

Suwarno



Panduan Pembelajaran

Biologi

Untuk SMA & MA

Kelas
XII



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Suwarno



Panduan Pembelajaran
Biologi
Untuk SMA & MA

Kelas

XII



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Perpustakaan Nasional: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-Undang

Panduan Pembelajaran

Biologi XII

Untuk SMA & MA

Penulis:

Suwarno

Editor:

Riswanti

Setting/Lay Out:

Agung Wigutomo

Perwajahan:

Wahyudin Miftakhul Anwar

Ilustrator:

Adi Wahyono

Sumber Sampul:

Phil Askey www. dpreview.com collection 2002

574.07

Suw

Suwarno

b

Panduan Pembelajaran Biologi : Untuk SMA/MA Kelas XII / Penulis Suwarno ; Editor Riswanti ; Ilustrator Adi Wahyono. — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009. viii, 234 hlm. : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 226

Indeks

ISBN 978-979-068-136-1 (no jld lengkap)

ISBN 978-979-068-139-2

1. Biologi-Studi dan Pengajaran 2. Riswanti 3. Wahyono, Adi
4. Judul

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional dari Penerbit CV Karya Mandiri Nusantara

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009

Diperbanyak oleh ...

Kata

Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 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 (*down load*), 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, Februari 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Kata

Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan hidayah -Nya dalam penyelesaian buku ini.

Dalam buku ini kalian diberi bekal untuk dapat menerapkan segala ilmu yang kalian pelajari lewat materi, tugas, latihan, percobaan, evaluasi, serta portofolio.

Melalui buku ini kalian kami ajak untuk mencapai tujuan Biologi itu sendiri, yaitu

1. Membentuk sikap positif terhadap Biologi dengan menyadari keteraturan dan keindahan alam serta mengagungkan kebesaran Tuhan Yang Maha Esa.
2. Memupuk sikap ilmiah yaitu jujur, objektif, terbuka, ulet, kritis, dan dapat bekerja sama dengan orang lain.
3. Mengembangkan pengalaman untuk dapat mengajukan dan menguji hipotesis melalui percobaan, serta mengomunikasikan hasil percobaan secara lisan dan tertulis.
4. Mengembangkan kemampuan berpikir analisis, induktif, dan deduktif dengan menggunakan konsep dan prinsip Biologi.
5. Mengembangkan penguasaan konsep dan prinsip Biologi dan saling keterkaitannya dengan IPA lainnya serta mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap percaya diri.
6. Menerapkan konsep dan prinsip biologi untuk menghasilkan karya teknologi sederhana yang berkaitan dengan kebutuhan manusia.
7. Meningkatkan kesadaran dan berperan serta dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Jadi, lewat buku sederhana ini yang masih banyak kekurangannya kami mengajak kalian senantiasa belajar, belajar, dan belajar, karena dengan belajarlah kalian dapat menembus cakrawala.

Dengan buku kalian selangkah lebih maju

Jakarta, Mei 2007

Penulis

Daftar Isi

Kata Sambutan	iii
Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
Bab I Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	1
A. Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	3
B. Tahap Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	4
Bab II Faktor-Faktor Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan	13
A. Faktor Genetik	15
B. Faktor Internal	16
C. Faktor Lingkungan (Eksternal)	18
Bab III Enzim Metabolisme.....	27
A. Pengertian Metabolisme	29
B. Adenosin Triphospat (ATP).....	29
C. Enzim	31
Bab IV Katabolisme dan Anabolisme Karbohidrat.....	39
A. Katabolisme Karbohidrat	41
B. Anabolisme Karbohidrat	47
Bab V Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein..	59
A. Karbohidrat	61
B. Lemak	62
C. Protein	64
Bab VI DNA, Gen, dan Kromosom.....	71
A. DNA dan RNA	73
B. Gen	76
C. Alel dan Multiple Alel	78
D. Kromosom	79

Bab VII Sintesis Protein	85
A. Tahap-Tahap Sintesis	87
B. Kode Genetik	89
Bab VIII Mitosis dan Meiosis	95
A. Mitosis	97
B. Siklus Sel	99
C. Meiosis	101
D. Proses Mitosis dan Meiosis dalam Pewarisan Sifat	104
Bab IX Hereditas	111
A. Pendahuluan	113
B. Pola-Pola Hereditas	114
C. Hereditas pada Manusia	122
Bab X Mutasi	129
A. Pendahuluan	131
B. Macam Mutasi	131
C. Penyebab Mutasi	137
D. Dampak Mutasi bagi Kehidupan	138
Evaluasi Semester I	143
Bab XI Evolusi.....	147
A. Pengertian dan Jenis-Jenis Evolusi	149
B. Perkembangan Teori Evolusi	150
C. Konsep Evolusi Menurut Darwin	151
D. Petunjuk-Petunjuk Evolusi	152
E. Hubungan Mutasi dengan Proses Evolusi	156
F. Frekuensi Gen dan Alel dalam Populasi	158
G. Hukum Hardy-Weinberg	160
H. Menghitung Frekuensi Gen dalam Populasi	161

I. Menghitung Frekuensi Multiple Alel	163
J. Menghitung Frekuensi Gen yang Tertaut Kromosom Sex	165
K. Perubahan Perbandingan Frekuensi Gen pada Populasi	166
L. Spesiasi atau Timbulnya Spesies Baru	167
Bab XII Bioteknologi	175
A. Pengertian Bioteknologi	177
B. Perkembangan Bioteknologi	177
C. Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Bioteknologi	178
D. Aplikasi Bioteknologi dalam Kehidupan	179
E. Kultur Jaringan	185
F. Rekayasa Genetika	186
G. Dampak Bioteknologi terhadap Kehidupan Manusia	189
Evaluasi Semester II	198
Evaluasi Akhir.....	202
Glosarium	206
Daftar Pustaka	209
Indeks	210

Bab I

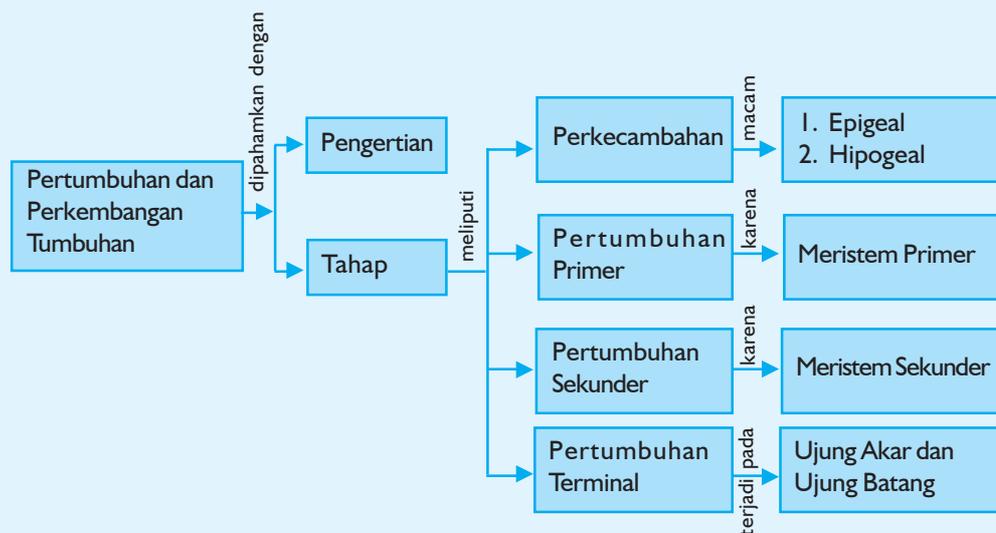
Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar: www.depreview.com

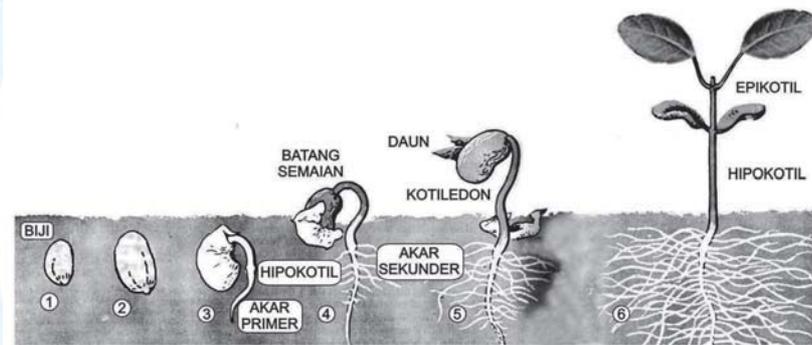
Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan tahap pertumbuhan tumbuhan dimulai dari perkecambah.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab I :

1. Pertumbuhan
2. Perkembangan



Gambar 1.1 Dari biji akan tumbuh menjadi tanaman

Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 6, 2000 : 130 - 131

Banyak tumbuhan memulai kehidupannya dari biji. Dari biji tersebut dengan kondisi lingkungan yang sesuai akan tumbuh menjadi tunas. Kemudian, organisme baru tersebut secara perlahan mencari bentuknya. Tunas itu akhirnya akan tumbuh berkembang menjadi pohon-pohon dewasa dan menghasilkan buah dan biji.

Bagaimanakah proses pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan tersebut? Untuk lebih jelasnya pelajari bab ini!

A. Pengertian Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Makhluk hidup berbeda dengan benda mati karena cara mereka tumbuh.

Benda-benda yang tidak hidup hanya dapat tumbuh dengan pertambahan, yaitu dengan menambahkan suatu massa yang terdiri dari zat yang sama kepada volume yang sudah ada. Dengan cara ini sungai memperbesar ukurannya ketika anak-anak sungai bermuara ke dalamnya. Suatu tetesan air beku menjadi lebih besar ketika lebih banyak air ditambahkan pada inti es dan kemudian turut membeku. Akan tetapi, air dari sungai yang membesar dan dari untaian es itu sama sekali tidak berubah, air itu masih tetap air. Tidak demikian halnya pada makhluk hidup, misalnya seorang anak berkembang dengan memasukkan ke dalam tubuhnya makanan yang secara kimia berbeda dengan dirinya sendiri, kemudian mengubah makanan ini secara kimia dan membuatnya menjadi bagian dari tubuhnya sendiri. Kenaikan berat badan pada seorang anak yang sedang tumbuh disebabkan oleh makanannya yang terdiri dari susu, telur, roti, dan daging. Akan tetapi, makanan-makanan ini telah diubah sedemikian rupa sehingga kalian akan sia-sia kalau berusaha mencari partikel-partikel kecil makanan di dalam otot lengan atas atau otot betisnya.

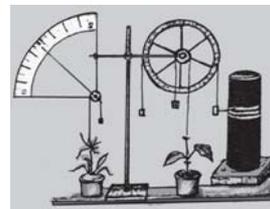
Pertumbuhan adalah proses kenaikan massa dan volume yang irreversibel (tidak kembali ke asal) karena adanya tambahan substansi dan perubahan bentuk yang terjadi selama proses tersebut.

TIPS

Pahami konsep terlebih dahulu sebelum pahami materi niscaya ingat selamanya.

Tahukah kamu?

Auksanometer



Gambar 1.2 *Auksanometer*

Suatu alat untuk mengukur pertumbuhan memanjang suatu tanaman, yang terdiri atas sistem kontrol yang dilengkapi jarum penunjuk pada busur skala atau jarum yang dapat menggaris pada silinder pemutar. Prinsip kerjanya katrol yang dihubungkan dengan benang antara ujung tumbuhan yang akan diukur kecepatan tumbuhnya dan beban, jika bergerak menandakan bahwa tumbuhan melakukan pertumbuhan menyebabkan jarum skala yang digerakkan oleh beban menjadi naik atau jarum pada silinder pemutar menyebabkan ada pertambahan goresan garis pada silinder. Kecepatan tumbuh ditunjukkan dari berapa kenaikan skala waktunya.

Sumber: *Ensiklopedi Sains & Kehidupan*, 2003: 17

Selama pertumbuhan terjadi penambahan jumlah dan ukuran sel. Pertumbuhan dapat diukur serta dinyatakan secara kuantitatif.

Perkembangan adalah proses menuju tercapainya kedewasaan atau tingkat yang lebih sempurna. Perkembangan tidak dapat dinyatakan secara kuantitatif. Perkembangan merupakan proses yang berjalan sejajar dengan pertumbuhan.

Pertumbuhan pada tumbuhan terutama terjadi pada jaringan meristem (ujung akar, ujung batang, dan ujung kuncup). Tumbuhan monokotil tumbuh dengan cara penebalan karena tidak mempunyai kambium, sedangkan tumbuhan dikotil pertumbuhan terjadi karena adanya aktivitas kambium. Kambium memegang peranan penting untuk pertumbuhan diameter batang. Kambium tumbuh ke dalam membentuk xilem (kayu), ke arah luar membentuk floem.

Dalam pertumbuhan dan perkembangan terjadi pembelahan sel, pemanjangan sel dan diferensiasi sel.

Secara ringkas perhatikan ringkasan berikut!

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan:

Sel-sel membelah → sel-sel memanjang → sel-sel berdiferensiasi hingga tampak perbedaan struktur dan fungsi masing-masing organ.

Kerjakan tugas berikut yang akan merangsang **keingintahuan** serta mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!

Tugas

Buatlah tabel perbedaan pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan, carilah datanya dari berbagai sumber atau dapat kalian lakukan dengan pengamatan secara langsung!

B. Tahap Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Aktivitas pertumbuhan dapat diukur dan dinyatakan secara kuantitatif. Pada tanaman kecepatan pertumbuhan dapat diukur dengan menggunakan alat yang disebut busur tumbuh atau *auksanometer*. Tumbuhnya tanaman melalui beberapa tahapan. Tahapan-tahapan pertumbuhan tanaman, yaitu sebagai berikut:

1. Perkecambahan

Perkecambahan terjadi karena pertumbuhan *radikula* (calon akar) dan pertumbuhan *plumula* (calon batang). Faktor yang mempengaruhi perkecambahan adalah air, kelembapan, oksigen, dan suhu.

Perkecambahan biji ada dua macam, yaitu:

a. Perkecambahan epigeal

Hipokotil memanjang sehingga *plumula* dan kotiledon ke permukaan tanah dan kotiledon melakukan fotosintesis selama daun belum terbentuk. Contoh: perkecambahan kacang hijau.

b. Perkecambahan hipogeal

Epikotil memanjang sehingga *plumula* keluar menembus kulit biji dan muncul di atas permukaan tanah, sedangkan kotiledon tertinggal dalam tanah. Contoh: perkecambahan kacang kapri (*Pisum sativum*).

Kerjakan Latihan 1.1 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan sosial** kalian.

Latihan 1.1

Uraikan pengaruh air, kelembapan, oksigen, dan suhu terhadap perkecambahan! Diskusikan bersama teman-teman kalian dengan bimbingan guru!

2. Pertumbuhan Primer

Merupakan pertumbuhan yang terjadi karena adanya meristem primer. Pertumbuhan ini disebabkan oleh kegiatan titik tumbuh primer yang terdapat pada ujung akar dan ujung batang dimulai sejak tumbuhan masih berupa embrio.

3. Pertumbuhan Sekunder

Merupakan pertumbuhan yang terjadi karena adanya meristem sekunder. Pertumbuhan ini disebabkan oleh kegiatan kambium yang bersifat meristematik kembali.

Ciri-ciri jaringan meristematik ini adalah mempunyai dinding yang tipis, bervakuola kecil atau tidak bervakuola, sitoplasma pekat dan sel-selnya belum berspesialisasi. Ketika pertumbuhan berlangsung secara aktif,

sel-sel meristem membelah membentuk sel-sel baru. Sel-sel baru yang terbentuk itu pada awalnya rupanya sama, tetapi setelah dewasa, sel-sel tadi berdiferensiasi menjadi jaringan lain.

Jaringan meristem ada dua jenis, yaitu:

a. Jaringan meristem apex

Jaringan ini terdapat pada ujung akar dan batang, yang berfungsi untuk mewujudkan pertumbuhan primer.

b. Jaringan meristem lateral

Jaringan ini dapat membentuk pertumbuhan sekunder. Contoh yang sering kita temukan adalah kambium, jaringan ini dapat menumbuhkan pertumbuhan lateral atau menambah diameter dari bagian tumbuhan.

Kambium didapatkan pada tumbuhan dikotil dan Gymnospermae. Contoh yang lain adalah kambium gabus yang terdapat pada batang dan akar tumbuhan berkayu atau pada bagian tumbuhan yang kena luka.

Tahukah kamu?

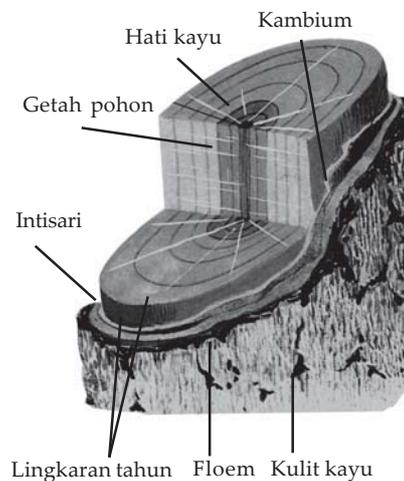
Pertumbuhan Tanpa Akhir



Gambar 1.3 Pohon Beech

Benih pohon Beech memerlukan 50 tahun untuk menjadi pohon muda yang mampu bereproduksi, tetapi seperti kebanyakan tanaman, ia tidak berhenti tumbuh. Ia terus tumbuh hingga tumbang atau mati karena suatu penyakit.

Sumber: *Jendela IPTEK Jilid II, 2001: 31*



Gambar 1.4 Kambium

Sumber: *Ensiklopedi Sains & Kehidupan, 2003: 71*

Aktivitas kambium dipengaruhi oleh keadaan suatu iklim, sehingga sel-sel kayu yang terbentuk pada musim penghujan berukuran besar, dan sel-sel yang terbentuk di musim kemarau berukuran kecil-kecil. (Suroso AY, dkk. 2003: 71-72)

Pertumbuhan ini terjadi pada tumbuhan Dicotyledoneae dan Gymnospermae.

Pertumbuhan sekunder disebabkan oleh kegiatan meristem sekunder, yang meliputi:

a. Kambium gabus (felogen)

Pertumbuhan felogen menghasilkan jaringan gabus. Jaringan gabus berperan sebagai pelindung, yaitu menggantikan fungsi epidermis yang mati dan terkelupas, juga merupakan bagian dari jaringan sekunder yang disebut periderm.

b. Kambium fasis

Berperan membentuk xilem sekunder ke arah dalam dan membentuk floem sekunder ke arah luar, selain itu juga menghasilkan sel-sel hidup yang berderet-deret menurut arah jari-jari dari bagian xilem ke bagian floem yang disebut jari-jari empulur.

Bagian xilem lebih tebal dari pada bagian floem karena kegiatan kambium ke arah dalam lebih besar daripada kegiatan ke arah luar.

c. Kambium interfasis

Merupakan kambium yang membentuk jari-jari empulur.

Tumbuhan monokotil yang tidak mempunyai kambium, tumbuh dengan cara penebalan. Tetapi pada umumnya, pertumbuhan terjadi karena adanya peningkatan banyaknya dan ukuran sel. Pertumbuhan pada tumbuhan dikotil yang berkayu menyangkut kedua aktivitas tersebut, sel-sel baru yang kecil yang dihasilkan kambium dan meristem apikal, kemudian sel-sel ini membesar dan berdiferensiasi. (Kimball, 1992: 411)

4. Pertumbuhan Terminal

Terjadi pada ujung akar dan ujung batang tumbuhan berbiji yang aktif tumbuh. Terdapat 3 daerah (zona) pertumbuhan dan perkembangan.

a. Daerah pembelahan (daerah meristematik)

Merupakan daerah yang paling ujung dan merupakan tempat terbentuknya sel-sel baru. Sel-sel di daerah ini mempunyai inti sel yang relatif besar, berdinding tipis, dan aktif membelah diri.

b. Daerah pemanjangan

Merupakan daerah hasil pembelahan sel-sel meristem. Sel-sel hasil pembelahan tersebut akan bertambah besar ukurannya sehingga menjadi bagian dari daerah perpanjangan. Ukuran selnya bertambah beberapa puluh kali dibandingkan sel-sel meristematik.

c. Daerah diferensiasi

Merupakan daerah yang terletak di bawah daerah pemanjangan. Sel-sel di daerah ini umumnya mempunyai dinding yang menebal dan beberapa di antaranya mengalami diferensiasi menjadi epidermis, korteks, dan empulur. Sel yang lain berdiferensiasi menjadi jaringan parenkim, jaringan penunjang, dan jaringan pengangkut (xilem dan floem).

Kerjakan Latihan 1.2 berikut yang akan merangsang kalian **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 1.2

Uraikanlah dengan pendapat kalian sendiri mengapa pertumbuhan sekunder terjadi pada tumbuhan Dicotyledoneae dan Gymnospermae!

Rangkuman

1. Pertumbuhan adalah proses kenaikan massa dan volume yang irreversibel (tidak dapat kembali ke asal) karena adanya tambahan substansi dan perubahan bentuk yang terjadi selama proses tersebut.
2. Perkembangan adalah proses menuju tercapainya kedewasaan atau tingkat yang lebih sempurna.
3. Tahap-tahap pertumbuhan tanaman yaitu:
 - a. Perkecambahan
 - b. Pertumbuhan primer
 - c. Pertumbuhan sekunder
 - d. Pertumbuhan terminal



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d*, atau *e*!

- Pengertian pertumbuhan yang benar, adalah . . .
 - pertambahan jumlah individu
 - pertambahan massa dan volume yang bersifat reversibel
 - pertambahan massa dan volume yang bersifat irreversibel
 - perkembangan menuju tingkat kedewasaan
 - kemampuan tumbuhan untuk menghasilkan alat perkembangbiakan
- Pertumbuhan yang terjadi karena adanya kegiatan titik tumbuh yang terdapat pada ujung akar dan ujung batang disebut . . .
 - pertumbuhan primer
 - pertumbuhan sekunder
 - kambium fasis
 - kambium interfasis
 - felogen
- Jaringan yang selalu mengalami pertumbuhan sehingga diameter tumbuhan menjadi bertambah besar dan hanya terdapat pada tumbuhan dikotil, disebut jaringan . . .
 - korteks
 - endodermis
 - kambium
 - stele
 - empulur
- Kedewasaan yang telah dialami oleh tumbuhan padi dapat diketahui dengan . . .
 - munculnya bunga
 - ukuran tumbuhan semakin besar
 - munculnya akar cabang
 - batang sudah berkayu
 - batang bertambah besar

5. Auksanometer merupakan alat yang berguna untuk
 - a. mengetahui banyak sedikitnya auksin yang diproduksi oleh tanaman
 - b. mengetahui arah penyebaran auksin pada tanaman
 - c. mengetahui kecepatan pemasakan buah
 - d. mengetahui kecepatan pertumbuhan tanaman
 - e. mengukur laju respirasi pada tanaman
6. Tumbuhan monokotil tumbuh dengan cara penebalan karena
 - a. mempunyai ruang antarsel luas
 - b. jaringan pengangkutnya lengkap dan banyak
 - c. tidak mempunyai kambium
 - d. mempunyai sistem perakaran serabut
 - e. sel-selnya selalu membelah dengan tebal
7. Pada tumbuhan dikotil yang berperan untuk pertumbuhan diameter batang adalah
 - a. xilem
 - b. floem
 - c. epidermis
 - d. kambium
 - e. parenkim
8. Kambium tumbuh ke dalam membentuk
 - a. xilem
 - b. floem
 - c. epidermis
 - d. kambium
 - e. parenkim
9. Kambium tumbuh ke luar membentuk
 - a. xilem
 - b. floem
 - c. epidermis
 - d. kambium
 - e. parenkim

10. Dalam pertumbuhan dan perkembangan terjadi berturut-turut
- pembelahan sel, pemanjangan sel, dan diferensiasi sel
 - diferensiasi sel, pemanjangan sel, dan pembelahan sel
 - pembelahan sel, diferensiasi sel, dan pemanjangan sel
 - pemanjangan sel, pembelahan sel, dan pemanjangan sel
 - diferensiasi sel, pembelahan sel, dan pemanjangan sel

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

- Sebutkan perbedaan antara pertumbuhan dan perkembangan!
- Sebut dan jelaskan 3 zona dalam pertumbuhan dan perkembangan!
- Sebutkan ciri-ciri jaringan meristem!
- Jelaskan perbedaan pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder!
- Apakah yang dimaksud dengan:
 - Kotiledon
 - Empulur
 - Jaringan meristem

Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan menumbuhkan **etos kerja**, mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan sosial** serta **kecakapan vokasional** kalian!

Tugas Portofolio

Lakukan kegiatan berikut ini secara berkelompok!

1. Sediakan 5 buah tabung reaksi, kapas, air, kristal NaOH, sumbat gabus, biji kacang hijau!
2. Masing-masing tabung reaksi berilah label A, B, C, D, E!
3. Tempatkan tabung A, D, dan E di ruang yang terang dan hangat, tabung B di tempat yang dingin dan tabung C di tempat yang gelap dan hangat!
4. Biarkan tabung itu beberapa hari, kemudian setiap biji pada tabung tersebut diamati apakah terjadi perkecambahan atau tidak?
5. Tuliskan kondisi perangkat percobaan dengan memberikan tanda ✓ bila ya dan ✗ bila tidak dalam tabel hasil pengamatan berikut!

Tabel: data hasil pengamatan

Kondisi	Tabung				
	A	B	C	D	E
Air
Oksigen
Sinar
Biji berkecambah/ tidak

Analisalah data pengamatan kalian, kemudian buatlah laporannya!

Catatan: Bekerja samalah dengan laboratorium sekolah kalian!

Bab II

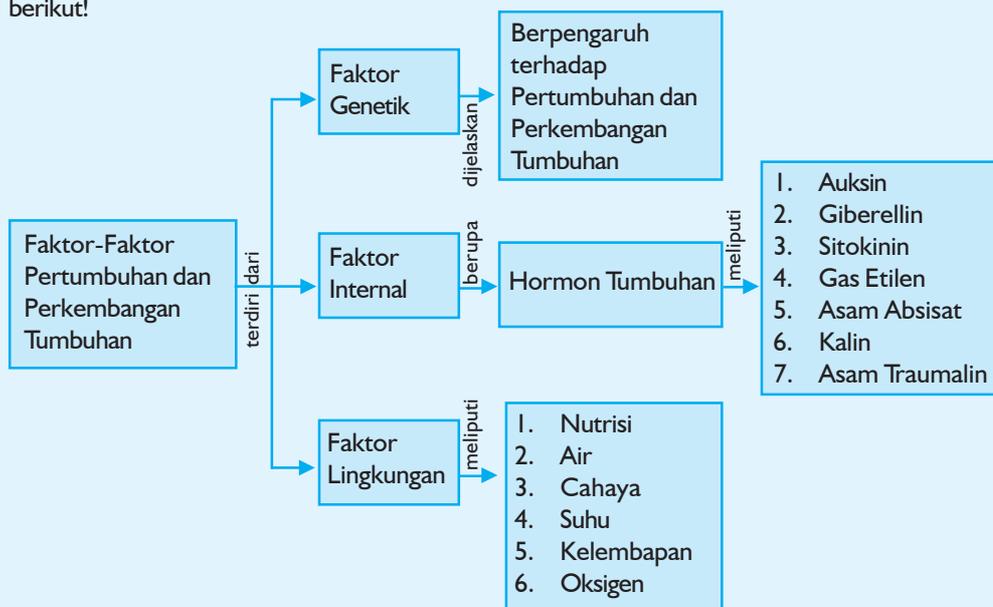
Faktor-Faktor Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar: www.depreview.com

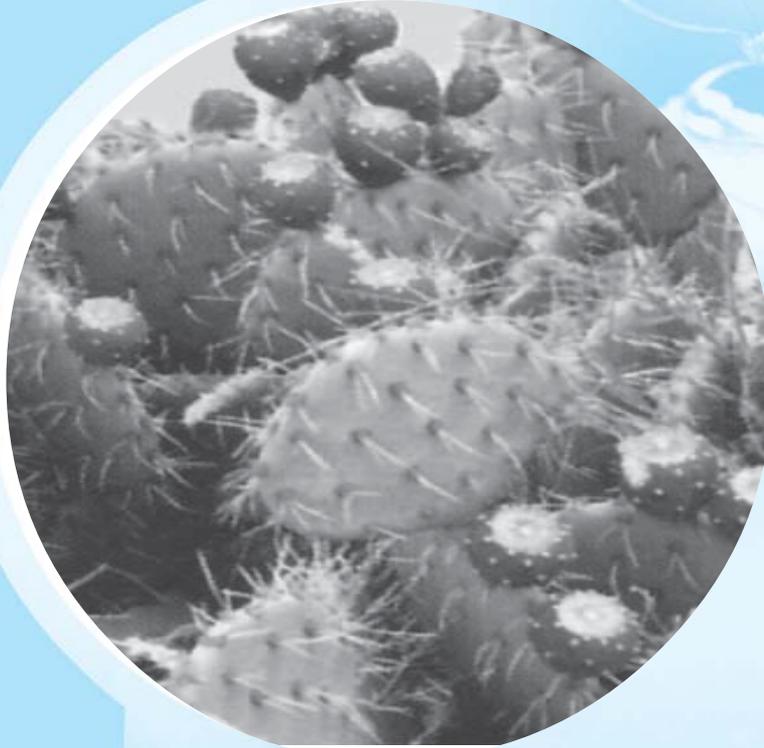
Setelah mempelajari bab ini kalian dapat melakukan percobaan tentang pertumbuhan tumbuhan serta dapat membuktikan secara langsung bahwa pertumbuhan tumbuhan dipengaruhi beberapa faktor.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab II:

1. Genetik
2. Internal
3. Lingkungan



Gambar 2.1 *Pertumbuhan dan perkembangan kaktus dipengaruhi lingkungan yang kering*

Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer, Jilid 7, 2000: 153*

Agar dapat tumbuh dengan baik, kaktus membutuhkan penyinaran cahaya matahari secara penuh. Tumbuhan ini tumbuh secara optimal pada lingkungan dengan temperatur udara sekitar 16 - 34°C, kelembapan udara sekitar 30% - 90%, dan curah hujan sekitar 250 mm per tahun.

Tidak berbeda dengan tanaman yang lain, untuk pertumbuhan dan perkembangannya tumbuhan membutuhkan kondisi-kondisi pendukung baik dari dalam maupun dari luar.

Dalam pertumbuhan dan perkembangannya, tumbuhan dipengaruhi oleh faktor genetik, faktor internal, dan faktor lingkungan.

A. Faktor Genetik

Setiap jenis tumbuhan membawa gen untuk sifat-sifat tertentu, seperti berbatang tinggi atau berbatang rendah. Tumbuhan yang mengandung gen yang baik dan didukung lingkungan yang sesuai akan memperlihatkan pertumbuhan yang baik pula.



Gambar 2.2 Batang jati berdiri lurus dengan tinggi mencapai 30 - 45 m dan diameter mencapai 220 cm



Gambar 2.3 Batang rumput pendek dan berongga

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar jilid 5, 2005 : 30*

Dari dua contoh tanaman di atas menunjukkan faktor genetik berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Rumput tidak dapat tumbuh setinggi pohon jati berapa pun makanan, suhu, cahaya yang mendukung.

Kerjakan Tugas 2.1 berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh** dan mengembangkan **kecakapan personal** kalian!

Tugas 2.1

Bagaimanakah faktor genetik mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan? Carilah referensinya dari berbagai sumber!

B. Faktor Internal

Faktor internal yang mempengaruhi pertumbuhan, yaitu hormon. Hormon tumbuhan ditemukan oleh F. W. Went pada tahun 1928. Hormon berasal dari bahasa Yunani hormonalin yang berarti penggiat. Hormon tumbuhan disebut **fitohormon**.

Fitohormon tersebut, yaitu:

1. Auksin atau AIA (Asam Indol Asetat)

Auksin merupakan senyawa asam asetat dengan gugusan indol dan derivat-derivatnya. Pertama kali auksin ditemukan pada ujung koleoptil kecambah *Avena sativa*. Pusat pembentukan auksin adalah ujung koleoptil (ujung tumbuhan). Jika terkena sinar matahari, auksin akan berubah menjadi senyawa yang menghambat pertumbuhan. Hal inilah yang menyebabkan batang akan membelok ke arah datangnya cahaya, karena bagian yang tidak terkena cahaya pertumbuhannya lebih cepat daripada bagian yang terkena cahaya.

Fungsi auksin, yaitu:

- a. Merangsang perpanjangan sel.
- b. Merangsang pembentukan bunga dan buah.
- c. Merangsang pemanjangan titik tumbuh.
- d. Mempengaruhi pembengkokan batang.
- e. Merangsang pembentukan akar lateral.
- f. Merangsang terjadinya proses diferensiasi.

2. Gibberellin

Gibberellin merupakan hormon yang pertama kali ditemukan pada jamur *Gibberella fujikuroii* yang parasit pada tumbuhan padi. Ditemukan oleh Kuroshawa pada tahun 1926.

Fungsi gibberellin, yaitu:

- a. Merangsang pembelahan sel kambium.
- b. Merangsang pembungaan lebih awal sebelum waktunya.
- c. Merangsang pembentukan buah tanpa biji.
- d. Merangsang tanaman tumbuh sangat cepat sehingga mempunyai ukuran raksasa. (*Dwidjoseputro, 1992: 197*)

3. Sitokinin

Sitokinin merupakan kumpulan senyawa yang fungsinya mirip satu sama lain.

Fungsi sitokinin yaitu:

- Merangsang proses pembelahan sel.
- Menunda pengguguran daun, bunga, dan buah.
- Mempengaruhi pertumbuhan tunas dan akar.
- Meningkatkan daya resistensi terhadap pengaruh yang merugikan, seperti suhu rendah, infeksi virus, pembunuh gulma, dan radiasi.
- Menghambat (menahan) menguningnya daun dengan jalan membuat kandungan protein dan klorofil yang seimbang dalam daun (*senescens*).

4. Gas Etilen

Gas etilen merupakan hormon tumbuh yang dalam keadaan normal berbentuk gas.

Fungsi gas etilen, yaitu:

- Membantu memecahkan dormansi pada tanaman, misalnya pada ubi dan kentang.
- Mendukung pematangan buah.
- Mendukung terjadinya *abscission* (pelapukan) pada daun.
- Mendukung proses pembungaan.
- Menghambat pemanjangan akar pada beberapa spesies tanaman dan dapat menstimulasi pemanjangan batang.
- Menstimulasi perkecambahan.
- Mendukung terbentuknya bulu-bulu akar.

5. Asam Absisat (ABA)

Asam absisat merupakan hormon tumbuh yang hampir selalu menghambat pertumbuhan, baik dalam bentuk menurunkan kecepatan maupun menghentikan pembelahan dan pemanjangan sel bersama-sama.

Fungsi asam absisat, yaitu:

- Menghambat perkecambahan biji.
- Mempengaruhi pembungaan tanaman.

Tahukah kamu?



Gambar 2.4 Pohon bambu

Tumbuhan yang paling cepat tumbuh adalah bambu. Ada bambu yang dapat memanjang hampir satu meter setiap hari. Dalam waktu seminggu puncaknya dapat melampaui atap rumah dua tingkat.

Sumber: *Jendela Iptek*, 2001

- c. Memperpanjang masa dormansi umbi-umbian.
- d. Mempengaruhi pucuk tumbuhan untuk melakukan dormansi.

6. Kalin

Kalin merupakan hormon yang mempengaruhi pembentukan organ. Berdasarkan organ yang dipengaruhinya, kalin dibedakan atas:

- a. Rhizokalin, mempengaruhi pembentukan akar.
- b. Kaulokalin, mempengaruhi pembentukan batang.
- c. Filokalin, mempengaruhi pembentukan daun.
- d. Antokalin, mempengaruhi pembentukan bunga.

7. Asam Traumalin

Bila tumbuhan terluka, luka tersebut dapat diperbaiki kembali. Kemampuan itu disebut restitusi atau regenerasi. Peristiwa ini dapat terjadi karena adanya asam traumalin (asam traumalat).

Kerjakan latihan berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Latihan

Tuliskan peranan dari masing-masing hormon di atas secara singkat agar terlihat perbedaannya!

C. Faktor Lingkungan (Eksternal)

Faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan, meliputi:

1. Nutrisi

Nutrisi yang diperlukan tumbuhan bukan hanya CO₂ dan H₂O tetapi juga elemen-elemen (unsur-unsur) yang lainnya. Perhatikan tabel di bawah ini!

Tabel: Unsur mineral yang diperlukan tumbuhan tinggi dan peranannya

Unsur	Perkiraan jumlah yang diperlukan (mg/l)	Peranannya
Unsur makro:		
Nitrogen (N)	15	Menyusun asam amino, protein, dan asam nukleat.
Kalium (K)	5	Pengaktif sebuah enzim atau lebih, terlibat dalam pengendalian potensial osmosis sel, terutama sel pengawal.
Kalsium (Ca)	3	Pengaturan struktur dan sifat permeabilitas selaput sel struktur lamela tengah.
Fosfor (P)	2	Merupakan komponen ATP, asam nukleat, substrat metabolisme, dan kofaktor berbagai enzim.
Belerang (S)	1	Penyusun protein tertentu (gugus -SH yang penting untuk berbagai enzim).
Magnesium (Mg)	1	Penyusun klorofil dan kofaktor berbagai enzim.
Unsur mikro:		
Besi (Fe)	0,1	Berhubungan dengan pengangkutan elektron (sistem oksidasi sitokrom).
Boron (B)	0,05	Diduga penting untuk translokasi gula menembus selaput sel.
Mangan (Mn)	0,01	Kofaktor bagi sebuah enzim atau lebih (misalnya arginase).

Seng (Zn)	0,001	Kofaktor bagi sebuah enzim atau lebih (misalnya karbonat anhidrase).
Tembaga (Cu)	0,0003	Berhubungan dengan sistem oksidasi tertentu dan reduksi nitrit menjadi amonia.
Molibdenum (Mo)	0,0001	Penting untuk reduksi nitrat.
Klor (Cl)	0,05	Penting untuk reaksi fotosintesis yang menghasilkan oksigen.

2. Air

Fungsi air antara lain:

- Untuk fotosintesis.
- Mengaktifkan reaksi-reaksi enzim.
- Membantu proses perkecambahan biji.
- Menjaga (mempertahankan kelembapan).
- Untuk transpirasi.
- Meningkatkan tekanan turgor sehingga merangsang pembelahan sel.
- Menghilangkan asam absisi.

3. Cahaya

Setiap tumbuhan memerlukan cahaya untuk pertumbuhan, karena cahaya sangat berperan dalam fotosintesis dan fotomorfogenesis. Biji tumbuhan yang berkecambah dan tumbuh di tempat yang gelap/tidak ada cahaya ternyata tumbuhnya tidak normal dengan ciri tumbuhnya sangat cepat, perawakan tumbuhan tampak tinggi dan ramping, batangnya lemah dan batang tidak berwarna hijau tetapi pucat. Gejala ini disebut **etiolasi**.

Panjang penyinaran mempunyai pengaruh yang spesifik terhadap pertumbuhan dan perkembangan

Tahukah kamu?



Gambar 2.5 Bunga matahari

Bunga matahari selalu mengarahkan wajahnya ke arah matahari. Ia menghadap ke arah timur di waktu pagi dan ke arah barat di waktu senja.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar, 2005 : 118*

tumbuhan. Panjang periode cahaya harian disebut **fotoperiode**, sedangkan reaksi tumbuhan terhadap **fotoperiode** yang berbeda panjangnya disebut **fotoperiodisme**.

Berdasarkan persyaratan panjang hari untuk pembungaan, sebagian besar tumbuhan dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu:

a. Tumbuhan berhari pendek (*short day plant*)

Berbunga jika panjang hari kurang dari periode kritis tertentu, misalnya kastuba (*Euphorbia pulcherima*), ubi jalar (*Ipomoea batatas*), nanas (*Ananas comosus*), dan padi (*Oryza sativa*). Panjang hari harus kurang dari 11 hingga 15 jam agar pembungaan terjadi.

b. Tumbuhan hari panjang (*long day plant*)

Berbunga jika panjang hari lebih dari periode kritis tertentu, misalnya tanaman jarak (*Rhicinus communis*) dan kentang (*Solanum tuberosum*). Panjang hari harus lebih dari 12 hingga 14 jam agar pembungaan terjadi.

c. Tumbuhan hari netral (*day-neutral plant*).

Berbunga tidak tergantung pada panjang hari, dapat menghasilkan bunga kapan saja dalam setahun, misalnya jagung (*Zea mays*).



Gambar 2.6 Tanaman jagung dapat menghasilkan bunga kapan saja dalam setahun

Sumber: Dok. Penerbit

4. Suhu atau Temperatur

Suhu optimum (15°C hingga 30°C) merupakan suhu yang paling baik untuk pertumbuhan. Suhu minimum ($\pm 10^\circ\text{C}$) merupakan suhu terendah di mana tumbuhan masih dapat tumbuh. Suhu maksimum (30°C hingga 38°C) merupakan suhu tertinggi dimana tumbuhan masih dapat tumbuh.

5. Kelembapan

Kelembapan ada kaitannya dengan laju transpirasi melalui daun karena transpirasi akan terkait dengan laju pengangkutan air dan unsur hara terlarut. Bila kondisi lembap dapat dipertahankan maka banyak air yang diserap tumbuhan dan lebih sedikit yang diuapkan. Kondisi ini mendukung aktivitas pemanjangan sel sehingga sel-sel lebih cepat mencapai ukuran maksimum dan tumbuh bertambah besar.

6. Oksigen

Untuk pemecahan senyawa bermolekul besar (saat respirasi) agar menghasilkan energi yang diperlukan pada proses pertumbuhan dan perkembangannya.

Kerjakan Tugas 2.2 berikut yang akan merangsang kalian untuk **berpikir kritis**, menumbuhkan **rasa ingin tahu**, mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 2.2

Diskusikan dengan kelompok kalian!

1. Bagaimanakah pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan apabila hanya salah satu faktor (internal saja atau eksternal saja) yang berperan?
2. Jelaskan interaksi antara faktor internal dan faktor eksternal terhadap pertumbuhan dan perkembangan serta pemanfaatannya bagi kehidupan!

Rangkuman

Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman, yaitu:

1. Faktor genetik = gen
2. Faktor internal = hormon
 - a. Auksin
 - b. Gibberellin
 - c. Sitokinin
 - d. Gas etilen
 - e. Asam absisat
 - f. Kalin
 - g. Asam traumalin
3. Faktor lingkungan
 - a. Nutrisi
 - b. Air
 - c. Cahaya
 - d. Kelembapan
 - e. Oksigen
 - f. Suhu



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d, atau e!*

1. Pada kebanyakan tumbuhan, perkecambahan hanya terjadi di lingkungan yang
 - a. mendapatkan cahaya yang cukup
 - b. banyak mengandung karbon dioksida
 - c. suhu lingkungan selalu tetap
 - d. mengandung air
 - e. mengandung unsur hara yang cukup
2. Karena kecambah yang tumbuh di tempat gelap batangnya lebih panjang daripada yang tumbuh di tempat terang, timbullah dugaan bahwa
 - a. gelap adalah faktor pemacu pertumbuhan
 - b. hormon mempercepat pertumbuhan batang
 - c. cahaya menimbulkan pembentukan racun
 - d. cahaya menghambat pertumbuhan
 - e. gelap mempengaruhi kelembapan
3. Kecambah yang ditumbuhkan di tempat gelap akan menunjukkan suatu keadaan yang dikenal dengan istilah etiolasi, yaitu
 - a. kecambah tidak menunjukkan pertumbuhan
 - b. kecambah kehilangan daya serap terhadap air
 - c. batang kecambah akan tumbuh lebih panjang dari ukuran normal
 - d. akar kecambah akan berukuran lebih kecil
 - e. kecambah menunjukkan pertumbuhan yang sangat lambat
4. Pernyataan yang tidak benar mengenai cahaya adalah
 - a. cahaya mempercepat pertumbuhan tumbuh-tumbuhan
 - b. cahaya diperlukan pada proses fotosintesis
 - c. tanpa cahaya terjadi peristiwa etiolasi
 - d. fotolisis memerlukan cahaya
 - e. fotosintesis memerlukan cahaya matahari terutama sinar merah dan sinar ungu

5. Auksin yang dibentuk pada ujung kecambah dipengaruhi oleh cahaya. Apabila disinari pada satu sisi saja kecambah tersebut
- tidak tumbuh
 - tumbuh lurus
 - tumbuh membengkok
 - tumbuh ke arah datangnya cahaya
 - tumbuh menjauhi datangnya cahaya
6. Berikut ini nama-nama hormon dan bagian tumbuhan.
- | | |
|----------------------|------------------|
| 1) <i>Rhizokalin</i> | 5) <i>Bunga</i> |
| 2) <i>Filokalin</i> | 6) <i>Daun</i> |
| 3) <i>Kaulokalin</i> | 7) <i>Batang</i> |
| 4) <i>Antokalin</i> | 8) <i>Akar</i> |
- Pasangan yang sesuai antara hormon dan bagian tumbuhan yang dipengaruhi adalah
- 4 dan 5
 - 1 dan 6
 - 2 dan 6
 - 1 dan 7
 - 2 dan 8
7. Suhu minimum untuk pertumbuhan tanaman di daerah tropis adalah
- 0°C
 - 5°C
 - 10°C
 - 15°C
 - 20°C
8. Filokalin adalah salah satu hormon pertumbuhan pada tanaman. Hormon tersebut termasuk
- hormon pembentuk akar
 - hormon pembentuk batang
 - hormon pembentuk bunga
 - hormon pembentuk daun
 - hormon pembentuk buah

9. Terbentuknya buah sebelum penyerbukan dan buah tanpa biji dapat diusahakan dengan penambahan
 - a. asam indol asetat
 - b. asam absisat
 - c. gas etilen
 - d. gibberellin
 - e. sitokinin
10. Asam traumalin berfungsi untuk
 - a. merangsang pertumbuhan akar
 - b. merangsang penyembuhan luka
 - c. mempercepat pertumbuhan
 - d. menghambat rontoknya buah
 - e. mempercepat pertumbuhan

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman!
2. Sebutkan fungsi sitokinin bagi tumbuhan!
3. Apakah pengaruh air bagi pertumbuhan tanaman?
4. Berdasarkan persyaratan panjang hari untuk pembungaan, jelaskan pembagian 3 kelompok tumbuhan!
5. Sebutkan beberapa unsur makro dan unsur mikro yang diperlukan tumbuhan!

Kerjakan tugas portofolio berikut ini yang akan menumbuhkan semangat kewirausahaan, etos kerja, kreativitas, dan mengembangkan kecakapan sosial kalian!

Tugas Portofolio

Lakukan kegiatan berikut secara berkelompok!

Pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan pada kecambah.

Tujuan

Melakukan kegiatan untuk mengetahui pengaruh cahaya terhadap pertumbuhan kecambah.

Langkah kerja

1. Rumuskan masalah yang akan kalian amati!
2. Tentukan hipotesa yang benar untuk kegiatan yang akan kalian lakukan!
3. Rancanglah berbagai perlakuan untuk membuktikan hipotesa kalian!
4. Sebutkan alat-alat dan bahan yang diperlukan untuk melaksanakan percobaan kalian!
5. Lakukan kegiatan sesuai dengan rancangan yang telah kalian buat!
6. Catat hasilnya dan tulislah dalam bentuk tabel dan grafik!
7. Buatlah laporan dari percobaan kalian!

Bab III

Enzim Metabolisme

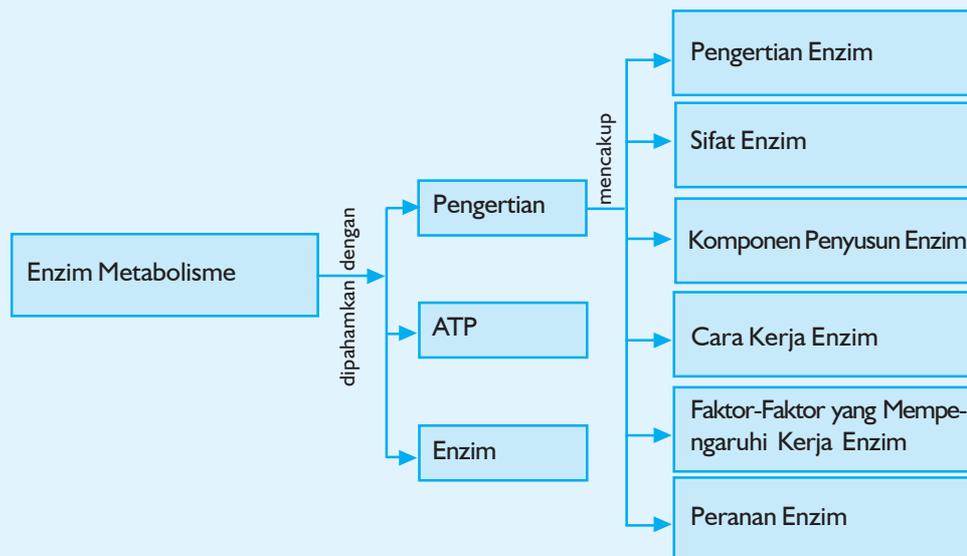


Tujuan Pembelajaran:

Sumber: Dok. Penerbit

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan peran enzim dalam proses metabolisme.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab III:

1. Metabolisme
2. ATP
3. Enzim



Gambar 3.1 Makanan akan dimetabolisme tubuh sebagai sumber energi

Sumber: Dok. Penerbit

Setiap makhluk (manusia, hewan, dan tumbuhan) senantiasa membutuhkan zat-zat yang diambil dari lingkungan, dan akan mengalami serangkaian reaksi kimia yang disebut dengan metabolisme. Seperti misalnya, setiap hari kalian makan nasi. Apakah nanti juga akan keluar berwujud nasi? Nasi yang kalian makan setiap hari tersebut akan diproses dalam tubuh untuk dijadikan energi untuk aktivitas kalian.

