



Sumber : *Encarta Encyclopedia*

▲ Gambar 6.5 Hasil kloning pada anak sapi

Berikut ini beberapa contoh zat anti-biotika yang dihasilkan dari mikroorganisme.

- a. Penisilin, dihasilkan oleh *Penicillium notatum*, *P. chrysogenum*.
- b. Sefalosporin, diekskresikan oleh *Cephalosporin* (sejenis fungi).
- c. Streptomisin, dihasilkan oleh *Streptomyces griseus*.
- d. Kloromisetin atau kloromfenikol, dihasilkan oleh *Streptomyces venezuelae*.
- e. Tetrasiklin, dihasilkan oleh *Strepto-myces aureofaciens*.

3. Bidang Pertanian

Dalam bidang pertanian, peranan mikroorganisme sangat penting. Hal ini mengingat telah terjadi hubungan antara tumbuhan dan hewan. Beberapa jenis bakteri yang tergolong parasit misalnya *Bdellovibrio bacteriovorus*, *Rickettsia*, *Chlamydia* merupakan obligat parasit. Mikroorganisme yang sering menyerang tanaman, antara lain *Ervinia*, *Corynebacterium*, *Pseudomonas*, *Ustilago*, dan *Puccinia*.

Pada beberapa jenis mikroorganisme yang bersifat patogen atau tidak menguntungkan tersebut, oleh seorang mikrobiolog Veteriner bersama dengan ahli patologi tumbuhan berupaya mencari jenis mikroorganisme lain yang mampu menghasilkan zat yang dapat menghentikan atau membunuh

mikroorganisme yang bersifat patogen tersebut. Dari beberapa uji coba, akhirnya ditemukan salah satu bakteri seperti *Bacillus thuringensis*. Hasil ekskresi dari bakteri ini dikembangkan dan dibuat menjadi pestisida. Selain itu, jenis bakteri *Bdellovibrio bacteriovorus*, yang bersifat parasit terhadap bakteri lain, juga digunakan sebagai penghasil pestisida.

4. Bidang Lingkungan

Dampak perkembangan teknologi dan industri pada akhir abad 20-an memberi banyak kerugian, khususnya kerugian dalam lingkungan. Kerusakan lingkungan oleh pengolahan industri yang tidak bertanggung jawab menjadi akar permasalahan dalam kehidupan manusia. Banyak zat-zat berbahaya yang dibuang ke alam tanpa bertanggung jawab, seperti etanol, asam asetat, asam organik, butanol, dan aseton.

Oleh karena itu, perlu pengolahan air limbah dan pembuatan kompos. Peran mikroorganisme dalam dekomposisi dan detoksifikasi air selokan, akan membantu mengurangi pencemaran pada pembuangan limbah industri kimia. Untuk itu, upaya mengembangbiakkan mikroorganisme yang dapat mencerna limbah-limbah atau bahan pencemar lainnya selalu dilakukan.

TUGAS

(Berpikir Kritis dan Kreatif)

Buatlah prosedur dan teknis pengolahan limbah atau sampah sehingga menjadi sesuatu yang bermanfaat. Presentasikan hasil kerjamu di depan kelas.

5. Bidang Industri

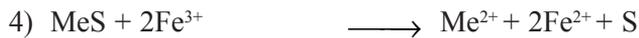
Dalam bidang industri peranan mikroorganisme dapat dijumpai pada teknologi pemisahan logam. Beberapa jenis bakteri ada yang dapat hidup pada logam, misalnya bakteri besi *Thiobacillus ferrooxidans* yang mampu mengoksidasi besi (II) menjadi besi (III), dengan reaksi sebagai berikut.



Bakteri tersebut mirip dengan *Thiobacillus thiooxidans* yang dapat mentoleransi nilai pH hingga 2,5 dengan mendapatkan energi dari senyawa-senyawa belerang dan ion-ion Fe^{2+} . Habitat bakteri ini di perairan yang asam dari bijih logam, terutama sulfida logam, seperti FeS_2 .

Dengan proses oksidasi oleh bakteri dari senyawa-senyawa belerang tereduksi atau belerang unsur menjadi asam sulfat dari Fe^{3+} , maupun oleh oksidasi secara kimia logam berat yang tidak larut menjadi sulfat logam, maka bakteri yang berada dalam bijih besi mampu memisah dari bijih besinya.

Sebagai contoh:



Bakteri juga dapat melakukan penyediaan asam belerang pada pemisahan bijih logam yang dilakukan oleh dua macam bakteri tersebut di atas. Selain bijih besi yang dipisahkan, juga bisa tembaga (Cu), seng (Zn), kobalt (Co), emas (Au), dan uranium. Contoh bakteri lain yang dapat dimanfaatkan dalam bioteknologi sebagai berikut.