Semua makanan yang kalian konsumsi semua akan dimetabolisme oleh tubuh sebagai sumber energi. Bagaimana proses metabolisme tersebut?

Untuk mendalami proses metabolisme tersebut pelajailah bab berikut!

A. Pengertian Metabolisme

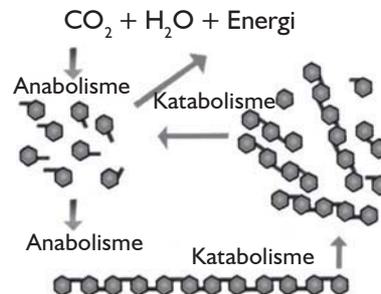
Metabolisme merupakan pertukaran zat pada organisme yang meliputi proses fisika dan kimia, pembentukan, dan penguraian zat di dalam badan yang memungkinkan berlangsungnya hidup.

Proses metabolisme ada 2, yaitu anabolisme dan katabolisme.

Anabolisme adalah pembentukan molekul-molekul kompleks dari molekul sederhana, contoh fotosintesis. **Katabolisme** adalah penguraian molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul sederhana, contoh respirasi.

Makanan yang dikonsumsi oleh organisme akan mengalami proses metabolisme. Ketersediaan makanan hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan energi. Jika jumlah makanan melebihi kebutuhan, maka kelebihannya akan disimpan di dalam jaringan terutama dalam bentuk lemak dan glikogen (gula otot). Apabila tubuh tidak mendapatkan energi yang cukup, maka simpanan lemak dan glikogen akan dipecah kembali menjadi energi.

Kerjakan Tugas 3.1 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **akademik** kalian!



Gambar 3.2 Penggambaran metabolisme

Sumber: *Ensiklopedia Sains & Kehidupan*, 2003 : 8

Tugas 3.1

Diskusikan!

Organel sel apakah yang berperan dalam metabolisme?

B. Adenosin Triphospat (ATP)

ATP sering dilukiskan sebagai sejenis uang energi. Sebelum penggunaan uang, orang tukar-menukar barang atau jasa dan pertukaran itu harus dilakukan secara langsung di antara 2 orang.

Jika seseorang menginginkan sejumlah telur dan orang lainnya memerlukan kubis, mereka dapat tukar menukar barang-barang itu. Namun, hal ini tidak selalu menyenangkan, kadang-kadang hanya satu yang mempunyai sesuatu yang diperlukan oleh orang lain. Dengan ditemukannya uang, barang dan jasa dapat diubah menjadi uang yang dapat dibelanjakan nanti. ATP dibentuk kalau suatu reaksi katabolisme menghasilkan banyak energi. Kemudian seperti uang, energi ini dapat dipergunakan nanti dalam reaksi lain yang memerlukan energi.

Tahukah kamu?

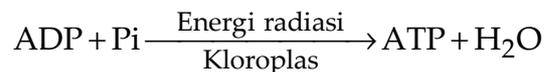
Pencernaan dan penyerapan karbohidrat kompleks lebih lama daripada karbohidrat sederhana karena harus dihidrolisis terlebih dahulu menjadi bentuk sederhana. Oleh karena itu, orang tidak cepat lapar jika makan makanan dari sumber karbohidrat kompleks. Adapun karbohidrat sederhana langsung diserap dan digunakan sebagai energi sehingga cepat menimbulkan rasa lapar.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 5, 2005 : 93*

Molekul ATP adalah molekul berenergi tinggi yang mempunyai ikatan labil, artinya mudah melepaskan gugus fosfatnya saat mengalami hidrolisis, sehingga dari keadaan mengikat gugus 3 fosfat akan dirombak menjadi ADP (Adenosin Diphospat) dan AMP (Adenosin Monophospat). ATP digunakan untuk:

1. Proses fotosintesis: dan mereduksi CO_2 menjadi karbohidrat pada reaksi gelap.
2. Proses respirasi: glikolisis.

Pembentukan ATP



Kerjakan Tugas 3.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 3.2

Jelaskan perbedaan ATP dan ADP! Uraikan sesuai pengertian kalian!

C. Enzim

Kehidupan tidak mungkin ada tanpa enzim. Enzim merupakan unsur yang mempercepat perubahan kimiawi yang diperlukan oleh kehidupan. Tanpa enzim perubahan-perubahan tersebut akan sangat lambat, atau tidak akan terjadi sama sekali, dan kehidupan akan berhenti.

Setiap enzim merupakan protein khusus yang disesuaikan dengan proses kimiawi tertentu. Enzim pencernaan mengubah makanan menjadi cairan yang dapat mengalir ke darah dan ke seluruh tubuh. Enzim yang lain mengubah makanan yang sudah dicerna sehingga mengeluarkan energi, sedangkan enzim-enzim yang lain menggunakan energi untuk membuat makanan di dalam zat-zat tubuh.

Tahukah kamu?



Gambar 3.3 Getah pepaya mengandung papain

Getah pepaya mengandung papain, yaitu enzim yang berfungsi sebagai pelunak daging.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 3, 2005 : 85*

1. Pengertian Enzim

Menurut Mayrback (1952) dari Jerman, enzim adalah senyawa protein yang dapat mengatalisis reaksi-reaksi kimia dalam sel dan jaringan makhluk hidup. Enzim merupakan biokatalisator, artinya senyawa organik yang mempercepat reaksi kimia.

2. Sifat Enzim

Sifat-sifat enzim, yaitu:

- a. Merupakan protein.
- b. Merupakan biokatalisator.
- c. Mempercepat reaksi kimia dengan jalan menurunkan energi aktivasi, yaitu energi awal yang diperlukan untuk memulai reaksi kimia.
- d. Enzim bekerja spesifik, artinya untuk mengubah atau mereaksikan suatu zat tertentu memerlukan zat tertentu pula.
- e. Bekerja sangat cepat.
- f. Tidak ikut bereaksi (tidak mengalami perubahan).
- g. Tidak mengubah keseimbangan reaksi.
- h. Memiliki sisi aktif atau sisi katalitik, yaitu bagian enzim tempat substrat berkombinasi.

- i. Substrat asing yang berfungsi menghambat reaksi disebut inhibitor dan yang berfungsi mempercepat reaksi disebut aktivator.

3. Komponen Penyusun Enzim

Berdasarkan komponen penyusunnya, enzim dibedakan menjadi:

- a. Enzim protein sederhana terdiri atas protein.
- b. Enzim konjugasi, terdiri atas protein dan nonprotein.
Enzim konjugasi disebut juga holoenzim. Holoenzim terdiri atas:
 - a. Apoenzim (protein), yaitu bagian yang relatif tidak tahan panas (termolabil) atau mudah berubah serta bersifat nonaktif.
 - b. Prostetik atau kofaktor (nonprotein), yaitu bagian yang relatif tahan panas (100°C) sampai beberapa lama (termostabil). Terdiri atas ion organik seperti Zn, Fe, Mn, Mg, Na, Ca, CO₂, K, NAD, NADP, koenzim A dan senyawa organik seperti tiamin, riboflavin, piridoksin, niasin dan biotin.

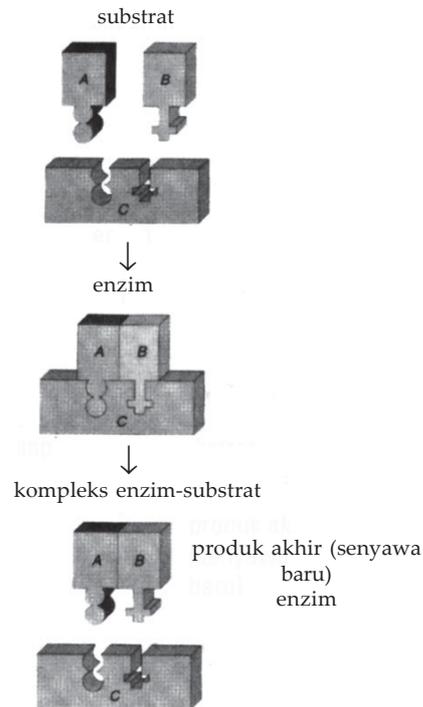
Golongan prostetik yang terdiri atas senyawa-senyawa organik dinamakan koenzim (merupakan bagian yang bersifat aktif).

4. Cara Kerja Enzim

a. Hipotesis "Lock and Key"

Dikemukakan oleh Emil Fischer, cara kerja enzim seperti kunci dengan anak kunci.

- 1) Antara enzim dan substrat terjadi persatuan yang kaku seperti kunci dan anak kunci.
- 2) Enzim memiliki suatu tempat untuk bergabung dengan substrat yang disebut *active site* (lokasi aktif) yang merupakan tempat perlekatan molekul substrat.
- 3) Pada tempat perlekatan tersebut mempunyai konfigurasi tertentu dan hanya substrat khusus yang cocok untuk dapat bergabung.
- 4) Selama reaksi berjalan, enzim dan substrat berkombinasi sementara membentuk kompleks enzim substrat.
- 5) Hubungan di antara enzim dan substrat berkombinasi merupakan hubungan yang lemah, sehingga mudah berpisah lagi.
- 6) Setelah reaksi, hasil-hasil reaksi tidak lagi bersatu dengan sisi aktif atau sisi katalitik.



Gambar 3.4 Kerja Enzim

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 3, 2005 : 85*

b. Hipotesis Koshland

Menurut Koshland, enzim dan sisi aktifnya merupakan struktur yang secara fisik lebih fleksibel dan terjadi interaksi dinamis antara enzim dengan substrat.

Jika substrat berkombinasi dengan enzim akan terjadi perubahan konfigurasi sisi aktif enzim, sehingga fungsi enzim berlangsung efektif.

5. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kerja Enzim

a. Suhu

- 0°C = tidak beraktivitas
- 38°C - 40°C = aktivitas enzim meningkat
- di atas 40°C = aktivitas enzim menurun
- 60°C = aktivitas enzim akan terhenti

b. Air

c. *pH*

pH tergantung pada lokasi enzim yang bersangkutan.

d. *Konsentrasi enzim*

Kecepatan proses pembentukan atau penguraian molekul substrat mengikuti konsentrasi enzim.

e. *Inhibitor*

Inhibitor dapat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor non-kompetitif. Inhibitor kompetitif menghambat kerja enzim dengan cara menempati sisi aktif enzim sehingga substrat tidak dapat berikatan dengan enzim. Inhibitor ini dapat dihilangkan dengan penambahan konsentrasi substrat. Adapun inhibitor non-kompetitif bekerja dengan cara menempati bagian lain dari permukaan enzim sehingga dapat mengubah sisi aktifnya. Inhibitor ini dapat dihilangkan dengan penambahan konsentrasi substrat.

6. Peranan Enzim

- Reduksi, yaitu reaksi penambahan hidrogen, elektron, atau pelepasan oksigen.
- Dehidrasi, yaitu reaksi pelepasan molekul uap air (H_2O).
- Oksidasi, yaitu reaksi pelepasan molekul hidrogen, elektron, atau penambahan oksigen.
- Hidrolisis, yaitu reaksi penambahan H_2O pada suatu molekul dan diikuti pemecahan molekul pada ikatan yang ditambah H_2O .
- Deaminase, yaitu reaksi pelepasan gugus amin (NH_2).
- Dekarboksilasi, yaitu reaksi pelepasan CO_2 dan gugusan karboksil ($-COOH$).
- Fosforilasi, yaitu reaksi pelepasan fosfat.
- Transferase, yaitu reaksi pemindahan suatu radikal

Kerjakan Tugas 3.3 berikut yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu**, mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 3.3

Sebutkan beberapa macam enzim serta peranannya!

Rangkuman

1. Keterkaitan proses katabolisme dan anabolisme, yaitu energi yang dilepaskan oleh proses katabolisme dalam bentuk ATP akan digunakan untuk proses anabolisme.
2. ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang mempunyai ikatan labil.
3. Enzim adalah senyawa protein yang dapat menganalisis reaksi-reaksi kimia dalam sel dan jaringan makhluk hidup.
4. Sifat enzim seperti: merupakan protein, biokatalisator, bekerja spesifik, dan lain-lain.
5. Komponen penyusun enzim yaitu enzim, protein dan holoenzim.
6. Cara kerja enzim, ada 2 hipotesis yaitu hipotesis, Fischer dan Koshland.
7. Faktor-faktor yang mempengaruhi kerja enzim, yaitu suhu, air, pH, dan konsentrasi.
8. Peranan enzim, yaitu reduksi, hidrolisis, dehidrasi, oksidasi, deaminase, dekarboksilasi, fosforilasi, defosforilasi, dan transferase.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a*, *b*, *c*, *d*, dan *e*!

1. Proses pembentukan dan penguraian yang berlangsung di dalam sel melibatkan aktivitas katalis biologik, yaitu . . .
 - a. ATP
 - b. enzim
 - c. mioglobin
 - d. miosin
 - e. aktin

2. Holoenzim mempunyai bagian yang relatif tidak tahan panas (termolabil) yang disebut
 - a. apoenzim
 - b. prostetik
 - c. kofaktor
 - d. koenzim
 - e. aktivator
3. Bila kalian memakan sesendok nasi dan mengunyahnya cukup lama, maka kalian akan merasakan rasa manis. Hal ini disebabkan karbohidrat diubah menjadi
 - a. sukrosa oleh sukrase
 - b. maltosa oleh maltase
 - c. glukosa oleh amilase
 - d. laktosa oleh laktase
 - e. glukosa oleh lipase
4. Enzim yang terdiri atas senyawa-senyawa organik dan memiliki bagian yang bersifat aktif adalah
 - a. inhibitor
 - b. apoenzim
 - c. kofaktor
 - d. koenzim
 - e. prostetik
5. Enzim yang terlibat dalam reaksi penambahan hidrogen atau pelepasan oksigen disebut
 - a. dehidrasi
 - b. oksidasi
 - c. hidrolisis
 - d. reduksi
 - e. dekarboksilasi
6. Katabolisme karbohidrat akan menghasilkan senyawa sisa berupa
 - a. air dan ureum
 - b. karbon monoksida dan air
 - c. karbon dioksida dan air
 - d. karbon dioksida dan karbon monoksida
 - e. karbon dioksida dan ureum

7. Tujuan sel tubuh melakukan pemecahan karbohidrat adalah . . .
 - a. untuk memperbaiki bagian sel yang sudah rusak
 - b. mendapatkan energi
 - c. untuk membangun sel-sel yang baru
 - d. untuk mengganti cairan yang ada dalam jaringan
 - e. untuk menghemat energi karena pemecahan karbohidrat memerlukan energi yang lebih kecil dibanding pemecahan lemak
8. Organisme yang mampu membentuk glukosa dari CO_2 dan H_2O disebut organisme . . .
 - a. saprofit
 - b. parasit
 - c. heterotrof
 - d. autotrof
 - e. litotrof
9. Unsur-unsur yang menyusun karbohidrat adalah . . .
 - a. C, H, O
 - b. C, H, O, N
 - c. C, H, O, N, S
 - d. C, H, O, N, S, P
 - e. C, H, O, N, S, P, I
10. Pemecahan karbohidrat tidak dapat sempurna apabila . . .
 - a. banyak air
 - b. kekurangan air
 - c. banyak oksigen
 - d. kekurangan oksigen
 - e. banyak karbon dioksida

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. ATP merupakan molekul berenergi tinggi yang disintesis di dalam kloroplas dan mitokondria. Jelaskan proses pembentukan ATP di dalam dua organel tersebut!
2. Enzim merupakan senyawa organik yang dapat mempercepat reaksi kimia. Sebutkan 6 ciri enzim!
3. Apa yang dimaksud NAD, NADP, dan FAD?
4. Tulis reaksi pembentukan karbohidrat dengan benar!
5. Sebutkan perbedaan antara katabolisme dan anabolisme!

Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas Portofolio

Buatlah perbandingan antara katabolisme dan anabolisme, data diambil dari glikolisis dan reaksi gelap (sertakan bagannya), analisislah data pengamatan kalian!

Bab IV

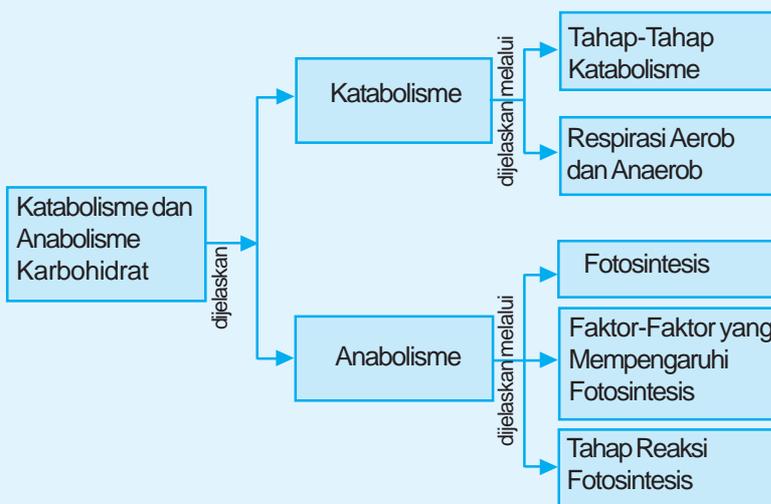
Katabolisme dan Anabolisme Karbohidrat

Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : www.defreview.com

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan bagaimana karbohidrat disusun maupun diuraikan untuk keperluan hidup.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab IV:

1. Katabolisme
2. Anabolisme
3. Respirasi



Gambar 4.1 Sapi perlu rumput untuk energi hidupnya.

Sumber: .CD Image

Tahukah kalian mengapa tumbuhan dapat menghasilkan bahan makanan? Tumbuhan dapat menghasilkan makanan yang kita butuhkan dari peristiwa fotosintesis. Peristiwa fotosintesis merupakan proses anabolisme.

Pada gambar di atas, sapi sedang memakan rumput. Dengan jalan fotosintesis, rumput menghasilkan bahan-bahan makanan untuk kepentingannya sendiri. Sapi juga memperoleh manfaat dari makanan dalam rumput. Setelah memakannya, sapi itu mengubah rumput menjadi energi untuk hidup dan menjadi daging. Manusia secara tidak langsung “memakan” rumput ketika mereka memakan daging sapi atau minum susu yang dihasilkan sapi. Itu adalah satu contoh betapa pentingnya fotosintesis bagi kelangsungan hidup semua organisme.

A. Katabolisme Karbohidrat

Di dalam setiap sel hidup terjadi proses metabolisme. Salah satu proses tersebut adalah katabolisme. Katabolisme disebut pula disimilasi, karena dalam proses ini energi yang tersimpan ditimbulkan kembali atau dibongkar untuk menyelenggarakan proses-proses kehidupan.

Katabolisme merupakan reaksi pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana disertai dengan pembebasan energi dalam bentuk ATP. Contoh katabolisme, yaitu proses respirasi.

1. Tahap-Tahap Proses Katabolisme

Dalam bab ini proses katabolisme karbohidrat yang dimaksud adalah respirasi sel. Respirasi sel berlangsung di dalam mitokondria melalui proses glikolisis, dilanjutkan dengan proses dekarboksilasi oksidatif kemudian siklus Krebs, di mana pada setiap tingkatan proses ini dihasilkan energi berupa ATP (Adenosin Tri Phosphat) dan hidrogen. Hidrogen yang berenergi bergabung dengan akseptor hidrogen untuk dibawa ke transfer elektron, energinya dilepaskan dan hidrogen diterima oleh O_2 menjadi H_2O .

Di dalam proses respirasi sel, bahan bakarnya adalah gula heksosa. Pembakaran tersebut memerlukan oksigen bebas, sehingga reaksi keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut.



Dalam respirasi, gula heksosa mengalami pembongkaran dengan proses yang sangat panjang. Pertama kali, glukosa sebagai bahan bakar mengalami proses fosforilasi, yaitu proses penambahan fosfat kepada molekul-molekul glukosa hingga menjadi fruktosa - 1, 6 difosfat. Pada fosforilasi, ATP dan ADP memegang peranan penting sebagai pengisi fosfat.

Adapun pengubahan fruktosa - 1, 6 difosfat hingga akhirnya menjadi CO_2 dan H_2O dapat dibagi menjadi 4 tahap, yaitu glikolisis, (dekarboksilasi oksidatif), siklus krebs, dan transfer elektron.

Tahukah kamu?

Di siang hari, pembuatan gula glukosa dalam daun lebih cepat daripada yang dapat digunakan atau diangkut menuju jaringan lainnya. Glukosa yang berlebihan diubah menjadi pati, yang disimpan dalam daun untuk beberapa lama. Kemudian bahan ini diubah menjadi gula terlarut, yang bergerak dari daun.

Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer
Jilid 6, 2000 : 75

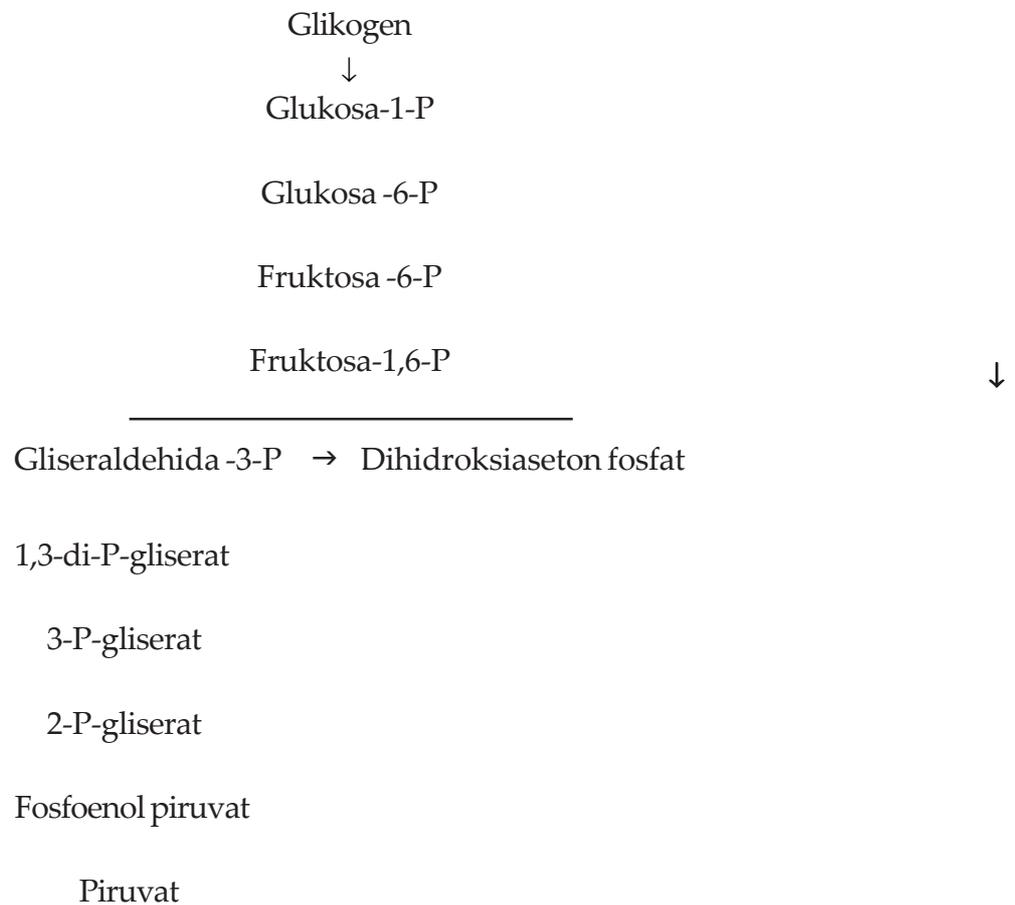
a. Glikolisis

Glikolisis merupakan rangkaian reaksi perubahan molekul glukosa menjadi asam piruvat dengan menghasilkan NADH dan ATP.

Sifat-sifat glikolisis ialah:

- 1) Berlangsung secara anaerob.
- 2) Dalam glikolisis terdapat kegiatan enzimatik dan ATP serta ADP (Adenosin Diphosfat).
- 3) ADP dan ATP berperan dalam pemindahan fosfat dari molekul satu ke molekul yang lain.

Untuk lebih jelasnya pahami bagan glikolisis berikut ini!



Sumber: Biokimia

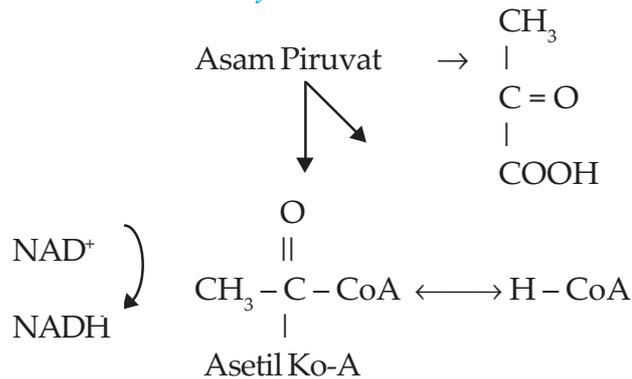
Skema 4.1 *Glikolisis*

Kerjakan Latihan 4.1 berikut yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu** dan mengembangkan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 4.1

Berdasarkan bagan glikolisis di atas, tuliskan langkah-langkah glikolisis!

b. Dekarboksilasi oksidatif (reaksi transisi atau reaksi antara)



Skema 4.2 Dekarboksilasi oksidatif

Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

Setiap asam piruvat hasil glikolisis akan bereaksi dengan Nikotinamide Adenin Dinukleotida (NAD^+) dan koenzim A (Ko-A) membentuk Asetil Ko-A dalam reaksi yang berlangsung dalam mitokondria ini akan terjadi pengurangan satu atom C dalam bentuk CO_2 .

Piruvat hanya akan berlanjut ke daur Kerbs jika di dalam sel cukup oksigen.

Kerjakan Latihan 4.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **personal** kalian!

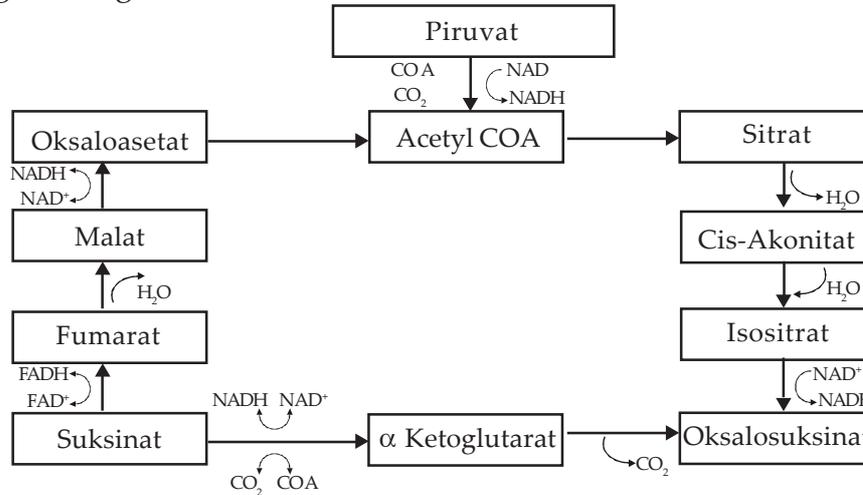
Latihan 4.2

Jelaskan reaksi pada dekarboksilasi oksidatif!

c. Daur asam sitrat (siklus Krebs)

Dikenal dengan nama siklus TCA (trikarboksilat) karena asam sitrat merupakan salah satu senyawa intermediet yang terdiri dari 3 gugus asam karboksilat.

Langkah-langkah siklus Krebs:



Skema 4.3 Siklus Krebs

Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

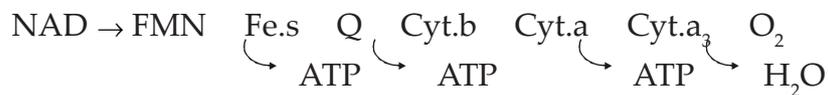
Kerjakan Latihan 4.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Latihan 4.3

Tuliskan langkah-langkah siklus Krebs!

d. Rantai transpor elektron

Skema rantai transpor elektron:



Skema 4.4 Rantai transpor elektron

Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

Skema di atas merupakan urutan molekul pembawa elektron dalam rantai pernapasan.

- NAD = Nikotinamid Adenin Dinukleotida
- FMN = Flavin mononukleotida
- Fe.s = Protein yang mengandung Fe dan s pada gugus prostetikanya
- Q = Ubiquinon (koenzim-Q)
- Cyt.b = Sitokrom b
- Cyt.c = Sitokrom c
- Cyt.a = Sitokrom a
- Cyt a₃ = Sitokrom a₃

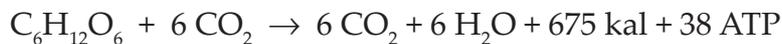
Hitunglah berapa ATP yang dihasilkan pada respirasi aerob ini mulai dari glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus krebs, sampai rantai transpor elektron!

2. Respirasi Aerob dan Respirasi Anaerob

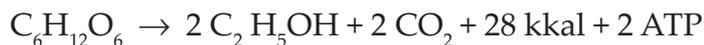
Respirasi aerob merupakan suatu proses pernapasan yang membutuhkan oksigen dari udara. Respirasi anaerob disebut pula fermentasi atau respirasi intramolekul merupakan reaksi yang tidak memerlukan oksigen bebas dari udara. Tujuan fermentasi sama dengan respirasi aerob, yaitu mendapatkan energi. Hanya saja energi yang dihasilkan dalam respirasi anaerob jauh lebih sedikit daripada respirasi aerob.

Perhatikan reaksi berikut!

Respirasi aerob:



Respirasi anaerob:



Respirasi anaerob dapat berlangsung di dalam udara bebas, tetapi proses ini tidak menggunakan O_2 yang tersedia di udara. Fermentasi sering pula disebut sebagai peragian alkohol atau alkoholisasi.

Pada respirasi aerob maupun anaerob, asam piruvat hasil proses glikolisis merupakan substrat.

Asam piruvat yang dihasilkan pada proses glikolisis dapat dimetabolisasi menjadi senyawa yang berbeda bergantung pada tersedia atau tidaknya oksigen. Pada kondisi aerob (ada oksigen) sistem enzim mitokondria mampu mengatalisis oksidasi asam piruvat menjadi CO_2 dan H_2O serta membebaskan energi. Pada kondisi anaerob, sel dan jaringan tumbuhan dapat mengubah asam piruvat menjadi CO_2 dan etil alkohol serta membebaskan energi. Dapat juga asam piruvat di dalam sel otot menjadi CO_2 dan asam laktat serta, membebaskan energi. Bentuk respirasi ini lazim dikenal dengan fermentasi.

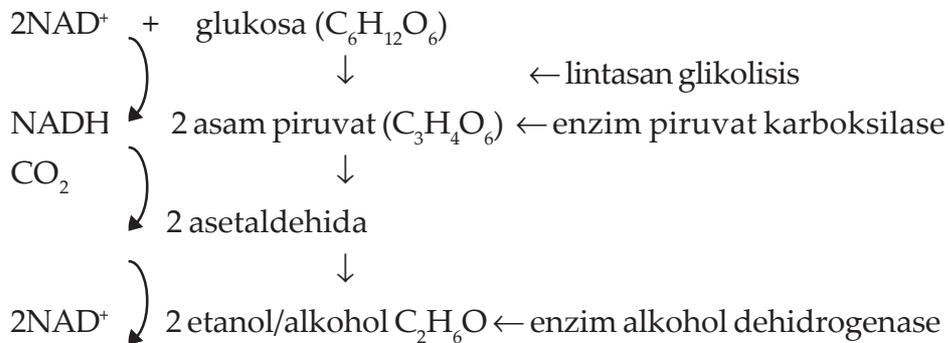
Pada respirasi anaerob, jalur yang ditempuh meliputi:

- Lintasan glikolisis.
- Pembentukan alkohol (fermentasi alkohol) atau pembentukan asam laktat (fermentasi asam laktat).
- Akseptor elektron terakhir bukan oksigen, tetapi molekul alkohol dan atau asam laktat.

d. Energi dihasilkan hanya 2 molekul ATP untuk setiap molekul glukosa.

a. Fermentasi alkohol

Terjadi pada beberapa mikroorganisme seperti jamur (ragi).



Skema 4.5 Fermentasi Alkohol

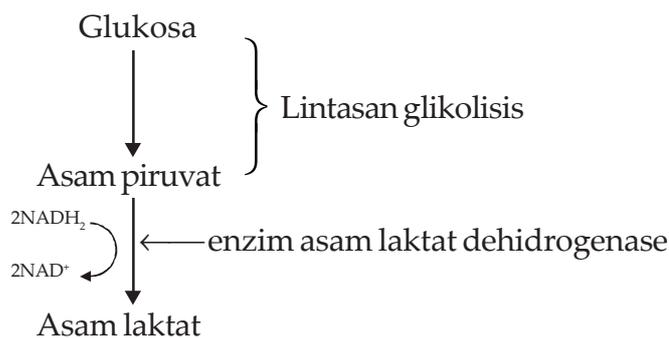
Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

Proses fermentasi alkohol merupakan suatu pemborosan, karena sebagian besar dari energi yang terkandung di dalam molekul glukosa masih terdapat di dalam molekul, inilah yang menyebabkan etanol dapat dipakai sebagai bahan bakar alternatif.



b. Fermentasi asam laktat

Terjadi karena sel-sel otot yang bekerja terlalu berat, energi yang tersedia tidak seimbang dengan kecepatan pemanfaatan energi karena kadar oksigen yang ada tidak cukup untuk respirasi aerob atau respirasi sel, sehingga proses perombakan molekul glukosa untuk menghasilkan ATP (energi) tidak dapat berlangsung secara aerob.



Skema 4.6 Fermentasi asam laktat

Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

Proses fermentasi asam laktat merupakan suatu pemborosan karena sebagian besar energi bebas masih berada dalam 2 molekul asam laktat (± 639 kkal dari 686 kkal yang terkandung di dalam 1 molekul glukosa).

Tahukah kamu?

Mengapa adonan roti mengembang jika dicampur ragi?

Dalam respirasinya, ragi memakai cara anaerob, sehingga membentuk alkohol. Bagi ragi, alkohol hanya merupakan limbah. Buangan energi yang dilepaskan pada pemapasannya penting bagi ragi ini. Karbon dioksida yang dihasilkan pada peragian alkohol dilepaskan dalam bentuk gelembung-gelembung yang lepas dari cairan atau medium lainnya tempat ragi hidup di dalamnya. Gelembung-gelembung karbon dioksida yang dibebaskan inilah yang menyebabkan adonan roti mengembang.

Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 6, 2000 : 75

Kerjakan tugas berikut yang akan merangsang kalian **berpikir kritis** dan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan sosial** kalian!

Tugas

Diskusikan!

Lebih menguntungkan mana antara respirasi aerob dan respirasi anaerob?

B. Anabolisme Karbohidrat

Anabolisme merupakan penyusunan senyawa kompleks (organik) dari senyawa sederhana dengan menggunakan energi. Contohnya adalah proses fotosintesis.

1. Fotosintesis

Robert Meyer (1845) mengemukakan bahwa fotosintesis merupakan proses biokimia yang sangat penting karena selama proses tersebut energi radiasi dikonversi menjadi energi kimia yang bermanfaat bagi proses kehidupan.

Proses fotosintesis = proses anabolisme karbohidrat.

2. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fotosintesis

a. Faktor eksternal

Yaitu faktor yang berasal dari luar tumbuhan, terdiri dari

- 1) Karbondioksida (CO_2) diambil dari udara.
- 2) Air (H_2O) diambil dari dalam tanah.
- 3) Spektrum cahaya.
- 4) Suhu, pada umumnya fotosintesis dapat berlangsung pada suhu 5°C – 42°C , pada suhu 35°C kecepatan fotosintesis meningkat dan pada suhu di atas 40°C kecepatan fotosintesis menurun.

b. Faktor internal

Yaitu faktor yang berasal dari dalam tumbuhan itu sendiri, terdiri dari

- 1) Pigmen, klorofil merupakan komponen terpenting dari tumbuhan yang melakukan fotosintesis.
- 2) Enzim, berfungsi sebagai biokatalisator.

Berdasarkan peranannya dalam membantu reaksi kimia anabolisme enzim dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu:

- a) Enzim yang berkaitan dengan fungsi oksidasi reduksi

Enzim ini mengatalisis reaksi pemindahan hidrogen dari suatu substrat menuju ke substrat yang lain.

Contoh: sitokrom, nikotinamid adenin dinukleotida pospat (NAD), flavin mononukleotida (FMN), ferodoksin, ketoglutarat dehidrogenase, suksinat dehidrogenase.

- b) Enzim yang tidak terkait dengan reaksi oksidasi reduksi.

Enzim ini akan mengatalisis reaksi perubahan substrat menjadi bentuk yang lain tanpa diikuti dengan pelepasan hidrogen.

Contoh: enzim karboksilase, fumarase, akonitase.

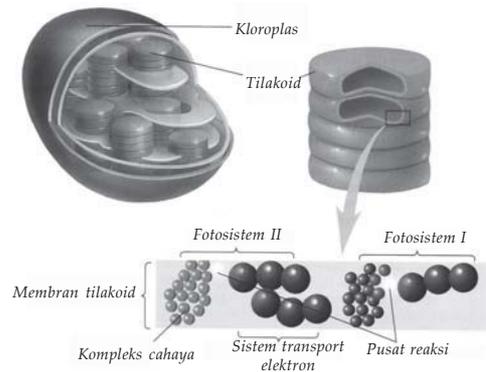
3. Tahap Reaksi Fotosintesis

Fotosintesis terjadi di kloroplas.

Struktur kloroplas:

- a. Pipih, panjang rata-rata 7 milimikron dan lebar 3 – 4 milimikron.
- b. Terdiri 2 membran, yaitu stroma dan lamela.
- c. Pada membran terdapat lapisan lipid bilayer yang mengandung protein intrinsik dan enzim. Stroma (membran luar) melingkupi fluida. Lamela (membran dalam) terlipat berpasangan. Lamela akan membesar, membentuk gelembung pipih yang terbungkus membran yang disebut tilakoid, tumpukan tilakoid disebut grana.

- d. Mengandung klorofil dan beberapa karotenoid.
- e. Terdiri dari 2 fraksi, yaitu grana yang mengandung pigmen fotosintetik dan stroma yang tidak mengandung pigmen tetapi mengandung enzim-enzim.



Gambar 4.2 Struktur kloroplas

Sumber: *Biology Life on Earth*, 1999:116

a. Reaksi terang fotosintesis

Reaksi terang terjadi di dalam membran tilakoid, tepatnya pada kloroplas. Unit pengumpul cahaya pada membran tilakoid disebut fotosistem. Ada dua macam fotosistem yang terdapat di membran tilakoid yaitu fotosistem I dan fotosistem II. Reaksi terang terjadi ketika fotosistem I dan fotosistem II terkena cahaya matahari.

Reaksi terang dibagi menjadi 2 tahapan yaitu:

1) *Fotofosforilasi siklik*

Berlangsung di fotosistem I, di fotosistem I terdapat klorofil a yang peka terhadap panjang gelombang 700 nm sehingga disebut p700. Cahaya yang mengenai klorofil akan menyebabkan klorofil teraktifasi sehingga melepaskan elektronnya. Elektron yang dilepaskan oleh klorofil ini akan ditransfer dari satu enzim ke enzim yang lain, dan sebagian dari energinya akan diserap oleh ADP untuk mengikat phospat sehingga terbentuk ATP.

2) *Fotofosforilasi nonsiklik*

Fotosistem I yang terkena cahaya matahari akan melepaskan elektronnya yang kemudian elektron ini akan segera mengikuti rantai transfer elektron. Sebagian energi yang ada pada reaksi transfer elektron ini digunakan untuk membentuk ATP dari ADP. Bersamaan dengan peristiwa ini terjadi penguraian molekul air menjadi O_2 , ion hidrogen dan elektron, NADP akan mengambil elektron yang berasal dari fotosistem I untuk mengikat ion hidrogen sehingga terbentuk NADPH.

Fotosistem I yang telah kehilangan elektronnya akan segera menyedot elektron dari fotosistem II (p680) yang terkena cahaya. Fotosistem II yang kekurangan elektron akan segera mengambil elektron yang dihasilkan oleh penguraian air.

ATP dan NADPH yang dihasilkan pada reaksi terang ini akan dimanfaatkan untuk membentuk glukosa pada reaksi gelap, sedangkan O_2 yang dihasilkan akan segera dikeluarkan sebagai hasil samping fotosintesis.

b. Reaksi gelap (siklus Calvin-Benson)

Jalur metabolisme reaksi pembentukan glukosa dari CO_2 disebut daur Calvin. Dalam penambahan CO_2 terjadi beberapa tahap reaksi, yaitu:

Tahap I

6 molekul CO_2 dari udara bereaksi dengan 6 molekul ribulosa 1,5 difosfat, dikatalisis oleh enzim ribulosa difosfat karboksilase menghasilkan 12 molekul 3 fosfogliserat.

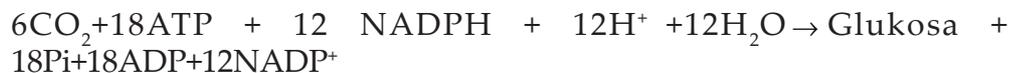
Tahap II

12 Molekul 3 fosfogliserat dikatalisis oleh enzim fosfogliserat kinase dan gliseraldehida fosfat dehidrogenase akan terbentuk 12 molekul gliseraldehida 3 fosfat dengan bantuan 12 ATP dan 12 NADPH.

Tahap III

12 gliseraldehida 3 fosfat akan diubah menjadi 3 molekul fruktosa-6-fosfat untuk selanjutnya fruktosa 6 fosfat diubah menjadi glukosa.

Persamaan reaksi secara keseluruhan adalah sebagai berikut:



Secara garis besar hubungan antara reaksi terang dengan reaksi gelap adalah energi matahari yang ditangkap oleh fotosistem I dan II dalam fasa terang cahaya diubah menjadi energi kimia NADPH dan ATP.

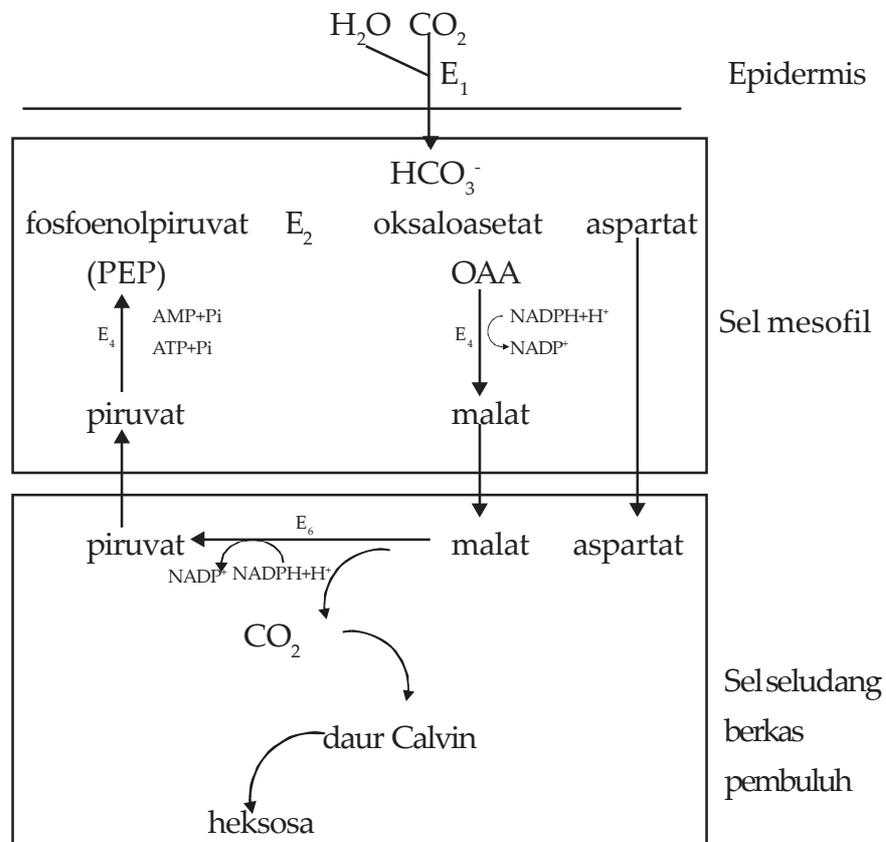
Tiga macam reaksi sintesis yang sudah diidentifikasi pada tumbuhan adalah C_3 , C_4 dan CAM.

1) *Daur C_4*

Daur C_4 disebut juga jalur metabolisme Hatch-Slack, yaitu jalur metabolisme penambatan CO_2 yang pada tahap reaksi pertamanya melibatkan pembentukan asam dikarboksilat beratom karbon empat, yaitu oksaloasetat, malat, dan asam aspartat.

Daur C_4 ini terjadi pada tumbuhan golongan C_4 , seperti jagung, rumput-rumputan, dan tumbuhan padang pasir.

Berikut ini adalah jalur metabolisme daur C₄.



Skema 4.7 Jalur metabolisme daur C₄.

Sumber: Biokimia, 1997, Sumanto

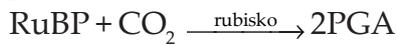
Keterangan

- E₁ = karbonik antidrase
- E₂ = fosfoenolpiruvat karboksilase
- E₃ = transaminase
- E₄ = piruvat dikinase
- E₅ = E₆ = malat dehidrogenase

2) Daur C₃

Daur C₃ terjadi pada tanaman polong-polongan, gandum, padi. Daur ini diawali dengan fiksasi CO₂, yaitu menggabungkan CO₂ dengan sebuah molekul akseptor karbon. Tetapi dalam daur ini CO₂ difiksasi ke gula berkarbon lima, yaitu ribulosa bifosfat (RuBP) oleh enzim karboksilase RuBP (rubisko). Molekul berkarbon 6 yang terbentuk tidak stabil dan segera terpisah menjadi 2 molekul fosfogliserat (PGA).

Molekul PGA merupakan karbohidrat stabil berkarbon tiga yang pertama kali terbentuk sehingga cara tersebut dinamakan daur C₃.



3) CAM

CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*) merupakan mekanisme yang paling sedikit terjadi di antara ketiga daur (C₃, C₄, CAM).

Daur ini terjadi pada tanaman nanas, kaktus, bunga lili, agave, dan beberapa jenis anggrek.

Secara biokimia, daur CAM identik dengan daur C₄, kecuali tidak adanya pemisahan reaksi sintesis antara mesofil dengan berkas sel seludang. Bahkan, semua reaksi dipisahkan oleh waktu, suatu faktor yang sangat penting bagi kelangsungan hidup tanaman CAM pada lingkungan yang kering.

c. *Bukti-bukti peristiwa fotosintesis*

Untuk membuktikan adanya molekul-molekul yang dibutuhkan dan yang dihasilkan dalam peristiwa fotosintesis dapat dilakukan dengan percobaan sebagai berikut.

1) *Percobaan Sachs*

Membuktikan bahwa pada fotosintesis akan dihasilkan zat tepung.

- Daun yang sudah beberapa saat terkena cahaya matahari dipetik.
- Daun dimasukkan pada air yang mendidih.
- Kemudian daun dimasukkan pada alkohol panas.
- Setelah itu ditetesi dengan larutan iodium (lugol).

Hasilnya daun akan berwarna biru tua. Hal ini membuktikan bahwa setelah terbentuk glukosa hasil fotosintesis segera diubah menjadi zat tepung.

2) *Percobaan Engelmann*

Membuktikan bahwa dalam fotosintesis diperlukan cahaya dan klorofil. Dari hasil pengamatan di bawah mikroskop terhadap *Spirogyra* dan bakteri termo, ternyata bila dijatuhkan seberkas cahaya yang mengenai kloroplas *Spirogyra*, maka tampak bakteri termo berkerumun pada daerah yang berkloroplas yang terkena cahaya tersebut.

Tahukah kamu?

Tumbuhan mengisap karbon dioksida lebih banyak dari pada yang dilepaskannya. Sebagai akibatnya, tumbuhan melepaskan oksigen selama siang hari.

Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer*
Jilid 6, 2000: 76

Namun bila seberkas cahaya tidak mengenai kloroplas, maka tidak banyak ditemukan bakteri termo.

3) *Percobaan Ingenhouz*

Membuktikan bahwa pada fotosintesis dihasilkan O_2 .

- Beberapa batang tanaman *Hydrilla verticillata* dimasukkan ke dalam corong.
- Corong ditempatkan ke dalam beker glass yang berisi air dalam keadaan terbalik (air harus penuh) dan dikaitkan dengan kawat penyangga.
- Pipa ditutup dengan tabung reaksi yang berisi air secara terbalik.
- Perangkat percobaan ditempatkan di tempat yang terkena sinar matahari langsung.

Hasilnya pada tabung reaksi terdapat gelembung-gelembung air.

Untuk membuktikan apakah gas yang muncul itu O_2 dapat diuji dengan memasukkan lidi yang membara. Apabila terbentuk nyala api, maka gas yang muncul tersebut O_2 .

4) *Percobaan Van Helmont*

Membuktikan bahwa fotosintesis menghasilkan air.

- Van Helmont menempatkan 200 pon tanah yang telah dikeringkan di dalam pot besar.
- Tanah tersebut disiram dengan air dan di dalamnya ditanam pucuk tanaman "willow" seberat 5 pon.
- Pot dimasukkan ke dalam tanah dan menutupi tepinya dengan plat besi yang berlubang-lubang.
- Selama 5 tahun Van Helmont menyirami tanamannya dengan air hujan atau air suling.
- Pohon dicabut dan ditimbang ternyata beratnya menjadi 164 pon 3 ons (berat ini tidak termasuk berat daun yang berguguran +5 tahun).
- Tanah dikeringkan lagi dan ditimbang, ternyata beratnya hanya berkurang 2 ons dari berat semula.
- Kesimpulan : penambahan berat pohon "willow" itu hanya berasal dari air.

Kerjakan Latihan 4.4 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Latihan 4.4

Tuliskan perbedaan reaksi terang dan reaksi gelap!

Perbedaan Fotosintesis dan Respirasi

Perhatikan perbedaan fotosintesis dan respirasi pada tabel di bawah ini!

Tabel: Perbedaan fotosintesis dan respirasi

No.	Objek	Fotosintesis	Respirasi
1.	Tempat terjadinya	Klorofil	Mitokondria dan sitoplasma
2.	Bahan baku	CO ₂ dan H ₂ O	Glukosa
3.	Molekul yang dihasilkan	Karbohidrat (amilum)	ATP
4.	Molekul samping yang dihasilkan	O ₂	H ₂ O dan CO ₂
5.	Reaksi utama	Reaksi terang dan Reaksi gelap	Respirasi aerob dan anaerob
6.	Kebutuhan ATP	membutuhkan molekul ATP	Menghasilkan dan membutuhkan molekul ATP
7.	Persamaan reaksinya	Terjadi pembentukan glukosa $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$	Terjadi penguraian glukosa: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 38 \text{ATP}$
8.	Kebutuhan oksigen	Menghasilkan oksigen	Tidak selalu membutuhkan oksigen, contoh untuk respirasi aerob.
9.	Jalur yang ditempuh	Fotosintesis I, II, siklus Calvin	Glikolisis, siklus Krebs, dan fosforilasi oksidatif (Transpor elektron)
10.	Kebutuhan cahaya	Tergantung cahaya	Tidak tergantung cahaya
11.	Akseptor elektron	NADH	NADP dan FAD

ATP yang dihasilkan pada respirasi aerob dan anaerob berfungsi sebagai sumber energi bagi semua aktivitas organisme. Aktivitas ini dibagi menjadi empat golongan, yaitu:

1) *Kerja mekanis*

Selalu terjadi jika otot berkontraksi. Energi yang diperlukan organ otot agar dapat berkontraksi disediakan oleh ATP.

2) *Transpor aktif*

ATP digunakan untuk mengaktifkan ion atau molekul yang akan ditranslokasikan ke dalam sel.

3) *Produksi panas*

Umumnya terjadi sebagai hasil sampingan dari proses transformasi energi lain dalam sel, karena tidak ada produksi panas. Transformasi energi yang 100% efisien.

4) *Anabolisme*

Yaitu proses sintesis molekul organik dari molekul anorganik. ATP merupakan sumber energi bagi aktivitas anabolik di dalam sel.

Kerjakan Latihan 4.5 berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh** dan menumbuhkan **rasa ingin tahu** kalian!

Latihan 4.5

Tuliskan pentingnya proses metabolisme pada organisme! Referensi bisa didapatkan dari berbagai sumber.

Rangkuman

1. Katabolisme adalah reaksi pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana disertai dengan pembebasan energi dalam bentuk ATP. Contoh : Proses respirasi.
2. Respirasi aerob adalah respirasi yang membutuhkan oksigen.
3. Respirasi anaerob adalah respirasi yang tidak membutuhkan oksigen.
4. Pengubahan fruktosa - 1, 6 - difosfat hingga akhirnya menjadi CO_2 dan H_2O dibagi menjadi 4 tahap yaitu glikolisis, dekarboksilasi oksidatif, siklus Krebs, dan transfer elektron.
5. Anabolisme adalah penyusun senyawa kompleks (organik) dari senyawa sederhana dengan menggunakan energi.

6. Faktor-faktor yang mempengaruhi fotosintesis adalah:
 - a. Faktor eksternal: CO_2 , H_2O , spektrum cahaya, dan suhu.
 - b. Faktor internal: pigmen dan enzim.
7. Tahap reaksi fotosintesis:
 - a. Reaksi terang (fotolisis)
 - b. Reaksi gelap (siklus Calvin-Benson)
8. Bukti-bukti peristiwa fotosintesis:
 - a. Percobaan Sachs
 - b. Percobaan Engelmann
 - c. Percobaan Ingenhouz
 - d. Percobaan Van Helmont

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d, atau e!*

1. Pernyataan berikut ini yang sesuai untuk glikolisis adalah
 - a. berlangsung di sitosol secara aerob
 - b. berlangsung di sitosol secara anaerob
 - c. berlangsung di mitokondria secara aerob
 - d. berlangsung di mitokondria secara anaerob
 - e. berlangsung dalam vakuola secara aerob
2. Pada glikolisis glukosa diubah menjadi glukosa fosfat dengan bantuan
 - a. ADP
 - b. ATP
 - c. glukosa 1 - fosfat
 - d. fosfolipida
 - e. fosforilase
3. Dalam tubuh kita reaksi-reaksi kimia yang berlangsung dalam sel memperoleh energi dari
 - a. AMP
 - b. ATP
 - c. lemak
 - d. cahaya
 - e. energi mekanik

4. Asam piruvat sebelum masuk siklus Krebs di mitokondria akan diubah dulu menjadi
 - a. asam sitrat
 - b. koenzim-A
 - c. asetil koenzim-A
 - d. etanol
 - e. asam laktat
5. Energi hasil dari katabolisme selalu disimpan dalam bentuk
 - a. NADP
 - b. substrat
 - c. lemak
 - d. ATP
 - e. FAD
6. Pernyataan berikut ini merupakan ciri dari fermentasi alkohol, *kecuali*
 - a. dihasilkan CO₂
 - b. dihasilkan H₂O
 - c. selain energi dihasilkan etil alkohol
 - d. terjadi pada sel tumbuhan yang kekurangan oksigen
 - e. dapat dilakukan oleh jamur *Candida*
7. Faktor yang memengaruhi proses fotosintesis dibedakan menjadi 2 macam yaitu faktor eksternal dan internal. Di bawah ini yang termasuk faktor internal, yaitu
 - a. pigmen – air
 - b. enzim – temperatur
 - c. temperatur – kadar CO₂
 - d. enzim – pigmen
 - e. pigmen – temperatur – enzim
8. Suhu yang paling baik untuk proses fotosintesis berkisar antara
 - a. 5° C – 40° C
 - b. 15° C – 45° C
 - c. 5° C – 30° C
 - d. 15° C – 25° C
 - e. 15° C – 50° C

9. Pada kloroplas terdapat dua fraksi yaitu, grana dan stroma, pada grana terdapat
 - a. CO_2
 - b. O_2
 - c. pigmen fotosintetik
 - d. enzim
 - e. karbohidrat
10. Reaksi terang berlangsung di dalam
 - a. porfirin
 - b. siklus Calvin
 - c. lamela
 - d. stroma
 - e. tilakoid

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Jelaskan perbedaan respirasi aerob dan respirasi anaerob!
2. Jelaskan fungsi ATP bagi organisme!
3. Tuliskan bagan dari daur trikarboksilat!
4. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses fotosintesis!
5. Bagaimana hubungan reaksi gelap dan reaksi terang? Jelaskan!

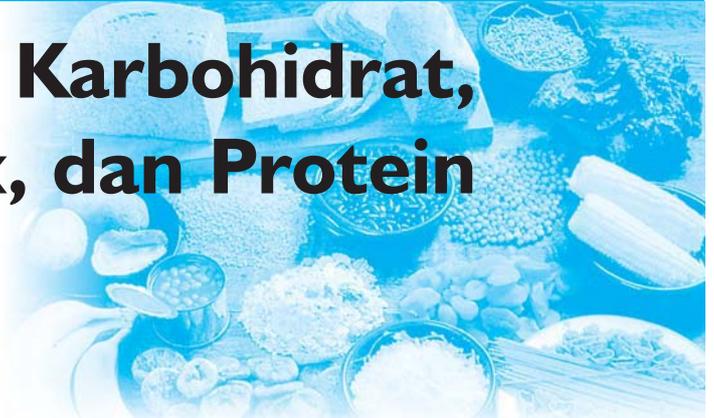
Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan menumbuhkan semangat **kewirausahaan, etos kerja, kreativitas, mengembangkan kecakapan sosial dan kecakapan vokasional** kalian!

Tugas Portofolio

Bersama kelompok kalian lakukanlah percobaan Sachs, analisislah data pengamatan kalian dan buat laporannya!

Bab V

Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

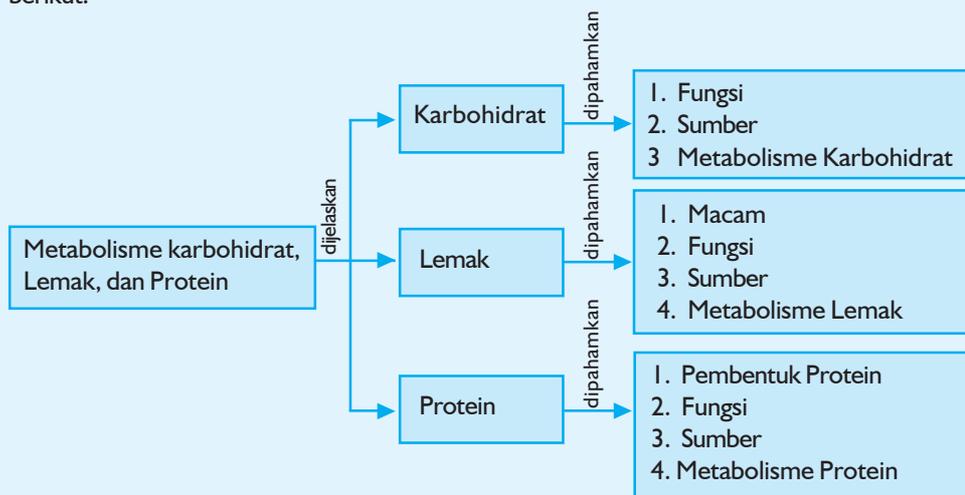


Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : Grolier Mengenal Ilmu "Makan"

Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein serta keterkaitan dari ketiganya.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab V:

1. Karbohidrat
2. Lemak
3. Protein



Gambar Anak sedang menikmati makanan, *metabolisme tubuhnya sangat tergantung dari makanan yang dimakannya*

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 6, 2005 : 124*

Makanan merupakan unsur penting makhluk hidup agar dapat menjaga kelangsungan hidupnya. Makanan merupakan bahan bakar bagi terbentuknya energi, sama halnya dengan bensin untuk menjalankan suatu mesin.

Energi makanan terkandung di dalam molekul karbohidrat, protein, dan lemak.

Gambar di atas adalah anak yang sedang menikmati makanannya, **metabolisme tubuhnya sangat tergantung dari makanan yang dimakannya.**

A. Karbohidrat

Karbohidrat tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Karbohidrat dibagi menjadi 3 golongan, yaitu:

1. Monosakarida : fruktosa, glukosa, dan galaktosa.
2. Disakarida : maltosa, sukrosa, dan laktosa.
3. Polisakarida : tepung (amilum), selulosa, dan glikogen.

1. Fungsi Karbohidrat

Sumber kalori (1 gram = 4,1 kalori)

- a. Membentuk senyawa-senyawa organik seperti lemak dan protein.
- b. Menjaga keseimbangan asam basa dalam tubuh.

2. Sumber Karbohidrat

Beras, gandum, jagung, kentang, umbi-umbian, dan gula.

3. Metabolisme Karbohidrat

Di dalam sistem pencernaan, karbohidrat mengalami degradasi dengan bantuan enzim, seperti:

- a. Enzim amilase, menguraikan molekul amilum (pati) menjadi maltosa.
- b. Enzim maltase, menguraikan molekul maltosa menjadi glukosa.
- c. Enzim sukrase, mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa.
- d. Enzim laktase, menguraikan laktosa menjadi glukosa dan galaktosa.
- e. Enzim selulose, menguraikan selulosa menjadi selobiosa.
- f. Enzim pektinase, menguraikan pektin menjadi asam pektin.
- g. Enzim dektrase, menguraikan amilum menjadi dektrin.

Proses metabolisme karbohidrat, yaitu:

Molekul karbohidrat → degradasi → molekul glukosa diabsorpsi → dalam jonjot-jonjot usus, masuk pembuluh darah lewat vena porta dialirkan → ke hati diubah → glikogen.

Bila jumlah glukosa yang dikonsumsi melebihi keperluan tubuh, sebagian glukosa ditimbun di hati dan otot sebagai glikogen. Hal ini disebabkan kapasitas pembentukan glikogen terbatas dan pola penimbunan glikogen telah mencapai batasnya. Kelebihan glukosa akan diubah menjadi lemak dan ditimbun di dalam jaringan dan lemak.

Tahukah kamu?

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

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar, 2005*

Kerjakan Tugas 5.1 berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh**, mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Tugas 5.1

Carilah keterangan berbagai jenis karbohidrat dari berbagai sumber!

B. Lemak

Lemak tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O). Terdiri atas asam lemak dan gliserin atau gliserol.

1. Macam Lemak

- a. Lemak sederhana, misalnya lemak dan minyak.
- b. Lemak campuran, yaitu campuran antara senyawa lemak dengan zat-zat lain, misalnya fosfolipid dan protein.

Berdasarkan tingkat kejenuhannya, asam lemak dapat dibagi menjadi 2 golongan, yaitu:

a. Asam lemak jenuh

Contoh: makanan yang berasal dari hewan.

b. Asam lemak tak jenuh

Kolesterol dalam tubuh digunakan oleh hati sebagai bahan utama untuk mensintesis asam empedu, dan garam empedu lainnya.

Kadar kolesterol dalam darah yang melebihi normal dapat menyebabkan penyempitan atau penyumbatan pembuluh darah sehingga mempertinggi risiko penyakit jantung koroner.

Kerjakan latihan berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Latihan

Sebutkan contoh beberapa lemak, berilah keterangan selengkapnya!

2. Fungsi Lemak

Lemak mempunyai beberapa fungsi, antara lain:

- Sumber minyak, misalnya kacang tanah, dan zaitun.
- Bahan penting membran sel.
- Bahan baku pembuatan garam-garam empedu.
- Bahan baku pembuatan hormon, seperti estrogen, progesteron, dan testosteron.
- Pelindung tubuh
- Pelarut vitamin A, D, E, dan K.
- Sumber energi.

3. Sumber Lemak

Sumber lemak dibagi menjadi:

- Hewani: keju, daging, mentega, susu, ikan basah, minyak ikan, dan telur.
- Nabati: kelapa, kacang-kacangan, kemiri, dan buah alpukat.

Tahukah kamu?

Makanan dari keju dan daging jika dikonsumsi secara berlebihan akan meningkatkan kadar kolesterol di dalam tubuh.

4. Metabolisme Lemak

Sintesa lemak disebut lipogenesis, terjadi di sitoplasma, dibantu enzim lipase. Secara umum sintesa lemak dibagi dalam 3 bagian, yaitu:

a. Pembentukan gliserol

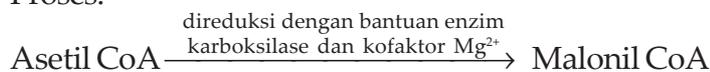
Dari senyawa antara glikolisis, yaitu dihidroksi aseton fosfat yang diubah menjadi senyawa fosfogliseraldehida.

b. Pembentukan asam lemak

Dari penambahan berulang senyawa berkarbon dua (C_2), yaitu malonil CoA dari Asetil CoA dalam siklus Krebs.

c. Penggabungan gliserol dengan asam lemak

Proses:



Asam lemak + gliserol merembes ke plasma.

Di plasma gugus COOH pada asam lemak + gugus OH pada gliserol lemak. Peristiwa pemecahan lemak menjadi asetil CoA dikenal dengan nama β -oksidasi.

Kerjakan Tugas 5.2 berikut yang akan merangsang kalian **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan akademik** dan **personal** kalian!

Tugas 5.2

Berikan penjelasan mengapa lemak menghasilkan energi lebih besar dibanding dengan karbohidrat untuk jumlah berat yang sama!

C. Protein

Protein tersusun atas unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (N), kadang-kadang unsur fosfor (P), dan sulfur (S).

1. Pembentuk Protein

Protein dibentuk dari asam amino, yaitu:

- Asam amino esensial, yaitu asam amino yang tidak dapat dibentuk oleh tubuh. Ada 8, yaitu: isoleusin, leusin, lisin, metionin, valin, triptofan, treonin, dan fenilalanin.
- Asam amino nonesensial, yaitu asam amino yang dapat disintesis oleh tubuh. Contoh: alanin, asparagin, glisin, glutamin, dan prolin.

Tahukah kamu?

Selain karbohidrat, protein, lemak, dan vitamin, kacang-kacangan juga mengandung senyawa kimia seperti alkaloid, flavonoid, tannin, dan asam amino kanavanin.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 5, 2005 : 57*

2. Fungsi Protein

Dalam tubuh kita protein mempunyai beberapa fungsi, antara lain:

- Bahan enzim untuk mengatalisis reaksi-reaksi biokimia, misalnya tripsin.
- Protein cadangan, disimpan dalam beberapa bahan sebagai cadangan makanan, misalnya dalam lapisan aleuron (biji jagung), ovalbumin (putih telur).
- Protein transport, mentransfer zat-zat atau unsur-unsur tertentu, misalnya hemoglobin untuk mengikat O_2 .
- Protein kontraktil, untuk kontraksi jaringan tertentu, misalnya miosin untuk kontraksi otot.

- e. Protein pelindung, melindungi tubuh terhadap zat-zat asing, misalnya antibodi yang mengadakan perlawanan terhadap masuknya molekul asing (antigen) ke dalam tubuh.
- f. Toksin, merupakan racun yang berasal dari hewan, tumbuhan, misalnya bisa ular.
- g. Hormon, merupakan protein yang berfungsi sebagai pengatur proses-proses dalam tubuh, misalnya hormon insulin, pada hewan hormon auksin dan gibberellin pada tumbuhan.
- h. Protein struktural, merupakan protein yang menyusun struktur sel, jaringan dan tubuh organisme hidup, misalnya glikoprotein untuk dinding sel, keratin untuk rambut dan bulu.

3. Sumber Protein

Berdasarkan sumbernya, protein ada 2 macam, yaitu:

a. *Protein hewani*

Yaitu protein yang berasal dari hewan, contohnya: daging, ikan, telur, susu, dan keju.

b. *Protein nabati*

Yaitu protein yang berasal dari tumbuh-tumbuhan, contohnya: kacang-kacangan.

Kekurangan protein dapat menyebabkan busung lapar (honger oedem) dan kwashiorkor.

4. Metabolisme Protein

Metabolisme protein dikatalisis oleh beberapa enzim, yaitu:

- a. Pepsin, merombak protein menjadi asam amino.
- b. Renin, mengubah kaseinogen menjadi kasein (susu) yang diaktifkan oleh susu.
- c. Kemotripsin, menguraikan protein menjadi peptida dan asam-asam amino.
- d. Tripsin, mengubah protein menjadi peptida dan asam amino.
- e. Erepsin, mengubah pepton menjadi asam amino.
- f. Peptidase, mengubah polipeptida menjadi asam-asam amino.

Protein diserap oleh dinding usus dalam bentuk asam amino, melalui pembuluh darah vena porta menuju ke hati.

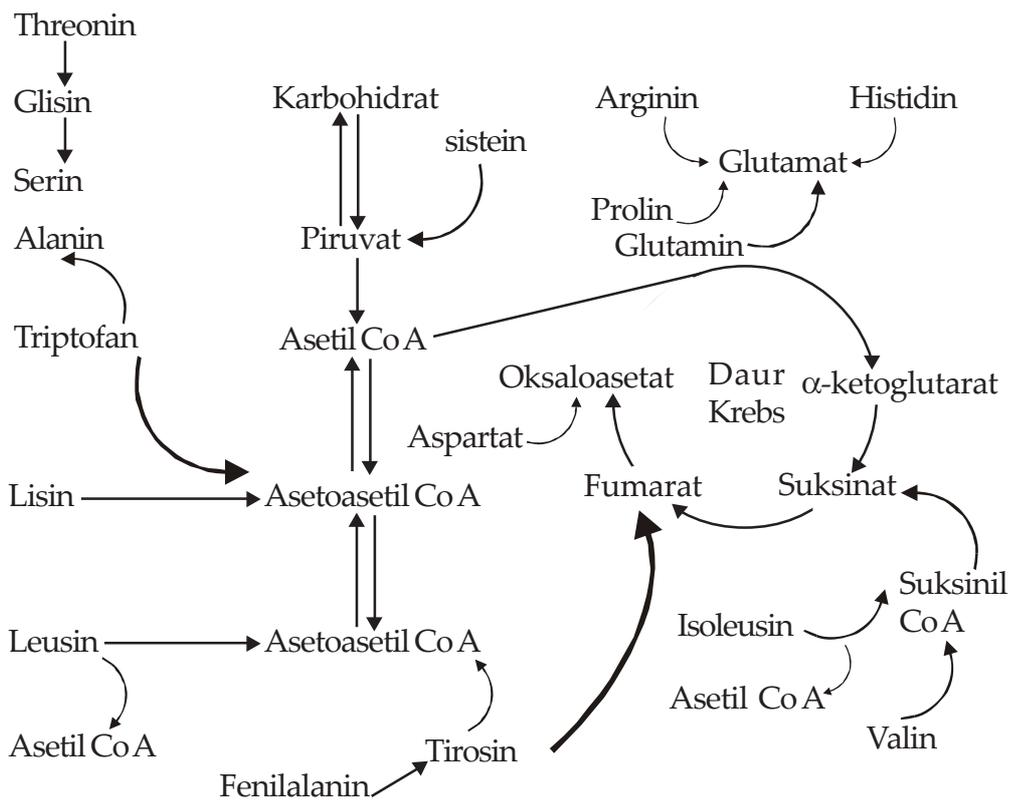
Pada proses metabolisme asam amino, proses dekarboksilasi yang memisahkan gugusan karboksil dengan asam amino menjadi ikatan baru, yang merupakan zat antara yang masih mengandung unsur nitrogen. Selanjutnya, terjadi proses transaminasi yang menghasilkan pemindahan gugusan asam amino (NH_2) dari asam amino ke ikatan lain, menjadi asam amino yang berbeda dengan asam amino yang pertama.

Tahukah kamu?

Jons Jakob Berzelius (1779 – 1848), ahli kimia asal Swedia, adalah pencipta sebutan “protein” pada tahun 1840. Kata “protein” diambil dari bahasa Yunani proteios yang artinya “paling utama”.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar Jilid 1, 2005 : 125*

Untuk lebih jelasnya, perhatikan bagan yang menunjukkan hubungan metabolik asam amino berikut ini.



Skema: Hubungan metabolik asam amino

Karbohidrat, lemak, dan protein merupakan sumber energi bagi tubuh makhluk hidup. Sebagai sumber energi, lemak dan protein dapat diubah menjadi karbohidrat. Demikian pula karbohidrat dapat diubah menjadi lemak, namun sebagai sumber energi utama adalah karbohidrat.

Pengubahan zat nonkarbohidrat menjadi glukosa dikenal dengan nama glukoneogenesis.

Kerjakan Tugas 5.3 berikut yang merangsang kalian **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Tugas 5.3

Berikan penjelasan mengapa protein menghasilkan energi setara dengan karbohidrat untuk jumlah berat yang sama!

Kerjakan Tugas 5.4 berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh**, menumbuhkan **rasa ingin tahu**, dan mengembangkan kecakapan **personal** serta **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 5.4

Buatlah bagan keterkaitan antara metabolisme lemak, protein, dan karbohidrat! Kerjakan dalam buku tugas!

Rangkuman

1. Metabolisme karbohidrat

Molekul karbohidrat degradasi → molekul glukosa → diabsorpsi dalam jonjot-jonjot usus → masuk pembuluh darah lewat venaporta → dialirkan → ke hati → diubah menjadi glikogen.

2. Metabolisme lemak

Asetil CoA $\xrightarrow[\text{karboksilase dan kofaktor Mg}^{2+}]{\text{direduksi dengan bantuan enzim}}$ Malonil CoA

Malonil CoA + Asetil CoA asam lemak.

Asam lemak + gliserol merembes ke plasma.

Di plasma gugus COOH pada asam lemak + gugus OH pada gliserol lemak.

3. Metabolisme protein
Penyerapannya dalam bentuk asam amino.



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d, atau e!*

1. Bahan makanan yang paling cepat diubah menjadi energi adalah
 - a. karbohidrat
 - b. lemak
 - c. protein
 - d. mineral
 - e. air
2. Protein merupakan polimer yang terdiri dari
 - a. asam amino dan gliserol
 - b. asam amino dan glukosa
 - c. asam amino
 - d. gliserol dan asam lemak
 - e. glukosa
3. Penyimpanan karbohidrat dalam hati berbentuk
 - a. glukosa
 - b. glikogen
 - c. amilum
 - d. amilase
 - e. amilopektin

4. Bila dalam makanan yang dikonsumsi mengandung banyak lemak, maka tubuh akan kenyang dalam waktu yang relatif lama, sebab
 - a. lemak sukar dicerna
 - b. lemak sebagai penghasil energi yang utama
 - c. lemak menghasilkan energi yang paling besar di antara bahan yang lain
 - d. lemak tidak dapat dicerna
 - e. lemak menghambat penyerapan sari-sari makanan
5. Berikut ini merupakan fungsi protein, *kecuali*
 - a. sebagai sumber energi
 - b. sebagai bahan pengatur berbagai aktivitas tubuh
 - c. memperbaiki sel-sel yang rusak
 - d. membentuk koenzim
 - e. sebagai bahan pembangun sel-sel tubuh

D. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan 3 macam zat makanan penghasil energi bagi tubuh!
2. Jelaskan fungsi karbohidrat, protein, dan lemak!
3. Apakah perbedaan asam amino esensial dan asam amino nonesensial?
4. Jelaskan perbedaan jalur metabolisme lemak, protein, dan karbohidrat!
5. Apa yang dimaksud dengan glukoneogenesis?

Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan menumbuhkan **etos kerja, kreativitas, rasa ingin tahu**, dan mendorong kalian untuk **mencari informasi lebih jauh!**

Tugas Portofolio

Carilah berbagai hal yang mungkin terjadi akibat ketidakseimbangan metabolisme! Susunlah dalam bentuk kliping! Tiap gambar dan kliping analisislah! Carilah informasinya dari berbagai sumber!

Bab VI

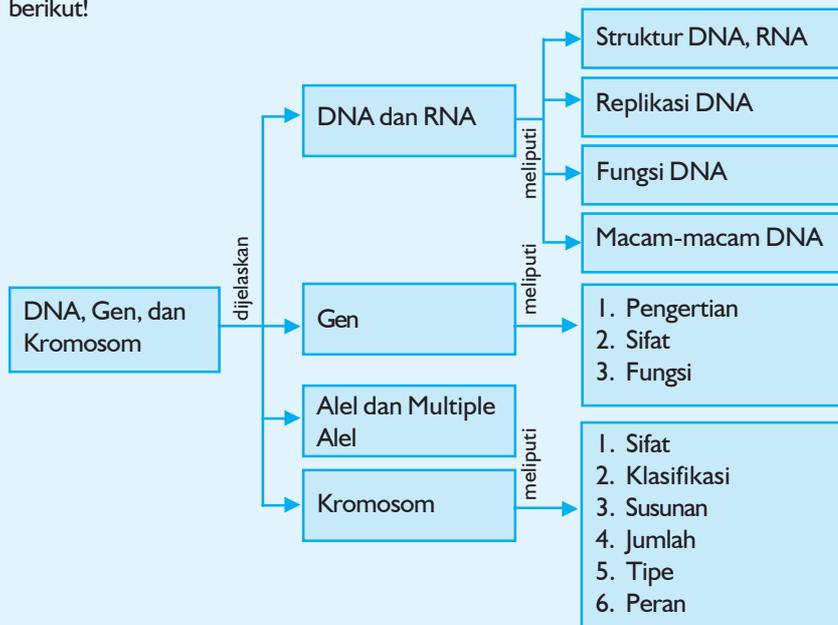
DNA, Gen, dan Kromosom

Sumber gambar : *Jendela IPTEK*

Tujuan Pembelajaran:

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan peran DNA, gen, dan kromosom dalam pewarisan sifat.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab VI:

1. DNA
2. RNA



Gambar 6.1 Data base genetika, tentang informasi genetik

Sumber: *Jendela IPTEK* Jilid 11, 2001 : 60

Sel merupakan unit hereditas, artinya sel merupakan kesatuan terkecil yang berperan dalam pewarisan sifat-sifat menurun pada makhluk hidup.

Di dalam sel terdapat nukleus yang di dalamnya terdapat faktor pembawa sifat menurun, yaitu gen yang tersimpan di dalam kromosom. Dalam hereditas ini juga tidak lepas dari peran DNA.

Salah satu peran DNA adalah menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya. Gambar di atas adalah data base genetika, tentang informasi genetik.

Seluruh genom manusia mempunyai tiga miliar pasangan basa. Tanpa komputer, hampir tidak mungkin membuat grafik dan analisis begitu banyak informasi kimiawi. Layar komputer ini memperlihatkan sebagian kecil urutan suatu pasangan basa.

A. DNA dan RNA

1. Struktur DNA

Asam deoksiribonukleat atau disingkat DNA merupakan persenyawaan kimia yang paling penting pada makhluk hidup, yang membawa keterangan genetik dari sel khususnya atau dari makhluk hidup dalam keseluruhannya dari satu generasi ke generasi berikutnya. (Suryo, 2004:57).

DNA merupakan suatu polimer nukleotida ganda yang berpilin (double heliks). Setiap nukleotida terdiri dari 1 gugus phospat, 1 basa nitrogen, dan 1 gula pentosa.

Gula pentosa yang menyusun DNA terdiri dari gula deoksiribosa yang kekurangan satu molekul oksigen.

Basa nitrogen yang menyusun DNA terdiri dari purin dan pirimidin. Purin terdiri dari adenin dan guanin, sedangkan pirimidin terdiri dari sitosin dan timin.

Nukleotida merupakan ikatan antara basa nitrogen dengan gula pentosa.

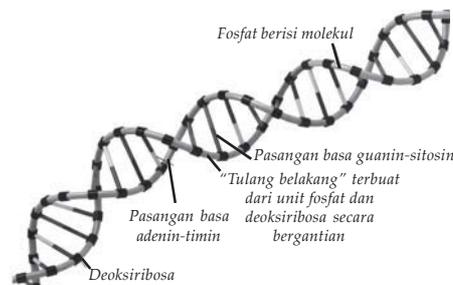
Menurut Watson dan Crick, susunan DNA adalah:

- Setiap DNA terdiri dari 2 rantai polinukleotida yang berpilin (double heliks).
- Setiap nukleotida terletak pada bidang datar yang tegak lurus seakan-akan membentuk anak tangga, sedangkan phospat membentuk ibu tangganya.
- Antara 2 rantai polinukleotida dihubungkan oleh ikatan hidrogen pada masing-masing pasangan basa nitrogennya.
- Basa purin selalu berkaitan dengan basa pirimidin, dengan pasangan yang selalu tetap.

Adenin (A) dari kelompok purin selalu berpasangan dengan Timin (T) dari kelompok pirimidin, sedangkan guanin (G) selalu berpasangan dengan Sitosin (S) dari kelompok pirimidin.

Tahukah kamu?

Untuk mengetahui informasi genetik suatu organisme, potongan DNA dari sample darah diuji dengan *Polymerase Chain Reaction* (PCR). Di bidang kedokteran, metode ini sering digunakan untuk identifikasi penyakit genetik, virus, bakteri, dan kanker.



Gambar 6.2 Struktur DNA

Sumber: Jendela IPTEK Jilid 11, 2001 : 34-35

2. Replikasi DNA

Replikasi DNA terjadi pada fase interfase, dipengaruhi oleh enzim polymerase. Dalam perkembangan ilmu pengetahuan ada 3 teori yang menyatakan cara duplikasi DNA, yaitu:

a. Teori konservatif

DNA induk tidak mengalami perubahan apapun, lalu urutan basa-basa nitrogennya disalin sehingga terbentuk dua rantai DNA yang sama persis.

b. Teori dispersif

DNA induk terpotong-potong, kemudian potongan-potongan tersebut merangkai diri menjadi dua buah DNA baru yang mempunyai urutan basa-basa nitrogen sama persis seperti urutan basa nitrogen semula.

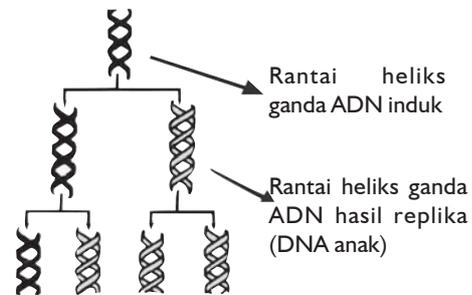
c. Teori semikonservatif

Pada saat akan mengadakan replikasi kedua, rantai polinukleotida akan memisahkan diri sehingga basa-basa nitrogen tidak berpasangan-pasangan. Nukleotida bebas mengandung basa nitrogen yang bersesuaian akan menempatkan diri berpasangan dengan basa nitrogen dari kedua rantai DNA induk, sehingga terbentuk dua buah DNA yang sama persis.

3. Fungsi DNA

DNA mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Menyampaikan informasi genetik kepada generasi berikutnya, karena DNA mampu melakukan proses replikasi.
- Tempat sintesis semua kode jenis asam amino dalam sel.



Gambar 6.3 Teori konservatif
Sumber: Dok Penerbit

Tahukah kamu?



Pada tahun 1953 James Watson dan Francis Crick membuat terobosan penting.

Mereka dengan tepat menemukan struktur ulir rangkap molekul DNA. Mereka menyadari bahwa "pasangan" basa dan kedua tali "saling melengkapi" seperti halnya negatif dan positif dan fotografi. Jika suatu sel membelah diri, tali ini terpisah dan masing-masing menemukan mitra baru.

Sumber: *Jendela IPTEK* Jilid 11, 2001 : 35

4. Struktur RNA

RNA merupakan polinukleotida, namun ukurannya jauh lebih pendek dari polinukleotida penyusun DNA. RNA hanya terdiri dari satu rantai.

Gula pentosa yang menyusun RNA adalah gula ribosa.

Basa nitrogen yang menyusun RNA adalah:

- a. Purin yang terdiri dari adenin dan guanin
- b. Pirimidin yang terdiri dari sitosin dan urasil, RNA dibentuk oleh DNA di dalam inti sel.

5. Macam-Macam RNA

a. RNA duta (*messenger RNA*)

Fungsinya membawa informasi DNA dari inti sel ke ribosom. Pesan-pesan ini berupa triplet basa yang ada pada RNA duta yang disebut kodon.

Kodon pada RNA duta merupakan komplemen dari kodogen, yaitu urutan basa-basa nitrogen pada DNA yang dipakai sebagai pola cetakan.

Peristiwa pembentukan RNA duta oleh DNA di dalam inti sel, disebut transkripsi.

Contoh:

- 1) Kodogen (DNA) = ASG TGG ATA SST
- 2) Kodon (triplet basa RNA d) = UGS ASS UAU GGA

b. RNA transfer (*RNA pemindah*)

Fungsinya mengenali kodon dan menerjemahkan menjadi asam amino di ribosom. Peran RNA transfer ini dikenal dengan nama translasi (penerjemahan). Urutan basa nitrogen pada RNA transfer disebut antikodon.

Bentuk RNA transfer seperti daun semanggi dengan 4 ujung yang penting, yaitu:

- 1) Ujung pengenal kodon yang berupa triplet basa yang disebut antikodon.
- 2) Ujung perangkai asam amino yang berfungsi mengikat asam amino.
- 3) Ujung pengenal enzim yang membantu mengikat asam amino.
- 4) Ujung pengenal ribosom.

Contoh:

Apabila kodon dalam RNA duta mempunyai urutan UGS ASS UAU GGA maka antikodon yang sesuai pada RNA transfer adalah ASG UGG AUA SSU.

c. **Ribosom RNA (RNAr)**

Fungsinya sebagai tempat pembentukan protein. Ribosom RNA terdiri dari 2 sub unit, yaitu:

- 1) Sub unit kecil yang berperan dalam mengikat RNA duta.
- 2) Sub unit besar yang berperan untuk mengikat RNA transfer yang sesuai.

Kerjakan Latihan 6.1 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 6.1

Lengkapilah Tabel 6.1 berikut ini!

Tabel 6.1 Perbedaan DNA dan RNA

No.	Objek	DNA	RNA
1.	Lokasi	.....	.....
2.	Bentuk rantai	.....	.....
3.	Fungsi	.....	.....
4.	Kadar	.....	.....
5.	Basa nitrogen	.....	.....
6.	Komponen gula	.....	.....
7.	.....	.....	.....

B. Gen

Pertama kali diperkenalkan oleh Thomas Hunt Morgan, ahli Genetika dan Embriologi Amerika Serikat (1911), yang mengatakan bahwa substansi hereditas yang dinamakan gen terdapat dalam lokus, di dalam kromosom.

1. Pengertian Gen

Menurut W. Johansen, gen merupakan unit terkecil dari suatu makhluk hidup yang mengandung substansi hereditas, terdapat di dalam lokus gen. Gen terdiri dari protein dan asam nukleat (DNA dan RNA), berukuran antara 4 – 8 m (mikron).

2. Sifat-Sifat Gen

Gen mempunyai sifat-sifat sebagai berikut.

- a. Mengandung informasi genetik.
- b. Tiap gen mempunyai tugas dan fungsi berbeda.

- c. Pada waktu pembelahan mitosis dan meiosis dapat mengadakan duplikasi.
- d. Ditentukan oleh susunan kombinasi basa nitrogen.
- e. Sebagai zarah yang terdapat dalam kromosom.

3. Fungsi Gen

Fungsi gen antara lain:

- a. Menyampaikan informasi kepada generasi berikutnya.
- b. Sebagai penentu sifat yang diturunkan.
- c. Mengatur perkembangan dan metabolisme.

4. Simbol-Symbol Gen

- a. Gen dominan, yaitu gen yang menutupi ekspresi gen lain, sehingga sifat yang dibawanya terekspresikan pada turunannya (suatu individu) dan biasanya dinyatakan dalam huruf besar, misalnya A.
- b. Gen resesif, yaitu gen yang terkalahkan (tertutupi) oleh gen lain (gen dominan) sehingga sifat yang dibawanya tidak terekspresikan pada keturunannya.
- c. Gen heterozigot, yaitu dua gen yang merupakan perpaduan dari sel sperma (A) dan sel telur (a).
- d. Gen homozigot, dominan, yaitu dua gen dominan yang merupakan perpaduan dari sel kelamin jantan dan sel kelamin betina, misalnya genotipe AA.
- e. Gen homozigot resesif, yaitu dua gen resesif yang merupakan hasil perpaduan dua sel kelamin. Misalnya aa.
- f. Kromosom homolog, yaitu kromosom yang berasal dari induk betina berbentuk serupa dengan kromosom yang berasal dari induk jantan.
- g. Fenotipe, yaitu sifat-sifat keturunan pada F1, F2, dan F3 yang dapat dilihat, seperti tinggi, rendah, warna, dan bentuk.
- h. Genotipe, yaitu sifat-sifat keturunan yang tidak dapat dilihat, misalnya AA, Aa, dan aa.

Kerjakan Latihan 6.2 berikut yang akan menumbuhkan rasa **ingin tahu** dan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 6.2

Jelaskan, mengapa pernikahan dengan keluarga dekat yang sedarah/seketurunan tidak boleh dilakukan?

C. Alel dan Multiple Alel

Lokus merupakan unit-unit yang lebih kecil pada kromosom yang memberikan bentuk seperti rangkaian manik atau pita dengan garis-garis melintang yang menunjukkan letak-letak gen.

Gen A dan gen a merupakan gen yang sealel, karena terletak pada lokus yang bersesuaian dan mengawasi sifat yang sama atau setaraf tetapi ekspresinya berbeda. Misalnya gen A dan alelnya a sama-sama mengawasi bentuk hidung, tetapi untuk gen A mengekspresikan hidung mancung, sedangkan alelnya gen a mengekspresikan hidung pesek.

Satu gen dapat mempunyai lebih dari satu alel. Urutan dalam penulisan pasangan anggota multiple alel disesuaikan dengan urutan dominasi satu sifat terhadap sifat yang lain. Peristiwa yang menunjukkan di mana suatu gen mempunyai alel lebih dari satu disebut sebagai multiple alel. (*Toegino, 1997:32*).

Contoh:

1. Pada kelinci terdapat seri multiple alel yang mempengaruhi warna bulu kelinci. Warna bulu kelinci yang normal adalah kelabu (polos) ditentukan oleh alel C. Alel C mengalami mutasi dan menghasilkan 3 macam alel yang menyimpang dari aslinya, terdiri dari:
 - a. Cch, berfenotipe kelabu muda (chinchilla).
 - b. Ch, berfenotipe putih hitam (himalaya).
 - c. c, berfenotipe albino (tidak berpigmen).Urutan dominasinya adalah $C > Cch > Ch > c$.
2. Pada manusia dikenal adanya sistem golongan darah ABO yang diwariskan oleh multiple alel dari sebuah gen. Dalam golongan darah manusia terdapat satu gen dan disebut gen I, dengan alel gandanya, yaitu golongan darah A alelnya I^A , golongan darah B alelnya I^B , golongan darah AB alelnya I^{AB} dan golongan darah O alelnya I^O . Urutan dominasinya adalah $I^A > I^O$, $I^B > I^O$ sedangkan alel I^A tidak dominan terhadap I^B dan sebaliknya.

Kerjakan Latihan 6.3 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik!**

Latihan 6.3

Lengkapilah tabel 6.2 berikut!

Tabel 6.2. Genotipe pada golongan darah

Golongan darah	Antigen	Alela	Genotipe	
			Homozigot	Heterozigot
O
A
B
AB

D. Kromosom

Istilah kromosom dikenalkan oleh W.Waldayer yang mengatakan bahwa kromosom berasal dari dua kata, yaitu chroma yang berarti warna dan soma berarti badan.

1. Sifat Kromosom

Sifat-sifat kromosom adalah:

- Hanya terlihat pada waktu sel membelah.
- Mempunyai ukuran panjang antara 0,2 – 40 m (mikron).
- Kromosom pada sel prokariotik hanya memiliki satu kromosom dan tidak terletak di dalam inti sel.
- Kromosom sel eukariotik, jumlahnya bervariasi menurut jenis organisme dan terdapat di dalam nukleus.
- Umumnya memiliki susunan kimia yang terdiri dari kromatin 60%, protein 35%, DNA, dan RNA 5%.
- Protein terdiri dari histon dan nonhiston (bersifat netral atau asam).
- Memiliki beberapa enzim yang terlibat dalam sintesis DNA dan RNA.

2. Klasifikasi Kromosom

Berdasarkan jenis dan fungsinya, kromosom diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

- Kromosom autosom (kromosom tubuh), yaitu kromosom yang tidak ada hubungannya dengan penentuan jenis kelamin.

- b. Kromosom gonosom (kromosom seks), yaitu sepasang kromosom yang menentukan jenis kelamin, pada umumnya dibedakan atas dua macam, yaitu kromosom seks X dan kromosom seks Y (misalnya pada manusia).

Keseluruhan kromosom pada individu atau spesies dinamakan genom. Seorang perempuan dewasa normal dalam kromosomnya memiliki 22 pasang kromosom autosom dan 1 pasang kromosom seks (XX) serta formula kromosomnya adalah $22AA + XX$ atau $44A + XX$. Pada laki-laki dewasa normal memiliki sebuah kromosom X dan sebuah kromosom Y serta 22 pasang kromosom autosom. Formula kromosomnya adalah $22AA + XY$ atau $44A + XY$.

Berdasarkan lokasinya pada individu, kromosom dibedakan menjadi 2, yaitu:

- a. Kromosom prokariotik, yaitu kromosom yang sangat sederhana dan hanya terdapat pada organisme prokariotik. Misalnya: kromosom virus mozaik pada tembakau hanya berupa pita ARN tunggal dan kromosom pada bakteri *E. coli* berupa benang ADN tunggal yang melingkar atau diikuti oleh molekul ARN.
- b. Kromosom eukariotik, yaitu kromosom yang terdapat pada organisme multiseluler. Pada umumnya terdiri dari dua pita ADN (sense dan antisense) yang sangat panjang dan dibungkus oleh membran inti.

3. Susunan Kromosom

Bagian-bagian kromosom adalah:

a. **Sentromer (kinetokor)**

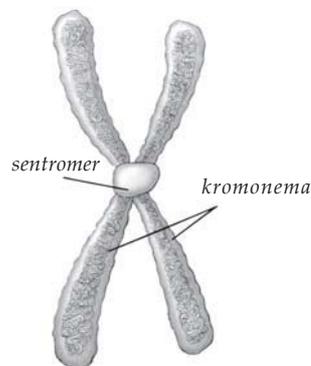
Merupakan penghubung antara kromonema yang satu dengan lainnya dan berfungsi sebagai tempat melekatnya benang gelendong pada waktu kromosom akan bergerak menuju ke kutub sel, pada fase anafase pembelahan kromosom.

b. **Kromonema**

Pita berbentuk spiral, tempat melekatnya kromiol dan kromomer.

c. **Kromomer (granula besar)**

Kromonema yang mengalami penebalan di beberapa tempat dan merupakan bahan nukleoprotein yang mengendap serta sebagai tempat lokus gen.



Gambar 6.5 Susunan kromosom

Sumber: *Biology the dynamics of Life*

d. Kromiol (granula kecil)

Kromosom yang mengalami sedikit penebalan.

e. Telomer

Bagian yang terdapat pada ujung kromosom dan berfungsi untuk menghalangi bersambungannya kromosom satu dengan lainnya.

f. Matriks

Cairan sitoplasma (endoplasma) yang agak memadat dan terdapat di dalam kromosom.

g. Lokus gen

Bagian yang berfungsi sebagai tempat pembawa sifat-sifat keturunan (hereditas).

h. Satelit

Bagian tambahan yang terdapat pada ujung kromosom dan tiap kromosom belum tentu memilikinya.

i. Selaput (membran)

Lapisan tipis yang menyelaputi kromosom.

4. Jumlah Kromosom Organisme

Jumlah kromosom pada setiap organisme sangat bervariasi.

Kerjakan tugas berikut ini yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh** dan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas

Carilah data tentang jumlah kromosom berbagai organisme! Informasi bisa dari berbagai sumber. Kemudian tulis di buku tugas!

5. Tipe-Tipe Kromosom

Berdasarkan posisi sentromer, kromosom diklasifikasikan menjadi 4 tipe, yaitu:

- a. Metasentrik, bila kedua lengan kromosom sama panjangnya dan sentromer berada di tengah pada jarak yang sama.
- b. Submetasentrik, bila kedua lengan kromosom tidak sama panjangnya dan sentromer tidak berada di tengah (lebih dekat dengan salah satu lengan).

- c. Akrosentrik, bila satu lengan sangat pendek dibandingkan dengan lengan yang lain sehingga sentromer sangat dekat dengan salah satu lengan.
- d. Telosentrik, bila hanya memiliki satu lengan dan sentromer terletak pada ujung kromosom.

6. Peran Kromosom dalam Pewarisan Sifat

Menurut hukum Mendel, gen dalam kromosom terdapat dalam keadaan berpasangan dan anggota pasangan itu diperoleh dari parental (induk). Pada waktu pembelahan meiosis, pasangan kromosom tersebut berpisah dan hanya satu anggota dari setiap pasangan itu yang berpindah ke sel kelamin.