- a. *Gallinella ferruginea*, mampu mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , yang hidup di lapisan besi oksidasi pada air buangan.
- b. *Leptothrix ochracea*, mampu mengoksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} , yang hidup di lapisan besi oksidasi pada air buangan.
- c. *Leptothrix discopharus*, mampu mengoksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{4+} .

C. Implikasi Bioteknologi

1. Pengembangan Bioteknologi

Dalam perkembangan bioteknologi, makhluk hidup memiliki potensi untuk digunakan sebagai donor gen ataupun penerima gen dalam rekayasa genetik, tergantung pada produk yang akan dibuat. Salah satu contohnya, di bidang peternakan dikembangkan teknik-teknik yang secara komersial menguntungkan, misalnya teknik embrio transfer pada sapi, domba, kambing, dan babi. Teknik ini dikembangkan secara menyeluruh dari cara seleksi donor, perangsangan superovulasi, koleksi embrio, evaluasi embrio, seleksi resipien, dan teknik mentransfer embrio.

In vitro fertilization (IVF) dan *oocyte maturation* juga dikembangkan dan berhasil dengan baik pada hewan atau manusia. Pada hewan ternak kombinasi antara IVF dan embrio transfer merupakan teknik yang menarik. Kedua teknik ini memungkinkan hewan dapat memberikan keuntungan sebagai donor terus-menerus, menyuplai banyak *oocyte* untuk meningkatkan mutu, dan pelipatgandaan hewan produksi. Seperti contoh hewan yang berhasil dikembangkan dengan jalan kloning, yaitu domba dolly, ikan karper, kera NETI (*Nuclear Embryo Transfer Infant*) dan ditto, kucing, sapi, dan sebagainya. Dalam bidang pertanian, lahirnya tanaman transgenik seperti telah diuraikan pada halaman sebelumnya.

2. Bioteknologi dan Hak atas Kekayaan Intelektual (Haki)

Perkembangan bioteknologi yang makin pesat, berdampak pada pengadaan proyek dalam skala besar. Terkait dengan hal tersebut maka ada alasan ekonomi untuk melakukan berbagai upaya pengadaan suatu produk bioteknologi. Untuk itu, kepemilikan adanya HAKI (*Hak Atas Kepemilikan Intelektual*) mutlak harus dipunyai seorang ilmuwan atau penemu suatu keilmuan, khususnya dalam bidang bioteknologi. Penemuan-penemuan baru yang dimiliki tersebut dilindungi. Secara hukum ada kesepakatan internasional yang mengaturnya yaitu *Convention on Biological Diversity* dan *World Trade Organization*.

Saat sekarang, gen atau bagian gen, bahkan gen manusia telah dipatenkan. Pada tahun 1997, kurang lebih 1.100 gen telah dipatenkan. Perlindungan paten ini telah menjadi bagian dari kesepakatan internasional.

3. Bioteknologi dan Keamanan Hayati (*Biosafety*)

Untuk menjaga dampak negatif dari pengembangan bioteknologi, di tingkat internasional telah diakui dan ditandatangani sebuah konvensi yang mengikat secara hukum, yaitu Konvensi Keanekaragaman Hayati (*Convention on Biological Diversity*, 1992) yang tidak ikut ditandatangani oleh Amerika Serikat. Indonesia telah meratifikasinya sebagai Undang-Undang No. 5 Tahun 1994. Sebagai tindak lanjut konvensi tersebut, telah disepakati pula *Cartagena Protocol on Biosafety* (Protokol Cartagena tentang Pengamanan Hayati).

Protokol ini menyinggung tentang prosedur transportasi produk bioteknologi antarnegara, yang memperkuat adanya kemungkinan bahaya dampak merugikan terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem, juga terhadap kesehatan manusia. Dalam protokol tersebut juga diakui sebagian kedaulatan, yaitu potensi dampak ekonomi, sosial, budaya, dan pengetahuan tradisional (*indigenous knowledge*).

Dampak negatif terhadap keanekaragaman hayati dikarenakan adanya potensi transfer gen (*horizontal and vertical gene flow*) ke tanaman sekerabat dekat. Selain itu, pengklonan akan menyebabkan keanekaragaman genetik yang merugikan populasi terhadap kesehatan manusia, ada kemungkinan produk gen asing seperti gen *cry* dari *Bacillus thuringensis* maupun *Bacillus sphaericus* untuk menimbulkan reaksi alergi pada tubuh manusia. Perlu dicermati pula, insersi atau penyisipan gen asing ke gen inang dapat menimbulkan interaksi antara gen asing dan gen-gen inang sehingga menghasilkan perubahan sifat yang tidak diinginkan.

RANGKUMAN

1. Bioteknologi merupakan suatu bentuk interaksi antara biologi dengan teknologi yang mencakup semua jenis produksi melalui proses transformasi biologis.
2. Bioteknologi dalam arti konvensional adalah teknologi yang menggunakan bahan hayati atau sejenisnya guna menghasilkan barang atau jasa dalam skala industri sebagai pemenuhan kebutuhan manusia.
3. Bioteknologi dalam arti modern adalah teknologi yang menggunakan bahan hayati yang telah direkayasa secara *invitro* guna menghasilkan barang atau jasa dalam skala industri sebagai pemenuhan kebutuhan manusia.
4. Perkembangan bioteknologi dikelompokkan menjadi empat bagian, yaitu: a) perkembangan bahan makanan; b) perkembangan di bawah kondisi nonsteril; c) perkembangan di bawah kondisi steril; dan d) perkembangan pada keilmuan baru.
5. Perkembangan bioteknologi pada keilmuan baru meliputi: penelitian tentang enzim, rekayasa genetika, kultur jaringan, pengindraan molekuler, rancang bangun alat mikroba, bayi tabung, tanaman transgenik, dan hibridoma.
6. Peran bioteknologi dalam bidang sains, lingkungan, teknologi, dan masyarakat (salingtemas) hakikatnya adalah peran rekayasa mikroorganisme dalam bidang bahan makanan, kesehatan, pertanian, lingkungan, dan industri.

UMPAN BALIK

Setelah mempelajari mengenai bioteknologi, tentu kalian sudah memahami dan mampu menjelaskan mengenai hal berikut.

1. Pengertian bioteknologi.
2. Peran bioteknologi pada salingtemas.
3. Implikasi bioteknologi.

Apabila kalian belum memahami dan menguasai materi tersebut secara baik, pelajarilah kembali. Carilah referensi sebanyak mungkin dan mintalah bimbingan guru.

UJI KOMPETENSI

Coba kerjakan soal-soal berikut ini di buku kerja kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Ilmu yang harus dipelajari dalam menerapkan bioteknologi adalah
 - a. biokimia
 - b. mikrobiologi
 - c. geologi
 - d. genetika
 - e. biologi sel
2. Produk teknologi yang menggunakan bahan hayati yang telah direkayasa secara *invitro*, merupakan kategori jenis produk
 - a. modern
 - b. bioteknologi
 - c. biologi
 - d. biokimia
 - e. teknologi terapan
3. Mikroorganisme berikut ini yang *bukan* penghasil antibiotik adalah
 - a. *Penicillium notatum*
 - b. *Penicillium chrysogenum*
 - c. *Streptomyces griseus*
 - d. *Penicillium camemberti*
 - e. *Streptomyces venezuelae*
4. Perhatikan pernyataan berikut ini.
 1. Bioteknologi memerlukan bantuan mikroorganisme.
 2. Produk bioteknologi tidak bermanfaat.
 3. Produk antibiotik merupakan salah satu ciri perkembangan bioteknologi pada era generasi ketiga.
 4. Proses pembuatan kecap bukan termasuk produk bioteknologi.Pernyataan di atas yang benar adalah
 - a. 1 dan 2
 - b. 1 dan 3
 - c. 1, 2, dan 4
 - d. 2, 3, dan 4
 - e. salah semua
5. Salah satu ciri khas produk dari perkembangan bioteknologi pada era generasi pertama adalah pembuatan
 - a. tape
 - b. hormon
 - c. antibiotik
 - d. aseton
 - e. pupuk kompos

6. Produk bioteknologi dalam bidang kesehatan yang berguna bagi penderita *diabetes melitus* adalah
- laktase
 - antibiotik
 - antibodi
 - insulin
 - lipase
7. Mikroorganisme yang ikut membantu pembuatan kecap adalah
- Saccharomyces cerevisiae*
 - Rizhopus* sp
 - Rizhopus oligosporus*
 - Aspergillus niger*
 - Penicillium* sp
8. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut ini.
- Fermentasi adalah peristiwa perombakan senyawa kompleks menjadi sederhana dengan bantuan mikroorganisme.
 - Teknik rekombinan gen sering disebut kloning gen.
 - Streptomycin* merupakan salah satu jenis antibiotik.
 - Tempe dibuat dengan bantuan mikroba *Rhizopus* sp.
- Pernyataan yang benar adalah
- 1, 2, dan 3
 - 1 dan 3
 - 1 dan 2
 - 2 dan 4
 - salah semua
9. Lingkaran benang DNA kecil yang dapat bertindak menyisip bagian tertentu di sepanjang molekul DNA adalah
- DNA sendiri
 - plasmid
 - kromosom
 - gen
 - restriksi
10. Perhatikan pernyataan mengenai sifat baru hasil tanaman transgenik berikut ini.
- Tomat, sebagai pengendalian pemasakan buah.
 - Poplar, untuk perubahan kandungan lignin.
 - Strawberi, resisten terhadap hama.
 - Chicory, toleran terhadap herbisida.
- Pernyataan yang benar ditunjukkan oleh nomor
- 1, 2, dan 3
 - 1 dan 3
 - 1 dan 2
 - 2 dan 4
 - semua benar

B. Kerjakanlah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan jelas.

- Sebutkan ciri utama bioteknologi.
- Sebutkan tahap-tahap perkembangan bioteknologi.
- Sebutkan keuntungan dari pembibitan melalui teknik kultur jaringan.
- Apakah yang dimaksud rekayasa genetik? Berilah contohnya.
- Apakah yang dimaksud antibiotik? Berilah penjelasannya berkaitan dengan peran bioteknologi.