Rangkuman

1. DNA merupakan suatu polimer nukleotida ganda yang berpilin (double heliks) di mana setiap nukleotida terdiri dari 1 gugus fosfat, 1 basa nitrogen, 1 gula pentosa (gula deoksiribosa).
2. RNA merupakan polinukleotida, namun ukurannya jauh lebih pendek dari polinukleotida penyusun DNA dan hanya terdiri satu rantai.
3. Gen adalah unit terkecil dari suatu makhluk hidup yang mengandung substansi hereditas, terdapat di dalam lokus gen.
4. Alel adalah pasangan gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian dan mengawasi sifat yang sama atau setaraf tetapi ekspresinya berbeda.
5. Kromosom berasal dari 2 kata khroma yang berarti warna dan soma yang berarti badan.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

1. Komponen DNA yang tersusun atas fosfat, gula, dan basa nitrogen membentuk

a. nukleosida	d. ikatan hidrogen
b. nukleotida	e. double helix
c. polypeptida	

2. Basa nitrogen yang termasuk purin adalah
 - a. sitosin dan timin
 - b. sitosin dan guanin
 - c. guanin dan timin
 - d. adenin dan guanin
 - e. adenin dan timin
3. Letak DNA dalam sel yaitu
 - a. terletak dalam sitoplasma, inti, terutama dalam ribosom
 - b. terdapat dalam inti sel pada kromosom dan dalam sitoplasma
 - c. terdapat dalam sitoplasma terutama pada ribosom
 - d. terdapat dalam inti sel, terutama dalam ribosom
 - e. terdapat dalam inti sel, terutama pada kromosom
4. Penemu model struktur DNA yang pertama ialah
 - a. Muller dan Weisman
 - b. Muller dan Francis Crick
 - c. James D.Watson dan Francis Crick
 - d. Francis Crick dan Weisman
 - e. James D.Watson dan Weisman
5. Watson dan Crick menyatakan bahwa struktur DNA berupa double helix tersusun atas anak tangga dan ibu tangga. Ibu tangga terdiri atas
 - a. fosfat dan basa N
 - b. fosfat dan deoksiribosa
 - c. deoksiribosa dan basa N
 - d. ribosa dan fosfat
 - e. ribosa dan basa N

D. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan fungsi molekul DNA!
2. Jelaskan fungsi:
 - a. RNAd
 - b. RNAt
 - c. RNAr
3. Mengapa T.H. Morgan menggunakan lalat buah sebagai objek penelitiannya?

4. Kromosom diklasifikasikan menjadi 2 macam, jelaskan!
5. Apa yang dimaksud dengan:
 - a. Gen dominan
 - b. Fenotipe
 - c. Genotipe
 - d. Homozigot dominan

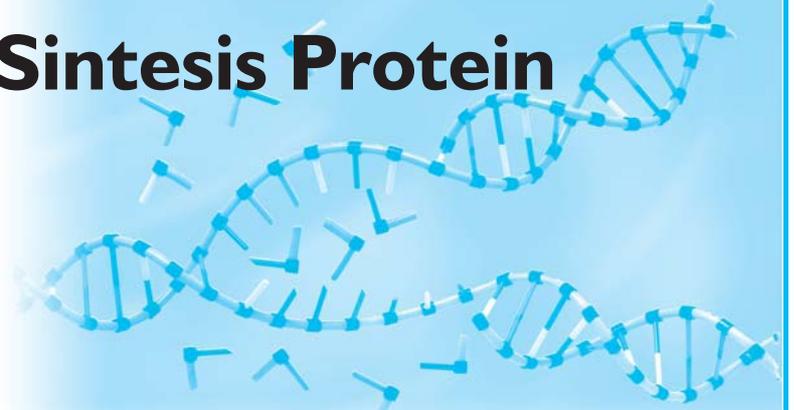
Kerjakan tugas portofolio berikut ini yang akan menumbuhkan **etos kerja, kreativitas**, mendorong kalian untuk **mencari informasi lebih jauh**, dan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Tugas Portofolio

Carilah kasus yang berhubungan dengan gen, kromosom atau DNA (bisa berupa penyakit, penyimpangan gen, DNA, dan lain-lain. Kemudian analisislah! Dan buat laporannya! Carilah informasi dari berbagai sumber!

Bab VII

Sintesis Protein

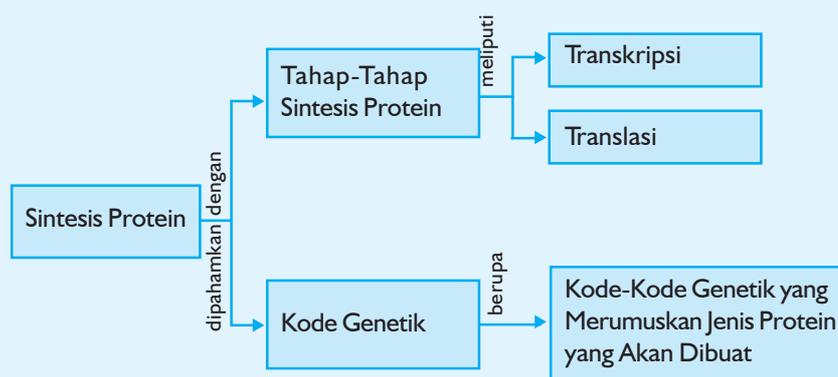


Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : *Jendela IPTEK*

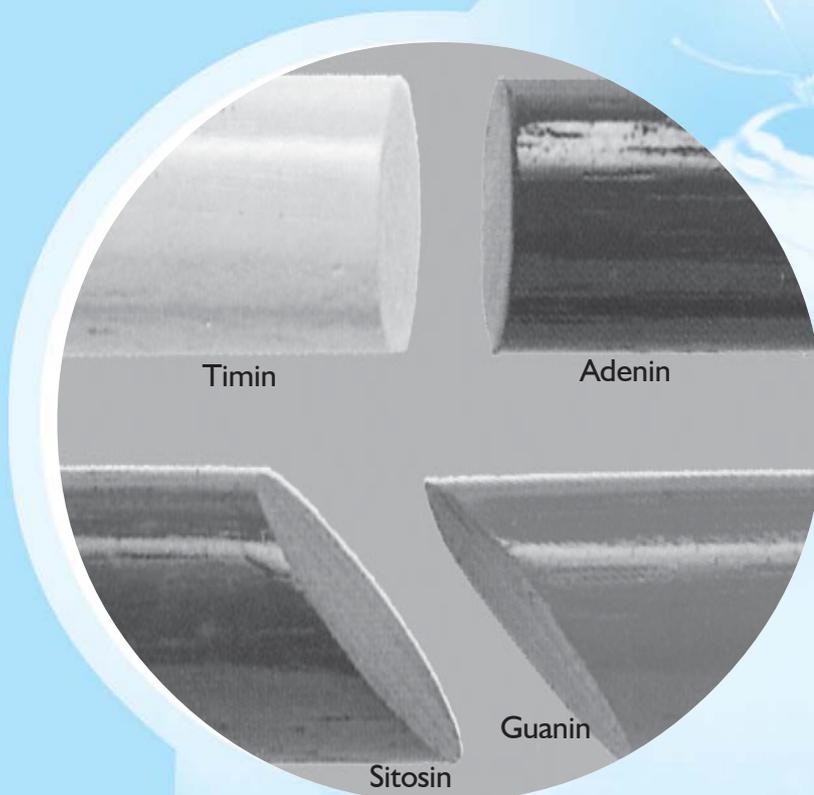
Setelah mempelajari bab ini kalian dapat menjelaskan pentingnya proses sintesis protein bagi kehidupan dengan memperhatikan tahapan-tahapannya.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab VII:

1. Sintesis Protein
2. Kode Genetik



Sumber: *Jendela IPTEK Jilid 11, 2001 : 35*
Gambar 7.1 Basa-basa nukleotida membentuk asam amino penyusun protein

Hampir segala sesuatu yang terjadi di dalam sel dikendalikan oleh enzim. Enzim adalah zat protein. Seperti DNA dan RNA, protein adalah polimer. Namun, protein terdiri atas mata rantai yang jenisnya berbeda, yang disebut asam amino.

Suatu sel dapat berfungsi dengan baik hanya kalau ada protein enzim yang tepat di dalam sel itu. Sebagian besar pesan berkode di dalam DNA menentukan jenis protein yang harus dibuat pada waktu tertentu. Namun, DNA tidak terlalu penting dan berharga untuk dipakai berkali-kali dalam proses pembuatan protein. Oleh karena itu instruksi untuk proses ini ditranskripsikan, atau disalin menjadi molekul pekerja RNA. RNA inilah yang membuat protein.

Urutan tiga basa nukleotida yang dikenal sebagai triplet merupakan kode genetik (kodon) untuk membentuk asam amino penyusun protein.

A. Tahap-Tahap Sintesis Protein

Sintesis protein merupakan suatu proses yang kompleks, termasuk di dalamnya penerjemahan kode-kode pada RNA menjadi polipeptida. Sintesis protein melibatkan DNA, RNA, ribosom, asam amino, dan enzim. (*Slamet Santosa, 2004: 134*).

Sintesis protein membutuhkan bahan dasar asam amino, dan berlangsung di dalam inti sel dan ribosom.

Hubungan penyandian DNA, RNA, dan protein menyangkut:

1. Replikasi DNA membentuk DNA baru.
2. Transkripsi DNA membuat cetakan mRNA.
3. Translasi sandi dari cetakan mRNA ke sekuen asam amino yang spesifik suatu protein.

Proses sintesis protein ada 2 tahap, yaitu:

1. Transkripsi

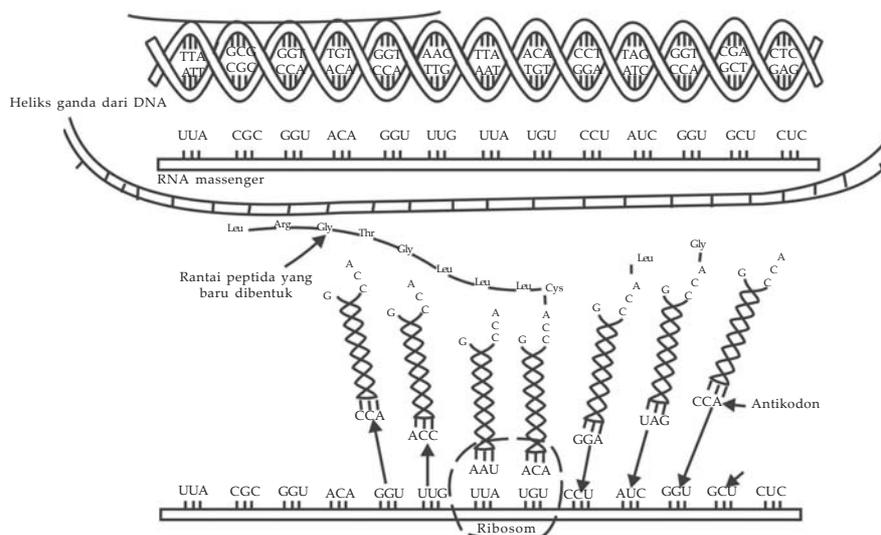
- a. Berlangsung dalam inti sel.
- b. Dimulai dengan membukanya pita "Double Helix" oleh enzim DNA polymerase.
- c. Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA disebut pita template atau sense (kodogen) dan pita DNA yang tidak mencetak RNA disebut dengan pita antisense.
- d. Pita RNA dibentuk sepanjang pita DNA pencetak dengan urutan basa nitrogennya komplementer dengan basa nitrogen yang ada pada pita cetakan DNA.
- e. Pita RNA yang telah selesai menerima pesan genetik dari pita DNA pencetak segera meninggalkan inti nukleus menuju ke ribosom, tempat sintesis protein dalam sitoplasma. Pita RNA menempatkan diri pada leher ribosom.
- f. RNA yang ada dalam sitoplasma bersiap-siap untuk berperan dalam proses sintesis protein berikutnya. Setiap satu RNA ini, mengikat satu asam amino yang mengandung ATP.

2. Translasi

- a. RNAd dan RNAt setelah sampai di ribosom selanjutnya tiga basa nitrogen pada antikodon RNAt berpasangan dengan tiga basa nitrogen pada kodon RNAd. Misalnya AUG pada kodon RNAd berpasangan dengan UAC pada antikodon RNAt, sehingga asam amino diikat oleh RNAt adalah metionin.

Dengan demikian nama asam amino merupakan terjemahan dari basa-basa nitrogen yang ada pada RNAd.

- Ribosom dengan RNAd bergerak satu dengan yang lainnya.
- Sebuah asam amino ditambahkan pada protein yang dibentuk.
- Asam amino yang pertama (metionin) segera lepas dari RNAt kembali ke sitoplasma untuk mengulang fungsinya dengan cara yang sama. RNAt berikutnya datang untuk berpasangan dengan kodon RNAd berikutnya.
- Proses keseluruhan ini berkesinambungan sampai terbentuk polipeptida tertentu yang terdiri dari asam amino dengan urutan basa nitrogen tertentu.



Gambar 7.2 Proses sintesis protein

Sumber: Dok Penerbit

Tahukah kamu?



Gambar 7.3 Har Gobind Khoran

Memecahkan Kode

Perintah DNA ditulis dalam kode kimia yang mempergunakan “kata” yang disebut kodon. Tiap-tiap kodon terdiri dari tiga “huruf” atau basa, seperti CTA atau CGC. Karena ada empat basa, maka dapat dibentuk 64 kodon yang berbeda. Pada permulaan tahun 1960, seorang ahli biokimia India Har Gobind Khoran (tahun 1922) membantu memecahkan kode gen. Ia membuat semua kodon yang mungkin terbentuk dan menemukan asam amino yang merupakan ciri mereka sehingga para ahli biokimia dapat menafsirkan setiap potongan asam nukleat.

Sumber: Jendela IPTEK Jilid 11, 2001 : 36

Kerjakan latihan berikut yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu** dan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan

Asam amino esensial adalah asam amino yang tidak diproduksi oleh tubuh manusia, tetapi diperoleh dari makanan. Sebutkan macam-macam asam amino esensial tersebut!

B. Kode Genetik

Kode genetik, yaitu instruksi berupa kode-kode yang merumuskan jenis protein yang akan dibuat. Instruksi kode genetik tersebut diperintahkan oleh DNA dalam sintesis protein.

Ciri-ciri Kode Genetik menurut Nirenberg, dkk (1961), yaitu:

1. Terdiri dari triplet, artinya tiap 1 kodon terdiri dari 3 basa.
2. Non overlapping, artinya susunan 3 basa pada kodon berbeda dengan kodon yang lain.
3. Degenerate, artinya 1 asam amino mempunyai kodon lebih dari satu.
4. Universal, artinya kode yang sama berlaku untuk semua makhluk hidup.

Ciri khas protein ditentukan oleh jumlah asam amino, macam, dan urutan asam amino yang membangun. Terdapat 20 macam asam amino di alam tersusun dari 4 macam basa nitrogen pada molekul RNAd, yaitu Adenin (A), Urasil (U), Sitosin (S), dan Guanin (G).

Dari keempat basa tersebut dapat tersusun 64 triplet kodon, padahal macam asam amino yang ada hanya 20. Dengan demikian terdapat kodon-kodon sinonim (degenerate), artinya satu asam amino dikode lebih dari satu kodon.

Kerjakan tugas berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecapakan personal** kalian!

Tugas

Salin dan lengkapi daftar kode genetika pada tabel berikut!

Tabel : Kode genetika untuk RNA Duta

Basa I	Basa II				Basa III
	A	G	C	U	
A	... Lis	... Arg	... Thr	... Ileu	A
	... Lis	... Arg	... Thr	... Met	G
	... AspN	... Scr	... Thr	... Ileu	C
	... AspN	... Scr	... Thr	... Ileu	U
G	... Glu	... Gli	... Ala	... Val	A
	... Glu	... Gli	... Ala	... Val	G
	... Asp	... Gli	... Ala	... Val	C
	... Asp	... Gli	... Ala	... Val	U
C	... GluN	... Arg	... Pro	... Leu	A
	... GluN	... Arg	... Pro	... Leu	G
	... His	... Arg	... Pro	... Leu	C
	... His	... Arg	... Pro	... Leu	U
D	... Stop	... Stop	... Ser	... Leu	A
	... Stop	... Tri	... Ser	... Leu	G
	... Tis	... Sis	... Ser	... Phe	C
	... Tis	... Sis	... Ser	... Phe	U

Keterangan:

Lis	<i>Lisin</i>	Sis	<i>Sistein</i>
AspN	<i>Asparagin</i>	Thr	<i>Treonin</i>
Glu	<i>Asam glutamat</i>	Ala	<i>Alanin</i>
Asp	<i>Asam aspartat</i>	Pro	<i>Prolin</i>
GluN	<i>Glutamin</i>	Ileu	<i>Isoleusin</i>
His	<i>Histidin</i>	Val	<i>Valin</i>
Tit	<i>Tirosin</i>	Leu	<i>Leusin</i>
Arg	<i>Arginin</i>	Phe	<i>Phenylalanin</i>
Ser	<i>Serin</i>	Tri	<i>Triptofan</i>
Gli	<i>Glisin</i>	Met	<i>Metionin</i>

Rangkuman

1. Bahan dasar untuk sintesis adalah asam amino.
2. Proses sintesis protein ada 2 tahap, yaitu:
 - a. Transkripsi
 - b. Translasi
3. Kode genetik, yaitu instruksi berupa kode-kode Basa N yang merumuskan jenis protein yang akan dibuat.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d, atau e!*

1. Sintesis protein berlangsung di dalam
 - a. badan golgi dan vakuola
 - b. retikulum endoplasma dan sitoplasma
 - c. inti sel dan ribosom
 - d. mitokondria dan ribosom
 - e. inti sel dan retikulum endoplasma
2. Bahan dasar yang dibutuhkan dalam sintesis protein, yaitu
 - a. asam amino
 - b. asam lemak
 - c. karbohidrat
 - d. mineral
 - e. zat gula
3. Pada tahap transkripsi dimulai dengan membukanya pita "Double Helix" oleh enzim
 - a. RNA polymerase
 - b. DNA polymerase
 - c. RNA transkriptase
 - d. DNA transkriptase
 - e. DNA endonuklease

4. Pada tahap translasi terjadi proses di bawah ini, *kecuali*
 - a. tiga basa nitrogen pada antikodon RNAt berpasangan dengan tiga basa nitrogen pada kodon RNAd
 - b. ribosom dengan RNAd bergerak satu dengan yang lainnya
 - c. sebuah asam amino ditambahkan pada protein yang dibentuk
 - d. lepasnya metionin dari RNAt kembali ke sitoplasma
 - e. pita RNA dibentuk sepanjang pita DNA pencetak
5. Yang merupakan ciri-ciri kode genetik adalah
 - a. terdiri dari triplet
 - b. susunan 3 basa pada kodon sama dengan kodon yang lain
 - c. 1 asam amino hanya mempunyai satu kodon
 - d. terdiri dari 4 basa
 - e. mempunyai 5 macam basa nitrogen
6. Yang menentukan susunan asam amino dalam sintesis protein adalah
 - a. basa nitrogen yang berpasangan dua-dua (duplet)
 - b. basa nitrogen yang tersusun simplet
 - c. setiap empat basa pada rantai polinukleotida
 - d. setiap tiga basa N pada rantai polinukleotida
 - e. setiap lima basa N pada rantai polinukleotida
7. DNA merupakan cetakan RNA dalam proses
 - a. replikasi dispersif
 - b. replikasi konservatif
 - c. replikasi semikonservatif
 - d. transkripsi
 - e. translasi
8. Fungsi dari tRNA adalah
 - a. menyediakan sisi spesifik untuk berikatan bagi rangkaian molekul tRNA khusus
 - b. mengikat kelompok ribosom
 - c. memindahkan kode genetik ke RNA ribosom
 - d. memindah kode genetik ke DNA
 - e. sintesis ribosom

9. Pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA disebut . . .
 - a. pita template
 - b. pita antisense
 - c. pita RNA
 - d. basa nitrogen
 - e. antikodon
10. Transkripsi mirip dengan replikasi DNA, di bawah ini adalah perbedaan transkripsi dengan replikasi DNA, *kecuali* . . .
 - a. basa urasil RNA mengganti timin DNA
 - b. mRNA yang terbentuk tidak tetap berpasangan dengan pita DNA pembuatnya, tetapi melepaskan diri meninggalkan inti sel
 - c. replikasi DNA memberikan hasil yang tetap di dalam genom
 - d. pembentukan molekul RNA hasilnya digunakan langsung dalam waktu singkat untuk sintesis protein
 - e. pada transkripsi ulir rangkap memisahkan diri

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebut dan jelaskan tahap-tahap dalam sintesis protein!
2. Sebutkan ciri-ciri kode genetik!
3. Terjemahkan kodon-kodon berikut ke dalam asam aminonya masing-masing!
 - a. GCU
 - b. GAG
 - c. GGG
4. Tuliskan kodon untuk arginin!
5. Jelaskan yang dimaksud dengan istilah-istilah berikut!
 - a. Pita template
 - b. Pita antisense

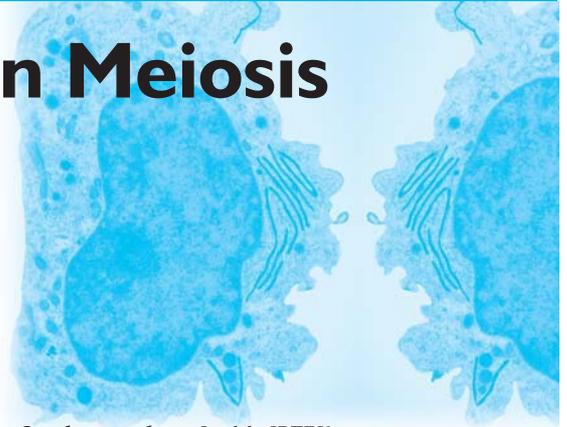
Kerjakan tugas portofolio berikut ini yang akan menumbuhkan **semangat kewirausahaan, etos kerja, inovatif, dan kreativitas**, mengembangkan **kecakapan akademik** serta **kecakapan sosial** kalian!

Tugas Portofolio

Buatlah kelompok 4-5 orang! Buatlah model DNA dengan menggunakan bahan sesuai kreativitas kelompok kalian masing-masing! Hasilnya dikumpulkan dan dipresentasikan di depan kelas! Waktu pengerjaan adalah 1 minggu.

Bab VIII

Mitosis dan Meiosis

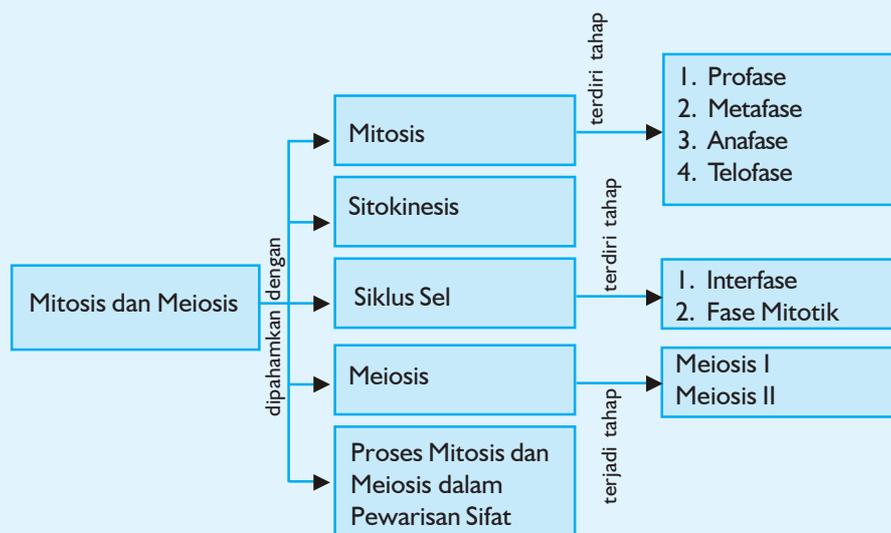


Sumber gambar : *Jendela IPTEK*

Tujuan Pembelajaran:

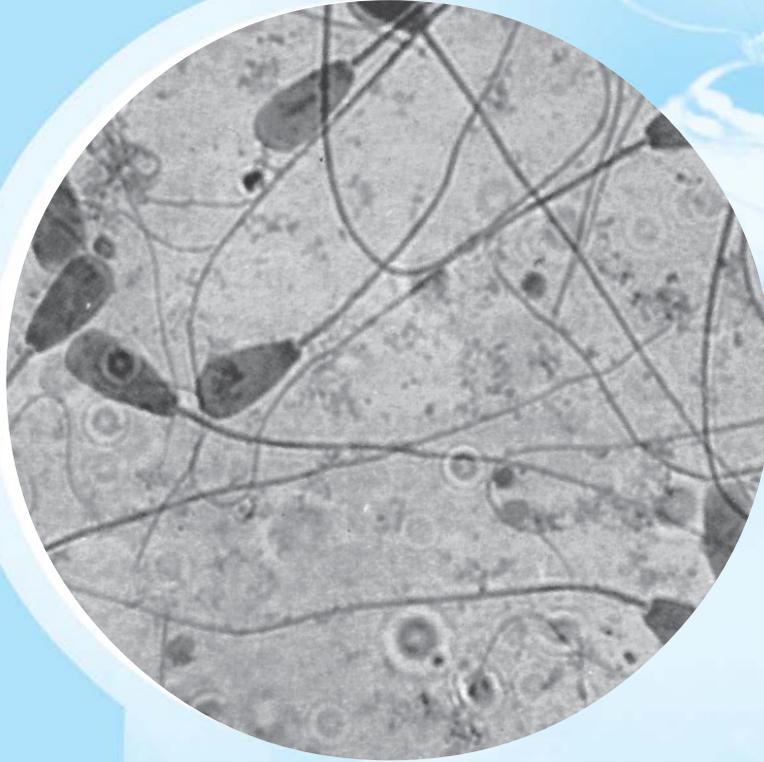
Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan keterkaitan antara proses pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab VIII:

1. Pembelahan
2. Mitosis



Gambar 8.1 Fotomikrograf spermatozoa

Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer Jilid 5, 2000 : 225

Gambar di atas adalah fotomikrograf yang memperlihatkan banyak spermatozoa. Tiap spermatozoa mempunyai bagian kepala dan ekor.

Proses pembentukannya dinamakan spermatogenesis, yang dimulai dengan pembelahan spermatogonium secara mitosis. Spermatogonium tumbuh menjadi spermatosit primer, yang akan membelah secara meiosis I menghasilkan 2 spermatosit sekunder, yang akan membelah secara meiosis II menjadi 4 spermatid yang bersifat haploid (n).

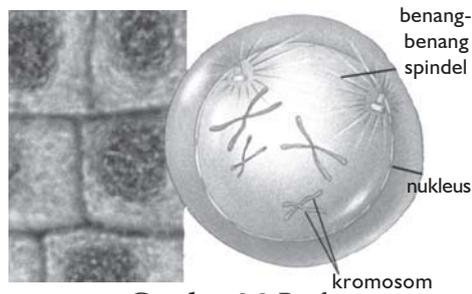
A. Mitosis

Mitosis berasal dari bahasa Yunani, yaitu *mites* berarti benang dan *osis* berarti proses. Pembelahan mitosis, yaitu proses pembelahan nukleus menjadi dua anakan nukleus, dan masing-masing anakan menerima 1 set kromosom berbentuk benang halus serta panjang yang jumlahnya sama dengan jumlah kromosom sel induknya. Mitosis terjadi pada sel tubuh (sel somatis). Sifat kromosomnya berpasangan, sehingga disebut diploid ($2n$).

Tahap-tahap mitosis, yaitu:

1. Profase

- Sel induk yang akan membelah memperlihatkan gejala berupa terbentuknya 2 sentriol dan sentrosoma, yang satu tetap di tempat, yang satu bergerak ke arah kutub yang berlawanan.
- Dari tiap-tiap sentriol akan muncul serabut-serabut berupa filamen yang disebut benang gelendong pembelahan (benang spindel) yang menghubungkan sentriol satu dengan sentriol lain.
- Membran inti masih tampak pada profase awal namun kemudian segera terpecah-pecah.
- Butiran kromatin memanjang menjadi benang kromatin yang kemudian memendek menebal menjadi kromosom, dengan bagian yang menggantung disebut sentromer. Sentromer yaitu bagian kromosom yang tidak bisa menyerap warna. Tiap-tiap sentromer mengandung kinetokor, yaitu tempat mikrotubul terikat.
- Kromosom menduplikasi membujur menjadi dua bagian, yang masing-masing disebut kromatid. Bersamaan dengan itu nukleolus mengecil ukurannya dan menghilang.
- Kromatid terjerat pada benang spindel.
- Benang spindel tampak meluas ke luar ke segala arah disebut sebagai aster.
- Di akhir profase, selubung inti sel pecah dan setiap kromatid melekat di beberapa benang spindel di kinetokor.
- Kromosom duplikat lalu meninggalkan daerah kutub dan berjajar di ekuator.



Gambar 8.2 Profase

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

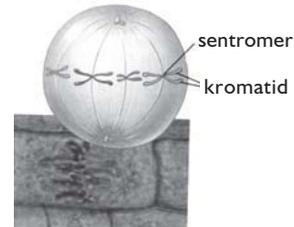
Pada sel tumbuhan yang tidak mempunyai sentriol, benang gelendong pembelahan ini terbentuk di antara dua titik disebut titik kutub.

2. Metafase

Yaitu periode selama kromosom di ekuatorial.

- Membran inti sudah menghilang.
- Kromosom berada di bidang ekuator, dengan sentromernya seolah kromosom berpegang pada benang gelendong pembelahan.

Pada fase ini kromosom tampak paling jelas.



Gambar 8.3 Metafase

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

3. Anafase

- Kromatid bergerak menuju ke arah kutub-kutub yang berlawanan.
- Kinetokor yang masih melekat pada benang spindel berfungsi menunjukkan jalan, sedangkan lengan kromosom mengikuti di belakang.

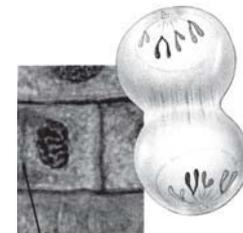


Gambar 8.4 Anafase

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

4. Telofase

- Kromatid-kromatid mengumpul pada kutub-kutub.
- Benang gelendong menghilang, kromatid menjadi kusut dan butiran-butiran kromatin muncul kembali.
- Selaput inti terbentuk kembali dan nukleolus terlihat lagi.
- Pada bagian ekuator terjadi lekukan yang makin lama makin ke dalam hingga sel induk terbagi menjadi dua yang masing-masing mempunyai sifat dan jumlah kromosom yang sama dengan induknya.



Gambar 8.5 Telofase

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

Kerjakan Tugas 8.1 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan sosial** kalian!

Tugas 8.1

Diskusikan! Berdasarkan pengetahuan kalian, jelaskan bahwa keberadaan sentromer pada pembelahan sangat penting!

Mitosis merupakan pembelahan kromosom, maka setelah nukleus terbentuk kembali, muncullah sekat pemisah antara kedua nukleus pada bidang ekuator. Dengan terbentuknya sekat pemisah dari membran menuju ke tengah, maka sel induk telah menghasilkan dua sel anakan, yang disebut **sitokinesis** (reproduksi sel), pada peristiwa ini terjadi pembagian inti (kariokinesis) dan pembagian plasma (sitoplasma).

B. Siklus Sel

Siklus sel terdiri dari dua tahap, yaitu:

1. Interfase (Fase Istirahat)

Setelah mitosis selesai, kedua anak inti akan memasuki interfase. Interfase merupakan tahap yang terdapat di antara mitosis pertama dengan mitosis berikutnya dan dengan waktu paling lama + 90% dari seluruh waktu siklus sel. Istilah interfase (fase istirahat) sebenarnya kurang tepat karena justru pada saat ini sel tengah mempersiapkan diri untuk pembelahan lagi dengan mengumpulkan materi dan energi, pada fase ini terjadi sintesis protein untuk bahan organel dan replikasi DNA.

Pada interfase terjadi:

- a. Struktur kromosom tidak tampak.
- b. Terjadi pengumpulan energi.
- c. Terjadi sintesis yang terus-menerus sehingga menyebabkan massa dan volume sel bertambah.
- d. Pembelahan kromosom dimulai.

Fase interfase dibedakan menjadi tiga subfase, yaitu:

- a. Fase G1 (fase pertumbuhan primer), terjadi replikasi organel-organel di dalam sitoplasma.
- b. Fase S (fase sintesis), kromosom mengalami replikasi.
- c. Fase G2 (fase pertumbuhan sekunder) terjadi penyusunan struktur tertentu yang diperlukan pada pembelahan kromosom seperti sintesis benang-benang kumparan.

2. Fase Mitosis

Fungsi Mitosis:

- a. Mempertahankan faktor genetik dari generasi ke generasi berikutnya tetap normal.
- b. Menjaga sel anak yang terbentuk tetap memiliki sifat induknya.

- c. Pada organisme multiseluler, berperan untuk pertumbuhan.
- d. Pada organisme uniseluler, berperan untuk menambah jumlah populasi organisme.
- e. Untuk mengganti sel-sel yang rusak dan sel-sel yang mati.

Kerjakan percobaan berikut yang akan menumbuhkan **etos kerja** dan mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan vokasional** kalian!

Percobaan

Lakukan percobaan berikut ini!

Mitosis

Tujuan:

Memahami tahap-tahap pembelahan mitosis pada akar bawang merah (*Allium cepa*).

Alat dan Bahan:

1. Mikroskop dan perlengkapannya.
2. Sediaan mikroskopis akar bawang merah.

Cara Kerja:

1. Amatilah sediaan mikroskopis akar bawang merah dengan menggunakan mikroskop!
2. Gambarlah hasil pengamatan kalian tentang tahap-tahap mitosis!
3. Diskusikan dengan anggota kelompok!
4. Presentasikan hasil diskusi kelompok kalian di kelas!
5. Kesimpulan apa yang dapat diperoleh?

Pertanyaan:

1. Berdasarkan hasil pengamatan, pada fase apakah membran inti tampak terputus-putus?
2. Pada fase apakah struktur nukleous masih dapat diamati?
3. Pada fase apakah struktur kromatid-kromatid menata diri pada bidang ekuator?
4. Pada fase apakah kromatid-kromatid menuju kutub yang berlawanan?
5. Pada fase apakah kromatid-kromatid menjadi kromosom?
6. Berapa sel anak yang dihasilkan pada pembelahan mitosis dan bagaimana susunan kromosom sel anak?

C. Meiosis

Meiosis berasal dari bahasa Yunani, yang berarti berkurang.

1. Pembelahan secara meiosis (reduksi), termasuk tak langsung.
2. Pembelahan kromosom berlangsung dua kali berturut-turut diselingi interfase, yaitu meiosis I dan meiosis II, di mana keduanya juga dengan fase-fase seperti mitosis.
3. Meiosis terjadi sel-sel haploid (n kromosom) dan hanya pada sel-sel kelamin.
4. Pada profase I berlangsung 5 stadia, yaitu: Leptonema - Zigonema - Pakinema - Diplonema - Diakinesis.

Pembelahan secara meiosis dapat dibagi menjadi 2, yaitu:

1. Meiosis I

Meiosis I meliputi fase-fase berikut.

a. Profase I

Profase I terbagi lagi menjadi fase-fase berikut.

- 1) *Leptonema/leptoten*: benang-benang kromatin menjadi kromosom.
- 2) *Zigonema/zigoten*: kromosom yang sama bentuknya (kromosom homolog) berdekatan dan bergandengan. Setiap pasang kromosom homolog disebut bivalen.
- 3) *Pakinema/pakiten*: tiap-tiap bangun kromosom homolog mengganda, tetapi masih dalam satu ikatan sentromer sehingga terbentuk tetrad.
- 4) *Diplonema/diploten*: kromatid dan tiap-tiap belahan kromosom memendek dan membesar. Terjadi pindah silang (*crossing over*).
- 5) *Diakinesis*: sentrosom membentuk dua sentriol yang masing-masing membentuk benang gelendong pembelahan. Satu sentriol tetap, sedangkan sentriol yang lain bergerak ke arah kutub yang berlawanan.



Gambar 8.6 Profase I
Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

Tahukah kamu?

Kromosom

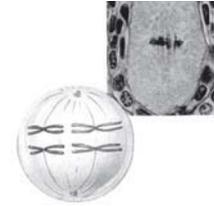
Pada tahun 1883, ahli biologi Belgia, Edouard van Beneden (1846 - 1910) menemukan bahwa sel kelamin tempat gen berada, hanya mempunyai setengah dari jumlah kromosom normal. Sel kelamin dibentuk secara meiosis, kromosom disalin sekali tetapi sel membelah diri dua kali. Jadi, masing-masing dari keempat sel baru hanya mempunyai setengah jumlah kromosom sel awal. Sel kelamin juga mempunyai kombinasi gen unik karena kromosom menukar bagian-bagian sebelum pembelahan mulai.

Sumber: *Jendela IPTEK, 2001*

Membran inti dan nukleus hilang. Empat kromatid bivalen tadi disebut tetrad dan terjerat oleh benang gelendong yang dibentuk oleh sentriol-sentriol.

b. Metafase I

Tetrad berkumpul di bidang ekuator.

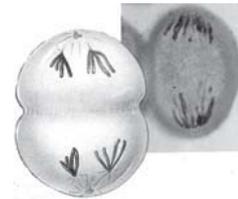


Gambar 8.7 *Metafase I*

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

c. Anafase I

Benang gelendong pembelahan dari tiap-tiap kutub menarik kromosom homolog sehingga setiap pasangan kromosom homolog berpisah, bergerak ke arah kutub yang berlawanan. Sentromer belum membelah. Setiap kutub menerima campuran acak kromosom dari ibu dan bapak.

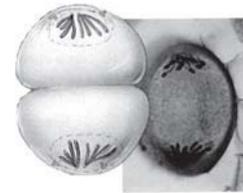


Gambar 8.8 *Anafase I*

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

d. Telofase I

Kromatid memadat, selubung inti terbentuk, dan nukleolus muncul lagi, kemudian sitokinesis berlangsung. Pada manusia terjadi duplikasi 2 kromosom dari 4 kromatid sehingga terbentuk 23 kromosom yang diduplikasi di setiap kutub. Benang gelendong lenyap. Kromatin muncul kembali. Sentriol berperan sebagai sentrosom kembali.



Gambar 8.9 *Telofase I*

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

2. Meiosis II

Meiosis II meliputi fase-fase berikut:

a. Profase II

Sentrosom membentuk dua sentriol yang terletak pada kutub yang berlawanan dan dihubungkan oleh benang gelendong. Membran inti dan nukleolus lenyap, kromatin berubah menjadi kromosom yang terjerat oleh benang gelendong.

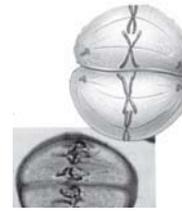


Gambar 8.10 *Profase II*

Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

b. Metafase II

Kromosom berada di bidang ekuator, kromatid berkelompok dua-dua. Belum terjadi pembelahan sentromer.



Gambar 8.11 *Metafase II*
Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

c. Anafase II

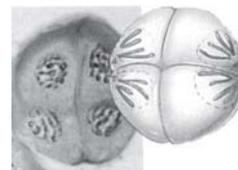
Kromosom melekat pada kinetokor benang gelendong, lalu ditarik oleh benang gelendong ke arah kutub yang berlawanan yang menyebabkan sentromer terbelah. Akibatnya tiap-tiap kromotidnya bergerak ke arah yang berlawanan pula.



Gambar 8.12 *Anafase II*
Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

d. Telofase II

Kromatid terkumpul pada kutub pembelahan lalu berubah menjadi kromatin kembali. Bersamaan dengan itu membran pemisah semakin jelas sehingga akhirnya terjadilah empat sel anakan.



Gambar 8.13 *Telofase II*
Sumber: *Biology The Dynamics of Life*

Kerjakan Tugas 8.2 berikut ini yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu** dan mendorong kalian untuk **mencari informasi lebih jauh!**

Tugas 8.2

Tuliskan perbedaan antara pembelahan mitosis dan pembelahan meiosis mengenai tujuan, tempat terjadi, tahap pembelahan, dan hasilnya! Referensi bisa kalian dapat dari berbagai sumber!

D. Proses Mitosis dan Meiosis dalam Pewarisan Sifat

Proses pembentukan sel-sel gamet melibatkan pembelahan secara mitosis dan meiosis. Pembelahan mitosis terlibat pada pembentukan sel-sel induk yang bersifat diploid, sedangkan pembelahan meiosis terlibat pada proses perubahan sel-sel induk sel gamet menjadi sel-sel gamet yang bersifat haploid. Proses pembentukan sel-sel gamet disebut gametogenesis.

Pada manusia dan hewan Vertebrata, proses pembentukan sel sperma yang berlangsung dalam testis disebut spermatogenesis dan proses pembentukan ovum berlangsung dalam ovarium disebut oogenesis. Pada tumbuhan berbiji, proses pembentukan sel-sel gamet jantan (serbuk sari) terjadi pada benang sari (kepala putik) dan pembentukan gamet betina (ovum) terjadi pada putik (ovule). Sedangkan pada tumbuhan lumut dan tumbuhan paku berlangsung di dalam sporangium (kotak spora).

1. Pembentukan Sel Gamet pada Hewan dan Manusia

a. Pembentukan gamet jantan (spermatogenesis)

Proses ini berlangsung dalam alat kelamin jantan yang pada hewan disebut testis. Dalam testis terdapat bagian yang disebut tubulus seminiferus. Pada bagian tersebut terdapat sel-sel primordial yang bersifat diploid. Sel-sel primordial tersebut berulang kali mengalami pembelahan secara mitosis, di antaranya membentuk spermatogonium yang dianggap sebagai sel induk sperma.

Proses pembentukan sel sperma adalah:

- 1) Spermatogenesis, dimulai dari pembelahan sel-sel spermatogonium dalam testis dan berlangsung secara mitosis serta bersifat diploid ($2n$).
- 2) Spermatogonium tumbuh menjadi sel yang lebih besar disebut spermatosit primer ($2n$). Spermatosit primer membelah secara meiosis menghasilkan 2 sel spermatosit sekunder.
- 3) Spermatosit sekunder membelah secara meiosis II menghasilkan 4 spermatid yang sama besar.

Tahukah kamu?

Ketika berbagai macam sel berlipat ganda, organisme sebagai suatu kesatuan tumbuh dan berkembang, agaknya pertumbuhan dan pembelahan sel menimbulkan perubahan kimia dan fisik yang mencegah protoplasma menjadi tua dan mati. Akan tetapi, harus dijelaskan bahwa sel-sel tertentu, seperti sel otot dan saraf tidak membelah diri setelah mencapai batas pertumbuhannya dan sekali begitu, mereka terus melanjutkan kegiatan mereka.

- 5) Spermatid, yaitu sebuah sel bundar dengan sejumlah besar protoplasma merupakan gamet dewasa dengan sejumlah kromosom haploid (n).

Spermatid yang telah menyelesaikan pembelahan meiosis, sebelum menjadi gamet fungsional harus melewati sejumlah perubahan kompleks dari struktur sel, seperti hilangnya sebagian sitoplasma. Pembentukan ekor atau flagellum sebagai alat gerak, nukleus mengecil menjadi kepala sperma, granula sekretori dari badan golgi berkumpul pada ujung sperma dan membentuk sebuah tudung yang disebut akrosom. Tudung ini mengandung enzim yang berperan untuk menembus membran sel telur. Organel mitokondria pindah ke bagian tengah (di antara kepala dan ekor), berfungsi menyediakan energi untuk menggerakkan ekor.

Sebagian besar sitoplasma dari spermatid dibuang sebagai badan residu, lalu diambil secara fagositosis oleh sel Sertoli dalam tubulus seminiferus. Sel ini berfungsi untuk melindungi, menunjang, dan memberi makan sperma yang sedang berkembang. Pada manusia perkembangan spermatogonium menjadi matang memerlukan waktu 16 hari.

Setelah terjadi perubahan-perubahan ini, maka sperma menjadi sperma fungsional yang siap membuahi sel telur.

b. Pembentukan gamet betina (oogenesis)

Oogenesis berlangsung dalam ovarium hewan dan kandung lembaga dalam bakal biji tumbuhan berbiji (gametofit betina). Sel primordial (asal) dalam ovarium yang bersifat diploid ialah oogonium. Oogonium mengalami pembelahan secara mitosis membentuk oogonium tambahan yang memiliki jumlah kromosom meiosis diploid ($2n$).

Pada oogenesis dihasilkan satu sel telur fungsional dan 3 sel kutub atau polosit. Proses pembentukan ovum, adalah:

- 1) Oogonium membelah secara meiosis menjadi oogonium tambahan yang memiliki jumlah kromosom yang diploid ($2n$).
- 2) 1 oogonium tumbuh dan berkembang menjadi sebuah oosit primer.
- 3) Oosit primer mengalami pembelahan secara meiosis I menghasilkan 2 buah sel yang sama besarnya,. Satu sel berukuran besar disebut oosit sekunder yang mengandung kuning telur dan mempunyai jumlah kromosom yang haploid (n), serta satu sel berukuran kecil disebut badan kutub I.
- 4) Oosit sekunder mengalami pembelahan meiosis II, serta menghasilkan dua sel yang ukurannya berbeda. Satu sel berukuran besar disebut ootid dan satu sel lain berukuran kecil disebut badan kutub II, serta kedua sel ini bersifat haploid.
- 5) Pada waktu yang bersamaan badan kutub I membelah menjadi 2 badan kutub II.

- 6) Ootid mengalami perubahan lebih lanjut sehingga menjadi ovum yang masak.
- 7) Ketiga badan kutub II kemudian hancur.

Pada manusia dan hewan, oogonium dan oosit dikelilingi oleh selapis sel folikel. Pada waktu seorang bayi perempuan dilahirkan, kedua ovariumnya mengandung 400.000 oosit primer dalam tahap profase pembelahan meiosis I. Oosit primer ini tetap berada dalam tahap profase sampai mencapai kematangan seksual.

2. Pembentukan Gamet pada Tumbuhan Berbiji Tertutup (Angiospermae)

Pembentukan gamet jantan pada tumbuhan berbiji terjadi dalam gametofit jantan, yaitu kepala sari (anthera) dan menghasilkan butir serbuk sari (polen). Pembentukan gamet betina berlangsung dari dalam gametofit betina, yaitu di dalam bakal biji (ovule) dan menghasilkan sel telur (ovum).

a. Pembentukan gamet jantan

Gametofit jantan terdapat pada stamen (benang sari). Benang sari terdiri atas 2 bagian, yaitu anthera dan filamen (tangkai sari).

Proses pembentukan serbuk sari adalah sebagai berikut:

- 1) Dalam anthera terdapat 4 buah kantong serbuk sari.
- 2) Tiap kantong serbuk sari mengandung sejumlah sel induk yang disebut sel induk mikrospora dan masing-masing bersifat diploid.
- 3) Tiap sel induk serbuk sari membelah secara meiosis menghasilkan tetrad yang terdiri dari 4 buah sel mikroskop haploid (n) yang masih bersatu.
- 4) Mikrospora memisahkan diri membentuk serbuk sari yang haploid (n).
- 5) Tiap inti serbuk sari membelah secara mitosis menghasilkan 2 buah nukleus haploid, yaitu inti pembuluh serbuk sari dan yang satu lagi disebut inti generatif.
- 6) Inti generatif mengalami pembelahan secara mitosis dan tidak diikuti sitokinesis betina sehingga terbentuk 2 molekul sperma. Sedangkan nukleus buluh serbuk sari tidak ikut membelah.
- 7) Serbuk sari yang masak memiliki 3 molekul, masing-masing bersifat haploid, yaitu:
 - a) Satu nukleus buluh serbuk sari.
 - b) Dua nukleus sperma, yaitu nukleus generatif dan nukleus vegetatif.
- 8) Tiap serbuk sari mempunyai dua lapisan kulit, yaitu bagian luar disebut eksin dan bagian dalam disebut intin.

b. Pembentukan gamet betina

Alat perkembangan betina disebut putik (carpel). Putik terdiri atas stigma (kepala putik) dan ovari (bakal buah). Dalam bakal buah terdapat 1 atau lebih bakal biji (ovule). Dinding ovule mengalami perubahan bentuk, ke arah luar membentuk integumen dan ke arah dalam membentuk jaringan pelindung. Bagian ujung integumen sedikit terbuka membentuk mikrofil (lubang kecil tempat masuknya serbuk sari sebagai penghubung kepala putik dengan ovarium). Pada bagian tengah bakal biji terdapat kantong embrio sel induk (megaspora).

Urutan pembentukan gamet betina yaitu:

- 1) Dalam bakal biji terdapat sel induk megaspora yang bersifat diploid ($2n$).
- 2) Sel induk megaspora membelah secara meiosis menghasilkan 4 sel megaspora (n).
- 3) Tiga sel megaspora lenyap dan 1 sel megaspora lainnya membelah secara mitosis 3 kali, menghasilkan 8 sel.
 - a) Tiga sel yang berada di dekat mikrofil dibedakan menjadi 2 macam, yaitu satu sel yang berada di bagian tengah lebih besar disebut kandung lembaga primer (ovum) dan 2 sel yang berada di sebelah kanan dan sebelah kiri sel telur disebut sel sinergid (pendamping).
 - b) Tiga sel lainnya bermigrasi ke daerah kalaza (berlawanan dengan mikrofil) disebut antipoda.
 - c) Dua sel terakhir bergerak ke bagian tengah dan melebur menjadi inti kandung lembaga sekunder.

Kerjakan Tugas 8.3 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 8.3

Diskusikan!

Kalau jumlah kromosom pada manusia 46 buah, bagaimana susunan kromosom:

1. Sel tubuh pria dan wanita.
2. Spermatogonium di dalam testis dan oogonium di dalam ovarium.
3. Pada spermatosit I dan oosit I.
4. Pada spermatosit II dan oosit II.
5. Spermatozoa setelah meiosis II dan berapa jumlahnya.

Tulis dalam buku tugas!