ULANGAN AKHIR

Coba kerjakan soal-soal berikut di buku kalian.

A. Pilihlah salah satu jawaban soal berikut dengan tepat.

1. Tanaman akan mengalami pertambahan besar umumnya disebabkan oleh
 - a. bertambah panjangnya sel di dalam jaringan
 - b. bertambah banyaknya sel di dalam jaringan
 - c. bertambah besar dan banyaknya sel dalam jaringan
 - d. penebalan dinding sel
 - e. pembesaran dan pemanjangan dari sel
2. Faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan adalah
 - a. suhu, cahaya, kelembapan, zat tumbuh
 - b. suhu, tanah, kelembapan, zat tumbuh
 - c. suhu, tanah, pupuk, zat tumbuh
 - d. jenis tanaman, tanah, pupuk, zat tumbuh
 - e. tanah, pupuk, kelembapan, jenis tanaman
3. Kulit batang yang kita lukai dapat membentuk jaringan kalus. Terbentuknya jaringan tersebut dipengaruhi oleh
 - a. asam traumalin
 - b. antokalin
 - c. filokalin
 - d. rizokalin
 - e. kaukalin
4. Pada suhu yang tinggi, enzim akan mengalami kerusakan sehingga tidak dapat berperan sebagai biokatalisator. Kerusakan ini disebut dengan
 - a. hidrolisis
 - b. destruktif enzim
 - c. restrukturisasi enzim
 - d. lisis
 - e. denaturasi
5. Enzim yang berperan mempergiat penggabungan O_2 dengan substrat dan mereduksi O_2 sehingga terbentuk H_2O adalah enzim
 - a. katalase
 - b. oksidase
 - c. hidrase
 - d. dehidrogenase
 - e. karboksilase
6. Pasangan basa nitrogen yang terdapat pada DNA di bawah ini yang benar adalah
 - a. purin terdiri atas guanin dan adenin, pirimidin terdiri atas urasil dan sitosin
 - b. purin terdiri atas timin dan adenin, pirimidin terdiri atas guanin dan sitosin
 - c. purin terdiri atas guanin dan urasil, pirimidin terdiri atas adenin dan sitosin
 - d. purin terdiri atas guanin dan adenin, pirimidin terdiri atas timin dan sitosin
 - e. purin terdiri atas guanin dan sitosin, pirimidin terdiri atas urasil dan adenin
7. Berikut ini adalah fase-fase proses sintesis protein.
 1. RNA-d meninggalkan inti menuju ribosom
 2. RNA-t mengangkut asam amino yang dibutuhkan sesuai dengan kode genetik dan bergabung dengan RNA-d
 3. RNA-r dibentuk dari DNA dalam inti
 4. Asam amino berjajar sesuai dengan urutan kode genetik
 5. Terjadi protein yang dikehendakiUrutan yang sesuai dengan sintesis protein adalah
 - a. 1, 2, 3, 4, 5
 - b. 3, 1, 2, 4, 5
 - c. 2, 3, 4, 1, 5
 - d. 1, 3, 4, 5, 2
 - e. 2, 3, 4, 5, 1

8. Pasangan gen bisa memiliki lebih dari dua anggota, contohnya yang terjadi pada kelinci yang memiliki empat cara yang berlainan dalam membentuk lemak. Peristiwa ini disebut
 - a. rekombinasi gen
 - b. *crossing over*
 - c. alela ganda
 - d. translokasi
 - e. alela
9. Peristiwa yang terjadi pada percobaan Nelson Ehle terhadap gandum biji merah dan biji putih diperoleh F_2 dengan rasio fenotipe 15 merah : 1 putih. Peristiwa ini disebut
 - a. polimeri
 - b. kriptomeri
 - c. epistasi
 - d. hipostasi
 - e. asortasi
10. Penyakit buta warna diturunkan dari orang tua kepada anaknya, yang dikendalikan oleh gen resesif. Peristiwa ini disebut
 - a. penyakit menurun tidak terpaut seks
 - b. penyakit menurun terpaut seks
 - c. penyakit menurun
 - d. penyakit menurun bebas
 - e. penyakit menurun resesif
11. Embriologi perbandingan merupakan petunjuk adanya evolusi yang menunjukkan adanya kekerabatan antara individu, sebab
 - a. pembelahan zigot sampai fase blastula itu sama
 - b. terjadi pembentukan zigot yang sama
 - c. memiliki lapisan embrional yang sama
 - d. periode masuknya ovum sama
 - e. cara dalam menghasilkan telur dari ovarium sama
12. Faktor-faktor yang memengaruhi keanekaragaman adalah
 1. Rekombinasi gen
 2. Mutasi gen
 3. Suhu lingkungan
 4. Keadaan lingkungan
 5. Makanan
 Menurut Darwin, faktor yang paling menentukan terjadinya variasi adalah
 - a. 1, 3, 4
 - b. 2, 3, 4
 - c. 2, 4, 5
 - d. 3, 4, 5
 - e. 2, 3, 5
13. Kebalikan dari homologi sebagai petunjuk bukti adanya evolusi adalah analogi. Analogi terhadap anggota-anggota tubuh dari makhluk hidup berikut ini adalah
 - a. tangan manusia dengan sayap burung
 - b. sayap burung dengan sayap kupu-kupu
 - c. kaki depan lembu dengan sayap burung
 - d. sirip depan ikan paus dengan kaki depan katak
 - e. kaki manusia dengan kaki ayam
14. Fosil kuda secara lengkap memberikan gambaran adanya evolusi, sebab
 - a. terjadi perubahan dari waktu ke waktu secara berangsur-angsur
 - b. pada eosin kuda berukuran sebesar kucing
 - c. gerakan rotasi semakin berkembang
 - d. fosil kuda ditemukan setiap zaman geologi
 - e. nenek moyang kuda jarinya selalu empat
15. Pasangan kedua organ ini yang menunjukkan adanya homologi, yaitu
 - a. kaki serangga dengan kaki tikus
 - b. insang berudu dengan insang ikan gabus
 - c. kaki depan kuda dengan tangan manusia
 - d. sayap serangga dengan sayap burung
 - e. sirip ikan paus dengan sirip ikan kakap

16. Terjadinya variasi dalam spesies menimbulkan batasan-batasan arti spesies. Hewan dikatakan satu spesies apabila
 - a. berada dalam genus yang sama
 - b. memiliki organ-organ tubuh yang sama
 - c. faktor makanan sama
 - d. berkompetisi dalam hal yang sama
 - e. melakukan perkawinan dan dihasilkan keturunan yang fertil
17. Pernyataan yang *tidak* mendukung bahwa perwujudan mutasi yang menguntungkan sangat kecil walaupun mutasi merupakan mekanisme evolusi adalah
 - a. kemampuan reproduksi populasi mengalami perubahan
 - b. setiap gamet mengandung beribu-ribu gen
 - c. setiap individu menghasilkan beribu-ribu gamet
 - d. jumlah populasi banyak sekali
 - e. jumlah generasi selama spesies itu ada banyak sekali
18. Kambing dan biri-biri tidak termasuk satu spesies karena
 - a. tidak terjadi interhibridisasi
 - b. perbedaan genotipe
 - c. terjadinya perkawinan silang
 - d. perbedaan fenotipe
 - e. terjadinya interhibridisasi
19. Apabila dua spesies simpatrik tidak mampu melakukan interhibridisasi karena terpisahkan tempat yang berjauhan, maka keduanya mengalami isolasi
 - a. reproduksi
 - b. geografis
 - c. gamet
 - d. perilaku
 - e. adaptasi
20. Berikut ini yang *bukan* termasuk jenis tanaman transgenik adalah
 - a. tomat
 - b. ubi jalar
 - c. strawberi
 - d. kelapa sawit
 - e. gandum