Rangkuman

1. Pembelahan mitosis, yaitu proses pembelahan nukleus menjadi dua anakan nukleus, dan masing-masing anakan menerima 1 set kromosom sel induknya.
2. Tahap-tahap mitosis, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase.
3. Sitokinesis merupakan peristiwa terjadinya pembagian inti/plasma dari sel induk menghasilkan dua sel anakan.
4. Siklus sel terdiri dari 2 tahap interfase dan fase mitotik.
5. Meiosis merupakan pembelahan reduksi berlangsung 2 kali yaitu meiosis I dan meiosis II.
6. Pada meiosis I meliputi tahap-tahap profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I. Pada profase I meliputi fase-fase: leptonema, zignonema, pakinema, diplonema, diakinesis.
7. Pada meiosis II meliputi tahap-tahap profase II, metafase II, anafase II, telofase II.
8. Spermatogenesis, yaitu proses pembentukan sel kelamin jantan.
9. Oogenesis, yaitu proses pembentukan sel kelamin betina.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (x) pada huruf *a, b, c, d* atau *e*!

1. Berdasarkan struktur inti sel, urutan pembelahan mitosis yang benar adalah
 - a. profase-anafase-metafase-telofase
 - b. profase-metafase-telofase-anafase
 - c. profase-metafase-anafase-telofase
 - d. metafase-anafase-telofase-profase
 - e. metafase-profase-anafase-telofase
2. Pada saat terjadi pembelahan sel diikuti pembagian plasma/sitoplasma yang disebut
 - a. diakinesis
 - b. kariokinesis
 - c. sitokinesis
 - d. karioteka
 - e. reduksi

3. Kromosom tampak paling jelas pada fase
 - a. interfase
 - b. profase
 - c. metafase
 - d. anafase
 - e. telofase

4. Pada pembelahan mitosis ditandai dengan ciri-ciri sebagai berikut:
 - 1) *Nukleus lenyap*
 - 2) *Membran inti lenyap*
 - 3) *Timbul serat gelendong*
 - 4) *Terlihat sepasang sentriol*
 Dari ciri-ciri tersebut kemungkinannya adalah fase
 - a. interfase
 - b. profase
 - c. metafase
 - d. anafase
 - e. telofase

5. Kromatid-kromatid menempatkan diri pada bidang ekuator terjadi pada tahap
 - a. profase
 - b. metafase
 - c. anafase
 - d. telofase
 - e. interfase

6. Pembelahan mitosis berlangsung dalam 4 fase dan setiap fase menunjukkan ciri-ciri tertentu. Berikut merupakan salah satu ciri fase anafase
 - a. kromosom tidak dapat diindra lagi
 - b. kromosom mengatur diri di bidang ekuator
 - c. kromatid berpisah dan menuju ke kutub yang berlawanan
 - d. membran nukleus hilang
 - e. sentriol membelah

7. Pada akhir meiosis dari satu sel induk akan dihasilkan
 - a. 2 sel anak baru
 - b. 2 sel anak baru yang jumlah kromosomnya sama dengan induk
 - c. 2 sel anak baru yang jumlah kromosomnya setengah dari induk
 - d. 4 sel anak baru yang jumlah kromosomnya diploid
 - e. 4 sel anak baru yang jumlah kromosomnya pada setiap selnya haploid

8. Organel yang berfungsi mengatur arah pembelahan sel adalah
 - a. mitokondria
 - b. sentriol
 - c. sentrosom
 - d. badan golgi
 - e. sentromer

9. Pembentukan sel kelamin disebut
 - a. kariokinesis
 - b. sitokinesis
 - c. spermatid
 - d. gametogenesis
 - e. replikasi
10. Struktur dalam sel yang memiliki kemampuan menyerap zat warna ialah
 - a. retikulum endoplasma
 - b. sentriol
 - c. ribosom
 - d. kromatin
 - e. filamen

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan tujuan pembelahan mitosis!
2. Pada pembelahan meiosis, fase I terdiri atas lima tahap, sebutkan dan berilah keterangan masing-masing!
3. Sebutkan dan jelaskan fase-fase dalam pembelahan mitosis!
4. Apakah perbedaan pembelahan mitosis dan meiosis?
5. Jelaskan yang dimaksud istilah-istilah berikut!
 - a. Spermatogenesis
 - b. Oogenesis
 - c. Gametogenesis

Kerjakan tugas portofolio berikut ini yang akan mendorong kalian untuk mencari **informasi lebih jauh**, mengembangkan **kecakapan akademik** dan **personal** kalian!

Tugas Portofolio

Susunlah sebuah glosarium yang berhubungan dengan reproduksi sel minimal 30 istilah! Kerjakan dalam buku tugas, waktu kalian 1 minggu! Carilah dari berbagai sumber!

Bab IX

Hereditas

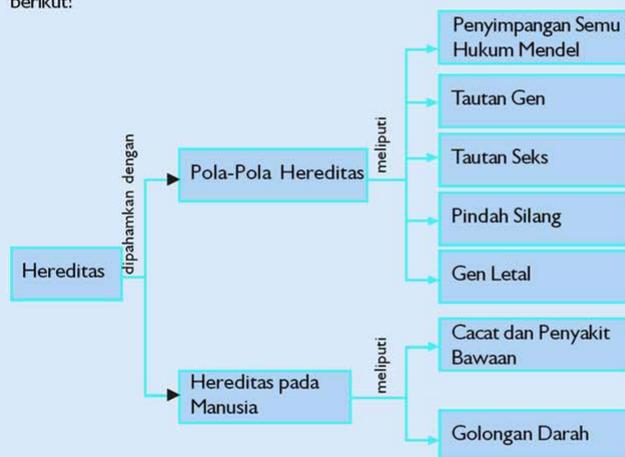


Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : www.depreview.com

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan tentang pewarisan sifat pada makhluk hidup dan dapat menerapkan prinsip hereditas.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab IX:

1. Hereditas
2. Gen
3. Kromosom

Hereditas

111



Gambar Pewarisan sifat pada hewan dan tumbuhan dipelajari dalam hereditas

Sumber: CD Image

Apakah yang menyebabkan beberapa bayi menjadi perempuan dan beberapa bayi lainnya menjadi laki-laki? Apakah yang menyebabkan adanya bayi kembar? Bagaimanakah seorang anak yang dilahirkan mempunyai wajah mirip ibunya atau mirip bapaknya? Bagaimanakah tumbuhan dan hewan mempunyai keturunan yang sama dengan induknya? Semua hal yang berkaitan dengan penurunan atau pewarisan sifat dipelajari dalam hereditas.

A. Pendahuluan

Sebelum mengenal hukum-hukumnya, ratusan tahun yang lalu sebenarnya manusia sudah mempraktikkan genetika terhadap tumbuhan dan hewan di lingkungannya untuk memenuhi kepentingannya. Jauh sebelum Mendel merumuskan hukum-hukumnya, para orang tua pun sudah tidak merestui perkawinan antar sanak saudara yang dekat hubungan keluarganya. Sebelum mengambil menantu, orang tua menyelidiki lebih dahulu apakah si calon menantu mempunyai nenek moyang yang cacat mental atau cacat fisik.

Beberapa pengertian yang keliru mengenai pewarisan sifat di antaranya:

1. Cacat Menurun Bukan Kejadian Sewaktu Seorang Ibu Hamil

Sampai saat ini masih beredar cerita-cerita mengenai kelahiran anak cacat mental atau fisik, yang selalu dihubungkan dengan kejadian sewaktu si ibu mengandung. Sebagai contoh, seorang ibu melahirkan anak yang bibirnya sumbing, ia teringat kembali bahwa sewaktu hamil ia pernah memotong paruh ayam yang akan dimasaknya. Padahal bibir sumbing memang suatu cacat yang diwariskan kepada keturunan sebagai sifat yang dipengaruhi kelamin. Yaitu lebih banyak terlihat pada pria dari pada wanita.

2. Sifat-Sifat yang Didapat dari Lingkungan Tidak Dapat Diwariskan kepada Keturunannya

Sifat yang diperoleh karena pengaruh makanan ataupun pengaruh latihan tidak dapat diwariskan kepada keturunannya. Misalnya otot-otot besar seorang binaragawan yang diperoleh karena latihan, tidak diwariskan kepada keturunannya tanpa latihan. Seorang ibu yang rambutnya lurus kemudian dikeriting jangan mengharap akan mempunyai anak yang berambut keriting bila memang tidak mempunyai gen untuk keriting di dalam kromosomnya.

Kerjakan Latihan 9.1 berikut yang akan merangsang kalian untuk **berpikir kritis!**

Latihan 9.1

Mengapa sifat-sifat yang didapat dari lingkungan tidak dapat diwariskan kepada keturunannya?

3. Kebanyakan Sifat akan Berkembang dengan Dukungan Lingkungan

Hijaunya rumput dan tumbuhan lainnya, ditentukan bukan hanya oleh faktor kebakaan (gen), tetapi juga sangat tergantung dari lingkungannya (sinar matahari). Sifat-sifat lain yang menentukan kerja sama dengan lingkungannya ialah misalnya bakat-bakat untuk musik, menggambar atau menyanyi. Tetapi ada juga sifat-sifat tidak terpengaruh sama sekali oleh lingkungannya, golongan darah, raut muka, rambut ikal, dan lain sebagainya.

B. Pola-Pola Hereditas

Pola-pola hereditas mencakup pewarisan sifat induk pada keturunannya melalui gamet dengan mengikuti aturan tertentu. Prinsip-prinsip pewarisan sifat induk kepada keturunannya telah dikemukakan oleh seorang rahib Gregor Johan Mendel (1822 - 1884) di kota Brunn (Austria) pada tahun 1865. Contoh perbandingan untuk keturunan kedua (F_2) adalah 9 : 3 : 3 : 1.

Seorang sarjana Amerika bernama Walter Stanborough Sutton menjabarkan prinsip-prinsip Mendel sebagai pola hereditas dengan menjelaskan tentang kromosom, yaitu sebagai berikut.

1. Jumlah kromosom yang dikandung oleh sel sperma dan sel telur adalah sama, yaitu separuh dari jumlah kromosom sel tubuh.
2. Organisme baru sebagai hasil fertilisasi ovum oleh sperma mengandung dua perangkat kromosom (diploid) pada setiap selnya, demikian juga tiap sel induknya.
3. Dalam meiosis, kedua perangkat kromosom adalah tetap, sekalipun melalui proses pembelahan meiosis dan mitosis. Begitu pula masing-masing gen sebagai usaha faktor menurun adalah mantap.

Ternyata penyelidikan-penyelidikan lebih lanjut memberikan hasil yang tidak selalu sesuai dengan pendapat Sutton. Beberapa perubahan dan penyimpangan yang terjadi adalah penyimpangan Hukum Mendel, tautan gen, tautan seks, pindah silang, gen letal.

1. Penyimpangan Semu Hukum Mendel

a. Interaksi alela ganda

Interaksi gen ini pertama kali dikemukakan oleh William Bateson (1861-1926) dan R.C Punnet pada tahun 1906, juga oleh H. Nilson Ehle (1873-1949) dan E.M. Fast Tahun 1913.

William Bateson dan R.C. Punnet mengawinkan bermacam-macam ayam ras dengan memperhatikan bentuk jengger ayam Wyandotte yang mempunyai jengger tipe mawar (rose), ayam Brahmata yang mempunyai jengger tipe ercis (pea) dan ayam Leghorn yang mempunyai jengger tipe tunggal (singgle)

1) Perkawinan ayam berjengger mawar/rose (R-pp) dengan ayam berjengger tunggal (rrpp)

P₁ : ♀ RRpp × ♂ rrpp
Gamet Rp rp

F₁ : Rrpp

P₂ : ♀ RRpp × ♂ rrpp
Gamet Rp Rp
rp rp

F₂ :

♀	Rp	rp
♂ Rp	RRpp	Rrpp
♂ rp	Rrpp	rrpp

Ternyata keturunan F₂ ada rasio 3/4 jengger mawar dan 1/4 jengger tunggal, karena perkawinan ini menunjukkan bahwa jengger mawar dominan terhadap jengger tunggal.

2) Perkawinan ayam berjengger biji/pea (rrP-) dengan ayam berjengger tunggal (rrpp)

P₁ : ♀ rrPP × ♂ rrpp
Gamet rP rp

F₁ : rrPp

P_2	:	♀	$rrPp$	×	♂	$rrPp$									
Gamet			rP			rP									
F_2	:	<table border="1" style="border-collapse: collapse; margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">♂ \ ♀</td> <td style="padding: 5px;">rP</td> <td style="padding: 5px;">rp</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">rP</td> <td style="padding: 5px;">$rrPp$</td> <td style="padding: 5px;">$rrPp$</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">rp</td> <td style="padding: 5px;">$rrPp$</td> <td style="padding: 5px;">$rrpp$</td> </tr> </table>					♂ \ ♀	rP	rp	rP	$rrPp$	$rrPp$	rp	$rrPp$	$rrpp$
♂ \ ♀	rP	rp													
rP	$rrPp$	$rrPp$													
rp	$rrPp$	$rrpp$													

Ternyata keturunan F_2 menghasilkan rasio ayam jengger pea : ayam jengger tunggal = 3 : 1.

3) Perkawinan ayam jengger mawar ($R-pp$) dengan ayam jengger pea (rrP)

P_1	:	♀	$RRpp$	×	♂	$rrPP$
Gamet			Rp			rP
F_1	:		$RrPp$	→		ayam berjengger walnut

Apabila ayam berjengger walnut disilangkan dengan sesamanya maka pada F_2 yang muncul tidak hanya ayam berjengger walnut, tetapi menghasilkan perbandingan

$$\text{walnut} : \text{mawar} : \text{biji} : \text{tunggal} = 9 : 3 : 3 : 1$$

Timbulnya 2 fenotif jengger yang baru yaitu jengger walnut dan jengger tunggal disebabkan karena adanya interaksi antara gen-gen. Adanya 16 kombinasi dalam F_2 memberikan petunjuk kuat bahwa ada dua pasang alela yang berbeda ikut menentukan bentuk jengger ayam.

Kerjakan Latihan 9.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan akademik** dan **kecakapan personal** kalian!

Latihan 9.2

Buktikan bahwa persilangan walnut dengan walnut menghasilkan perbandingan walnut : mawar : biji : tunggal = 9 : 3 : 3 : 1
Kumpulkan kepada guru kalian sebagai ukuran daya serap kalian!

b. Polimeri

Polimeri adalah gen dengan banyak sifat beda yang berdiri sendiri-sendiri, tetapi mempengaruhi bagian yang sama dari suatu organisme.

Polimeri pertama kali dikemukakan oleh H. Nilson Ehle pada tahun 1913 di Swedia dalam eksperimennya dengan menyilangkan *Triticum vulgare* berbiji merah homozigot dengan *Triticum vulgare* berbiji putih, menghasilkan keturunan F_1 biji berwarna merah beraneka ragam dan putih dalam perbandingan 15 : 1.

c. Kriptomeri

Kriptomeri merupakan suatu peristiwa di mana suatu gen seakan-akan tersembunyi dan baru tampak pengaruhnya apabila ada gen dominan bertemu yang lainnya.

Contohnya adalah pada bunga *Linaria maroccana*. Sebagai contohnya disilangkan bunga merah (AaBb). Di keturunan keduanya didapatkan perbandingan bunga ungu : merah : putih = 9 : 3 : 4.

d. Epistasis dan hipostasis

Epistasis merupakan suatu peristiwa di mana pengaruh suatu gen dominan menutupi pengaruh gen dominan lain yang bukan alelnya.

Sebagai contoh persilangan *Haver* (sejenis tanaman gandum) bersekam hitam dengan *Haver* bersekam kuning, yang disilangkan sesamanya akan menghasilkan keturunan F_2 tanaman *Haver* bersekam hitam, kuning, dan putih dengan perbandingan 12 : 3 : 1.

Sebuah atau sepasang gen yang menutupi ekspresi gen lain yang bukan alelnya dinamakan gen yang epistasis, sedang gen yang ditutupi dinamakan gen hipostasis.

e. Komplementer

Suatu peristiwa di mana dua macam gen yang bukan alelnya harus bekerja sama supaya dapat terlihat pengaruhnya. Jadi gen yang satu melengkapi gen yang lain, bila masing-masing gen berada sendirian, pengaruhnya tak dapat terlihat. Contoh persilangan *Lathyrus odoratus* berbunga putih dengan *Lathyrus odoratus* berbunga putih yang lain menghasilkan F_1 *Lathyrus odoratus* berbunga ungu. Pada F_2 dihasilkan *Lathyrus odoratus* berbunga ungu dan putih dengan perbandingan 9 : 7.

2. Tautan Gen (Linkage)

Jika dalam satu kromosom terdapat lebih dari satu gen yang mengendalikan sifat yang berbeda (bukan alelnya), maka peristiwa ini disebut linkage atau tautan gen.

Peristiwa tersebut terjadi karena jumlah gen yang ada dalam setiap makhluk hidup sangat banyak, padahal kromosom yang ada jumlahnya sedikit. Hal ini dapat berakibat terdapatnya lebih dari satu gen dalam satu kromosom.

Contoh peristiwa linkage ini adalah pada lalat buah *Drosophila melanogaster*. Pada lalat ini ditemukan empat pasang kromosom atau delapan buah kromosom. Saat ini telah diketahui adanya lebih dari 5000 gen terdapat pada lalat buah ini, hal ini berarti bahwa setiap kromosom mengandung ratusan gen.

Jika disilangkan lalat betina warna kelabu bersayap panjang dengan lalat jantan warna hitam berwarna pendek.

$$\begin{array}{l}
 P_1 \quad \text{♀ (KP)(KP)} \quad \times \quad \text{♂ (kp)(kp)} \\
 \text{Gamet} \quad \quad \quad (KP) \quad \quad \quad (kp) \\
 F_1 \quad \quad \quad (KP)(kp)
 \end{array}$$

F ₂	♀ \ ♂	(KP)	(kp)
	(KP)	(KP)(KP)	(KP)(kp)
	(kp)	(KP)(kp)	(kp)(kp)

Tubuh kelabu, sayap panjang : tubuh hitam, sayap pendek = 3 : 1.

Hal tersebut jika K dan P terdapat dalam kromosom yang sama, seandainya tidak tertaut maka:

$$\begin{array}{l}
 F_1 \quad : \quad \text{♀ KKPP} \quad \times \quad \text{♂ kkpp} \\
 \text{Gamet} \quad \quad \quad KP \quad \quad \quad kp \\
 F_1 \quad : \quad \quad KkPp \\
 P_2 \quad : \quad \text{♀ KkPp} \quad \times \quad \text{♂ KkPp}
 \end{array}$$

F₂ : KP KP
 Kp Kp
 kP kP
 kp kp

♀	♂	KP	Kp	kP	kp
KP		KKPP	KKPp	KkPP	KkPp
Kp		KKPp	KKpp	KkPp	Kkpp
kP		KkPP	KkPp	kkPP	kkPp
kp		KkPp	Kkpp	kkPp	kkpp

Perbandingan Fenotipe F₂ = Tubuh kelabu sayap panjang : Tubuh kelabu sayap pendek : Tubuh hitam sayap panjang : Tubuh hitam sayap pendek = 9 : 3 : 3 : 1

3. Tautan Seks

Tautan seks merupakan gen yang terdapat pada kromosom kelamin. Gen-gen yang terangkai pada kromosom kelamin disebut gen terangkai kelamin. Jadi gen terangkai kelamin dapat dibedakan menjadi gen terangkai X, yaitu terangkai pada kromosom X dan gen terangkai Y.

a. Hemofilia

Yaitu suatu penyakit keturunan yang mengakibatkan seseorang yang terluka, darahnya sukar membeku.

Bila gen H menyebabkan sifat normal pada darah, maka gen h penyebab hemofilia. Kemungkinan genotipe orang normal dan penderita hemofilia:

Jenis kelamin	Normal	Hemofilia
♀	X ^H X ^H	x ^h x ^h
♂	X ^H Y	X ^h Y

Kemungkinan wanita hemofilia adalah tidak ada, karena bersifat letal.

b. Buta warna

Yaitu penyakit genetik yang disebabkan oleh gen resesif c yang terangkai kromosom-X.

Cara pewarisan sifat yang terpaut kromosom-X mempunyai sifat *cris-cris inheritance* (pewarisan menyilang). Bila parental jantan/pria memiliki sifat tersebut, maka 100% akan diwariskan ke anak perempuannya. (Sajidan, 1998: 33).

Bila seorang wanita penglihatan normal kawin dengan seorang pria buta warna.

C = penglihatan normal

c = buta warna

P : ♀ CC × ♂ cY
Gamet C c
Y

F₁ : Cc : ♀ carrier/pembawa
CY : ♂ penglihatan normal

Bila seseorang wanita carrier kawin dengan seorang pria buta warna:

P : ♀ Cc × ♂ cY
Gamet C c
c Y

F₁ : Cc : ♀ karier
cc : ♀ buta warna
CY : ♂ penglihatan normal
cY : ♂ buta warna

Carrier merupakan suatu individu yang fenotipe normal, tetapi sesungguhnya mengandung gen untuk suatu penyakit.

c. Anadontia

Anadontia ialah kelainan menurun yang disebabkan oleh gen resesif pada kromosom X, di mana penderitanya tidak mempunyai benih gigi di dalam tulang rahangnya, sehingga selanjutnya gigi tidak akan tumbuh.

4. Pindah Silang (Tautan Tidak Sederhana)

Pindah silang (*crossing-over*) merupakan peristiwa penukaran segmen dari kromatid satu dengan yang lainnya, dari sepasang kromosom homolog. Gamet-gamet yang mengalami pindah silang jumlahnya hanya sedikit. Pindah silang terjadi pada saat gametogenesis, yaitu selama pembelahan meiosis. Pada profase, meiosis I, masing-masing kromosom mengganda menjadi dua kromatid.

$$P_1 \quad (KP)(KP) \quad \times \quad (kp)(kp)$$
$$\text{Gamet} \quad (KP) \quad \quad \quad (kp)$$

F_1 (KP)(kp) akan membentuk empat macam gamet

1. (KP) : gamet yang tidak mengalami pindah silang
2. (kp) : gamet yang tidak mengalami pindah silang
3. (Kp) : gamet yang mengalami pindah silang
4. (kP) : gamet yang mengalami pindah silang

Faktor-faktor yang mempengaruhi pindah silang, antara lain:

1. Suhu, semakin tinggi atau semakin rendah suhu semakin besar persentase pindah silang.
2. Usia, semakin tua semakin sedikit terjadi pindah silang.
3. Zat kimia, zat-zat kimia tertentu dalam makanan, dapat memperbesar pindah silang.
4. Sinar X, dapat memperbesar terjadinya pindah silang.
5. Jenis kelamin, kadang-kadang mempengaruhi berlangsungnya pindah silang.

5. Gen Letal

Yaitu gen yang dalam keadaan homozigot menyebabkan kematian individu. Jika kematian berlangsung pada masa zigot atau embrio atau baru lahir disebut gen letal. Jika kematian berlangsung pada waktu individu sebelum dewasa disebut gen sub letal. Ada gen letal yang bersifat homozigot resesif dan ada pula yang bersifat homozigot dominan.

a. Letal resesif

Gen letal tidak tampak berpengaruh dalam keadaan heterozigot, tetapi dalam keadaan homozigot resesif menyebabkan matinya individu yang memilikinya.

Contoh: pada tanaman jagung terdapat gen A: ada klorofil, a = tidak ada klorofil. Jika jagung kekuningan (Aa) dikawinkan sesamanya, individu aa akan mati.

b. Letal dominan

Gen letal tampak berpengaruh fenotipnya dalam keadaan heterozigot tetapi tidak menyebabkan matinya individu baru. Apabila gen ini berada dalam keadaan homozigot dominan, menyebabkan matinya individu.

Contoh: pada mencit (tikus jenis kecil) terdapat gen K: bulu kuning, k: tidak berwarna.

Perkawinan tikus jantan kuning dengan tikus betina kuning (Kk dengan Kk), individu KK akan mati.

C. Hereditas pada Manusia

1. Cacat dan Penyakit Bawaan

Cacat dan penyakit bawaan dapat diwariskan melalui gen. Cacat bawaan ini ada yang diturunkan lewat kromosom kelamin maupun kromosom tubuh.

Cacat bawaan yang diturunkan lewat kromosom kelamin misalnya buta warna dan hemofilia. Sedangkan cacat bawaan yang diturunkan lewat kromosom tubuh misalnya: cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang resesif seperti albino, botak, fenilketonuria, thalasemia, dan sebagainya. dan cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang dominan seperti sindaktili, polidaktili, brakidaktili.

Tahukah kamu?

Pewarisan Poligenik

Warna mata manusia pada prinsipnya diatur oleh satu gen. Satu alel dari gen ini menghasilkan mata cokelat dan yang lainnya biru. Namun, warna mata juga dapat dipengaruhi oleh gen "pengubah", yang mengubah warna asli yang dihasilkan. Kombinasi berbeda dari gen ini, menghasilkan warna-warna seperti cokelat terang, hijau, dan kelabu. Hal ini dikenal sebagai pewarisan poligenik, dan ini menerangkan mengapa beberapa ciri tampaknya bercampur.

Sumber: *Jendela IPTEK*, 2001

a. Albino

Albino ditandai dengan proses pigmentasi yang tidak normal pada kulitnya, begitu pula pada bagian-bagian tubuh yang lain. Fenotipnya seperti bule.

Orang tua yang keduanya albino dapat dipastikan anak-anaknya albino juga, tetapi tidak menutup kemungkinan orang tua yang keduanya normal tiba-tiba melahirkan anak yang menderita albino. Kasus seperti itu juga dapat terjadi jika kedua orang tua tersebut bergenotipe heterozigot (pembawa). Kemungkinan keturunan (F_1) menderita albino dari orang tua yang memiliki sifat pembawa albino adalah 25%.

Perhatikan persilangan berikut:

- 1) *Normal pembawa dengan normal pembawa*

$$\begin{array}{l} P_1: \quad Pp \quad \times \quad Pp \\ \text{Gamet} \quad P \qquad \qquad P \\ \qquad \qquad p \qquad \qquad p \end{array}$$

F_1 : PP, Pp, Pp, pp (50% normal pembawa, 25% normal, 25% albino)

- 2) *Normal pembawa dengan albino*

$$\begin{array}{l} P_1: \quad Pp \quad \times \quad pp \\ \text{Gamet} \quad P \qquad \qquad p \\ \qquad \qquad p \end{array}$$

F_1 : Pp, pp (50% normal pembawa, 50% albino)

b. Brakidaktili, sindaktili, dan polidaktili

Brakidaktili adalah cacat yang menyebabkan jari-jari menjadi pendek.

Sindaktili adalah cacat yang menyebabkan jari-jari tangan atau kaki saling berlekatan.

Polidaktili adalah cacat yang menyebabkan jumlah jari lebih dari 5.

2. Golongan Darah

Golongan darah juga dapat diwariskan melalui gen.

a. Sejarah penemuan

Pengertian komposisi darah dan studi tentang sirkulasi darah, pertama ditemukan oleh Harvey (1616 - 1628). Landsteiner (1900) menemukan dan mengklasifikasikan aglutinogen dan aglutinin pada darah yang dapat memecahkan masalah dalam transfusi darah sehingga Landsteiner memperoleh Nobel pada tahun 1930.

Landsteiner memperhatikan bahwa sel darah merah (*red blood cells* = RBC) pada populasi manusia berbeda-beda, berkenaan dengan protein spesifik (antigen) yang ditemukan pada bagian permukaan sel darah merah.

b. Sistem penggolongan darah

- 1) *Sistem ABO*

Landsteiner mengklasifikasikan menjadi dua macam antigen, meliputi antigen A pada golongan darah A, antigen B pada golongan darah B, adanya antigen A dan B pada golongan darah AB, golongan darah O mengandung antibodi α maupun β . (Sajidan. 1998: 38).

2) *Sistem MN*

Suryo (1992) menyatakan bahwa darah seseorang disuntikkan ke tubuh kelinci, maka serum darah kelinci membentuk antibodi, yang dapat berupa anti-M ataupun anti-N. Bila antiserum dan kelinci yang mengandung anti-M atau anti-N itu digunakan untuk menguji darah seseorang, maka akan dapat diketahui tipe darah orang tersebut.

3) *Sistem MNSs*

Race dan Sanger (1947) menemukan antigen S dan antigen s yang ditentukan oleh allela S dan s yang letaknya sangat berdekatan dengan lokus allela LM dan allela LN. Bila LM dan LN tidak mengenal dominasi, maka allela S dominan terhadap allela s.

4) *Sistem Rh (faktor Rh)*

Jika kelinci disuntik dengan darah kera (*Rhesus macacus*) maka akan menghasilkan aglutinin yang menyebabkan menggumpalnya *Rhesus macacus* tersebut. Juga sebagian besar orang darahnya akan menggumpal jika dicampur dengan serum yang diambil dari kelinci tersebut.

Orang yang darahnya menggumpal jika dicampur dengan serum kelinci tersebut dikatakan Rh⁺, sebaliknya Rh⁻.

5) *Golongan darah selain ABO, MN, MNSs, dan Rh*

Sistem penggolongan darah ini biasanya diberi nama sesuai dengan nama pasiennya.

Tabel Golongan darah selain ABO, MN, MNSs, RL

Sistem golongan darah	Tahun	Ditemukan
P	1927	Landsteiner dan Levine
Lutheran	1945	Callender
Keli	1946	Coonbs
Lewis	1946	Mourant
Dufty	1950	Cutbuch
Kidd	1951	Allen
Bombay	1952	Watkins
Diego	1955	Layrise
I	1956	Wiener
Auberger	1961	Salmon
Xg	1962	Mohn
Dombroch	1965	Swason

Kerjakan Tugas 9 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 9

Sebutkan cacat bawaan pada manusia yang diturunkan lewat kromosom kelamin dan cacat bawaan yang diturunkan lewat kromosom tubuh!

Rangkuman

1. Penyimpangan semu hukum Mendel misalnya:
 - a. Interaksi alela ganda
 - b. Polimeri (15 : 1)
 - c. Kriptomeri (9 : 3 : 4)
 - d. Epistasis dan hipostasis (12 : 3 : 1)
 - e. Komplementer (9 : 7)
2. Jika dalam satu kromosom terdapat lebih dari satu gen yang mengendalikan sifat yang berbeda (bukan alelnya) akan terjadi linkage atau tautan gen.
3. Tautan seks adalah gen yang terdapat pada kromosom kelamin.
4. Pada manusia banyak penyakit-penyakit menurun yang disebabkan oleh gen-gen yang letaknya pada kromosom X, misalnya: hemofilia, butawarna, anadontia.
5. Pindah silang ialah peristiwa penukaran segmen dari kromatid yang satu dengan kromatid lainnya dari sepasang kromosom homolog.
6. Gen letal, yaitu gen yang dalam keadaan homozigot menyebabkan kematian individu.
7. Cacat dan penyakit bawaan yang diturunkan lewat kromosom tubuh misalnya cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang resesif seperti albino, botak, thalasemia, dan lain-lain, dan cacat bawaan terpaut kromosom tubuh yang dominan seperti sindaktili, polidaktili, brakidaktili, dan lain-lain.
8. Sistem penggolongan darah terdiri dari:
 - a. Sistem ABO
 - b. Sistem MNO
 - c. Sistem MNSs
 - d. Sistem Rh (faktor Rh)
 - e. Golongan darah selain ABO, MN, MNSs, Rh.



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

1. Bunga *Mirabilis jalapa* yang berwarna merah muda (Mm), bila disilangkan dengan yang putih, maka F_1
 - a. merah muda : putih = 1 : 1
 - b. merah muda : putih = 2 : 1
 - c. merah muda : putih = 3 : 1
 - d. merah : merah muda : putih = 1 : 2 : 1
 - e. merah semua
2. Pindah silang terjadi antara kromatid dari kromosom homolognya. Hal ini sering terjadi pada pembelahan sel fase
 - a. profase
 - b. metafase
 - c. anafase
 - d. telofase
 - e. interfase
3. Pria hemofilia diberi simbol genotipe
 - a. $X^H X^h$
 - b. $X^H Y$
 - c. $X^h Y$
 - d. $X^c Y$
 - e. $X^c Y$
4. Seseorang yang bergolongan darah B, mendapat tranfusi dari golongan darah O, maka
 - a. terjadi aglutinasi karena darah donor mengandung aglutinin a dan b, darah resipien mengandung aglutinin
 - b. terjadi aglutinasi, karena darah resipien mengandung aglutinin a dan b
 - c. tidak akan terjadi aglutinasi karena donor darah resipien masing-masing mengandung aglutinin a dan b
 - d. tidak akan terjadi aglutinasi karena donor dan resipien masing-masing mengandung aglutinin b
 - e. tidak terjadi aglutinasi karena darah donor tidak mengandung aglutinogen

5. Seorang wanita pembawa sifat buta warna, menikah dengan pria normal, kemungkinan persentase anak-anak yang akan lahir adalah
 - a. 25% anak perempuan buta warna
 - b. 25% anak laki-laki buta warna
 - c. 50% anak perempuan normal
 - d. 100% anak laki-laki normal
 - e. 100% anak laki-laki dan perempuan normal
6. Ayah golongan darah A heterozigot, ibu golongan darah B heterozigot, kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah
 - a. A dan B
 - b. AB dan O
 - c. A, B, dan O
 - d. A, B, dan AB
 - e. A, B, AB, dan O
7. Ayah Tika menderita hemofilia, tetapi suami Tika tidak. Kemungkinan anak lelaki Tika menderita hemofilia adalah
 - a. 0%
 - b. 25%
 - c. 50%
 - d. 75%
 - e. 100%
8. Bila bunga merah AAbb dibastarkan dengan bunga putih aaBB, maka hasil keturunan pertama adalah ungu AaBB. Untuk keturunan F₂ dihasilkan perbandingan warna ungu : merah : putih
 - a. 12 : 3 : 1
 - b. 9 : 3 : 4
 - c. 9 : 4 : 3
 - d. 9 : 6 : 1
 - e. 9 : 5 : 2
9. Berdasarkan analisis genetika, seseorang gadis buta warna (X^cX^c) memiliki seorang ayah dengan genotipe
 - a. X^cX^c
 - b. X^cY^c
 - c. X^c
 - d. XY
 - e. X^cY
10. Seorang wanita bergolongan darah O menikah dengan pria bergolongan darah AB, maka kemungkinan golongan darah anak-anaknya adalah
 - a. O dan AB
 - b. A dan B
 - c. A dan AB
 - d. B dan AB
 - e. O, AB, A, atau B

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Apa yang dimaksud dengan pindah silang?
2. Bagaimana perbandingan pada keturunannya jika seorang suami hemofilia, sedang istrinya normal pembawa?
3. Sebutkan beberapa penyakit genetis yang dibawa oleh gen-gen resesif!
4. Seorang anak laki-laki hemofilia lahir dari suami istri normal. Dari seluruh anaknya, berapa persen suami istri ini mempunyai anak laki-laki yang normal?
5. Jelaskan yang dimaksud penyakit albino!

Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan menumbuhkan **etos kerja, kreativitas** kalian dan mendorong kalian untuk **mencari informasi lebih jauh** serta **mengembangkan kecakapan sosial** kalian!

Tugas Portofolio

Carilah gambar dan artikelnya dari berbagai sumber, misanya dari surat kabar, majalah, ataupun tentang penyakit menurun pada manusia! Kemudian susunlah gambar dan artikelnya dari berbagai sumber! Misalnya dari surat kabar, majalah, ataupun internet tentang penyakit menurun pada manusia! Kemudian susunlah gambar tersebut dari artikel tersebut menjadi sebuah kliping! Kerjakan secara berkelompok!

Bab X

Mutasi

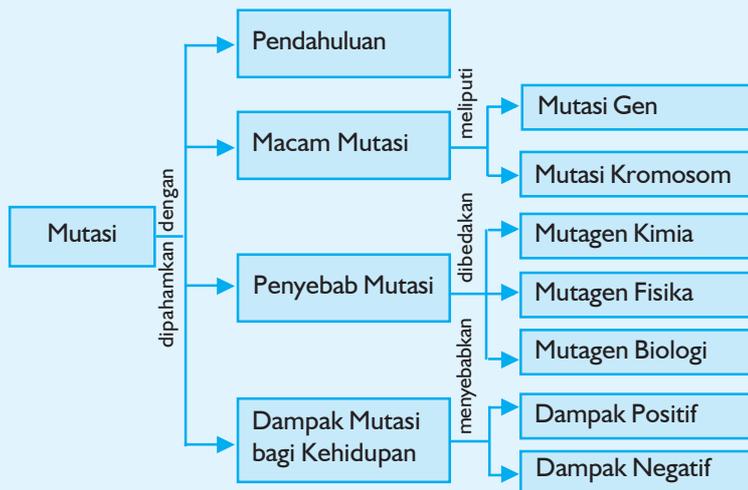


Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : www.depreview.com

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan mutasi, macam-macam mutagen penyebab mutasi serta dampaknya bagi kehidupan.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab X:

1. Mutasi
2. Mutagen
3. Dampak



Gambar Susunan hereditas pada hewan dapat berubah karena mutasi

Sumber: CD Image

Menjadi makhluk yang normal adalah karunia Tuhan yang harus kalian syukuri, banyak yang menderita kelainan yang menjadikan mereka tak bisa hidup selayaknya manusia normal.

Banyak manusia yang tuna mental, IQ rendah, kepala lebar, tubuh pendek, dan lain sebagainya. Keadaan tersebut disebabkan karena adanya mutasi yang menyebabkan perubahan-perubahan dasar dalam susunan hereditas pada manusia. Mutasi ini juga dapat terjadi pada hewan dan tumbuhan. Apakah mutasi itu? Dan apakah penyebabnya?

A. Pendahuluan

Mutasi merupakan perubahan bentuk kualitas atau sifat yang terjadi secara mendadak pada kromosom, atau perubahan mendadak pada bentuk dan susunan dalam kromosom makhluk yang menghasilkan protein dan enzim yang bermodifikasi.

Hugo de Vries adalah orang pertama yang menggunakan istilah mutasi. Istilah ini digunakan Hugo de Vries untuk mengemukakan adanya perubahan fenotipe yang mendadak pada bunga *Oenothera lamarckiana* dan bersifat menurun. Setelah diselidiki, perubahan tersebut terjadi karena penyimpangan dari kromosomnya.

Morgan (1910) juga melakukan penelitian tentang mutasi dengan menggunakan lalat buah (*Drosophila melanogaster*). Ia menemukan lalat buah jantan bermata putih di antara sejumlah besar lalat buah jantan bermata merah. Sifat baru tersebut muncul karena perubahan struktur genetik, karena sifat baru diturunkan pada generasi berikutnya.

Peristiwa terjadinya mutasi disebut mutagenesis, makhluk hidup yang mengalami mutasi dinamakan mutan, sedangkan faktor yang menyebabkan mutasi disebut mutagen.

Kerjakan Latihan 10.1 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 10.1

Sebutkan macam-macam mutagen!

B. Macam Mutasi

Berdasarkan ukuran atau jumlah nukleotida ADN yang berubah, mutasi dapat dibedakan menjadi:

1. Mutasi Gen (Mutasi Titik)

Mutasi titik (*point mutation*) terjadi akibat perubahan pada satu pasang basa ADN suatu gen. Mutasi ini hanya terjadi di dalam gen.

Macam-macam mutasi gen antara lain:

a. Nonsense mutations (mutasi tak bermakna)

Pada peristiwa ini terjadi perubahan kodon (triplet) dari kode basa N asam amino tetapi tidak mengakibatkan perubahan pembentukan protein.

Contoh: UUU (fenilalanin) diganti UUC (fenilalanin)

b. Triplet mutations (mutasi ganda tiga)

Mutasi ini terjadi karena adanya penambahan atau penggunaan tiga basa secara bersama-sama.

c. Frameshift mutations (mutasi bingkai)

Terjadi karena adanya penambahan sekaligus pengurangan satu atau beberapa pasangan basa secara bersama-sama.

2. Mutasi Kromosom

a. Mutasi kromosom terjadi karena perubahan jumlah kromosom (ploidi)

1) *Aneuploidi*

Aneuploidi terjadi karena kehilangan atau penambahan perangkat kromosom (genom) makhluk hidup normal, umumnya bersifat diploid (mempunyai dua perangkat kromosom/dua genom). Pada aneuploid dikenal individu monoploidi (mempunyai satu perangkat kromosom) dan poliploid (mempunyai banyak perangkat kromosom), yaitu triploidi (3), tetraploidi (4), heksaploidi (6).

Individu aneuploidi memiliki set kromosom yang lengkap, beberapa variasi pada aneuploidi dapat dilihat pada Tabel 10.1 berikut.

Tabel 10.1 Variasi mengenai set kromosom yang lengkap

Tipe aneuploidi	Jumlah genom (n)	Komponen kromosom A, B, C, bukan kromosom homolog
Monoploid	Satu (n)	ABC
Diploid	Dua (2n)	AABBCC
Poliploid		
Triploid	Tiga (3n)	AAABBBCCC
Tetraploid	Empat (4n)	AAAABBBBCCCC
Pentaploid	Lima (5n)	AAAAABBBBBCCCCC

Heksaploid	Enam (6n)	AAAAAABBBBBBCCCCC
Septaploid	Tujuh (7n)	AAAAAAABBBBBBCCCCC
Oktaploid	Delapan (8n)	AAAAAAAABBBBBBCCCCC

Poliploidi pada tumbuhan, misalnya apel dan tebu. Sedangkan pada hewan, misalnya *Rana esculenta* dan *Ascaris*.

2) Aneusomi

Individu aneusomi memiliki kekurangan atau kelebihan kromosom dibanding dengan jumlah kromosom diploidi dari individu (misal $2n-1$, $2n-2$, $2n+1$, $2n+2$, dan sebagainya). Beberapa variasi pada *aneusomi* dapat dilihat pada Tabel 10.2 berikut.

Tabel 10.2 Variasi dalam aneusomi

Tipe	Jumlah kromosom	Contoh
Disomi (Normal)	$2n$	AABBCC
Monosomi	$2n-1$	AABBC
Nullisomi	$2n-2$	AABB
Polisomi	Kromosom ekstra	
Trisomi	$2n+1$	AABBCCC
Double Trisomi	$2n+1+1$	AABBBCCCC
Tetrasomi	$2n+2$	AABBCCCC
Pentasomi	$2n+3$	AABBCCCCC
Heksasomi	$2n+4$	AABBCCCCC
Septasomi	$2n+5$	AABBCCCCC

Aneusomi dalam populasi manusia dapat menyebabkan terjadinya macam-macam sindroma.

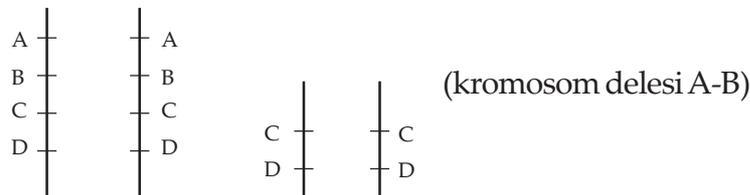
b. Mutasi kromosom yang terjadi karena perubahan struktur kromosom (aberasi)

Struktur kromosom yang normal dengan perlakuan sinar X, radiasi atau zat-zat kimia tertentu dapat menimbulkan perubahan struktur pada kromosom.

Perubahan struktur kromosom biasanya disebut “aberasi kromosom” yang dapat dibedakan atas beberapa peristiwa.

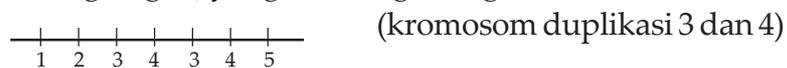
1) *Delesi (defisiensi)*

Yaitu hilangnya suatu segmen dari sebuah kromosom, karena kromosom patah dan potongan hilang.



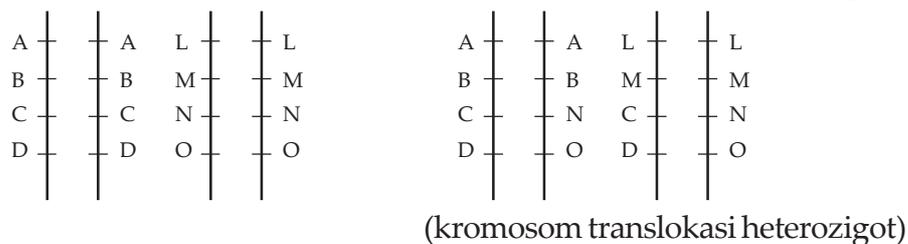
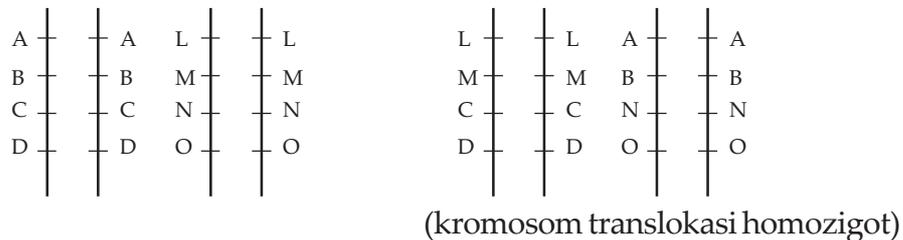
2) *Duplikasi*

Yaitu peristiwa suatu segmen dari kromosom yang mempunyai susunan (gen-gen) yang berulang-ulang.



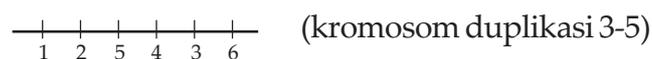
3) *Translokasi*

Yaitu menempelnya potongan suatu kromosom pada potongan kromosom lainnya yang bukan homolognya.



4) *Inversi*

Suatu bagian dari sebuah kromosom memiliki ukuran gen yang terbalik.



Pada tabel 10.3 ditunjukkan aneuploidi dalam populasi manusia karena “non disfunction”.

Tabel 10.3 Aneuploidi dalam populasi manusia karena non disfunction”

Nomenklatur kromosom	Formula kromosom	Sindroma klinis	Perkiraan frekuensi pada waktu lahir	Ciri-ciri
45, x	2n-1	Turner	1/3000	<ul style="list-style-type: none"> - Perempuan - Tubuh pendek = 120 cm - Leher pendek, pangkal seperti bersayap - Payudara dan rambut kelamin tidak tumbuh - Puting susu letaknya berjauhan - Seks kromatin negatif - Steril
47, - 21	2n-1	Down	1/700	<ul style="list-style-type: none"> - Laki-laki/perempuan - Lengan/kaki kadang-kadang bengkok - Kepala lebar - Wajah bulat, mulut selalu terbuka, ujung lidah besar, hidung besar dan datar - Jarak kedua mata lebar, kelopak mata mempunyai lipatan epikantur - Iris mata kadang-kadang berbintik, memiliki garis tangan abnormal - IQ rendah (22 - 75)

47, + 13	$2n + 1$	Trisomi 13 (sindrom Patau)	1/20.000	<ul style="list-style-type: none"> - Laki-laki/perempuan - Cacat mental dan tuli - Polidaktili - Mata kecil - Mempunyai celah bibir
47, + 18	$2n + 1$	Trisomi 18 (sindroma Edwards)	1/5000	<ul style="list-style-type: none"> - Telinga rendah, rahang bawah rendah, mulut kecil, tuna mental, tulang dada pendek
47, xxy 48, xxxy 48, xxyy 49, xxxxy 50, xxxxxx	$2n + 1$ $2n + 2$ $2n + 2$ $2n + 3$ $2n + 4$	Klinefelter	1/700	<ul style="list-style-type: none"> - Pria, tetapi ada tanda wanita, tumbuh payudara, pertumbuhan rambut kurang, lengan dan kaki panjang, suara seperti wanita, testis, tuna mental, seks kromatin positif
47, xxx	$2n + 1$	Tripel X	1/700	<ul style="list-style-type: none"> - Perempuan, mental abnormal, menstruasi tidak teratur

Kerjakan Latihan 10.2 berikut yang akan menumbuhkan **rasa ingin** tahu mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 10.2

Jelaskan maksud formula kromosom dari masing-masing sindroma pada tabel no. 3 di atas!

C. Penyebab Mutasi

Mutasi dapat terjadi baik secara spontan ataupun rangsangan dari luar. Mutasi spontan terjadi karena kesalahan acak dalam proses replikasi atau saat pembelahan sel. Penyebab mutasi yang terjadi secara spontan misalnya kesalahan mitosis dan meiosis, saat sitokinesis sel tidak terbagi menjadi dua sel baru sehingga kromosom yang telah digandakan tetap berada dalam satu sel. Contoh lain adalah rekombinasi, yaitu perubahan akibat masuknya gen-gen atau segmen DNA dari molekul DNA (kromosom) lain ke dalam suatu molekul DNA.

Mutasi yang terjadi akibat rangsangan dari luar bisa bersifat alami maupun buatan. Mutasi yang bersifat alami terjadi secara kebetulan di alam dan biasanya jarang terjadi. Contoh mutagen alam adalah sinar kosmis, radioaktif alam, sinar ultraviolet.

Mutasi buatan, yaitu mutasi yang terjadi karena campur tangan manusia. Mutasi buatan ini banyak dilakukan terhadap tanaman, misalnya tomat, anggur, jambu dan sebagainya. Dipandang dari sudut manusia mutasi buatan ini sangat menguntungkan karena dapat memberikan hasil produksi yang cukup tinggi. Melalui mutasi buatan ini buah yang dihasilkan besar-besar dan tidak memiliki biji. Tanaman ini, umumnya menjadi poliploid yaitu kromosom menjadi bertambah banyak. Akan tetapi dipandang dari segi tumbuhan itu sendiri, mutasi buatan yang menyebabkan poliploidi adalah tidak menguntungkan karena tanaman poliploid umumnya gagal. Untuk menyebabkan tanaman poliploidi harus dilakukan pembibitan secara terus-menerus. Pada sayuran, mutasi buatan biasa dilakukan pada tanaman kubis (kol).