B. Jawablah soal-soal di bawah ini dengan singkat dan tepat.

1. Jelaskan contoh peristiwa pertumbuhan dan perkembangan suatu individu.
2. Apa yang dimaksud katabolisme?
3. Jelaskan perbedaan DNA dengan RNA.
4. Jelaskan perjalanan sintesis protein.
5. Jelaskan yang kalian ketahui tentang Teori Evolusi menurut Darwin.
6. Sebutkan dampak yang menguntungkan dari mutasi gen atas terbentuknya spesies baru.
7. Sebutkan faktor-faktor yang memengaruhi timbulnya evolusi.
8. Apa yang dimaksud kloning gen?
9. Jelaskan tentang teknik kultur jaringan.
10. Sebutkan contoh peranan bioteknologi dalam bidang kesehatan dan pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Burnie, D. 2001. *Jendela Iptek: Kehidupan*. Jakarta: PT. Balai Pustaka.
- Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 1994. *Kurikulum Sekolah Menengah Umum Mata Pelajaran Biologi*. Jakarta: Depdikbud.
- Dwijoseputro. 1980. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Gramedia.
- James D. Watson, John Tooze, & David T. Kurtz. 1988. Alih Bahasa oleh Wisnu Gunarso. *DNA Rekombinan*. Jakarta: Erlangga.
- Jean Claude Corbeil, Ariane Archambault. 2004. *Kamus Visual Indonesia-Inggris* (alih bahasa oleh Frans T. Haryanto, S. Raharjo). Canada: QA International.
- Keeton W.T & James L. Golud. 1993. *Biological Science, fifth edition*. W.W. Norton and company, inc. USA.
- Kimball, JohnW. 1992. *Biologi Seri 1*. Jakarta: Erlangga.
- _____. 1992. *Biologi Seri 2*. Jakarta: Erlangga.
- Kramer, Ann. 2001. *Ensiklopedi Populer Anak*. Jakarta: PT. Ichtiar Baru van Hoeve.
- Mackean, D.G. 2002. *IGCSE Biology*. London: John Murray
- _____. 2002. *Ilmu Pengetahuan Populer*. Jakarta: PT. Widyadara
- Marjanin, M, Ir, Hadmadi M.Ed, Ir. 1982. *Botani*. Jakarta: CV. Yasaguna.
- Parker, S. 2001. *Jendela Iptek: Ilmu Kedokteran*. Jakarta: PT. Balai Pustaka.
- Sumanto. 1992. *Kimia Organik*. Surakarta: UNS Press.
- Suroso Ay, Anna P, Kardiawarman. 2003. *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*. Cet 2. Jakarta: Tarity Samudra Berlian.
- Stockley, C diterjemahkan oleh Rintis Noviyanti, Ph. D. 2005. *Kamus Biologi Bergambar*. Jakarta: Erlangga.
- Syukur, Abdul. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*. Jakarta: PT. Ichtiar Baru van Hoeve.
- Toegino. 1992. *Genetika 2*. Surakarta: UNS Press.

GLOSARIUM

<i>abiogenesis</i>	: teori yang mengatakan kehidupan berasal dari benda mati
<i>alela</i>	: pasangan gen yang terletak pada kromosom homolog
<i>anabolisme</i>	: proses-proses penyusunan energi kimia melalui sintesis senyawa-senyawa organik
<i>antibiotika</i>	: zat kimia yang dihasilkan oleh berbagai mikroorganisme tertentu yang dalam kadar rendah mempunyai kemampuan untuk menghambat pertumbuhan atau menghancurkan mikroorganisme lain
<i>asortasi</i>	: prinsip kombinasi (berpasangan) secara bebas
<i>back cross</i>	: persilangan balik
<i>biogenesis</i>	: teori yang mengatakan kehidupan berasal dari makhluk hidup
<i>bioteknologi</i>	: penggunaan makhluk hidup dan proses di dalamnya untuk menghasilkan suatu produk atau jasa
<i>blastula</i>	: tahap perkembangan embrio pada saat terbentuknya rongga (blastosol)
<i>DNA rekombinan</i>	: DNA suatu mikroba yang telah disambung dengan penggalan DNA lain
<i>dorman</i>	: kondisi istirahat atau tanpa gerakan pada biji dengan cara melambatkan metabolisme
<i>double helix</i>	: model struktur DNA seperti tangga tali yang terpilin
<i>eksplan</i>	: bagian suatu tanaman yang akan dibuat kultur jaringan
<i>epigeal</i>	: tipe perkecambahan yang menghasilkan kotiledon, dan epikotil keluar dari biji sebagai akibat pemanjangan hipokotil. Dengan demikian, kotiledon tampak keluar ke atas tanah
<i>etiologi</i>	: pertumbuhan secara cepat di tempat yang gelap (kurang cahaya)
<i>evolusi</i>	: perubahan bertahap dalam waktu relatif lama
<i>fenotipe</i>	: sifat yang tampak
<i>fermentasi</i>	: proses perombakan organik oleh bakteri secara anaerob

<i>galur murni</i>	: induk yang bergenotipe homozigot
<i>gen</i>	: suatu molekul polimer yang berupa DNA (Deoksiribo Nucleid Acid)
<i>genotipe</i>	: sifat yang tidak tampak, yang disimbolkan dengan huruf
<i>glukoneogenesis</i>	: pembentukan glukosa dari piruvat
<i>hibrid</i>	: persilangan atau pembastaran
<i>hipogeal</i>	: tipe perkecambahan yang menghasilkan sedikit hipokotil atau sama sekali tidak ada hipokotil sehingga kotiledon tetap berada di dalam biji. Dengan demikian, kotiledon tidak tampak ke luar ke atas tanah
<i>imbibisi</i>	: masuknya air secara pasif ke dalam biji sehingga biji mengembang
<i>irreversibel</i>	: perubahan yang tidak dapat kembali ke bentuk semula/asal
<i>katabolisme</i>	: proses penguraian dan pembebasan energi dari senyawa-senyawa organik melalui proses respirasi
<i>klon</i>	: kumpulan sel turunan dari sel induk tunggal melalui proses reproduksi
<i>kotiledon</i>	: daun lembaga, merupakan daun pertama pada embrio tumbuhan
<i>kromatid</i>	: kromosom yang mengganda (terpilin)
<i>kromomer</i>	: benang-benang kromosom
<i>kromosom</i>	: badan-badan halus yang berbentuk lurus atau bengkok dan mudah mengikat zat warna
<i>laju mutasi</i>	: angka-angka yang menunjukkan jumlah gen-gen yang bermutasi di antara seluruh gamet yang dihasilkan
<i>lingkaran tahun</i>	: secara umum disebut sebagai lingkaran tumbuh pada daerah tropis yaitu daerah pada irisan melintang batang yang dapat dibedakan dalam floem atau xilem sekunder yang terbentuk selama satu tahun
<i>lokus gen</i>	: lokasi yang ditempati setiap gen atau sekelompok gen
<i>meiosis</i>	: proses pembelahan pada pembentukan sel gamet (sel kelamin)