Bahan-bahan yang dapat menyebabkan mutasi disebut mutagen.

Mutagen dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Mutagen Kimia

Bahan-bahan yang dapat menyebabkan mutasi antara lain formaldehida, kolkisin, akrudin, etil metan sulfat (EMS), etil etan sulfanoat (EES), asam nitrit, hidrogen peroksida, kafein, bahan pengawet, dan lain-lain.

2. Mutagen Fisika

Bahan-bahan fisika yang dapat menyebabkan mutasi antara lain suhu, sinar ultraviolet, sinar x, sinar gamma, partikel a dan b, neutron, dan radiasi kosmis.

3. Mutagen Biologi

Bahan-bahan biologi yang dapat menyebabkan mutasi antara lain virus dan bakteri. Selain itu ada mutagen biologi yang sering menyebabkan, yaitu elemen loncat adalah rangkaian nukleotida atau DNA yang dapat berpindah tempat.

Kerjakan Latihan 10.3 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 10.3

Sebutkan mutagen kimia yang lain, selain yang disebutkan di atas!

D. Dampak Mutasi bagi Kehidupan

Mutasi menyebabkan banyak sekali dampak baik negatif maupun positif.

1. Dampak Negatif

Mutasi menyebabkan timbulnya beragam jenis penyakit berbahaya seperti sindrom, kanker.

2. Dampak Positif

Walaupun mutasi bersifat merugikan tetapi dalam beberapa hal juga berguna bagi manusia, misalnya:

- Dapat meningkatkan hasil panen produksi pangan (gandum, tomat, kacang tanah, kelapa poliploidi, kol poliploidi).
- Dapat meningkatkan hasil antibiotika (mutan *Penicillium*).
- Dapat memeriksa proses biologi (transpor elektron pada fotosintesis, fiksasi nitrogen pada bakteri).
- Proses penting untuk evolusi dan variasi genetik.
- Dapat menambah keanekaragaman.

Kerjakan tugas berikut yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu** kalian dan mendorong kalian untuk mencari **informasi lebih jauh!**

Tugas

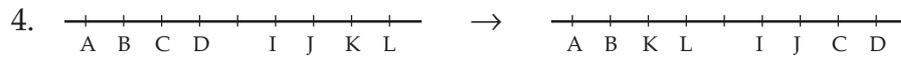
Sebutkan dampak-dampak negatif maupun positif yang lain dari mutasi pada kehidupan manusia! Referensi bisa dari berbagai sumber!



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d*, atau *e*!

1. Makhluk hidup yang mengalami mutasi disebut . . .
 - a. mutagen
 - b. mutan
 - c. *metagenic agent*
 - d. sindrom
 - e. aberasi
2. Sindrom Turner adalah mutasi pada manusia yang disebut . . .
 - a. trisomik
 - b. nulisomik
 - c. monosomik
 - d. tetrasomik
 - e. trisomik ganda
3. Sinar kosmis dan atmosfer tidak dapat menyebabkan mutasi pada . . .
 - a. alam
 - b. tumbuhan
 - c. hewan
 - d. manusia
 - e. bakteri



Peristiwa di atas termasuk mutasi

- a. inversi
 - b. translokasi
 - c. delesi
 - d. pindah silang
 - e. duplikasi
5. Bahan kimia mutagen antara lain
- a. formaldehida, kolkisin, pestisida, sinar UV
 - b. kolkisin, sinar gamma, virus, bakteri
 - c. bakteri, kafein, kolkisin, elemen loncat
 - d. sinar X, antibiotik, kafein, pestisida
 - e. pestisida, kafein, gas mustrad, kolkisin
6. Salah satu contoh mutasi titik yang terjadi karena perubahan gen, yaitu
- a. sindrom Turner
 - b. sindrom Klinefelter
 - c. penemuan padi atomita I dan padi atomita II
 - d. terbentuknya buah tak berbiji
 - e. kelainan bentuk eritrosit
7. Sel individu yang kehilangan salah satu buah kromosom dinamakan
- a. nulisomi
 - b. monosomi
 - c. poliploid
 - d. diploid
 - e. haploidi
8. Pada mutasi kromosom dapat terjadi proses inversi yaitu peristiwa
- a. hilangnya sebagian kromosom karena patah
 - b. penambahan patahan kromosom pada kromosom normal
 - c. perubahan jumlah kromosom
 - d. pindahnya satu potongan kromosom ke potongan lain yang bukan homolognya
 - e. patahnya kromosom di dua tempat

9. Berikut ini merupakan penyebab mutasi yang berakibat besar terhadap hewan dan tanaman, *kecuali*
- uranium
 - sinar x
 - sinar laser
 - sinar radioaktif
 - sinar ultraviolet
10. Bentuk ini adalah ciri-ciri tanaman yang mengalami mutasi
- Batang tampak kokoh yang mengalami mutasi*
 - Ukurannya lebih besar*
 - Bijinya banyak*
 - Hanya dapat dikembangkan secara vegetatif*
 - Kandungan protein dan vitamin tinggi*
- Yang **bukan** ciri mutan akibat zat kimia kolkisin adalah
- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

- Apakah mutasi itu?
- Bedakan antara mutasi alam dengan mutasi buatan!
- Apakah yang dimaksud dengan mutasi kromosom?
- Tuliskan penggolongan mutagen menjadi tiga, dan berilah masing-masing satu contoh!
- Sebutkan dampak positif mutasi bagi kehidupan manusia!

Kerjakan tugas portofolio berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi** lebih jauh dan yang akan menumbuhkan **etos kerja**, **kreativitas** serta mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Tugas Portofolio

Buatlah laporan tentang peranan mutasi buatan bagi kehidupan, baik yang menguntungkan maupun yang merugikan! Sumber-sumbernya dapat kalian cari dari berbagai sumber! Bekerjalah secara berkelompok!

Evaluasi

Semester I

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d, atau e!*

- Pertumbuhan yang terjadi karena adanya kegiatan titik tumbuh yang terdapat pada ujung akar dan ujung batang disebut
 - kambium fasis
 - pertumbuhan sekunder
 - pertumbuhan primer
 - kambium interfasis
 - felogen
- Hormon yang menghambat pertumbuhan adalah
 - giberelin
 - asam absisat
 - gas etilen
 - auksin
 - sitokinin
- Pada pertumbuhan awal, embrio memperoleh bahan makanan dari
 - plumula
 - koleoptil
 - mikrofil
 - endosperma
 - hipokotil
- Karena kecambah yang tumbuh di tempat gelap batangnya lebih panjang daripada yang tumbuh di tempat terang, timbulah dugaan bahwa
 - gelap merupakan faktor pemacu pertumbuhan
 - hormon mempercepat pertumbuhan batang
 - cahaya menimbulkan pembentukan racun
 - cahaya menghambat pertumbuhan
 - gelap mempengaruhi kelembapan
- Proses pembentukan dan penguraian yang berlangsung di dalam sel melibatkan aktivitas katalis biologik, yaitu
 - ATP
 - enzim
 - mioglobin
 - miosin
 - aktin

6. Suatu enzim yang terdapat dalam hati dengan konsentrasi yang tinggi dan bekerja pada peroksida air dengan menghasilkan air dan O_2 adalah
- peroksidase
 - katalase
 - oksigenase
 - dehidrogenase
 - dehidrase
7. Peristiwa perombakan molekul glukosa yang berlangsung secara anaerob menjadi dua molekul asam piruvat disebut
- dekarboksilasi oksidatif asam piruvat
 - glikolisis
 - daur Krebs
 - rantai respirasi
 - transfer elektron
8. Pernyataan yang benar mengenai katabolisme berikut adalah
- bahan baku yang diperlukan adalah CO_2 dan H_2O
 - merupakan reaksi penyimpanan energi
 - reaksi yang menghasilkan sejumlah energi
 - memerlukan katalisator berupa klorofil
 - reaksi yang terjadi pada keadaan/di waktu gelap atau malam hari
9. Protein merupakan polimer, yang terdiri dari
- asam amino dan gliserol
 - asam amino dan glukosa
 - asam amino
 - gliserol dan asam lemak
 - glukosa
10. Senyawa kimia berikut ini yang paling siap diuraikan menjadi energi adalah
- lemak
 - protein
 - maltosa
 - glukosa
 - glikogen
11. Komponen DNA yang tersusun atas fosfat, gula, dan basa nitrogen membentuk
- nukleosida
 - nukleotida
 - polypeptida
 - ikatan hidrogen
 - double helix

12. Pernyataan yang benar tentang hubungan antara jumlah kromosom dengan keadaan individu adalah
- jumlah kromosom akan menentukan derajat suatu individu
 - jumlah kromosom akan menentukan kecerdasan individu
 - jumlah kromosom akan menentukan besarnya individu
 - jumlah kromosom tidak akan menentukan karakter individu
 - jumlah dan besar kromosom akan menentukan karakter individu
13. Pada sintesa protein, transkripsi berlangsung di
- inti sel
 - mitokondria
 - badan golgi
 - lisosom
 - ribosom
14. Dalam sintesis protein, peranan DNA adalah
- sebagai pembentuk zarah dalam kromosom
 - mengatur metabolisme sel-sel tubuh
 - sebagai arsitek atau perancangnya
 - mengatur perkembangan sel
 - mengendalikan sifat-sifat menurun
15. Waktu yang paling banyak dibutuhkan pada pembelahan adalah fase
- profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
 - interfase
16. Pada pembelahan mitosis ditandai dengan ciri-ciri sebagai berikut
- 1) *Nukleus lenyap*
 - 2) *Membran inti lenyap*
 - 3) *Timbul serat gelendong*
 - 4) *Terlihat sepasang sentriol*
- Dari ciri-ciri tersebut kemungkinannya adalah fase
- interfase
 - profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
17. Tanaman yang mempunyai 3 set kromosom haploid disebut
- diploid
 - monoploid
 - tetraploid
 - heksaploid
 - triploid

18. Gandum yang bersekam kuning (hhKk), disilangkan dengan bersekam hitam (HhKK). Gen H merupakan gen epistasis, sedangkan gen k merupakan gen hipostasis. Dari persilangan tersebut perbandingan genotipnya
- hitam : kuning = 75% : 25%
 - hitam : kuning = 50% : 50%
 - hitam : putih = 50% : 50%
 - kuning : putih = 50% : 50%
 - hitam : putih = 75% : 25%
19. Bila adenin diganti dengan guanin atau basa timin diganti dengan sitosin disebut
- transversi
 - transisi
 - inversi
 - duplikasi
 - inversi
20. Pada manusia susunan kromosom 44A+XO disebut
- sindrom Edward
 - sindrom Klinefelter
 - sindrom Patau
 - sindrom Down
 - sindrom Turner

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar dan jelas!

- Jelaskan yang dimaksud pertumbuhan primer dan pertumbuhan sekunder!
- Sebutkan 3 proses yang terjadi pada siklus Calvin!
- Apakah perbedaan antara DNA dan RNA secara fungsional?
- Sebutkan perbedaan pembelahan sel secara mitosis dan meiosis!
- Jelaskan bahwa perubahan yang terjadi pada substansi genetik dapat diwariskan!

Bab XI

Evolusi



Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : www.depreview.com

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat menjelaskan evolusi baik teori, prinsip, serta dapat menggunakan hasil studi evolusi biologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran tersebut perhatikanlah **peta konsep** berikut!



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab XI:

1. Evolusi
2. Seleksi Alam
3. Mutasi
4. Fosil

Evolusi

147



Gambar 11.1 Kuda yang hidup pada masa kini telah mengalami proses evolusi

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, 2005

Setiap macam hewan dan tumbuh-tumbuhan mempunyai struktur tubuh yang berbeda, proses-proses tubuh yang berlainan, dan cara berkelakuan yang tidak sama.

Teori evolusi menganggap bahwa jenis-jenis hewan dan tumbuh-tumbuhan yang ada sekarang ini berasal dari organisme-organisme yang ada sebelumnya. Dunia makhluk hidup sekarang ini merupakan hasil proses evolusi dari garis keturunan yang panjang, yang terjalin jauh dari masa lampau. Contohnya kuda yang hidup pada masa kini memiliki perbedaan fisik dengan kuda purba karena proses evolusi.

A. Pengertian dan Jenis-Jenis Evolusi

Menurut bahasa kata evolusi berarti suatu proses perubahan yang terjadi secara perlahan-lahan dan memerlukan waktu yang relatif lama. Proses evolusi dapat dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Evolusi Progresif

Merupakan proses evolusi yang cenderung menuju kemungkinan dapat bertahan hidup atau *survive*.

2. Evolusi Regresif

Merupakan proses evolusi yang lebih cenderung menuju kepada kemungkinan suatu spesies menuju kepunahan atau *extinction*.

Dobzanky, seorang ahli genetika membagi evolusi menjadi 3 macam, yaitu:

1. Evolusi Kosmik

Dalam teori ini dijelaskan bahwa bumi yang ada sekarang berasal dari adanya ledakan galaksi yang terjadi jutaan tahun lalu. Para ahli geologi juga telah menunjukkan bahwa bumi ini mengalami perubahan-perubahan selama proses pertumbuhannya.

2. Evolusi Biologi

Adanya evolusi biologi dibuktikan dengan ditemukannya fosil-fosil yang mendukung teori ini baik fosil tumbuhan ataupun hewan.

3. Evolusi Peradaban

Manusia sebagai makhluk yang dibekali akal, budi, dan pikiran juga mengalami evolusi. Manusia mampu menyesuaikan diri dengan alam sekitarnya dengan cara memakai serta mengembangkan teknik, pengetahuan serta cara hidup yang semuanya tadi disebut sebagai peradaban.

Kerjakan Latihan 11.1 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.1

Sebutkan contoh peradaban manusia yang telah dikembangkan dengan pengetahuan!

B. Perkembangan Teori Evolusi

Bermunculannya teori-teori evolusi merupakan sebagai salah satu upaya untuk memadukan antara gagasan dengan kenyataan fakta yang ada di lapangan. Banyak para ahli dari zaman dulu yang telah memberikan sumbangan pemikiran terhadap perkembangan evolusi.

1. Thales (5 SM)

Yang menyatakan bahwa air merupakan induk dan asal usul serta sumber dari segala sesuatu.

2. Anaximander (611- 547 SM)

Menjelaskan bahwa hidup ini berasal dari lumpur yang dipanasi oleh matahari.

3. Aristoteles (384 - 322 SM)

Menjelaskan tentang konsep teori abiogenesis (makhluk hidup berasal dari benda mati) serta membagi hewan menjadi dua kelompok, yaitu hewan berdarah dan tidak berdarah. Selain itu juga dikemukakan bahwa ada prosedur alamiah dari tumbuhan ke binatang dan kemudian melalui langkah bertingkat ke manusia.

4. Carolus Linneaus (1707 - 1778)

Menjelaskan bahwa semua tumbuhan dan hewan yang ada sekarang semula dengan serentak diciptakan di atas bumi dengan satu ciptaan saja. Mereka diciptakan dalam bentuk yang sama seperti sekarang ini.

5. Lamarck (1744 - 1829)

Lamarck berpendapat bahwa dari makhluk hidup yang paling sederhana sampai yang paling rumit ada hubungan keturunan antara satu dengan yang lain. Pendapat yang lain bahwa binatang beradaptasi terhadap berbagai macam unsur lingkungan seperti iklim, suhu, dan topografi dengan menggunakan dan mengembangkan organ tubuh yang ada. Sedangkan organ tubuh yang tidak digunakan menjadi terhenti perkembangannya. Contohnya adalah: menurut Lamarck jerapah sekarang yang berleher panjang nenek moyangnya adalah jerapah yang berleher pendek, karena sering digunakan untuk mengambil makanan di tempat yang tinggi akhirnya menjadi panjang dan sifat ini diwariskan pada keturunannya. Sehingga jerapah sekarang semuanya berleher panjang.

6. Cuvier (1769 - 1832)

Menjelaskan bahwa tiap-tiap periode sejarah bumi mungkin selalu diakhiri dengan adanya bencana alam yang memusnahkan semua makhluk hidup yang ada. Setelah itu diciptakanlah kembali makhluk yang baru di samping sisa makhluk sebelumnya yang tersisa.

7. Darwin (1809 - 1882)

Orang yang dianggap sebagai pencetus ide evolusi ialah Charles Darwin (1809-1892) yang menerbitkan buku mengenai asal mula spesies pada tahun 1859, dengan judul "*On the origin of species by means of natural selection*" atau "*The preservation of favored races in the struggle for life*". (Sastrodiharjo, 1980: 3).

Kerjakan Latihan 11.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.2

Jelaskan konsep evolusi Darwin tentang jerapah yang hidup sekarang ini!

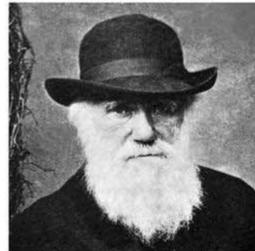
C. Konsep Evolusi menurut Darwin

Menurut Darwin seleksi alam memegang peranan yang sangat penting dalam sejarah perkembangan makhluk hidup. Di antaranya adalah bahwa seleksi alam merupakan faktor pengarah evolusi.

Secara garis besar, teori evolusi Darwin dapat disimpulkan menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Konsep perubahan secara evolusi
2. Konsep terjadinya seleksi alam

Teori evolusi Darwin menolak kalau makhluk hidup terjadi karena suatu penciptaan yang mendadak dan mereka berwujud sama selama menghuni bumi. Menurut Darwin bentuk makhluk hidup itu senantiasa berubah. Makhluk hidup yang sekarang ada berasal dari makhluk sebelumnya dengan mengalami perubahan setahap demi setahap.



Gambar 11.2 Charles Darwin

Sumber: Ilmu Pengetahuan Populer, jilid 5, 2000: 261

Selanjutnya dikemukakan juga bahwa "*natural selection*" atau seleksi alam merupakan faktor penentu arah dari perubahan yang terjadi dan sekaligus menjadi faktor penuntun evolusi.

1. Konsep Perubahan secara Evolusi

Prinsip-prinsip yang dipakai Darwin dan dianggap mampu memberi petunjuk adanya evolusi adalah:

- a. Adanya variasi di antara individu-individu dalam satu keturunan.
- b. Adanya pengaruh penyebaran geografi.
- c. Adanya fosil-fosil di berbagai lapisan batuan bumi.
- d. Adanya homologi antara organ berbagai jenis makhluk hidup.
- e. Adanya perbandingan perkembangan embrio.

2. Konsep Seleksi Alam

Konsep dasar yang dianggap Darwin mampu memberikan petunjuk tentang evolusi adalah:

- a. Fertilitas makhluk hidup yang tinggi.
- b. Jumlah individu yang hampir tidak berubah.
- c. Adanya perjuangan untuk hidup.
- d. Adanya keanekaragaman dan hereditas.
- e. Seleksi alam.
- f. Keadaan lingkungan yang senantiasa berubah.

Kerjakan Latihan 11.3 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.3

Apakah kesimpulan dari konsep evolusi menurut Darwin?

D. Petunjuk-Petunjuk Evolusi

Teori evolusi yang berkembang sejak zaman Aristoteles sampai sekarang masih terus diperdebatkan para ahli. Mereka mengemukakan beberapa fakta yang mampu menjadi petunjuk adanya evolusi makhluk hidup, antara lain:

1. Adanya Variasi Antar Individu dalam Satu Spesies

Apakah kalian pernah menemukan ada dua individu yang identik? Walaupun sedikit pasti antar dua individu yang kembar identik pun pasti ada perbedaannya. Mungkin perbedaan itu meliputi warna, ukuran, berat, ataupun fungsi alat tubuhnya. Variasi antar individu dalam satu spesies ini dapat disebabkan banyak faktor, di antaranya adalah makanan, suhu ataupun tinggi rendahnya suatu daerah.

2. Fosil sebagai Petunjuk Adanya Evolusi

Setelah ditemukannya fosil-fosil dalam lapisan batuan kerak bumi mulai terkuaklah tabir kehidupan pada masa lampau. Kehidupan masa lampau berbeda dengan masa sekarang. Ini dapat dibuktikan dengan adanya perbedaan struktur antara tubuh hewan atau tumbuhan yang telah menjadi fosil dengan yang masih ada sekarang. Sebagai contohnya adalah sejarah fosil kuda. Kuda pertama diperkirakan hidup pada jaman Eosin kira-kira 60 juta tahun yang lalu yang diberi nama *Hyracotherium* (*Eohippus*) yang ukuran tubuhnya sebesar kucing dengan jumlah jari kakinya tiga. Jika kita bandingkan dengan *Equus* (kuda jaman sekarang), tampak jelas sekali perbedaannya.



Gambar 11.3 Fosil sebagai petunjuk adanya evolusi

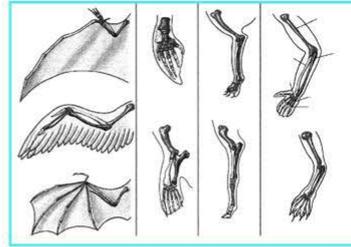
Sumber: *Biology Life on Earth*, 1999: 258

Prinsip perubahan dari nenek moyang kuda menuju bentuk kuda yang sekarang adalah sebagai berikut:

- Bertambahnya ukuran badan dari sebesar kucing sampai bentuk yang sekarang.
- Semakin besar dan panjangnya kepala serta leher.
- Adanya perubahan dari geraham depan (premolar) dan geraham (molar) dari ukuran kecil menjadi besar.
- Semakin panjangnya seluruh anggota tubuh.
- Jumlah jari kaki mengalami reduksi dari 5 menjadi 1, yaitu jari tengah dan bentuknya semakin panjang.

3. Anatomi Komparativa

Bukti adanya evolusi dapat diteliti dari adanya persamaan struktur organ berbagai organisme. Ketika kita mengamati berbagai organisme akan didapati adanya organ yang memiliki asal sama namun memiliki bentuk dan fungsi yang berbeda. Selain itu akan dijumpai juga adanya organ yang memiliki asal berbeda namun memiliki bentuk dan fungsi yang sama.



Gambar 11.4 Homologi juga merupakan petunjuk adanya evolusi

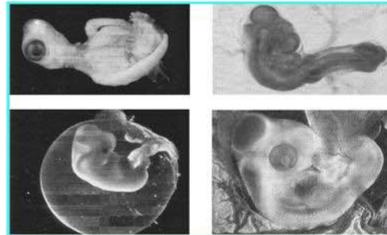
Sumber: *Biology Life on Earth*, 1999: 265

Adanya organ yang memiliki asal sama namun dalam perkembangannya mengalami perubahan struktur dan fungsi inilah yang disebut sebagai homologi.

Contoh organ yang bersifat homologi adalah tangan manusia dengan sayap burung, kaki buaya dengan sayap kelelawar, ataupun dengan sirip dada pada ikan. Organ yang memiliki asal berbeda namun memiliki struktur dan fungsi sama disebut sebagai analogi, contohnya adalah sayap kupu-kupu dengan sayap burung, sayap burung dengan sayap kelelawar.

4. Embriologi Komparativa

Untuk melestarikan hidupnya, organisme melakukan perkembangbiakan. Dalam perkembangannya zigot hasil pembuahan sperma dengan ovum akan berkembang menjadi morula kemudian blastula kemudian gastrula dan akhirnya akan mengalami diferensiasi membentuk organ-organ tubuh.



Gambar 11.5 Perkembangan embrio menjadi individu sebagai petunjuk adanya evolusi

Sumber: *Biology Life on Earth*, 1999: 266

Adanya persamaan dan perbedaan dalam perkembangan embrio menjadi individu ini menunjukkan adanya hubungan kekerabatan antar organisme yang dapat menjadi petunjuk adanya evolusi.

Van Baer mengemukakan pendapatnya mengenai hal ini, yaitu:

- a. Sifat-sifat umum organisme akan muncul terlebih dahulu daripada sifat yang khusus.
- b. Perkembangan sifat dimulai dari yang umum menuju yang khusus.
- c. Binatang yang satu akan memisah secara progresif dari binatang yang lain.
- d. Dalam perkembangannya, hewan-hewan memiliki bentuk embrio yang serupa, namun dewasanya berbeda.

Ernest Haeckel, menyatakan bahwa ada peristiwa ontogeni yang serupa dengan filogeni atau bisa dikatakan bahwa ontogeni merupakan perulangan dari filogeni. Dari sini dia mengemukakan teori rekapitulasi atau teori biogenesis.

5. Peristiwa Domestikasi atau Penjinakan

Dengan adanya domestikasi atau penjinakan, manusia dapat mengubah tumbuhan dan hewan yang liar menjadi lebih bermanfaat setelah melalui beberapa tahapan dan generasi. Adanya proses domestikasi ini juga dapat menjadi petunjuk adanya mekanisme evolusi makhluk hidup.

6. Petunjuk Alat-Alat Tubuh yang Rudimenter atau Tersisa

Adanya alat-alat tubuh yang mengalami rudimenter dapat dianggap menjadi bukti adanya proses evolusi karena sebenarnya sifat alat ini yang pada hakekatnya sudah tidak berguna lagi namun ternyata masih dijumpai.

Contoh-contoh organ yang mengalami rudimenter antara lain:

- a. Pada manusia: adanya apendiks (usus buntu), otot penggerak telinga, tulang ekor.
- b. Burung kiwi: adanya bangunan sisa sayap yang sudah tak berfungsi.
- c. Paus: saat embrio paus memiliki gigi pada rahangnya, namun setelah lahir gigi tersebut mengalami rudimenter, selain itu saat embrio juga memiliki lapisan tubuh yang memiliki rambut dan juga mengalami rudimenter setelah lahir.

7. Petunjuk secara Biokimia

Kandungan zat dari masing-masing individu juga dapat dijadikan sebagai petunjuk evolusi, karena semakin memiliki banyak kandungan yang sama berarti memiliki hubungan kekerabatan yang dekat. Salah satu percobaan yang dapat digunakan untuk mengetahui tingkat kekerabatan adalah uji presipitin yang dilakukan oleh Natael. Yang mendasari

percobaan ini adalah adanya presipitin atau endapan pada suatu reaksi antigen-antibodi. Banyak sedikitnya endapan yang terbentuk mampu dijadikan petunjuk jauh dekatnya sistem kekerabatan yang ada.

Kerjakan Latihan 11.4 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.4

Sebutkan beberapa contoh dari peristiwa domestikasi!

E. Hubungan Mutasi dengan Proses Evolusi

Evolusi dapat terjadi karena variasi genetik dan seleksi alam.

Faktor penyebab terjadinya variasi genetik, yaitu:

1. Adanya mutasi gen.
2. Adanya rekombinasi gen dalam individu.

Mutasi gen merupakan perubahan struktur gen (DNA) yang menyebabkan terjadinya perubahan sifat dari individu dan sifat ini dapat bersifat menurun pada generasi selanjutnya. Mutasi dapat terjadi pada setiap individu, namun mutasi sangat jarang terjadi dan walaupun terjadi biasanya tidak menguntungkan. Dalam tubuh individu yang terdiri atas sel-sel terdapat banyak sekali gen di dalamnya.

Meskipun terdiri atas gen-gen dengan jumlah yang sangat banyak, kemungkinan untuk mengalami mutasi sangatlah kecil sekali. Angka yang menunjukkan jumlah gen yang mengalami mutasi dari seluruh gamet yang dihasilkan oleh satu individu suatu spesies disebut sebagai angka laju mutasi. Angka laju mutasi dari suatu individu sangat rendah, dengan perbandingan 1 : 100.000, yang artinya dalam setiap 100.000 gamet hanya terdapat satu kemungkinan saja gamet yang bermutasi. Meskipun demikian hal ini amatlah penting dalam mekanisme evolusi, karena:

1. Setiap gamet mengandung beribu-ribu gen.
2. Setiap individu menghasilkan ribuan sampai jutaan gamet dalam satu generasi.
3. Jumlah tiap generasi suatu spesies banyak sekali.

Kemungkinan mutasi yang menguntungkan sangat kecil dengan perbandingan 1 : 1000, artinya dalam 1000 kali mutasi hanya ada 1 kemungkinan mutasi yang bersifat menguntungkan. Meskipun sangat kecil, keberadaan mutasi yang menguntungkan tersebut menjadi besar karena dalam satu generasi dihasilkan keturunan yang banyak sekali.

Hal di atas dapat dijelaskan dengan keterangan berikut ini:

1. Angka laju mutasi per gen adalah 1 : 100.000
2. Jumlah gen dalam individu yang bermutasi 1 : 1000
3. Perbandingan mutasi yang menguntungkan dengan jumlah mutasi adalah 1 : 1000
4. Jumlah populasi spesies ada 100 juta
5. Jumlah generasi selama populasi spesies tersebut ada adalah 10.000

Hasil jumlah mutasi yang menguntungkan dari spesies tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

1. Jumlah mutasi yang menguntungkan yang mungkin terjadi pada setiap individu adalah:

$$\frac{1}{100.000} \times 1000 \times \frac{1}{1000} = \frac{1}{100.000}$$

2. Pada setiap generasi akan muncul mutasi gen yang menguntungkan, yaitu:

$$\frac{1}{100.000} \times 100.000.000 = 1000$$

3. Selama populasi spesies itu ada, dengan 10.000 generasi, mutasi yang menguntungkan adalah:

$$1000 \times 10.000 = 10.000.000$$

Dari perhitungan di atas telah jelas bahwa kemungkinan diperoleh mutasi yang menguntungkan dalam satu generasi individu juga sangat besar sehingga kemungkinan didapatkannya spesies yang adaptif besar pula. Mutasi dikatakan menguntungkan jika:

1. Menghasilkan spesies yang bersifat adaptif.
2. Menghasilkan spesies yang memiliki viabilitas (kelangsungan hidup) dan vitalitas (daya hidup) yang tinggi.

Mutasi dikatakan merugikan jika:

1. Menghasilkan gen yang bersifat letal (mematikan).
2. Menghasilkan spesies yang memiliki viabilitas (kelangsungan hidup) dan vitalitas (daya hidup) yang rendah.
3. Spesies yang dihasilkan tidak adaptif.

Kerjakan Latihan 11.5 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.5

Jelaskan perbedaan antara mutasi gen dengan rekombinasi gen!

F. Frekuensi Gen dan Alel dalam Populasi

Frekuensi gen dalam suatu populasi mampu memberikan petunjuk adanya evolusi.

Frekuensi gen adalah perbandingan antara gen yang satu dengan gen yang lain dalam satu populasi. Biasanya frekuensi gen dalam suatu individu disimbolkan dengan dua huruf, misalnya: BB, Bb, bb. Sedangkan kumpulan total gen yang ada dalam suatu populasi pada kurun waktu tertentu disebut sebagai *gene pool*.

Berikut ini adalah contoh perkawinan antara bunga pukul empat berwarna merah yang bergenotif MM dengan bunga pukul empat berwarna putih dengan genotif mm.

P1	:	♀	×	♂
Fenotip	:	Merah		Putih
Genotif	:	MM	×	mm
Gamet	:	M		m
F1	:	Mm (100 %)		warna merah muda
P2				
Fenotip	:	Merah muda	×	Merah muda
Genotif	:	Mm	×	Mm
Gamet	:	M		M
		m		m

F₂ :

♂ \ ♀	M	m
M	MM	Mm
m	Mm	mm

Keterangan:

25% berwarna merah (MM)

50% berwarna merah muda (Mm)

25% berwarna putih (mm)

Berdasarkan hasil persilangan di atas ketika disilangkan antara bunga pukul empat warna merah dengan genotif MM disilangkan dengan bunga pukul empat warna putih dengan genotif mm ternyata semua keturunan pertama (F₁) diperoleh berwarna merah muda dengan genotif Mm. Ketika disilangkan sesama F₂ ternyata didapatkan F₂ dengan frekuensi gen 25 % MM, 50 % Mm dan 25 % mm. Berdasarkan keterangan di atas dapat disimpulkan bahwa frekuensi kesetimbangan F₂ adalah hasil kali dari frekuensi gen dari masing-masing induknya atau dengan persamaan sebagai berikut ini:

$$(M + m) (M + m) = MM + 2Mm + mm \text{ atau } M^2 + 2Mm + m^2$$

Jika dicari formulasi frekuensi gen sampai F₂, akan diperoleh sebagai berikut:

♂ \ ♀	$\frac{1}{4}$ MM	$\frac{2}{4}$ Mm	$\frac{1}{4}$ mm
$\frac{1}{4}$ MM	$\frac{1}{16}$ MM × MM	$\frac{2}{16}$ Mm × MM	$\frac{1}{16}$ mm × MM
$\frac{2}{4}$ Mm	$\frac{2}{16}$ MM × Mm	$\frac{4}{16}$ Mm × Mm	$\frac{2}{16}$ mm × Mm
$\frac{1}{4}$ mm	$\frac{1}{16}$ MM × mm	$\frac{2}{16}$ Mm × mm	$\frac{1}{16}$ mm × mm

Diagram di atas menunjukkan adanya perbandingan kemungkinan terjadinya perkawinan antara jantan dan betina di dalam seluruh populasi F₃. Seandainya dalam populasi tersebut terjadi 32 kali perkawinan, maka:

1. Perkawinan antara MM × MM = $32 \times \frac{1}{16} = 2$ perkawinan
2. Perkawinan antara Mm × Mm = $32 \times \frac{4}{16} = 8$ perkawinan
3. Perkawinan antara Mm × mm = $32 \times \frac{2}{16} = 4$ perkawinan

Misalnya dalam setiap perkawinan didapatkan 10 keturunan, maka akan didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel: Perbandingan kemungkinan terjadinya perkawinan

No.	Tipe perkawinan	Jumlah perkawinan	Jumlah individu genotif		
			MM	Mm	mm
1.	MM × MM	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	20	-	-
2.	MM × Mm	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	20	20	-
3.	MM × mm	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	20	-
4.	Mm × MM	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	20	20	-
5.	Mm × Mm	$\frac{4}{16} \times 32 = 8$	20	40	20
6.	Mm × mm	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	-	20	20
7.	mm × MM	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	20	-
8.	mm × Mm	$\frac{2}{16} \times 32 = 4$	-	20	20
9.	mm × mm	$\frac{1}{16} \times 32 = 2$	-	-	20
	Jumlah	32	80 (25%)	160 (50%)	80 (25%)

Berdasarkan tabel di atas jelaslah bahwa kesetimbangan genotif MM : Mm : mm pada keturunan ketiga (F_3) tetap seperti F_2 , yaitu: MM : Mm : mm = 25 : 50 : 25 = $\frac{1}{4}$: $\frac{1}{2}$: $\frac{1}{4}$

Kerjakan Tugas 11.1 berikut ini yang akan mengembangkan kecakapan sosial dan kecakapan akademik kalian!

Tugas 11.1

Diskusikan dengan teman kalian, bagaimana kemungkinan jumlah *gene pool* dari waktu ke waktu dalam satu populasi?

G. Hukum Hardy – Weinberg

Godfrey Harold Hardy (ahli matematika Inggris) dan Wilhelm Weinberg adalah orang yang pertama kali memperkenalkan dasar-dasar frekuensi alel dan genetik dalam suatu populasi. Teori mereka dikenal sebagai teori Hardy-Weinberg. Menurut mereka frekuensi alel dan genotif dari suatu populasi dari generasi ke generasi selanjutnya pada kondisi-kondisi tertentu selalu tetap. Adapun kondisi-kondisi yang dimaksud adalah:

1. Memiliki vitalitas dan viabilitas yang tinggi.
2. Ukuran populasinya besar.
3. Terjadi perkawinan secara acak (random).
4. Tidak terjadi seleksi alam.
5. Tidak terjadi mutasi.
6. Tidak terjadi migrasi (imigrasi atau emigrasi).

Formulasi dari teori Hardy – Weinberg dapat dijelaskan sebagai berikut:

Menurut teori Hardy- Weinberg hasil perkawinan antara $Aa \times Aa = F_2$, di mana gen $A = p$ dan gen $a = q$, maka secara matematis dapat dituliskan:

$Aa \times Aa$ yang masing-masing induknya membuat gamet $\frac{1}{2} A$ dan $\frac{1}{2} a$, akan menghasilkan frekuensi genotif anaknya sebagai berikut:

$$\left(\frac{1}{2} A + \frac{1}{2} a\right) \left(\frac{1}{2} A + \frac{1}{2} a\right) = \frac{1}{4} AA + \frac{1}{2} Aa + \frac{1}{4} aa$$

Apabila A diganti p dan a diganti q , maka akan menjadi:

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{2} A + \frac{1}{2} a\right) \left(\frac{1}{2} A + \frac{1}{2} a\right) &= \left(\frac{1}{2} p + \frac{1}{2} q\right) \left(\frac{1}{2} p + \frac{1}{2} q\right) \\ &= \left(\frac{1}{4} p^2 + \frac{1}{2} pq + \frac{1}{4} q^2\right) \\ &= p^2 + 2pq + q^2 \end{aligned}$$

Jadi rasio genotif = $p : 2pq : q = 1 : 2 : 1$, karena $A + a = 1$, maka $p + q = 1$, dan $p^2 + 2pq + q^2 = 1$

Kerjakan Tugas 11.2 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan akademik** kalian!

Tugas 11.2

Diskusikan dengan teman kalian mengapa dalam kondisi-kondisi tertentu Hukum Hardy-Weinberg tidak berlaku!

H. Menghitung Frekuensi Gen dalam Populasi

Dalam suatu populasi besarnya frekuensi gen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dari hukum Hardy- Weinberg. Misalnya dalam suatu populasi besarnya frekuensi gen AA adalah 0,64. Tentukan frekuensi gen $A : a$ serta frekuensi gen $AA : Aa : aa$.

Jawab:

$$\text{Frekuensi gen } A = \sqrt{AA} = \sqrt{0,64} = 0,8$$

Jumlah frekuensi gen $A + a = 1$, jadi frekuensi gen $a = 1 - 0,8 = 0,2$.

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi genotif } Aa : Aa : aa &= (0,8 A + 0,2 a) (0,8 A + 0,2 a) \\ &= 0,64 AA + 0,32 Aa + 0,04 aa \end{aligned}$$

1. Dalam suatu populasi penduduk suatu pulau diketahui ada 36 % adalah kelompok perasa kertas PTC (*phenil thiocarbomide*), sedangkan yang lain bukan perasa PTC. Bukan perasa PTC dikendalikan gen t dan perasa PTC dikendalikan oleh gen T . Tentukan frekuensi gen dan genotif dari populasi tersebut!

Jawab:

Diketahui:

Jumlah PTC 36 %

Jumlah populasi 100 %

Ditanya:

Frekuensi gen dan genotif populasi ... ?

Dijawab:

Jumlah populasi = jumlah PTC + jumlah non PTC

$$100 \% = 36 \% + t$$

$$t = 100\% - 36 \%$$

$$t = 64 \%$$

$$\text{maka frekuensi gen } t = \sqrt{0,64} = 0,8$$

di mana $T + t = 1$, sehingga frekuensi gen $T = 1 - 0,8 = 0,2$.

Frekuensi gen T : t = 0,2 : 0,8

Frekuensi genotif $TT : Tt : tt$ adalah

$$= (T + t) (T + t)$$

$$= (0,2 T + 0,8 t) (0,2 T + 0,8 t)$$

$$= 0,04 TT + 0,32 Tt + 0,64 tt$$

Jadi, frekuensi genotif $TT : Tt : tt$ adalah 4 : 32 : 64 atau 1 : 8 : 16

2. Jumlah penduduk kota City 1.000.000 jiwa. Dari jumlah itu ternyata didapatkan 25 orang di antaranya adalah penderita albino. Tentukan persentase genotif pembawa sifat albino dalam masyarakat tersebut !

Jawab:

Diketahui:

Jumlah populasi 1.000.000 jiwa

Penderita albino 25 jiwa

Ditanya:

Frekuensi gen dan genotip . . . ?

Dijawab:

Orang albino aa (q) adalah $25 / 1.000.000 = 0,000025$

$$q = \sqrt{0,000025} = 0,005$$

$$p + q = 1$$

$$p + 0,005 = 1$$

$$p = 1 - 0,005 = 0,995$$

$$p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

Orang pembawa sifat albino dinotasikan $2pq \rightarrow$ sehingga persentase orang pembawa sifat albino adalah:

$$= 2 (0,995 \times 0,005)$$

$$= 0,00995$$

$$= 0,00995 \times 100 \%$$

$$= 0,995 \%$$

Kerjakan Tugas 11.3 berikut yang akan merangsang kalian **berpikir kritis**, mengembangkan **kecakapan sosial** dan **kecakapan akademik** kalian?

Tugas 11.3

Diskusikan dengan teman kalian! Apakah hubungan antara frekuensi gen dalam suatu populasi dan proses evolusi?

I. Menghitung Frekuensi Multiple Alel

Persamaan $p + q = 1$ di atas hanya berlaku ketika terdapat dua alel pada lokus atau ketika terdapat dua sifat beda, ketika nanti ada lebih banyak alel atau sifat beda maka persamaannya juga akan berubah, misalnya sistem golongan darah sistem ABO yang terdiri atas 3 alel yaitu I^A , I^B dan i . Misalnya p mewakili I^A , q mewakili I^B dan r mewakili i , maka persamaan di atas menjadi $(p + q + r) = 1$. Persamaan hukum Hardy-Weinberg untuk sistem golongan darah ABO menjadi:

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

Misalnya: Di SMA Perdamaian terdapat 173 siswa, yang memiliki golongan darah O ada 78 orang, golongan A ada 71 orang, golongan B ada 17 orang dan golongan AB ada 7 orang. Tentukanlah :

- Frekuensi alel I^A , I^B dan i dalam populasi!
- Dari siswa yang bergolongan darah A, berapa kira-kira yang bergenotif $I^A I^A$?
- Dari siswa yang bergolongan darah B berapa kira-kira yang bergenotif $I^B I^B$?

Jawab:

Menurut persamaan hukum Hardy - Weinberg:

$$p^2 I^A I^A + 2pr I^A i + q^2 I^B I^B + 2qr I^B I^o + 2pq I^A I^B + r^2 ii$$

$$a. \quad r^2 = \text{frekuensi golongan O} = \frac{78}{173} = 0,45 \rightarrow r = \sqrt{0,45} = 0,67$$

$$(p + r)^2 = \text{frekuensi golongan A + golongan O}$$

$$= \frac{71+78}{173} = 0,86 \rightarrow p+r = \sqrt{0,86} = 0,93, p = 0,93 - 0,67 = 0,26$$

$$\text{Oleh karena } p + q + r = 1, \text{ maka } q = 1 - (p + r) \rightarrow = 1 - (0,26 + 0,67) = 0,07$$

Jadi, frekuensi dari:

- Alel I^A adalah $p = 0,26$
- Alel I^B adalah $q = 0,07$
- Alel i adalah $r = 0,67$

$$b. \quad \text{Frekuensi genotif } I^A I^A \text{ adalah } = p^2 = (0,26)^2 = 0,07.$$

Jadi dari 71 siswa yang bergolongan darah A diperkirakan yang memiliki genotif $I^A I^A = 0,07 \times 173 = 12$ siswa

$$c. \quad \text{Frekuensi genotif } I^B I^B \text{ adalah } = q^2 = (0,07)^2 = 0,005.$$

Jadi dari 17 siswa yang bergolongan darah B diperkirakan yang memiliki genotif $I^B I^B = 0,005 \times 173 = 1$ siswa

Kerjakan Latihan 11.6 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 11.6

Sebutkan sifat-sifat yang mempunyai multiple alel baik pada hewan ataupun manusia!

J. Menghitung Frekuensi Gen yang Tertaut Kromosom Sex

Alel-alel yang terdapat pada kromosom kelamin mempunyai frekuensi yang berlainan jika dibandingkan dengan frekuensi alel-alel yang terdapat pada autosom. Ini sebagai akibat adanya kromosom yang berbeda pada dua kelamin. Distribusi kesetimbangan dari genotif-genotif p untuk sifat yang tertaut kelamin, dengan $p + q = 1$ adalah sebagai berikut:

Untuk laki-laki = $p + q$, karena genotifnya A dan a
Untuk perempuan = $p^2 + 2pq + q^2$, karena genotifnya AA , Aa , dan aa

Contoh:

Dalam suatu daerah ada 36 % laki-laki yang menderita penyakit buta warna. Hitung berapakah frekuensi genotif wanita normal dan yang buta warna?

Jawab:

(Penyakit buta warna disebabkan oleh alel resesif c yang terangkai pada kromosom X, oleh karena itu wanita yang memiliki alel CC dan Cc adalah normal, sedangkan yang memiliki alel cc adalah buta warna. Laki-laki normal memiliki alel C dan laki-laki buta warna memiliki alel c).

Misalkan p adalah frekuensi untuk alel dominan C dan q adalah frekuensi untuk alel resesif c maka menurut hukum Hardy-Weinberg adalah sebagai berikut:

Frekuensi alel $c = q = 0,36$

Frekuensi alel $C = p = 1 - q \rightarrow 1 - 0,36 = 0,64$

Frekuensi perempuan buta warna adalah $cc = q^2 = (0,36)^2 = 0,1296$

Frekuensi wanita normal (CC dan Cc) adalah:

$$\begin{aligned} p^2 + 2pq &= (0,64)^2 + 2 (0,64) (0,36) \\ &= 0,4096 + 0,4608 \\ &= 0,8704 \end{aligned}$$

Kerjakan Latihan 11.7 berikut yang akan merangsang kalian **berpikir kritis** dan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 11.7

Apakah setiap sifat yang tertaut pada kromosom sex akan diwariskan pada generasi selanjutnya?

K. Perubahan Perbandingan Frekuensi Gen pada Populasi

Keseimbangan gen dalam sebuah populasi dapat mengalami perubahan. Adanya perubahan ini mengakibatkan teorema dari Hardy-Weinberg tidak berlaku. Faktor yang dapat mempengaruhi perubahan tersebut antara lain:

1. Mutasi

Adanya mutasi pada suatu individu akan mempengaruhi struktur *gene pool* yang dimiliki. Karena adanya perubahan tersebut mengakibatkan berubahnya keseimbangan gen-gen dalam populasi tersebut.

2. Seleksi Alam

Terjadinya seleksi alam juga dapat mempengaruhi keseimbangan gen dalam suatu populasi. Seleksi alam menyangkut perbedaan keberhasilan reproduksi suatu individu dalam populasi. Masing-masing individu dalam populasi memiliki tingkat viabilitas, vitalitas, dan fertilitas yang berbeda-beda. Adanya seleksi alam akan menyebabkan transfer alel ke generasi selanjutnya pada jumlah yang tidak proporsional terhadap frekuensi relatif pada generasi yang ada sekarang.

3. Migrasi

Perpindahan makhluk hidup atau migrasi juga dapat menyebabkan kesimbangan *gene pool* dalam suatu populasi dapat berubah sehingga dapat

menyebabkan terjadinya penyimpangan terhadap hukum Hardy-Weinberg.

4. Rekombinasi dan Seleksi

Rekombinasi yang terjadi akibat terjadinya perkawinan silang dapat dijadikan sebagai acuan adanya evolusi karena dengan adanya rekombinasi ini memungkinkan terbentuknya varietas baru yang berbeda dengan yang sudah ada.

Kerjakan Latihan 11.8 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 11.8

Mengapa keseimbangan gen dalam suatu populasi dapat mengalami perubahan!

L. Spesiasi atau Timbulnya Spesies Baru

Gagasan evolusi menyangkut dua proses, pertama perubahan bertahap dalam genotipe dan fenotipe yang terdapat pada organisme hidup perubahan-perubahan tersebut bersifat adaptif, yaitu bahwa organismenya sangat efisien dalam memanfaatkan lingkungan. Kedua adalah pembentukan spesies baru.

Semakin beraneka ragamnya jenis makhluk hidup dan semakin besarnya jumlah populasi dalam suatu tempat tidak lepas dari adanya proses spesiasi atau pembentukan spesies baru. Syarat-syarat terjadinya spesiasi dalam suatu populasi, yaitu:

1. Adanya perubahan lingkungan tempat hidup populasi tersebut.
2. Adanya keanekaragaman dalam populasi tersebut.

1. Isolasi Geografis

Di depan telah dijelaskan bahwa suatu populasi yang mendiami suatu tempat memiliki *gene pool* berbeda dengan populasi lain di tempat yang lain. Namun, akan didapati fakta bahwa suatu populasi yang awalnya memiliki *gene pool* yang sama, menjadi populasi dengan *gene pool* yang terpisah-pisah atau dapat dikatakan bahwa *gene pool* yang efektif antara dua populasi tertentu dapat hilang dari populasi tersebut. Apabila suatu

populasi yang awalnya bersama dipisahkan oleh sebab-sebab geografis, dapat menyebabkan terjadinya penyebaran spesies, sehingga tidak memungkinkan adanya pertukaran gen yang mengakibatkan proses evolusinyapun berjalan terpisah. Dalam kurun waktu tertentu, kedua populasi yang terpisah tadi akan semakin menunjukkan perbedaannya karena masing-masing menjalani proses evolusi dengan caranya sendiri-sendiri. Alasan-alasan mengapa terjadi evolusi karena adanya isolasi geografis dari suatu populasi, antara lain:

- a. Masing-masing populasi yang terpisah mengalami mutasi yang berbeda.
- b. Adanya seleksi alam yang berbeda.
- c. Adanya pergeseran susunan genetik dalam populasi tersebut.

2. Isolasi Intrinsik

Mekanisme yang mencegah terjadinya perkawinan, sehingga tidak terjadi fertilisasi, yang meliputi:

a. Isolasi ekogeografi

Hambatan fisik dapat menjadi penghalang untuk bertemunya antara dua populasi, sehingga mereka akan menyesuaikan dengan lingkungan masing-masing. Ketika dua populasi tersebut bersatu, tidak akan mampu melakukan hibridisasi, karena masing-masing tidak mampu menyesuaikan dengan tempat yang baru.

b. Isolasi habitat

Isolasi ini terjadi karena adanya dua populasi simpatrik yang memiliki habitat berbeda. Bila dikawinkan antar anggota populasi tersebut, menghasilkan keturunan yang steril.

c. Isolasi iklim atau musim

Perbedaan iklim dan musim juga dapat menghalangi dua populasi simpatrik untuk berkembang biak. Misalnya, *Pinus radiata* dan *Pinus muricata*. Kemungkinan keduanya melakukan *interbreeding* sangat kecil karena proses masaknya gamet dalam waktu yang berlainan.

d. Isolasi behaviour atau tingkah laku

Perilaku sangat berperan penting dalam pertumbuhan dan perkawinan organisme. Misalnya, ikan Steakback memiliki cara-cara

tersendiri yang tidak dimiliki oleh jenis ikan lain. Ikan ini memiliki cara percumbuan yang khusus yang dilakukan sebelum kawin.

e. Isolasi mekanik

Adanya perbedaan struktural antara dua individu juga dapat menghalangi proses perkawinan. Misalnya karena adanya perbedaan bentuk morfologi alat kelamin ataupun adanya perbedaan ukuran tubuh yang sangat mencolok yang dapat menjadi penghambat dalam proses perkawinan.

f. Isolasi gamet

Yakni isolasi yang terjadi pada dua spesies yang simpatrik karena sel gamet jantan tidak mempunyai kemampuan hidup dalam saluran kelamin betinanya

g. Isolasi pertumbuhan

Isolasi ini terjadi karena embrio seringkali tidak tumbuh sehingga mengalami kematian.

h. Kematian dari hibrid

Hasil perkawinan antara dua individu seringkali mengalami kecacatan atau lemah sehingga sebelum bereproduksi mengalami kematian.

i. Kemandulan dari hibrid

Beberapa persilangan antarspesies mampu menghasilkan keturunan yang kuat namun steril atau mandul. Misalnya, perkawinan antara kuda dengan keledai yang dapat menghasilkan keturunan yang disebut *mule*, namun pada kenyataannya keturunannya ini adalah binatang yang steril atau mandul.

j. Eliminasi selektif dari hibrid

Bila terdapat dua populasi yang simpatrik melakukan perkawinan, dapat terjadi pembuahan dan menghasilkan keturunan yang fertil atau subur. Jika keturunannya tersebut bersifat adaptif, maka akan mampu hidup, namun jika tidak adaptif maka akan mengalami kepunahan.

3. Domestikasi

Domestifikasi atau proses penjinakan biasanya disengaja oleh manusia untuk menjadikan hewan atau tumbuhan yang semula liar menjadi tidak liar. Pada dasarnya proses ini berlangsung dengan memindahkan hewan

atau tumbuhan dari habitat aslinya ke lingkungan yang telah diciptakan oleh manusia. Domestikasi dapat mengarah terjadinya variasi yang mengarah terbentuknya spesies baru. Contohnya adalah domestikasi anjing.

4. Terbentuknya Spesies Baru Akibat Poliploidi

Proses poliploidi secara umum terjadi pada tumbuh-tumbuhan. Misalnya, pada fase anafase sel mengalami disjungsi sehingga gamet yang dihasilkan bersifat diploid. Jika gamet ini dibuahi oleh gamet yang haploid akan menghasilkan keturunan triploid, atau bila dibuahi gamet diploid maka keturunannya akan tetraploid. Jadi sangat memungkinkan terjadi poliploidi. Penyebab poliploidi adalah:

a. Autopoliploidi

Merupakan suatu proses yang menyangkut suatu perbanyakan jumlah kromosom di dalam organisme normal yang disebabkan oleh tidak adanya pemisahan kromosom saat pembelahan sel berlangsung.

b. Allopoliploidi

Merupakan perbanyakan jumlah kromosom (biasanya menjadi dua kali) dari suatu hibrid yang terjadi dari dua spesies. Proses ini terjadi karena adanya persilangan dua individu yang jumlah set kromosomnya berbeda.

Tahukah kamu?

Evolusi Finch di Galapagos Berhasil Diamati

Salah satu spesies burung finch darat yang berukuran sedang, memilih untuk mengembangkan paruh yang berukuran kecil. Hal tersebut dilakukan setelah daerah jelajahnya kedatangan burung pesaing yang lebih besar dalam 20 tahun terakhir. "Perubahan ukuran paruh menunjukkan bahwa persaingan untuk memperoleh jenis makanan dapat mendorong evolusi," kata penelitiannya Peter Grant dari Universitas Princeton. Paruh yang kecil akan lebih menguntungkan karena dapat digunakan untuk memangsa biji-bijian yang lebih kecil.

Penemuan ini sangat berharga sebab perubahan makhluk hidup karena persaingan jarang bisa diamati. "Umumnya, perubahan fisik dapat diamati pada makhluk hidup yang berpindah habitat atau mengalami perubahan iklim sehingga harus menemukan sumber makanan baru," kata Robert C. Fleischer, seorang pakar genetika di Museum Sejarah Alam dan Kebun Binatang Nasional Smithsonian.

Menurut Fleischer, ini merupakan kasus evolusi mikro yang berhasil didokumentasikan. Grant mendokumentasikannya dengan baik setelah mempelajari burung finch selama puluhan tahun. Sebelumnya, ia berhasil melacak perubahan tubuh burung karena perubahan pola musim yang juga berdampak pada ketersediaan sumber makanannya. Grant mempelajari burung finch darat berukuran sedang dari jenis *Geospiza fortis* yang sebelumnya tidak menghadapi persaingan untuk

mendapatkan makanan berukuran kecil maupun besar. Pada 1982, populasi burung finch darat yang berukuran lebih besar, *Geospiza magnirostris*, masuk ke wilayah tersebut. Burung finch yang berukuran lebih besar memangsa biji-bijian berukuran besar dari tumbuhan *Tribulus*. Karena memiliki paruh lebih besar, *Geospiza magnirostris* dapat memecah biji-bijian yang berukuran besar tiga kali lebih cepat daripada finch yang berukuran sedang. Biji-bijian besar yang merupakan sumber makanan finch berukuran sedang mulai berkurang. Apalagi, curah hujan tahunan sangat rendah sepanjang 2003 dan 2004. Tingkat kematian spesies *Geospiza fortis* yang memiliki paruh relatif besar meningkat sehingga populasi yang tersisa hanya yang memiliki paruh kecil yang dapat memecah biji-bijian kecil. Selain itu, finch dengan paruh kecil tidak perlu bersaing dengan *Geospiza magnirostris* yang hanya mencari biji-bijian besar. Begitulah proses evolusi yang disebut pergeseran karakter di mana seleksi alam akan menghasilkan perubahan bagi generasi berikutnya. Grant melaporkan hasil pengamatannya dalam jurnal *Science*.

(Sumber: www.kompas.co.id)

Kerjakan tugas berikut ini yang akan menumbuhkan **etos kerja, kreativitas, rasa ingin tahu**, dan mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Tugas 11.4

Telah banyak pendapat yang menjelaskan tentang evolusi, dari penjelasan-penjelasan tersebut ada yang pro dan kontra terhadap proses evolusi. Dan tentunya pendapat-pendapat tersebut disertai dengan alasan-alasan yang kuat. Carilah dari berbagai referensi yang ada tentang pendapat-pendapat yang pro dan kontra dengan teori evolusi tersebut dan diskusikan dengan teman sekelas kalian!

Rangkuman

1. Evolusi adalah suatu proses perubahan pada organisme secara berangsur-angsur serta memerlukan waktu yang relatif lama.
2. Proses evolusi memiliki kecenderungan untuk tetap dapat bertahan hidup atau evolusi progresif atau bahkan sebaliknya, yaitu menuju ke kepunahan atau evolusi regresif.
3. Menurut Dobzanky evolusi dapat digolongkan menjadi evolusi kosmik, evolusi biologi dan evolusi peradaban.

4. Secara garis besar pendapat atau teori Darwin mengenai evolusi dapat dibagi menjadi dua, yaitu konsep perubahan secara evolusi dan konsep terjadinya seleksi alam.
5. Hal-hal yang dapat dijadikan sebagai petunjuk adanya evolusi di masa lalu antara lain:
 - a. Adanya variasi antar individu dalam satu spesies.
 - b. Fosil sebagai petunjuk adanya evolusi.
 - c. Anatomi komparativa yaitu adanya homologi dan analogi.
 - d. Embriologi komparativa.
 - e. Peristiwa domestikasi atau penjinakan.
 - f. Petunjuk alat-alat tubuh yang rudimenter atau tersisa.
 - g. Petunjuk secara biokimia
7. Spesiasi atau proses terbentuknya spesies baru dapat diakibatkan karena adanya isolasi geografis, isolasi intrinsik, domestikasi atau penjinakan, dan karena adanya poliploidisasi.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d atau e!

1. Berdasarkan teori evolusi orang menduga bahwa Vertebrata darat yang pertama mungkin
 - a. amfibi yang masih menyerupai ikan
 - b. ikan yang sudah menyerupai amfibi
 - c. amfibi yang menyerupai reptil
 - d. reptil yang menyerupai amfibi
 - e. aves yang menyerupai reptil
2. Daun kaktus yang tereduksi seperti bentuk duri merupakan suatu bentuk penyesuaian terhadap lingkungan gurun. Pendapat ini sejalan dengan apa yang dikemukakan oleh
 - a. Wallace
 - b. Lamarck
 - c. Sutton
 - d. Morgan
 - e. Darwin

3. Dasar evolusi Darwin adalah
 - a. nenek moyang manusia adalah kera
 - b. spesies yang kuat akan membunuh yang lemah
 - c. spesies sekarang berasal dari spesies yang dulu
 - d. adanya perubahan secara perlahan-lahan dalam waktu lama
 - e. adanya perubahan yang bersifat menurun
4. Penemuan fosil yang ditemukan pada lapisan bumi dipakai untuk menerangkan teori evolusi adalah fosil
 - a. kera
 - b. manusia
 - c. dinosaurus
 - d. kuda
 - e. gajah
5. Bila suatu individu mengalami perubahan gen dari gen aslinya, maka perubahan gen semacam ini disebut sebagai
 - a. variasi
 - b. adaptasi
 - c. mutasi
 - d. evolusi
 - e. revolusi
6. Hal-hal berikut ini yang **tidak dapat** menyebabkan spesiasi adalah
 - a. isolasi
 - b. domestikasi
 - c. seleksi
 - d. mutasi
 - e. adaptasi
7. Organ berbagai makhluk hidup yang mempunyai asal sama dan kemudian berubah struktur sehingga fungsinya berbeda disebut
 - a. monolog dan analog
 - b. analog
 - c. homolog
 - d. berbeda sama sekali
 - e. sama fungsi
8. Proses evolusi biologi pada lautan berkembang dari organisme heterotrof menjadi organisme
 - a. autotrof
 - b. saprofit
 - c. saproba
 - d. xerofil
 - e. halofil

9. Frekuensi gen yang berubah dapat menunjukkan adanya proses evolusi, yang dipengaruhi faktor-faktor
 - a. mutasi
 - b. transmigrasi
 - c. rekomendasi
 - d. imigrasi
 - e. emigrasi
10. Yang dimaksud seleksi adalah
 - a. mencari sifat akhir
 - b. mencari sifat yang diinginkan
 - c. mencari bibit unggul
 - d. membuang sifat yang diinginkan
 - e. mencari bibit yang besar

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan petunjuk-petunjuk terjadinya evolusi berdasarkan pendapat Darwin!
2. Jelaskan hubungan antara mutasi dengan evolusi!
3. Jelaskan kapan atau dalam kondisi bagaimana hukum Hardy - Weinberg tidak berlaku!
4. Dari 50.000.000 jiwa penduduk kota Jakarta yang bergolongan darah AB sebanyak 18%. Perbandingan gen pembawa gen A dan B adalah sama. Tentukan jumlah penduduk Jakarta yang memiliki golongan darah B dan O!
5. Jelaskan istilah-istilah berikut!
 - a. Evolusi
 - b. Analogi
 - c. Homologi
 - d. Mutasi gen

Kerjakan tugas berikut ini yang akan menumbuhkan **etos kerja, kreativitas, rasa ingin tahu**, dan mengembangkan **kecakapan sosial** kalian!

Tugas Portofolio

Buatlah kliping yang berhubungan dengan evolusi organisme! Sumber materi dapat menggunakan majalah, koran, buku ataupun dari internet. Kerjakan secara berkelompok dan presentasikan hasilnya di depan kelas !

Bab XII

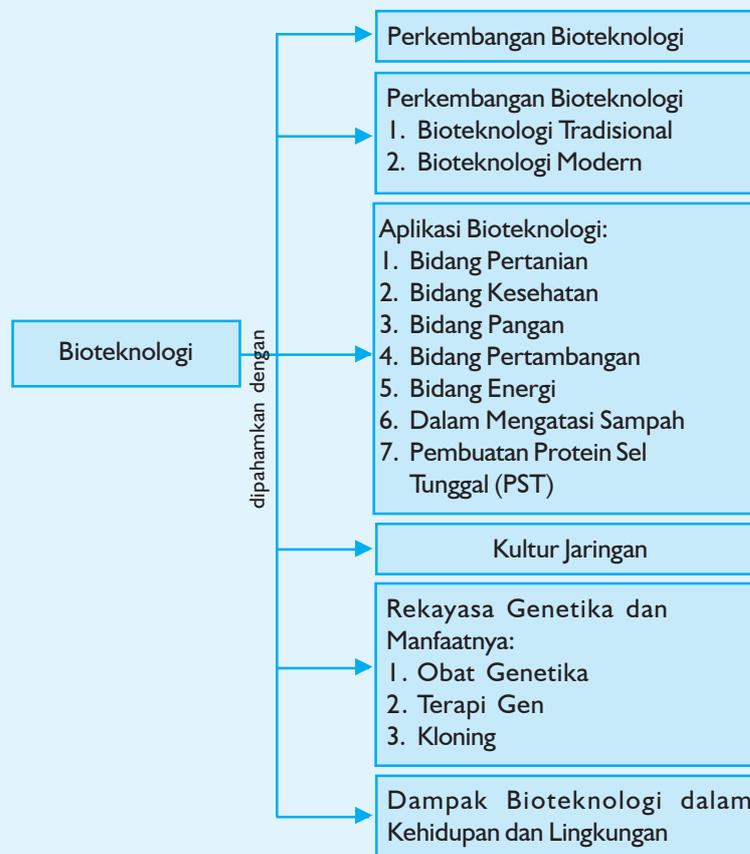
Bioteknologi



Tujuan Pembelajaran:

Sumber gambar : www.trubus.online.com

Setelah mempelajari bab ini, kalian dapat memanfaatkan produk berteknologi dengan optimal serta mampu membuat produk bioteknologi yang bermanfaat bagi kehidupan.



Setelah peta konsep kalian kuasai, perhatikan kata kunci yang merupakan kunci pemahaman dalam bab ini! Berikut ini **kata kunci** dari bab XII:

1. Bioteknologi
2. Rekayasa Genetika
3. Mikroorganisme



Gambar 12.1 Manusia mampu mengembangkan pemikirannya dalam menciptakan teknologi pertanian

Sumber: Ensiklopedi Umum untuk Pelajar, 2005

Jumlah penduduk bumi yang semakin bertambah berbanding lurus dengan tingkat kebutuhannya pula. Ketika hanya mengandalkan pada sumber daya alam yang ada dapat diperkirakan kurang mencukupi, karena antara tingkat peningkatan kebutuhan dengan tingkat "pemuas" kebutuhan tersebut tidak seimbang. Oleh karena itu, diperlukan suatu terobosan untuk dapat mencukupi dan meningkatkan kesejahteraan manusia. Salah satu caranya adalah dengan pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi melalui bioteknologi.

A. Pengertian Bioteknologi

Bioteknologi berasal dari kata *bios* yang artinya makhluk hidup, *teknos* yang artinya aplikasi atau penerapan dan *logos* yang berarti ilmu. Sehingga bioteknologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang penerapan makhluk hidup melalui suatu tahapan dan proses untuk menghasilkan suatu produk guna meningkatkan kesejahteraan manusia.

Bioteknologi berhubungan dengan mikrobiologi yang mempelajari semua makhluk hidup yang berukuran sangat kecil, biokimia yang mempelajari organisme dari aspek kimianya, biologi sel yang mempelajari tentang sel dan juga genetika yang mempelajari tentang hal-hal yang berhubungan dengan pewarisan sifat. Sehingga bioteknologi bukanlah satu cabang ilmu khusus, namun merupakan suatu cabang ilmu yang terintegrasi dengan cabang ilmu yang lain atau bisa dikatakan juga bahwa bioteknologi merupakan salah satu ilmu terapan.

Kerjakan Latihan 12.1 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 12.1

Buatlah hubungan antara bioteknologi dengan mikrobiologi, biokimia dan biologi sel!

B. Perkembangan Bioteknologi

1. Bioteknologi Tradisional atau Konvensional

Disadari ataupun tidak sebenarnya manusia telah mengenal bahkan telah menerapkan bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari sudah sejak jaman dulu. Ketika orang dulu telah mampu membuat tempe, tape serta minuman beralkohol, itu semua sebenarnya adalah penerapan dari bioteknologi. Orang dulu mendapatkan ilmu cara membuat tempe dan tape secara turun temurun dan tanpa melalui pengkajian secara ilmiah. Umumnya mereka membuat itu semua hanya untuk mencukupi kebutuhan mereka sendiri tanpa ada pemikiran untuk memperjualbelikan atau memproduksi dalam jumlah yang banyak. Dari sini dapat disimpulkan bahwa bioteknologi tradisional memiliki ciri-ciri:

- a. Ilmu yang didapatkan merupakan warisan turun temurun dan berdasarkan kebiasaan semata.
- b. Hanya diproduksi dalam skala kecil untuk mencukupi kebutuhan masing-masing.
- c. Belum ada pengkajian prinsip-prinsip ilmiah.

2. Bioteknologi Modern

Seiring dengan perkembangan IPTEK, bioteknologi juga mengalami perkembangan yang pesat dan semakin canggih. Sekarang telah ditemukan bagaimana cara kloning, rekayasa genetika, terapi gen, bayi tabung dan juga kultur jaringan. Semua itu merupakan bagian dari bioteknologi modern yang sekarang. Untuk menemukan itu semua memerlukan proses panjang yaitu melalui pengkajian prinsip-prinsip ilmiah yang mendalam.

Kerjakan Latihan 12.2 berikut yang akan mengembangkan kecakapan personal dan kecakapan akademik kalian!

Latihan 12.2

Apakah ciri-ciri bioteknologi modern? Jelaskan sesuai pengetahuan kalian masing-masing!

C. Pemanfaatan Mikroorganisme dalam Bioteknologi

Baik bioteknologi tradisional ataupun modern, dalam praktiknya semua menggunakan jasa dari mikroorganisme. Alasan-alasan digunakannya mikroorganisme dalam kerja bioteknologi adalah sebagai berikut:

1. Mudah dan sangat cepat dikembangbiakan.
2. Mudah diperoleh.
3. Sifat-sifat dari mikroorganisme mudah diubah sesuai dengan keinginan kita.
4. Mampu hidup hanya dengan menggunakan sisa dari organisme lain.
5. Mampu menghasilkan produk yang tidak membahayakan.
6. Dalam kerjanya tidak membutuhkan tambahan zat dari luar tubuhnya karena telah mampu menghasilkan enzim sendiri.

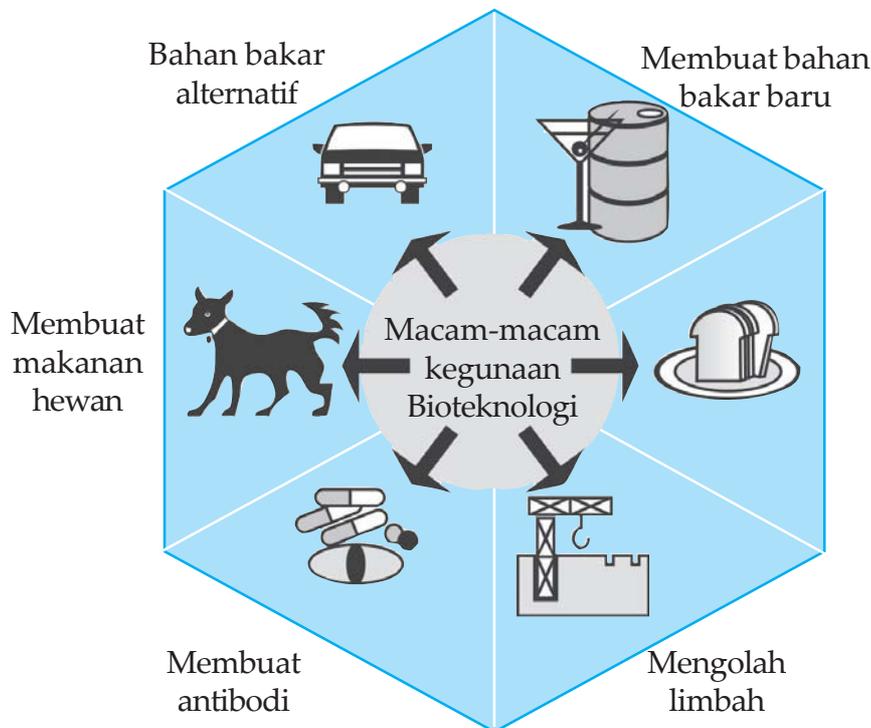
Kerjakan Latihan 12.3 berikut yang akan mengembangkan kecakapan akademik dan menambah wawasan kontekstual kalian!

Latihan 12.3

Sebutkan contoh mikroorganisme yang berperan dalam bioteknologi baik bioteknologi tradisional maupun modern! Sebutkan pula contoh-contoh hasil bioteknologi tersebut di sekitar kalian!

D. Aplikasi Bioteknologi dalam Kehidupan

Dalam kehidupan, hampir semua bidang kehidupan telah mampu merasakan penerapan dari bioteknologi.



Gambar 12.2 Aplikasi bioteknologi dalam kehidupan

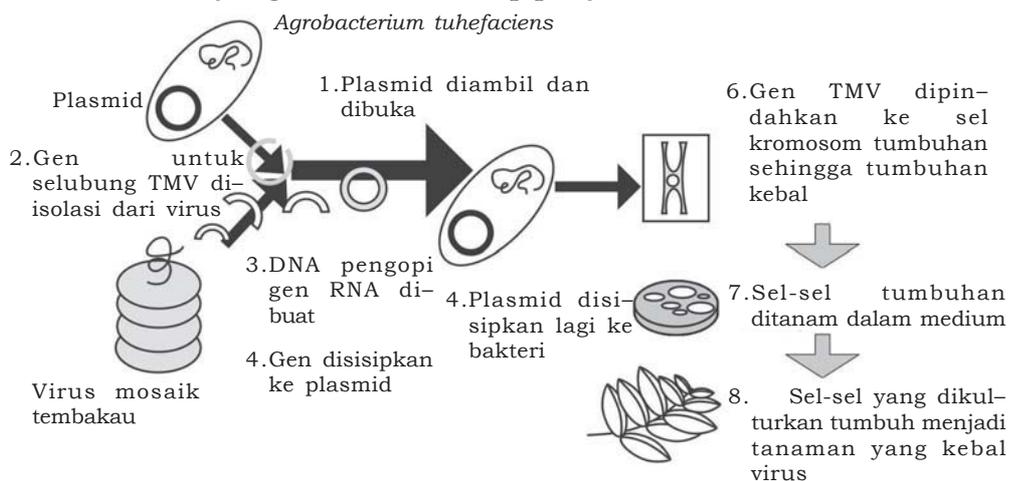
Sumber: www.Wikipedia.org

1. Dalam Bidang Pertanian

Aplikasi bioteknologi dalam bidang pertanian antara lain adalah:

- Telah ditemukannya berbagai varietas bibit tahan hama serta tanaman yang tahan terhadap hama. Misalnya, bibit padi IR64 yang memiliki umur pendek dan daya produksi tinggi. Varietas ini diperoleh dari radiasi dan seleksi biji padi.
- Adanya pola tanam hidroponik, yaitu sistem tanam tanpa menggunakan media tanah.
- Adanya tanaman yang tahan hama.

Misalnya adalah tanaman tembakau yang tahan terhadap penyakit TMV (*Tobacco Mozaik Virus*). Semula materi genetik dari virus mozaik diambil dan digabungkan dengan DNA plasmid bakteri, setelah itu DNA plasmid yang telah mengandung gen virus mozaik tadi dimasukkan dalam kromosom tumbuhan tembakau. Jaringan tanaman tembakau yang telah disisipi tadi lalu diperbanyak melalui kultur jaringan dalam media sehingga akan dihasilkan tanaman tembakau yang resisten terhadap penyakit TMV.



Gambar 12.3 Proses rekayasa tanaman tembakau tahan TMV

Sumber : www.wikipedia.org

- Dihasilkannya bioinsektisida dari mikroba

Bacillus thuringiensis (Bt) merupakan salah satu jenis bakteri yang mampu menghasilkan racun atau toksin yang mampu membunuh serangga. Tanaman yang telah disemprot dengan kristal racun Bt, ketika termakan oleh serangga kristal racun tadi akan merusak jaringan pada organ pencernaan dan racun akan masuk dalam darah sehingga menyebabkan kematian pada serangga tersebut.

2. Dalam Bidang Pangan

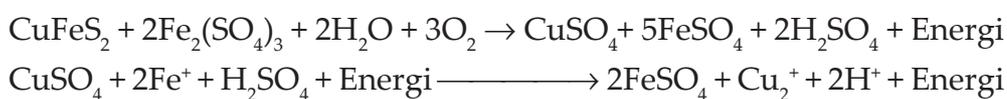
Di sekitar kita banyak sekali kita jumpai jenis makanan dan minuman yang prosesnya dibantu oleh mikroorganisme. Perhatikan Tabel 12.1 berikut.

Tabel 12.1 Beberapa produk yang dibantu mikroorganisme dalam prosesnya

No.	Produk	Nama mikroorganisme
1.	Kecap	<i>Aspergillus wentii</i>
2.	Tempe	<i>Rhizopus oryzae</i>
3.	Oncom	<i>Neurospora sitopila</i>
4.	Tape	<i>Saccharomyces cerevicae</i>
5.	Yoghurt	- <i>Streptococcus thermophylus</i> - <i>Lactobaccilus bulgarius</i>
6.	Nata de coco	<i>Acetobacter xylinum</i>
7.	Keju dan mentega	- <i>Streptococcus lactis</i> - <i>Streptococcus cremoris</i>

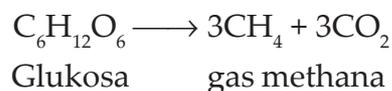
3. Dalam Bidang Pertambangan

Pemanfaatan mikroorganisme dalam bioteknologi juga dapat dimanfaatkan dalam pertambangan. Penggunaan mikroorganisme adalah dalam pemisahan logam dari bijihnya, misalnya adalah *Thiobacillus oxidans* dan *Thiobacillus ferrooxidans*. Reaksi:



4. Dalam Menghasilkan Gas Bio

Semakin tipisnya sumber energi di bumi menuntut adanya alternatif sumber energi lain untuk dapat mencukupi kebutuhan akan energi yang semakin meningkat. Biogas atau gas bio adalah salah satu jawaban dari semakin langkanya energi yang ada. Gas bio dihasilkan dari penguraian senyawa organik oleh bakteri methana (*Methano bacter*) yang dilakukan secara anaerob.



Dengan melalui reaksi di atas penguraian glukosa dihasilkan gas bio dalam bentuk gas methana yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar pengganti kayu dan minyak tanah.

5. Dalam Bidang Kesehatan

Majunya dunia kedokteran sekarang ini juga tidak lepas dari peran bioteknologi, misalnya adalah ditemukannya vaksin, antibiotik, interferon, antibodi monoklonal, dan pengobatan melalui terapi gen.

a. Antibiotik

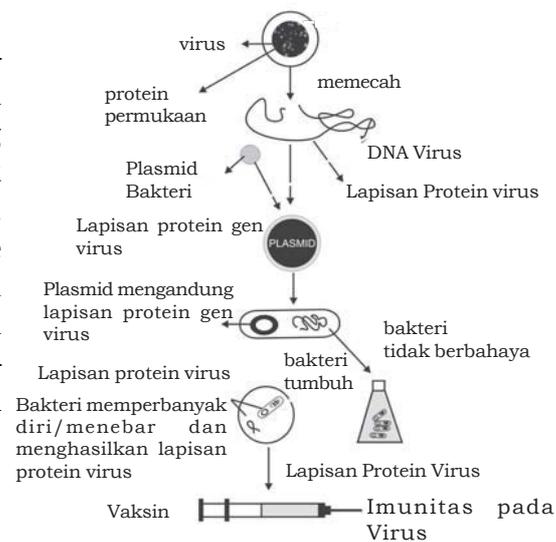
Yang dimaksud antibiotik, yaitu senyawa atau zat yang dihasilkan suatu organisme yang mampu menghambat pertumbuhan organisme lain. Orang yang pertama kali menemukan antibiotik adalah Alexander Flemming yang menemukan penisilin dari jamur *Penicillium notatum*. Mulai saat itulah penemuan-penemuan antibiotik yang lain mulai bermunculan. Perhatikan Tabel 12.2 berikut!

Tabel 12.2 Beberapa contoh antibiotik

No.	Mikroorganisme	Antibiotik
1.	<i>Penicillium notatum</i>	Penisilin
2.	<i>Chepalosporium</i>	Sefalosporin
3.	<i>Streptomycin aureofaciens</i>	Tetrasiklin
4.	<i>Streptomycin fasiens</i>	Aureomisin
5.	<i>Sterptomycin griceus</i>	Sterptomisin
6.	<i>Sterptomycin venezuelae</i>	Kloramfenikol

b. Vaksin

Vaksin merupakan mikro-organisme atau bagian dari suatu mikroorganisme yang telah dilemahkan sehingga tidak membahayakan. Vaksin bisa berasal dari mikroorganisme yang telah dilemahkan atau dimatikan bahkan berasal dari zat yang dihasilkan mikro-organisme tersebut kemudian dilemahkan.



Gambar 12.4 Proses pembuatan vaksin melalui rekayasa genetika

Sumber: www.wikipedia.org

c. Antibodi monoklonal

Antibodi monoklonal merupakan antibodi sejenis yang dihasilkan oleh plasma klon sel-sel yang sejenis. Antibodi monoklonal dihasilkan dari sel-sel hibridoma atau sel hasil penggabungan dari dua sel yang berbeda.

d. Interferon

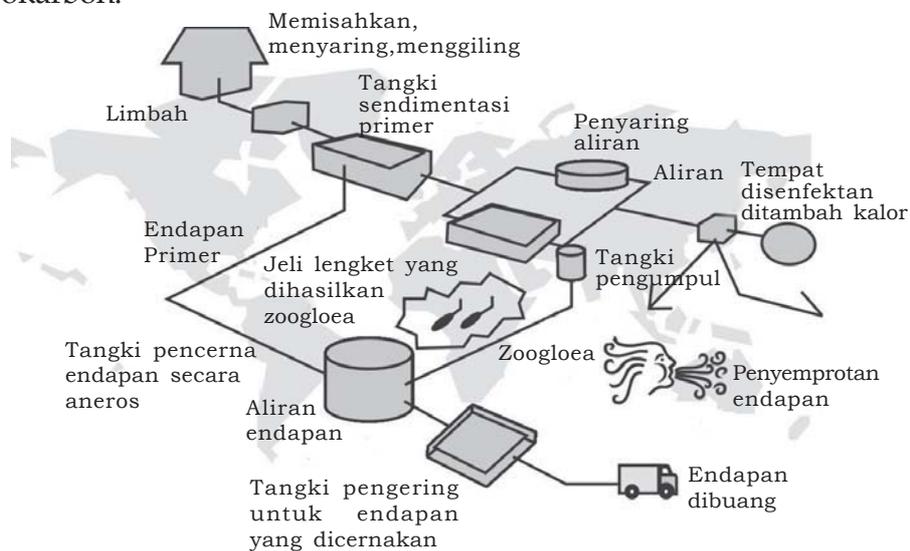
Interferon merupakan jenis antibodi yang digunakan untuk melawan virus. Tubuh secara alami mampu membentuk antibodi ini, namun sangat lambat dibandingkan kecepatan virus dalam berkembang biak. Oleh karena itu, dalam pembuatan interferon ini dilakukan secara rekayasa genetika.

e. Terapi gen

Pengobatan penyakit yang bersifat menurun dengan cara menyisipkan gen normal dalam sel yang memiliki gen penyebab sakit tersebut merupakan proses terapi gen.

6. Dalam Bidang Mengatasi Masalah Sampah

Ketika sampah yang menumpuk semakin menjadi masalah, bioteknologi dapat menjawab tantangan tersebut. Pemanfaatan mikroba pencerna sampah terutama sampah organik dapat mengatasi semakin banyaknya sampah, misalnya pencemaran oleh minyak dapat diatasi dengan bakteri *Pseudomonas* yang mampu mengonsumsi senyawa hidrokarbon.



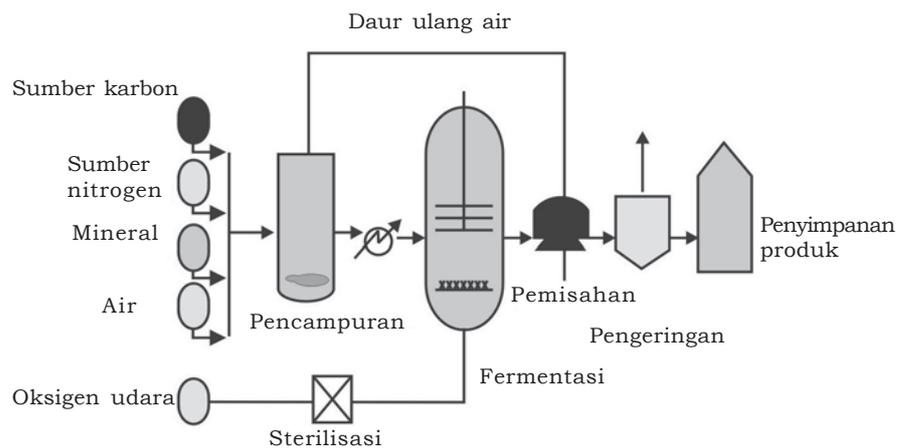
Gambar 12.5 Skema pengolahan limbah

Sumber: www.wikipedia.or

Proses pengolahan limbah dapat dilakukan secara aerob ataupun anaerob. Bakteri yang dimasukkan ke dalam bak penampungan sampah akan mencerna sampah yang ada. Sampah yang sudah tercerna dapat dibuang ke lingkungan ketika air sudah dipisahkan dengan endapan limbah yang sudah tidak berbahaya lagi.

7. Pembuatan Protein Sel Tunggal (PST) atau Single Cell Protein (SCP)

Kebutuhan protein yang tinggi menuntut ditemukannya sumber protein baru. Protein sel tunggal yang berasal dari bakteri dan ganggang merupakan alternatif sumber protein baru. Contoh mikroorganisme yang sekarang banyak dibudidayakan sebagai PST antara lain *Spirulina* (ganggang biru), *Chlorella* (ganggang hijau), *Fusarium graminearum* (jamur) dan *Methylophylus methylotrophus* (bakteri). PST biasanya dikemas dalam bentuk kapsul atau obat sehingga mudah untuk dikonsumsi. Namun, perlu diingat bahwa PST kandungan asam nukleatnya tinggi sehingga jika mengonsumsi berlebih dapat mengakibatkan reumatik.



Gambar 12.6. Skema pembuatan PST

Sumber: www.wikipedia.org

Kerjakan Latihan 12.4 berikut yang akan mengembangkan **kecakapan personal** dan **kecakapan akademik** kalian!

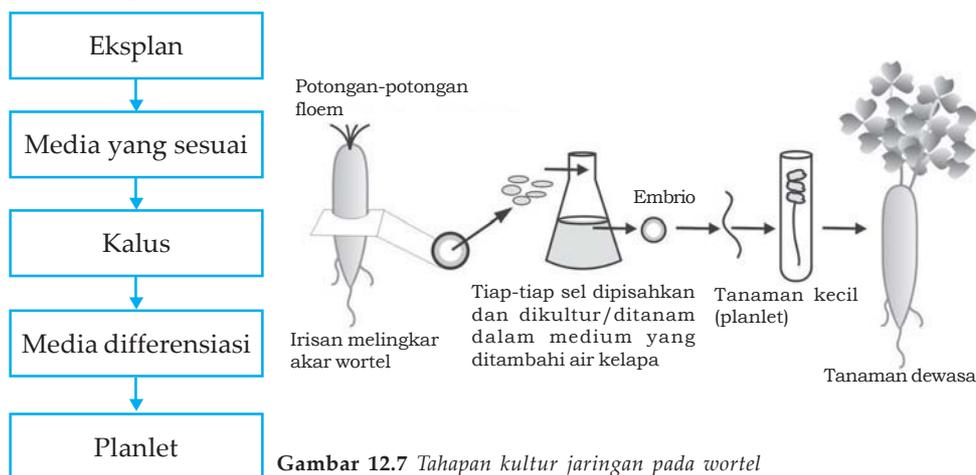
Latihan 12.4

Apakah aplikasi bioteknologi dalam kehidupan bisa merugikan? Diskusikan dengan kelompok kalian masing-masing!

E. Kultur Jaringan

Salah satu aplikasi bioteknologi yaitu dengan kultur jaringan. Kultur jaringan tanaman merupakan teknik menumbuh kembangkan bagian tanaman, baik berupa sel, jaringan atau organ dalam kondisi aseptik secara *in vitro*. Teknik kultur jaringan dicirikan dengan kondisi yang aseptik atau steril dari segala macam bentuk kontaminan, menggunakan media kultur yang memiliki kandungan nutrisi yang lengkap dan menggunakan ZPT (*zat pengatur tumbuh*), serta kondisi ruang tempat pelaksanaan kultur jaringan diatur suhu dan pencahayaannya. (Yusnita, 2003: 1).

Sebenarnya kultur jaringan merupakan salah satu bentuk kloning pada tumbuhan. Tumbuhan dapat diperbanyak melalui proses kultur jaringan karena memiliki sifat totipotensi, yaitu bahwa setiap sel tanaman yang hidup dilengkapi dengan informasi genetik dan perangkat fisiologis yang lengkap untuk tumbuh dan berkembang menjadi tanaman utuh. Proses kultur jaringan dimulai dengan memotong bagian tanaman yang akan dibiakkan dalam media kultur. Bagian tanaman yang akan dikulturkan ini disebut sebagai eksplan. Umumnya bagian tanaman yang dijadikan eksplan adalah jaringan yang masih muda dan bersifat meristematis, karena memiliki daya regenerasi yang tinggi dan masih aktif membelah. Eksplan kemudian diletakkan dalam media kultur yang sesuai. Eksplan tadi akan terus membelah membentuk masa sel yang belum terdiferensiasi, yaitu kalus. Kalus kemudian dipindah dalam media diferensiasi yang akan terus tumbuh dan berkembang menjadi tanaman kecil atau planlet.



Gambar 12.7 Tahapan kultur jaringan pada wortel

Sumber: www.wikipedia.org

Kelebihan kultur jaringan antara lain:

1. Tidak memerlukan tempat yang luas.
2. Tanaman bisa diperbanyak dalam waktu yang singkat.
3. Pelaksananya tidak tergantung pada musim.
4. Bibit yang dihasilkan lebih sehat.
5. Memungkinkan adanya rekayasa genetika.

Selain itu juga memiliki kelemahan-kelemahan, yaitu:

1. Diperlukan biaya awal yang relatif tinggi.
2. Hanya mampu dilakukan oleh orang-orang tertentu saja, karena memerlukan keahlian khusus.
3. Bibit hasil kultur jaringan memerlukan proses aklimatisasi, karena terbiasa dalam kondisi lembap dan aseptik. (*Yusnita, 2003:8*).

Kerjakan Tugas 12.1 berikut yang akan menumbuhkan semangat **kewirausahaan, etos kerja, inovatif, kreativitas, daya saing** dan mengembangkan **kecakapan hidup** kalian!

Tugas 12.1

Bereksperimenlah untuk membiakkan tanaman melalui kultur jaringan, mintalah bimbingan dari guru kalian!

F. Rekayasa Genetika

Rekayasa genetika artinya adalah suatu proses perubahan gen-gen dalam tubuh makhluk hidup. Rekayasa genetika dilakukan dengan cara mengisolasi dan mengidentifikasi serta memperbanyak gen yang dikehendaki.

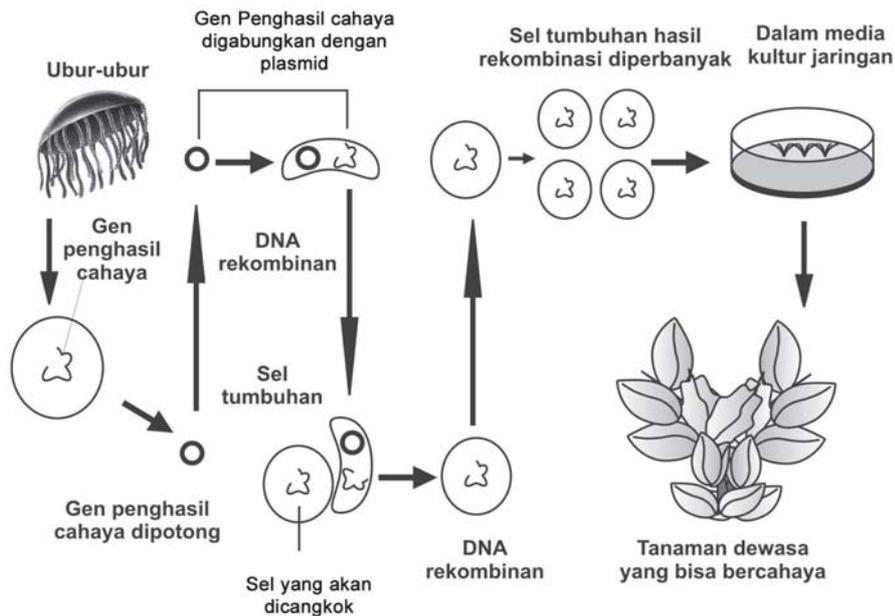
Tahapan rekayasa genetika dimulai dengan memotong DNA yang akan dimanipulasi dan menyambungkan potongan DNA tadi pada DNA lain sehingga akan didapatkan DNA campuran atau DNA rekombinan. Untuk memotong DNA digunakan gunting biologi, yaitu enzim restriksi endonuklease dan untuk menggabungkan potongan DNA dengan DNA lain juga dipergunakan enzim, yaitu enzim ligase.

Adapun tahap-tahap yang dilakukan untuk membuat DNA rekombinan ataupun klon DNA meliputi:

1. Mengekstraksi DNA yang dikehendaki.
2. Mengeluarkan DNA yang akan diklon dari dalam sel.

3. Memotong DNA tadi menggunakan enzim restriksi endonuklease.
4. Menggabungkan potongan DNA tadi dengan DNA lain dengan menggunakan enzim ligase.

Dalam proses rekayasa genetika untuk mengembangkan DNA yang diinginkan membutuhkan pembawa atau vektor, yang biasanya digunakan sebagai vektor, yaitu DNA plasmid dari bakteri.



Gambar 12.8 Proses rekayasa genetika tanaman bercahaya

Sumber: www.mieliestronk.com

Contoh aplikasi rekayasa genetika adalah dengan dihasilkannya tanaman yang mampu menghasilkan cahaya pada malam hari. Tanaman ini mampu memancarkan cahaya sehingga sewaktu gelap seakan-akan tanaman ini bercahaya. Prosesnya gen penghasil cahaya diambil dari tubuh ubur-ubur yang mampu bercahaya kemudian ditransplantasikan pada plasmid bakteri dan setelah itu di DNA rekombinan jadi banyak di cangkokkan pada sel tanaman kemudian dibiakkan secara kultur jaringan sehingga diperoleh tanaman yang mampu bercahaya. Hal seperti ini dimanfaatkan untuk membuat pohon natal yang mampu menghasilkan cahaya sendiri ataupun sekarang juga telah ada tikus yang bercahaya karena dalam selnya juga telah dicangkokkan gen dari ubur-ubur yang bercahaya.

Dalam kehidupan sehari-hari manfaat rekayasa genetika, antara lain:

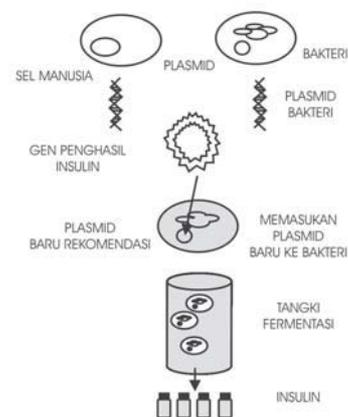
1. Obat Genetika

a. Membuat obat

Kemajuan teknologi sekarang membuat yang kelihatannya dulu tidak mungkin menjadi mungkin. Dulu para ilmuwan harus membuat obat dengan mengambil zat dari hewan atau tumbuhan atau membuatnya dengan bahan kimia, selain prosesnya lama hasilnya juga tidak seperti yang diharapkan. Sekarang para ilmuwan telah berusaha untuk membuat zat-zat tubuh seperti faktor pembeku darah dan hormon insulin dengan memanfaatkan bakteri yang telah direkayasa genetika.

b. Pembuatan organ tubuh

Pencangkokan organ tubuh mungkin saja mengalami kegagalan apabila tubuh menolak organ yang dicangkokkan tersebut. Sekarang telah diusahakan menumbuhkan jaringan-jaringan sel baru dan kemungkinan organ-organ secara lengkap untuk dikembangkan dari sel-sel yang diklon dari seorang pasien. Juga sangat memungkinkan menambahkan gen manusia pada hewan sehingga hewan mampu menumbuhkan organ yang sempurna untuk ditransplantasikan pada manusia.



Gambar 12.9 Proses rekayasa genetika hormon insulin

Sumber: www.wikipedia.org

2. Terapi Gen

Terapi gen dapat diartikan sebagai upaya memperbaiki atau mengganti gen-gen yang menyebabkan suatu penyakit. Terapi ini dilakukan dengan mengganti gen-gen yang tidak dapat bekerja dengan salinan gen yang normal ke dalam sel.

3. Kloning

Kloning dapat dilakukan dengan transfer gen, transfer, embrio dan transfer inti. Organisme hasil kloning akan memiliki salinan genetika yang sama persis dengan makhluk hidup yang lain.

a. Transfer gen

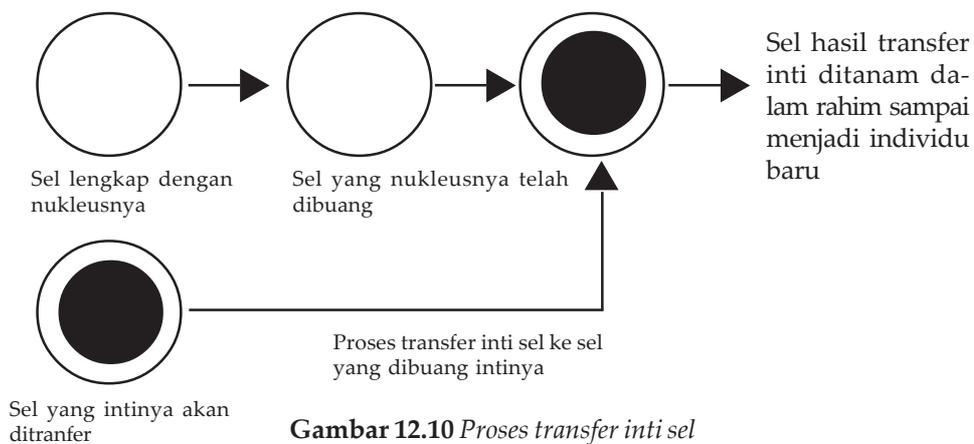
Kloning ini dilakukan dengan menyisipkan potongan gen yang dikehendaki dari suatu spesies ke spesies lain sehingga spesies yang diklon tadi akan memiliki sifat tambahan sesuai dengan gen yang telah disisipkan ke dalam sel tubuhnya.

b. *Transfer embrio*

Transfer embrio ini dilakukan dengan jalan mengambil ovum kemudian membuahnya dengan sperma, setelah terjadi zigot yang akan berkembang menjadi embrio, embrio-embrio ini ditransfer atau ditanam dalam rahim individu betina sampai lahir menjadi individu dewasa.

c. *Transfer inti*

Prinsip dari transfer inti yaitu dengan memasukkan inti sel (nukleus) dari satu spesies ke dalam sel spesies lain yang sebelumnya inti selnya telah dibuang atau dikosongkan.



Gambar 12.10 Proses transfer inti sel

Kerjakan Latihan 12.5 berikut ini yang akan menumbuhkan **rasa ingin tahu** dan mengembangkan **kecakapan personal** serta **kecakapan akademik** kalian!