<i>meristem apikal</i>	: meristem ujung, meristem yang terdapat di daerah ujung atau apikal batang, cabang, dan akar
<i>meristem</i>	: jaringan muda yang menghasilkan sel-sel yang kemudian mengalami diferensiasi dan spesialisasi menjadi jaringan permanen
<i>mikrobiologi</i>	: ilmu yang mempelajari tentang mikroorganisme
<i>mitosis</i>	: pembelahan yang terjadi pada sel tubuh
<i>mutasi gen</i>	: perubahan susunan kimia suatu gen
<i>partenokarpi</i>	: pembentukan buah tanpa fertilisasi sperma dengan ovum atau tanpa pembuahan
<i>plasmid</i>	: lingkaran benang DNA kecil yang terdapat dalam sel bakteri di luar kromosom bakteri tersebut
<i>polipeptida</i>	: suatu rangkaian yang terbentuk dari asam-asam amino di dalam ribosom
<i>protein</i>	: kumpulan polipeptida
<i>rekayasa genetika</i>	: pencangkokan gen
<i>rekombinasi gen</i>	: perubahan frekuensi gen yang terjadi melalui perkawinan pada generasi berikutnya
<i>segregasi</i>	: prinsip pemisahan bebas
<i>seleksi alam</i>	: seleksi terhadap makhluk hidup yang berada di lingkungan
<i>substrat</i>	: zat yang dapat diubah menjadi sesuatu yang baru
<i>test cross</i>	: uji silang
<i>transkripsi</i>	: peristiwa DNA mencetak RNA-d (RNA duta)
<i>translasi</i>	: penerjemahan informasi genetika yang berupa urutan basa nitrogen (kodon) menjadi asam amino
<i>varian</i>	: individu yang mengalami variasi
<i>variasi</i>	: sifat yang berbeda pada individu-individu satu spesies

INDEKS ISTILAH

- Aberasi, 58
Abiogenesis, 73
Adenosin triphospat, 18
Adenin, 37
Adrenalin, 21
Aglutinogen, 57
Akrosentrik, 35
Alela, 50
Anabolisme, 17
Anafase, 48
Analogi, 77
Aneuploidi, 60
Antigen, 57
Antikodon, 40, 41
Apoenzin, 18
Asam absisat, 10
Asam amino essensial, 27
Asam amino nonessensial, 27
Auksin, 9
Autokatalik, 38
Back cross, 35
Basa nitrogen, 37
Bio teknologi, 93, 94, 95, 96, 101
Biogenesis, 73
Cahaya, 11
Colour blind, 56
Daerah diferensiasi, 7
Daerah pemanjangan sel, 6
Daur krebs, 22, 23, 24
Defisiensi, 61
Dehidrogenase, 18, 30, 31, 112
Deksi, 61
Desmolase, 20
Detoksifikasi, 17
Diakinesis, 47
Diferensiasi, 3
Diflonema, 47
Dihybrid, 49, 52
DNA rekombinan, 96, 97
Domestikasi, 82
Double helix, 37
Duplikasi, 61
Embrio, 34
Endosperma, 5
Enzim, 3, 4
Eohippus, 76
Epigeal, 4, 5
Epineprin, 25
Epistasi, 54
Epitel tubulus proximal, 28
Eritroblastosis faetalis, 57
Etilen, 10
Eukarion, 36
Euphoidi, 59
Fenotipe, 50, 113, 115
Fermentasi, 21, 95
Filiial, 50
Filogeni, 77
Filtrate glomerulus, 28
Floem, 5
Fosfatase, 18
Fototropisme, 9
Gahermurni, 49, 51
Generatio spontanea, 73
Genetic engineering, 93
Genetika, 47
Genotipe, 50, 52
Geotropisme, 9
Giberelin, 10
Glikogenesis, 21
Glikolisis, 21, 22
Glukoneogenesis, 22, 23
Glukosa Gp dehidrogenase, 18
Glukosuria, 21
Guanine, 37
Haemofili, 56
Heterokatalik, 38
Heterozigot, 50
Hibridoma, 100
Hidrase, 20
Hipegeal, 5
Hiperglisemia, 21
Hipoglisemia, 21
Hipostasi, 54
Holoenzim, 17
Homologi, 77
Homozigot, 50
Hormon, 9
Hukum asortasi, 53
Hukum Mendell, 47
Imbibisi, 3
Inhibitor, 10
Insulin, 21
Interfase, 47
Intermedier, 51
Internodus, 7
Inversi, 6, 61
Invitro, 99
Isolasi geografis, 82
Isolasi reproduksi, 82
Kaliptra, 6
Kambium, 7, 8
Karboksilase, 20
Katabolisme, 17
Katalase, 19
Klon, 98
Kloning gen, 96
Kodogen, 39
Kodon, 40
Koenzim, 18
Koenzim -A, 23
Kolenkima, 7
Koleoptil, 9
Kolumela, 6

Kotiledon, 4, 5
 Kriptomeri, 54, 113
 Kromogen, 38
 Kromosom, 35, 36, 37, 38, 40
 Kultur jaringan, 98, 99
 Laju mutasi, 79, 80
 Laparoskopji, 99
 Laptonema, 47
 Lipid, 25
 Lokus, 37
 Meristem, 6
 Metabolisme, 17, 20
 Metafase, 48
 Metasentrik, 35
 Mikrobiologi, 93
 Mitokondrian, 23
 Monohibrid, 49, 62
 Monoploidi, 59, 63
 Monosomik, 60
 Multiple delle, 50
 Mutasi gen, 79
 Mutasi, 58, 59, 61, 86
 Nicoti amida adenine denukleotida fosfat, 18
 Normal capier, 5
 Nuclear embryo transfer infant, 107
 Nukleotida, 37, 38
 Nullisomik, 60
 Oksidase, 19
 Ontogeni, 77
 Pakhinema, 47
 Pedigree, 54
 Peroksidase, 20
 Phelsose isomerase, 18
 Pirimidin, 37, 39
 Piruvat, 22, 23, 24
 Plasmagen, 38
 Plasmid, 96
 Polimeri, 53
 Polipolidi, 60
 Prinsip segregasi, 51
 Protease, 47
 Pseudodominan, 61
 Radiasi, 62
 Radioisotope, 62
 Rekombinasi gen, 79
 Replikasi DNA, 38
 Resesif, 49, 50
 Resfriksi, 98
 Respirasi, 22
 Resfriksi, 98
 Rhesus, 57
 RNA – d, 40, 41
 RNA – r, 40
 RNA – t, 40, 41
 RNA, 40, 41
 Sel gamet, 47
 Sel somatik, 47
 Seleksi alam, 81
 Sentromer, 35
 Sposiasi, 82
 Submetasentrik, 35
 Teknik jantan mandul, 62
 Telofase, 48
 Telosentrik, 35
 Teori evolusi, 74, 82
 Teori rekapitulasi, 77
 Terpaut seks, 55
 Test cross, 53
 Tetrasonik, 60
 Tinnin, 37
 Totipotensi, 99
 Transgenik, 100, 101
 Transkripsi, 41
 Translasi, 41
 Translokasi, 61
 Transphosforilase, 20
 Trihibid, 50
 Tripsinogen, 17
 Trisonik ganda, 60
 Varian, 75
 Variasi, 75
 Zomogen, 12
 Zygonema, 47

INDEKS PENGARANG

C. Stockley, 14, 48

D. Burnie, 45, 93, 94

D.G. Mackean, 9, 48

Dwijoseputro, 3, 6, 11

Ir. M. Marjanin dan Ir. Hadmadi M. Ed, 8

James D. Watson, et – al, 37, 38, 96, 97, 98

John W. Kimbal, 10, 17, 37, 38, 42, 76, 79, 82

Keeton W.T. and James L. Golud, 21, 22

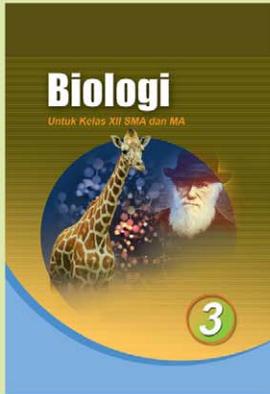
Sumanto, 19, 20, 25, 26, 27

Suroso Ag, ddk, 71, 74

Toegino, 35, 40, 47, 51, 56, 60

Catatan

Catatan



ISBN 978-979-068-128-3 (no.jld.lengkap)

ISBN 978-979-068-135-4

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 34 Tahun 2008 tanggal 10 Juli 2008 tentang Penetapan Buku Teks yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam proses pembelajaran.

HARGA ECERAN TERTINGGI (HET) Rp. 7.076,-