Latihan 12.5

Sebutkan dan jelaskan cara-cara rekayasa reproduksi pada manusia!

G. Dampak Bioteknologi terhadap Kehidupan Manusia

Bioteknologi selain mendatangkan manfaat juga menimbulkan masalah-masalah baru dalam kehidupan manusia, antara lain:

1. Terjadinya kontroversi dalam masyarakat.

2. Dalam bidang kesehatan, timbulnya alergi yang diakibatkan karena mengonsumsi produk tanaman transgenik.
3. Adanya ketergantungan pada teknologi.
4. Terdesaknya atau bahkan menyebabkan kepunahan sebagian plasma nutfah asli karena yang dikembangkan sekarang hanyalah produk hasil rekayasa genetika saja.

Tahukah kamu?

Dampak Teknologi Rekayasa Genetik pada Sumber Daya Alam

Globalisasi dan pasar bebas jelas akan memberikan dampak kegoncangan yang sangat kompleks dalam segala segi kehidupan di semua negara terutama negara-negara berkembang. Indonesia sebagai negara agraris akan terkena dampak dalam ketahanan pangan nasional. Ironis sekali bahwa pada awal 1998, ada yang menyebutkan bahwa globalisasi akan merupakan "zaman keemasan" karena Indonesia akan lebih luas menjual produk-produk dalam negeri. Pandangan tersebut terlalu optimistik, bahkan sebaliknya Indonesia sudah dalam cengkeraman ketidakberdayaan mandiri. Dengan jumlah penduduk yang nyaris mencapai 220 juta, kerawanan pangan merupakan ancaman serius di masa mendatang. Di awal tahun 70-an, revolusi hijau seakan menjanjikan pemecahan masalah bagi negara-negara berbasis pangan beras. Untuk menunjang revolusi hijau, IRRI (*International Rice Research Institute*) di Filipina telah mengumpulkan jenis-jenis padi dari seluruh dunia penghasil beras dari Indonesia. Dari revolusi hijau telah dibuat galur-galur baru yang lebih cepat tumbuh, umur pendek, peka terhadap pemupukan kimia, tetapi hal ini menimbulkan permasalahan baru dari sifat-sifat tersebut. Kerawanan terhadap hama ditanggulangi dengan penggunaan pestisida-pestisida baru. Keunggulan produk revolusi hijau diketahui telah meminggirkan pemanfaatan/ penggunaan benih-benih lokal/tradisional, di samping oleh sebab-sebab mengejar hasil panen yang tinggi. Akibat penggunaan galur-galur baru tersebut menimbulkan lahan-lahan padi cenderung bersifat monokultur. Hal ini sangat memungkinkan timbulnya "ledakan hama" yang makin lama makin sukar ditanggulangi. Apapun hasil Revolusi Hijau tidak membuat para petani makin sejahtera, karena Revolusi Hijau Tahap II (pengembangan tata niaga produk) tidak dilakukan.

Periode akhir Revolusi Hijau kemudian dikembangkan benih-benih baru yang merupakan hibrid.

Konsekuensi penggunaan benih hibrid hanya untuk satu kali panen karena apabila padi yang dihasilkan pada panen pertama dan dilanjutkan untuk lahan berikutnya akan mengurangi hasil panen, kecuali beli benih baru. Awal tahun 90-an telah dikembangkan teknologi baru, yaitu Teknologi Rekayasa Genetik, suatu teknologi canggih padat modal. Teknologi Rekayasa Genetik memungkinkan suatu tanaman baru dengan ciri-ciri baru, dengan kemampuan baru dikembangkan dengan teknik pemindahan gen atau bagian gen dari makhluk apapun ke makhluk apapun walaupun sangat jauh kekerabatannya. Sebagai contoh gen dari virus, bakteri, tanaman, hewan dan manusia dipisahkan dan disisipkan ke bakteri, tanaman-tanaman dan hewan-hewan melalui proses yang rumit, dan proses tersebut hanya dapat dilakukan di laboratorium canggih dan tidak dapat terjadi di alam. Dengan kata lain, Teknologi Rekayasa Genetik telah mengubah tatanan genetik (tatanan yang mengatur sifat-sifat alami) dari hasil evolusi yang berlangsung dalam skala jutaan tahun "dalam waktu seketika".

Apakah Aman dan Bermanfaat menggunakan Organisme Hasil Rekayasa Genetik?

Masalah pemanfaatan Teknologi Rekayasa Genetik telah disepakati dalam Konvensi Keanekaragaman Hayati pada tahun 1992 oleh sekitar hampir 200 negara kecuali Amerika Serikat (negara teknologi maju) dan membutuhkan sekitar 10 tahun untuk menghasilkan kesepakatan baru (Protokol Cartagena) yang membahas pengamanan pengiriman produk-produk hasil rekayasa genetik antarnegara. Mengapa diperlukan pengamanan spesifik? Hal ini disebabkan adanya potensi produk rekayasa genetik memberikan dampak merugikan pada alam hayati dan kesehatan manusia. Indonesia telah menandatangani kedua kesepakatan tersebut. Soal pengiriman produk rekayasa genetik sudah diatur ketat, apakah Indonesia sudah ada aturan yang sama ketat atau harus lebih ketat?

Resiko Penggunaan Tanaman Hasil Rekayasa Genetik

Walaupun dijanjikan keunggulan tanaman transgenik (tanaman hasil rekayasa genetik), antara lain : ketahanan terhadap hama dan penyakit, ketahanan terhadap herbisida, peningkatan kualitas produk (gandum=*baking quality*), penundaan kematangan buah (tomat dan melon) sehingga pemasakan buah dapat diatur dan sebagainya, kekhawatiran pemanfaatan tanaman transgenik di alam terbuka sangat nyata, dan resiko kemungkinan dampak negatif terhadap kehidupan dan

kesehatan memang sudah secara "inherent" (sudah ada di dalam komponen asing yang dikandungnya, antara lain penggunaan promoter CaMV-35S (promoter dari virus CaMV) untuk memastikan gen asing yang disisipkan akan diungkapkan di organisme/tanaman baru, keharusan penggunaan gen-gen anti herbisida dan pencerna antibiotik sebagai bagian syarat seleksi hasil penyisipan gen-gen asing, dan gen-gen yang berfungsi sebagai gen pelapor (*reporter gene*) yang umum tidak dimiliki oleh organisme penerima gen. Resiko-resiko tersebut menjadi lebih signifikan oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. *Gen cry* (ada 9 jenis) yang menentukan dibentuknya protein toksik (dan setiap bagian tubuh tanaman termasuk pollen, serbuk sari) ternyata tidak cukup selektif terhadap hewan target, sehingga dapat mengurangi keanekaragaman hayati insekta berguna. Penggunaan tanaman transgenik dengan *gen cry* ternyata juga masih perlu menggunakan pestisida lain.
2. Dimungkinkan juga "penyeberangan"/pemindahan gen antartanaman tidak sama spesies, bahkan berbeda genus (terbukti pada tanaman kanola, penghasil minyak goreng). Kenyataan ini dapat dipandang sebagai kemampuan biologis yang tidak dapat diprediksi lebih dini. Teoritis tidak dapat, kenyataannya memang bisa terjadi.
3. Penggunaan tanaman transgenik tahan herbisida (untuk tujuan memberantas gulma secara kimia) memang menggunakan gen-gen pencerna herbisida yang berasal dari bakteri, dapat mengakibatkan meningkatnya kandungan herbisida di lahan pertanian. Keberadaan herbisida di lahan pertanian dan produk pertanian sangat membahayakan kesehatan para petani dan konsumen.
4. Sampai sekarang belum ditemukan teknologi yang dapat melacak dan "mengakhiri" keberadaan gen-gen asing di organisme yang bukan target.
5. Apakah masalah keamanan akibat tanaman transgenik perlu diatur secara nasional atau bagian dari otonomi daerah? Mengingat dampak negatif tanaman transgenik tidak mengenal daerah-daerah administrasi (kabupaten, provinsi), peraturan keamanan hayati sudah tentu bersifat nasional. Apakah ada aturan "dilarang menulari" tanaman lokal yang diakibatkan oleh tanaman transgenik?
6. Mengingat benih tanaman transgenik (yang juga merupakan tanaman hibrid) merupakan produk perusahaan multi-nasional, maka sangat besar kemungkinan ketergantungan petani akan benih-benih.

Pertanian Organik Menjamin Keramahan terhadap Lingkungan dan Kesehatan

Pertanian organik telah banyak dilakukan di banyak negara bahkan negara maju teknologi seperti Jepang dan negara-negara Skandinavia. Pertanian organik ditandai dengan penggunaan benih-benih lokal/tradisional, benih-benih lain yang bukan hibrid (hasil pemuliaan konvensional), tidak/sangat terbatas menggunakan pupuk kimia, lebih banyak memanfaatkan pupuk alami (hasil pengomposan sisa tanaman, kotoran hewani (tinja dan urine hewan), menggunakan pengetahuan dan kearifan lokal/tradisional. Penggunaan pupuk organik jelas memperbaiki kondisi tanah secara berkelanjutan. Penggunaan pupuk kimia dapat mengakibatkan kandungan nitrat dalam sayuran terlalu tinggi dan hal itu dapat menimbulkan kekhawatiran timbulnya karsinogen yang dapat memicu timbulnya penyakit kanker. Hal seperti tersebut mengakibatkan ekspor sayuran ke Singapura dan Malaysia ditolak karena kandungan nitrat yang melampaui batas minimal.

Sumber: www.berita-bumi.com

Kerjakan Tugas 12.2 berikut yang akan mendorong kalian **mencari informasi lebih jauh** dan membuka wawasan kalian dalam **pelestarian keanekaragaman makhluk hidup**.

Tugas 12.2

Aplikasi bioteknologi dalam kehidupan sangat pesat. Salah satunya adalah dengan adanya tanaman transgenik di sekitar kita. Bagilah kelas dalam beberapa kelompok, carilah informasi dari media di sekitar kalian mengenai keunggulan dan kerugian mengembangkan tanaman transgenik! Presentasikan hasil kalian di depan kelas dengan kelompok kalian dan bandingkan hasilnya dengan kelompok yang lain!

Rangkuman

1. Bioteknologi dapat diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang penerapan makhluk hidup melalui suatu tahapan dan proses untuk menghasilkan suatu produk guna meningkatkan kesejahteraan manusia.

2. Bioteknologi dapat dikatakan sebagai *applied science* atau ilmu terapan karena bioteknologi berintegrasi dengan cabang ilmu yang lain, misalnya mikrobiologi, biokimia, genetika, dan biologi sel.
3. Dimanfaatkannya mikroorganisme dalam bioteknologi karena berbagai alasan, antara lain; cepat berkembang biak, mudah didapatkan, tidak beracun, mampu hidup dari zat sisa, dan sifatnya dapat dikendalikan.
4. Aplikasi bioteknologi dalam bidang pertanian, antara lain ditemukannya varietas bibit unggul, tanaman tahan hama, bioinsektisida, hidroponik. Dalam bidang pangan dengan adanya berbagai produk makanan serta ditemukannya sumber makanan berprotein tinggi seperti PST. Bioteknologi juga dapat diterapkan dalam pertambangan, pengolahan sampah, dan dunia kesehatan dengan ditemukannya vaksin, antibiotik, interferon, terapi gen, dan antibodi monoklonal.
5. Proses kultur jaringan merupakan kloning pada tumbuhan, yang meliputi pemilihan eksplan dan menumbuhkannya sehingga menjadi kalus dan planlet.
6. Rekayasa genetika artinya adalah suatu proses pengubahan gen-gen dalam tubuh makhluk hidup.
7. Mekanisme kloning dapat dilakukan dengan transfer gen, transfer embrio, dan transfer inti.



Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d* atau *e*!

1. Untuk memotong DNA yang akan ditransplantasikan digunakan gunting biologi yang berupa
 - a. enzim hidrolase
 - b. enzim ligase
 - c. enzim restriksi endonuklease
 - d. pemanasan
 - e. enzim amilase

2. Yang dimaksud plasmid adalah
 - a. DNA pada virus
 - b. RNA virus
 - c. DNA dalam mitokondria
 - d. DNA di luar kromosom pada bakteri
 - e. DNA dalam kloroplas
3. Berikut ini adalah kelemahan dari Protein Sel Tunggal adalah
 - a. selulosa mudah dicerna
 - b. dapat menyembuhkan asam urat
 - c. proteinnya tinggi
 - d. asam nukleatnya tinggi
 - e. dinding selnya tersusun atas protein
4. Ilmu yang paling mendasari rekayasa genetika adalah

a. fisiologi	d. genetika
b. mikrobiologi	e. biologi sel
c. biokimia	
5. Manfaat adanya kultur jaringan pada tumbuhan adalah sebagai berikut, *kecuali*
 - a. tidak memerlukan tempat yang luas
 - b. waktunya singkat
 - c. jumlahnya lebih banyak
 - d. tidak semua orang bisa melakukannya
 - e. hasilnya seragam
6. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut ini:
 - 1) *Hilangnya patogenitas*
 - 2) *Hilangnya natigenitas*
 - 3) *Diberikan pada orang sehat*
 - 4) *Menimbulkan kekebalan alami*
 - 5) *Bibit penyakit yang telah dilemahkan*
 Pernyataan-pernyataan yang berhubungan dengan vaksin adalah

a. 1, 2 dan 3	d. 1, 4, dan 5
b. 2, 3 dan 4	e. 1, 3, dan 5
c. 3, 4 dan 5	

7. Keberhasilan rekayasa genetika tidak lepas dari adanya kemampuan plasmid yang berperan sebagai
 - a. penyambung gen asing
 - b. pembawa gen asing dalam sel bakteri
 - c. penghasil antibodi
 - d. penerjemah kode genetik
 - e. tempat sintesis protein
8. Sel yang diperoleh dari peleburan dua tipe sel somatik hasil isolasi dari jaringan yang berbeda menjadi satu sel tunggal disebut sebagai
 - a. zigot
 - b. sel yang diklon
 - c. khimera
 - d. sel rekombinan
 - e. hibridoma
9. Perbanyak tanaman melalui stek dan mencangkok merupakan bagian paling sederhana dari proses
 - a. kultur jaringan
 - b. kloning
 - c. mutasi
 - d. rekayasa genetika
 - e. rekombinasi gen
10. Pembuatan insulin dengan menyisipkan gen pembentuk insulin dengan gen bakteri adalah salah satu contoh aplikasi bioteknologi yang disebut
 - a. kultur jaringan
 - b. kloning
 - c. mutasi
 - d. rekayasa genetika
 - e. transplantasi

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut ini dengan benar dan jelas!

1. Sebutkan cara kerja toksin *Bacillus thuringensis* sebagai bioinsektisida!
2. Jelaskan perbedaan antara kloning gen, kloning embrio dan kloning inti!
3. Jelaskan secara singkat tahapan dari proses kultur jaringan!
4. Jelaskan langkah-langkah dalam kloning DNA!
5. Jelaskan istilah-istilah berikut!
 - a. Terapi gen
 - b. Antigen
 - c. Aklimatisasi
 - d. Vektor

Kerjakan tugas portofolio berikut ini yang akan menumbuhkan **daya saing** kalian dan membangkitkan **rasa syukur kalian kepada Tuhan Yang Maha Esa** yang telah menciptakan berbagai macam tumbuhan yang dapat dimanfaatkan manusia!

Tugas Portofolio

Tujuan:

Pembuatan Nata de Aloe

Alat dan Bahan:

1. Kompor
2. Panci
3. Toples
4. Tali karet
5. Kertas payung
6. *Aloe vera* (lidah buaya)
7. Ekstrak taugé
8. Gula pasir
9. Air
10. Asam cuka

Cara Kerja:

1. *Aloe vera* (lidah buaya) diblender sampai halus kemudian disaring sehingga didapatkan ekstraknya saja.
2. Ekstrak *Aloe vera* ditambah ekstrak taugé dan juga ditambah gula pasir direbus sampai mendidih.
3. Setelah mendidih diangkat dan didinginkan sampai dingin.
4. Tambahkan asam cuka dan bibit nata (*Acetobacter xylinum*) ke dalam bahan yang telah didinginkan tadi!
5. Masukkan dalam toples dan tutup dengan kertas atau kain!
6. Biarkan selama 2 minggu sampai terbentuk lapisan nata dalam toples tersebut!
7. Ambil nata yang sudah jadi dan potong-potong seperti kubus!
8. Rendam potongan nata tadi selama ± 3 hari (setiap hari air yang digunakan untuk merendam diganti)!
9. Rebus potongan nata tadi dengan air gula atau sirup dan siap untuk dikonsumsi!

Pertanyaan:

1. Apa fungsi penambahan ekstrak taugé dan asam cuka?
2. Bagaimana proses terbentuknya nata?

Evaluasi

Semester II

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d*, atau *e*!

1. Yang disebut bapak evolusi ialah
 - a. Lamarck
 - b. Louis Pasteur
 - c. Lyell
 - d. Erasmus Darwin
 - e. Charles Darwin
2. Salah satu dasar pokok yang menentukan timbulnya evolusi Darwin adalah adanya "*struggle for life*" yang berarti
 - a. populasi yang kuat akan hidup terus
 - b. untuk bereproduksi perlu adanya makanan dan ruangan yang cukup
 - c. setiap populasi cenderung bertambah banyak
 - d. terjadinya perjuangan untuk mempertahankan hidup
 - e. bertambahnya individu tidak berlangsung terus-menerus
3. Untuk dapat mengetahui adanya evolusi dapat diselidiki dengan diketemukannya fosil. Dari perkembangan fosilnya, yang lengkap dan ditemukan pada setiap zaman geologi adalah
 - a. dinosaurus
 - b. kuda
 - c. gajah
 - d. manusia purba
 - e. kera
4. Yang termasuk organ homolog adalah
 - a. sayap burung dengan sayap kupu-kupu
 - b. sayap burung dengan tangan manusia
 - c. sirip dada ikan dengan kaki manusia
 - d. kaki manusia dengan kaki burung
 - e. sayap belalang dengan sayap kelelawar
5. Ajaran Darwin tentang evolusi didasarkan pada pokok-pokok pikiran sebagai berikut, *kecuali*
 - a. tidak ada dua individu yang sama
 - b. setiap populasi cenderung untuk bertambah banyak
 - c. untuk berkembangbiak perlu makanan dan ruang yang cukup

- d. kenyataan menunjukkan bahwa perkembangan populasi tidak berjalan sama
 - e. adanya dua individu yang sama
6. Setelah tempat sarang nyamuk disemprot DDT, ternyata banyak populasi nyamuk menjadi resisten terhadap DDT. Hal ini merupakan suatu bukti bahwa
- a. DDT dapat membinasakan semua organisme
 - b. nyamuk yang secara alamiah resisten terhadap DDT, lebih mempunyai kemampuan untuk bertahan dan bereproduksi
 - c. DDT menyebabkan gen menghasilkan suatu enzim
 - d. DDT menyebabkan nyamuk menjadi resisten terhadap DDT
 - e. nyamuk tersebut sangat menyukai DDT
7. Frekuensi gen yang berubah dapat menunjukkan adanya proses evolusi, yang dipengaruhi faktor
- a. mutasi
 - b. emigrasi
 - c. imigrasi
 - d. transmigrasi
 - e. rekombinasi
8. Setiap populasi cenderung untuk bertambah banyak, tetapi pertumbuhannya tidak berjalan terus-menerus, hipotesis ini dikemukakan oleh
- a. Darwin
 - b. Lamarck
 - c. Sutton
 - d. Buffon
 - e. Weisman
9. Proses evolusi biologi pada lautan berkembang dari organisme heterotrof menjadi organisme
- a. xerofit
 - b. saproba
 - c. halofit
 - d. autotrof
 - e. saprofit
10. Individu yang tidak memiliki sifat sesuai dengan lingkungannya dan kalah dalam persaingan akan musnah. Hal ini disebabkan
- a. alam mengadakan seleksi terhadap makhluk hidup di dalamnya
 - b. terbatasnya jumlah bahan makanan di alam
 - c. untuk bertambah banyak individu memerlukan makanan yang cukup
 - d. untuk hidup terus, individu harus mampu beradaptasi dengan lingkungan
 - e. kondisi alam selalu berubah
11. Penggunaan bahan biologi terutama mikroorganisme dalam proses yang memerlukan keahlian teknik untuk memperoleh produk dan jasa disebut

- a. biofilter
 - b. kloning
 - c. biopestisida
 - d. rekayasa genetika
 - e. bioteknologi
12. Bioteknologi melalui rekayasa genetika berhasil memodifikasi bakteri yang dapat menambat N dan mampu melekat pada akar tanaman selain polongan. Bakteri yang dimaksudkan adalah
- a. *Rhizobium*
 - b. *Azetobacter*
 - c. *Clostridium*
 - d. *Nitrobacter*
 - e. *Nitrosomonas*
13. Kultur jaringan mempunyai tujuan
- a. memperoleh bibit unggul dengan cepat
 - b. membiakkan macam jaringan tertentu
 - c. menghambat timbulnya jaringan poliploid
 - d. menanam tumbuhan dalam kultur air
 - e. mengembangkan jaringan meristem
14. Bioteknologi dimanfaatkan oleh manusia untuk berbagai keperluan. Pernyataan di bawah ini yang merupakan pemanfaatan bioteknologi adalah
- a. kecap dihasilkan oleh *Aspergillus oryzae*
 - b. *Thiobacilus* untuk mengubah limbah
 - c. penisilin dihasilkan oleh *Penicillium camemberti*
 - d. *Rhizobium* untuk mengubah amonium menjadi nitrat
 - e. *Bacillus thuringensis* menghasilkan endotoksin untuk biopestisida
15. Mikroorganisme yang telah dimanfaatkan sebagai pestisida biologi karena mampu menghasilkan suatu toksin pembunuh larva ngengat tetapi tidak berbahaya terhadap insekta lain, mamalia, dan aves adalah
- a. *Trichoderma barzianum*
 - b. *Bacillus thuringiensis*
 - c. *Bacillus subtilis*
 - d. *Baculovirus heliotis*
 - e. *Bacillus nato*
16. Teknologi DNA rekombinan dalam rekayasa genetik adalah
- a. pemotongan gen tertentu untuk dibuang
 - b. menggantikan gen dengan gen lain yang diinginkan
 - c. mengidentifikasi gen tertentu untuk pemotongan
 - d. mencari gen tertentu yang cocok dengan DNA bakteri
 - e. penyambungan gen tertentu dengan DNA bakteri

17. Bakteri *Escherichia coli* sering digunakan sebagai inang untuk DNA yang akan direkayasa karena
- bakteri tersebut mudah dibiakkan
 - bakteri tersebut mudah didapatkan
 - bakteri tersebut tidak menyebabkan penyakit
 - bakteri memiliki DNA yang lengkap
 - bakteri tersebut dapat dimasuki vektor
18. Antibodi monoklonal adalah antibodi yang dihasilkan oleh
- hibridoma berbagai jenis sel
 - hibridoma satu jenis sel
 - bakteri berbagai jenis sel
 - bakteri satu jenis sel
 - virus satu jenis
19. Berikut ini adalah nama-nama ilmu:
- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1) <i>Genetika</i> | 4) <i>Biokomia</i> |
| 2) <i>Sitologi</i> | 5) <i>Biometri</i> |
| 3) <i>Mikrobiologi</i> | |
- yang menunjang bioteknologi, adalah
- 1, 2, 3, 4
 - 2, 3, 4, 5
 - 1, 3, 4, 5
 - 1, 2, 4, 5
 - 1, 2, 3, 5
20. Yang digunakan sebagai wahana untuk meniadakan potongan benang DNA ke dalam sel mikroorganismenya adalah
- kromosom
 - gen
 - plasmid
 - gunting biologi
 - lem biologi

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar dan jelas!

- Sebutkan pokok-pokok pikiran Darwin tentang evolusi!
- Bagaimana perbedaan pandangan tentang evolusi jerapah antara Jean Baptiste Lamarck dan Darwin?
- Saat ini bioteknologi berkembang dengan baik. Hal ini adalah berkat berkembangnya beberapa bidang ilmu serta teknik tertentu. Sebutkan ilmu dan teknik-teknik tersebut!
- Sebutkan manfaat transplantasi gen!
- Apa yang dimaksud kultur jaringan?

Evaluasi Akhir

A. Pilihlah satu jawaban yang paling benar dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf a, b, c, d, atau e!

- Lapisan yang terdapat di sekitar endosperma dan mampu menghasilkan enzim aktif disebut . . .
 - aleuron
 - epidermis
 - kutikula
 - mesofil
 - lentisel
- Respon biji terhadap kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan disebut . . .
 - perkembangan
 - degenerasi
 - regenerasi
 - imbibisi
 - dormansi
- Hormon berikut ini yang mempengaruhi pembentukan bunga adalah
 - rhizokalin
 - antokalin
 - filokalin
 - kaulokalin
 - asam traumalin
- Pada prinsipnya glikolisis adalah reaksi pengubahan senyawa glukosa menjadi asam piruvat. Dalam peristiwa tersebut juga dihasilkan
 - asetil ko - A
 - NAOH dan ATP
 - air dan O₂
 - ATP
 - NADH dan FADH
- Enzim yang terlibat dalam reaksi penambahan hidrogen atau pelepasan oksigen disebut
 - dehidrasi
 - oksidasi
 - hidrolisis
 - reduksi
 - dekarboksilasi
- DNA berfungsi menurunkan sifat-sifat keturunan. Pembuatan RNA duta oleh DNA disebut
 - translasi
 - replikasi
 - mutasi
 - transkripsi
 - antisense

7. Hasil akhir dari lintasan glikolisis menghasilkan molekul
 - a. asam lipoat
 - b. asam sitrat
 - c. asam piruvat
 - d. asetil koenzim A
 - e. asam oksaloasetat
8. Fotosintesis mengalami dua tahap reaksi, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pernyataan di bawah ini berhubungan dengan reaksi terang, *kecuali*
 - a. tergantung cahaya
 - b. terjadi reaksi fotokimia
 - c. terjadi pada stroma
 - d. terjadi fosforilasi
 - e. terjadi fotolisis
9. Reaksi gelap fotosintesis terjadi pada waktu
 - a. menghidrolisis glukosa
 - b. fiksasi CO₂
 - c. membuat fotopigmen
 - d. pembentukan ATP
 - e. mengaktifkan fotopigmen
10. Protein merupakan polimer yang terdiri dari
 - a. asam amino dan gliserol
 - b. asam amino dan glukosa
 - c. asam amino
 - d. gliserol dan asam lemak
 - e. glukosa
11. Di dalam sistem pencernaan, karbohidrat mengalami degradasi dengan bantuan enzim, seperti enzim amilase, yaitu menguraikan
 - a. molekul amilum (pati) menjadi maltosa
 - b. molekul maltosa menjadi glukosa
 - c. sukrosa menjadi glukosa
 - d. lalitosa menjadi glukosa
 - e. amilum menjadi dektrin
12. Fungsi DNA mengendalikan aktivitas sel-sel dengan memerintahkan sintesis macam-macam protein. Fungsi ini dilakukan dengan cara
 - a. DNA langsung membuat protein dalam nukleus
 - b. DNA keluar dan membuat protein dalam sitoplasma
 - c. DNA membuat RNA untuk membawa instruksi ke sitoplasma
 - d. DNA keluar nukleus dan memberikan instruksi ke tempat pembuatan protein
 - e. DNA membuat RNA dan membuat protein dalam nukelus

13. Berikut ini basa nitrogen yang menyusun RNA, *kecuali*
- adenin
 - guanin
 - deoksiribosa
 - sitosin
 - crasil
14. Bagian kromosom yang merupakan penghubung antara kromonema yang satu dengan lainnya dan berfungsi sebagai tempat melekatnya benang gelendong pada waktu kromosom akan bergerak menuju ke kutub sel pada fase anafase pembelahan kromosom adalah
- kinetokor
 - kromonema
 - kromomer
 - kromiol
 - telomer
15. Pembelahan mitosis berlangsung 4 fase, yaitu profase, metafase, anafase, dan telofase. Peristiwa sitokinesis terjadi pada fase
- profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
 - interfase
16. Diketahui bahwa A terpaut B demikian pula a terpaut b. Gamet yang akan diperoleh dari pembastaran sesama AaBb adalah
- Aa dan Bb
 - AB dan ab
 - Ab dan aB
 - AB, Ab, dan aB
 - Ab, AB, aB, dan ab
17. Perkawinan suami istri normal ternyata salah satu anak laki-lakinya buta warna, maka genotipe kedua orang tua tersebut adalah
- $XY \times XX$
 - $XY \times XX^{cb}$
 - $X^{cb}Y \times XX$
 - $X^{cb}Y \times XX^{cb}$
 - $XY \times X^{cb}X^{cb}$
18. Jika diketahui gen M = bunga merah intermediet terhadap gen m = bunga putih. Sedangkan gen T = batang tinggi intermediet terhadap gen t = batang rendah. Induk dengan genotipe MmTt disilangkan sesamanya dan dari persilangan tersebut dihasilkan 272 batang tanaman, maka tanaman yang berbunga merah berbatang tinggi sebanyak....
- 153 batang
 - 136 batang
 - 68 batang
 - 34 batang
 - 17 batang

19. Teknik kultur jaringan diterapkan dengan mengacu sifat tanaman, yaitu
- a. okulasi
 - b. cangkok
 - c. totipotensi
 - d. stek
 - e. mengenten
20. Bioteknologi melalui rekayasa genetika berhasil memodifikasi bakteri yang dapat menambat N dan mampu melekat pada akar tanaman selain potongan. Bakteri yang dimaksudkan adalah
- a. *Rhizobium*
 - b. *Azetobacter*
 - c. *Clastridium*
 - d. *Nitrobacter*
 - e. *Nitrosomonas*

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan berikut dengan benar dan jelas!

1. Jelaskan tentang daur Krebs!
2. Jelaskan proses transkripsi dan translasi pada sintesis protein!
3. Dengan mempelajari pola-pola hereditas, manfaat apa saja yang dapat diperoleh manusia?
4. Sebutkan pokok-pokok pikiran Darwin tentang evolusi!
5. Sebutkan manfaat transplantasi gen!

Glosarium

Abiogenesis. Teori yang menjelaskan bahwa makhluk hidup berasal dari benda mati.

Aerob. Menggunakan oksigen.

Alel. Gen-gen yang terletak pada lokus, bersesuaian dari kromosom homolog.

Allopoliploidi. Terbentuknya poliploidi dari persilangan dua individu yang jumlah set kromosomnya berbeda.

Amilase. Enzim yang berperan menguraikan molekul amilum (pati) menjadi maltosa.

Anabolisme. Proses pembentukan senyawa kompleks dari senyawa sederhana.

Anaerob. Tidak menggunakan oksigen.

Analogi. Organ tubuh yang memiliki asal dan struktur berbeda, namun memiliki fungsi yang sama.

Antibiotik. Senyawa yang dihasilkan suatu organisme yang mampu menghambat pertumbuhan organisme lain.

Antibodi. Protein yang dibentuk oleh tubuh untuk melawan benda asing atau kuman yang masuk dalam tubuh.

Asam amino. Asam organik yang mengandung paling sedikit satu gugusan amino (NH_2) dan paling sedikit satu gugusan karboksil (COOH)/turunannya, merupakan molekul dasar yang diikat satu sama lain melalui ikatan peptida di pembentukan molekul protein yang lebih besar.

Asam amino. Monomer yang membuat polimer yang menyusun protein.

Auksin. Hormon tumbuhan yang di antaranya membantu perpanjangan sel.

Autopoliploidi. Peristiwa menggandanya kromosom tanpa diikuti oleh pemisahan kromosom.

Bidang ekuator. Pertengahan dari sel, garis horizontal.

Bioteknologi. Penerapan prinsip-prinsip ilmiah makhluk hidup melalui suatu tahapan dan proses untuk menghasilkan suatu produk guna meningkatkan kesejahteraan manusia.

Defosforilasi. Reaksi pelepasan fosfat.

Deoksiribosa. Molekul gula yang kekurangan molekul oksigen.

Diferensiasi. Perkembangan tunggal kebanyakan dari sederhana ke rumit.

Diploid. Keadaan sel yang kromosomnya berpasangan ($2n$).

Domestikasi. Proses penjinakan suatu organisme.

Dormansi. Berkenaan dengan terhambatnya pertumbuhan (perkembangan) untuk sementara waktu meskipun keadaan lingkungannya sebenarnya bersifat menunjang.

Eksplan. Potongan atau bagian tubuh tumbuhan yang akan dikembangkan dalam proses kultur jaringan.

Emigrasi. Perpindahan individu ke luar daerah habitat populasinya.

Empulur. Batang yang lunak di batang tumbuh-tumbuhan.

Enzim. Senyawa protein yang dapat mengatalis reaksi-reaksi kimia dalam sel dan jaringan makhluk hidup.

Evolusi progresif. Proses evolusi yang hasilnya cenderung untuk dapat hidup atau survive.

Evolusi regresif. Proses evolusi yang lebih cenderung menuju proses kepunahan.

Evolusi. Proses perubahan perlahan-lahan pada organisme dalam jangka waktu yang lama.

Fenotif. Sifat dari suatu organisme yang dapat diamati dari luar atau sifat yang nampak dari suatu organisme.

Fermentasi. Proses penguraian molekul organik kompleks, terutama karbohidrat (glukosa) untuk menghasilkan energi yang terjadi dalam keadaan anaerobik.

Fertilitas. Suatu kemampuan individu untuk dapat menghasilkan keturunan.

Filial. Keturunan dari suatu persilangan atau perkawinan.

Fosil. Sisa tubuh makhluk hidup yang telah membatu.

Fotolisis. Proses penguraian air.

Gamet. Sel kelamin.

Genotif. Sifat dari suatu organisme yang tidak dapat diamati dari luar atau sifat yang tidak nampak dari suatu organisme.

Glikolisis. Reaksi pemecahan molekul glukosa (6 atom C) menjadi asam piruvat (3 atom C) yang berlangsung secara anaerob dalam sitosol.

Glikoprotein. Gabungan glukosa dan protein, penyusun dinding sel.

Grana. Bagian yang terdapat di dalam stroma tertanam struktur-struktur hijau kecil dan berfungsi sebagai tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis.

Haploid. Sifat kromosom yang tidak berpasangan (n).

Hereditas. Pewarisan sifat genetik dari orangtua atau induk kepada anak atau keturunannya.

Holoenzim. Komponen penyusun enzim yang terdiri atas protein dan nonprotein.

Homologi. Organ tubuh yang memiliki asal dan struktur sama, namun memiliki fungsi yang berbeda.

Imigrasi. Masuknya individu ke dalam habitat suatu populasi.

Interferon. Antibodi yang digunakan untuk melawan virus.

Kalus. Sekumpulan sel hasil perkembangan dari eksplan yang belum mengalami differensiasi.

Kambium. Lapisan meristematik yang terdapat pada organ akar dan batang yang membentuk floem dan xilem sekunder.

Katabolisme. Penguraian molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul sederhana dan prosesnya melepaskan energi.

Koenzim. Kofaktor yang diperlukan dalam kerja sistem enzim tertentu, tetapi terikat secara longgar pada molekul enzim dan mudah terpisah.

Kofaktor. Komponen non protein yang dibutuhkan oleh suatu enzim agar dapat aktif.

Kotiledon. Tempat cadangan makanan bagi kecambah tanaman.

Kromatin. Komponen yang terdapat di dalam inti sel berbentuk benang-benang halus.

Kromosom. Suatu badan halus yang berbentuk lurus menyerupai batang dan mudah mengikat atau menyerap zat warna.

Kultur jaringan. Proses memperbanyak tumbuhan secara vegetatif dengan memperbanyak sel tubuh pada media kultur yang steril dan terkontrol.

Lamela. Membran dalam dari kloroplas yang terlipat berpasangan.

Lateral. Di sebelah sisi atau pinggir.

Lokus. Tempat dalam kromosom yang diduduki gen.

Meristematik. Sel-sel yang sangat aktif membelah.

Metabolisme. Semua peristiwa katabolisme dan anabolisme yang berlangsung di dalam tubuh.

Migrasi. Proses perpindahan individu dari satu tempat ke tempat yang lain.

Multiple Alel. Sebuah gen yang dapat memiliki lebih dari satu alel (banyak alel).

Mutasi gen. Perubahan struktur DNA yaitu pada basa nukleotida yang menyebabkan perubahan sifat pada suatu organisme dan bersifat menurun.

Nukleotida. Molekul yang terdiri dari gula, fosfat, dan basa nitrogen.

Parental. Induk dari suatu proses persilangan.

Pepsin. Enzim yang merombak protein menjadi asam amino.

Pigmen. Setiap unsur berwarna yang terdapat di dalam sel dan jaringan organik.

Plasmid. Materi genetik (DNA) yang terletak ekstra kromosom atau terdapat di luar nukleus.

Plumula. Kuncup terminal pada embrio tumbuhan biasanya terdiri atas daun-daun embrionik dan epikotil.

Reduksi. Terjadinya pengurangan atau penyusutan.

Regenerasi. Kemampuan untuk memperbaiki bagian tubuh yang rusak/terluka.

Rekayasa genetika. Proses pengubahan kode-kode genetik atau gen pada suatu individu secara sengaja melalui proses tertentu.

Renin. Enzim yang mengubah kaseinogen menjadi kasein (susu) yang diaktifkan oleh pepsin.

Replikasi DNA. Kemampuan molekul DNA membentuk molekul DNA anak (baru).

Replikasi. Kemampuan DNA membentuk DNA baru yang sama persis dengan DNA asal.

Respirasi. Katabolisme terhadap molekul glukosa dengan hasil akhir karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) serta membebaskan energi sebesar 686 kkal/mol glukosa.

Sel primordial. Sel-sel calon pembentuk sel yang bersangkutan.

Sentromer. Titik lekat serabut gelendong pembelahan pada kromosom selama pembelahan sel.

Sintesis. Proses penyusunan senyawa organik.

Spektrum. Warna yang terjadi bila cahaya matahari terurai.

Stroma. Bahan dasar yang tidak berwarna yang terdapat di dalam kloroplas dan berfungsi sebagai tempat terjadinya reaksi gelap fotosintesis.

Totipotensi. Kemampuan setiap sel tanaman yang hidup dilengkapi dengan informasi genetik dan perangkat fisiologis yang lengkap untuk tumbuh dan berkembang menjadi tanaman utuh.

Transpirasi. Pelenyapan uap air dari permukaan daun tumbuhan melalui proses biokimia dan nonkimia.

Vaksin. Bibit penyakit atau kuman yang telah dilemahkan.

Daftar Pustaka

- Abercrombie, M, dkk. 1993. *Kamus Lengkap Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Astuti Sri Dwi.2000. *Keanekaragaman dan Klasifikasi/Taksonomi Hewan I*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Berg, P.1981. *Dissections and Reconstruction of Genes and Chromosomes*. Scientific American.
- Claybourne, Anna. 2005. *Pengantar Gen dan DNA*. Bandung: Pakar Raya.
- Depdiknas. 2006. *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan Nasional untuk SMA dan MA*. Pusat Kurikulum Balitbang Departemen Pendidikan Nasional.
- Dwijoseputra.1992. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Gramedia.
- Erhman, L.Parsons, P.A. 1981.*Behavior Genetic and Evolution*. New York: Mc. Graw Hill.
- Frank B. Salisbury & Cleon W. Ross.1995. *Fisiologi Tumbuhan*. Bandung: ITB Bandung.
- Johnson, David R. Rayle et-all. 1984. *Biology An Introduction*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.
- Kimbal, J.W. 1992. *Biologi*. Jakarta: Erlangga.
- Marsusi.2000. *Keanekaragaman dan Klasifikasi Tumbuhan I (Taksonomi Tumbuhan I)*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Robert, M.B.V. *Biology for Life*. Thomas Nelson and Sons. Ltd.
- Santosa Slamet. 2004. *Biologi Sel*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Sastrodiharjo.1980. *Teori Evolusi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung Press.
- Sumanto, 1997. *Evolusi*. Surakarta: Sebelas Maret university Press.
- Suryo, 2004. *Genetika*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Toegono.1997. *Genetika I*. Surakarta: Sebelas Maret University Press.
- Usman F. Sumo, dkk. 1985. *Prinsip Bioteknologi*. Jakarta: Gramedia
- Yusnita, 2003. *Kultur Jaringan Cara Memperbanyak Tanaman secara Efisien*. Jakarta: Agromedia Pustaka.

Indeks

Indeks Kata

A

Aberasi kromosom 133
abiogenesis 150
abscission 17
adaptif 167
Adenin 73, 89
ADP 30
aerob 42, 45, 184
aglutinin 123
aglutinogen 123
air suling 53
aklimatisasi, 186
akonitase 48
akridin 137
akseptor karbon 51
aktivator 32
aktivitas anabolik 55
alanin 64, 66, 90
albino 122
alel 78, 114, 158, 160, 164, 164, 165
aleuron 64
alkoholisasi 45
amilase 61
amilum 61
amonia 20
anabolisme 29, 40, 47
anadontia 120, 125
anaerob 45, 184
anafase 80, 125
anatomi komparativa 154
aneusomi 133
anorganik 55
anthera 106
antibiotik 182, 192
antibodi 65, 123
antibodi monoklonal, 182
antigen 123

antikodon 87
antipoda 107
antisense 87
antokalin 18
apendiks 155
apoenzim 32
arginase 19
arginin 66, 90
asam 79
asam absisat 17
asam amino
65, 66, 68, 74, 75, 87, 88, 89, 132
asam aspartat 50, 90
asam dioksiribonukleat 73
asam glutamat 90
asam laktat 47
asam lemak 67
asam nitrit 137
asam nukleat 19
asam piruvat 42, 43, 45
asam traumalin 18
aseptik 186
asetil CoA 63
asparagin 64, 90
atom 43
ATP 30, 41, 50
auksanometer 4
auksin 16
autosom 80

B

bakteri 184, 191
basa 132
basa nitrogen 77
beker glass 53
benang spindel 97, 98
biogas 181
biogenesis 155

bioinsektisida 180
biokatalisator 31, 48
biokimia 47, 52, 64, 177
bioteknologi 177, 180, 183, 185
biotin 32
blastula 154
brakidaktili 122, 123
butawarna 120

C

Carpel 107
crossing over 101

D

Data base genetika 72
daur Calvin 50
deaminase 34
dehidrasi 34
dekarboksilasi 66
dektrase 61
diakinesis 101
differensiasi 4, 185
dikarboksilasi oksidatif 45
dikotil 4, 7
diploid 97, 104, 114, 170
diplonema 101
disakarida 61
disimilasi 41
DNA 72, 87, 99, 137, 186
domestikasi 155, 169
dominan 77
dormansi 17
duplikasi 74, 134
dycotyledoneae 7

E

Eksin 106
eksplan 185
elektron 34, 49
embrio 5, 152, 155, 169, 188
empulur 7
endonuklease 186
energi 22, 29, 30, 41, 47, 67
enzim 19, 31, 32, 33, 48, 131
enzim ligase 186
enzim retriksi 186

epidermis 7, 8
epigeal 5
epikotil 5
epistasis 117, 125
erepsin 65
estrogen 63
etil 137
etil alkohol 45
etiologi 20
evolusi 149, 150, 152, 154, 155, 191

F

Fagositosis 105
faktor kebakaan 114
felogen 7
fenilalanin 64, 66, 132
fenotipe 131, 167
fermentasi 45, 47
fertil 169
fertilitas 166
filamen 106
filogeni 155
Filokalin 18
Fitohormon 16
fitohormon 16
floem 4, 7
fosfat 34
fosfoenolpiruvat karboksilase 51
fosfogliseraldehida 63
fosfogliserat 51
fosfolipid 62
fosforilasi 34, 41
fosil 149, 153
fotolisis 56
fotomikrograf 96
fotomorfogenesis 20
fotoperiode 21
fotoposporilasi Siklik 49
fotosintesis 5, 20, 29, 40, 47, 48, 52
fotosistem 49
fruktosa 50, 61
fumarase 48

G

galaktosa 61
gamet 114, 121, 161, 168
gametogenesis 104, 121

gas etilen 17
gastrula 154
gen 15, 72, 78, 114, 117, 123, 180
gen letal 114, 121
gene pool 158, 166, 167
genetik 14, 15, 185
genetika 149, 177, 178, 186
genom 72, 132
genotipe 119
gibberellin 16
glikogen 29, 61
glikolisis 30, 41, 42, 45, 46, 63
glikolisisis 45
glikoprotein 65
gliserin 62
gliserol 62, 63
glisin 64, 66, 90
glukosa 41, 46, 47, 50, 61, 67
glutamat 66
glutamin 64, 90
grana 48
guanin 73, 89
gynospermae 6

H

haploid 96, 101, 104, 105
heksaploidi 132
hemofilia 119, 122, 125
hemoglobin 64
herbisida 191
hereditas 72, 76, 81, 114
heterozigot 77, 122
hibridisasi 168
hidrogen 34
hidrogen peroksida 137
hidrokarbon 183
hidrolisis 30, 34
hidroponik 180
hipogeal 5
hipoglikemia 61
hipostasis 117, 125
histidin 90
homolog 77
homologi 152
homozigot 77, 117, 121, 125
hormon 16, 17, 18, 65

I

Ikroorganisme. 181
in vitro 185
inhibitor 32, 34
insekta 192
insulin 188
interbreeding 168
interfase 74, 99
interferon 183
inti generatif 106
inti sel 7
intin 106
inversi 134
iodium 52
irreversibel 8
isolasi gamet 169
isoleusin 64, 66, 90

J

Jantung koroner 62
jaringan 6

K

Kafein 137
kalin 18
kalus 185
kambium 4, 6, 7, 16
karbohidrat 67
karboksilase 48
kariokinesis 99
karotenoid 49
karsinogen 193
katabolisme 30, 41
kaulokalin 18
kecambah 16
kelembapan 5
kemotripsin 65
keratin 65
ketoglutarat dehidrogenase 48
kinetokor 97
kloning 178, 188
klorofil 17, 19, 121
kloroplas 48, 53
kode genetik 89
kodogen 75, 87
kodon 75, 88, 89, 132

koenzim 32, 43
kofaktor 19, 32
koleoptil 16
kolesterol 62
kolkisin 137
konjugasi 32
korteks 8
kotiledon 5
kriptomeri 117, 125
kromatid 97, 98, 101
kromiol 80
kromomer 80
kromosom 72, 76, 77, 79, 80, 98,
101, 105, 118, 120
kromosom homolog 125
kultur jaringan 178, 185
kwashiorkor 65

L

Laktase 61
laktosa 61
lamela 19, 48
lemak 67
leptonema 101
letal 158
leusin 64, 90
linkage 118, 125
lipase 63
lipogenesis 63
lisin 64, 90
lokus 76, 80
lugol 52

M

Malat 50
malat dehidrogenase 51
maltase 61
maltosa 61
media kultur 185
meiosis 77, 96, 101, 102,
104, 114, 121, 137
meristem 4, 5
mesofil 52
metabolisme 29, 41, 50, 65, 77
metabolisme Hatch-Slack, 50
metafase 98, 102

metionin 64, 88
migrasi 161, 166
mikroba 180
mikrobiologi 177
mikroorganisme 46, 181, 182
mikroskopis 100
mikrotubul 97
mitokondria 43
mitosis 77, 96, 97, 99, 106, 114, 137
molekul 30, 42
monokotil 4
monokultur 190
monosakarida 61
morfologi 169
morula 154
mutagen 131
mutan 131
mutasi 131, 132, 137, 161
mutasi gen 156

N

niasin 32
nitrogen 66, 74
non disfunction 135
nukleolus 98
nukleotida 73
nukleous 102
nukleus 72, 79, 97, 105, 106, 189
nutrisi 18, 185
nutrisi 185

O

oksaloasetat 50
oksidasi 19, 34
oksidasi reduksi 48
oksigen 5, 34
ontogeni 155
oogenesis 104, 105
oogonium 105
oosit primer 105
ootid 106
organ 55
organik 31, 47, 55, 183
organisme 40, 55
organisme multiseluler 100
organisme uniseluler 100

osmosis sel 19
ovalbumin 64
ovule 104, 106
ovum 104

P

Pakinema 101
parasit 16
parental 82, 120
pektinase 61
pemuliaan 193
pepsin 65
peptida 65
peptidase 65
periderm 7
perkecambahan 5, 8
perkembangan 4, 15
permeabilitas 19
pertumbuhan 3, 6, 14, 15, 18, 20, 22
pertumbuhan primer 8
pertumbuhan sekunder 8
pertumbuhan terminal 8
pestisida 192
pH 34
phenylalanin 90
pigmen 48, 49
pindah silang 114, 121
piridoksin 32
pirimidin 73
piruvat dikinase 51
plasma nutfah 190
plasmid 180, 187
ploidi 132
plumula 5
polen 106
polidaktili 123
polimeri 117, 125
polinukleotida 74
polipeptida 87, 88
poliploidi 133
polisakarida 61
populasi 133, 157, 164, 166, 167
Profase 102, 106, 121
progesteron 63
prokariotik 80
prolin 64, 66, 90
protein 31, 62, 67, 76, 87

purin 73

R

radiasi 180
radioaktif 137
rahim 189
reaksi gelap 30, 50
reduksi nitrat 20
rekayasa genetika 178, 186, 188
rekombinasi 167
renin 65
replikasi 74, 87, 137
resesif 77, 121, 122
resisten 180
resistensi 17
respirasi 22, 41, 29, 45, 46, 55
respirasi aerob 45, 46
respirasi sel 46
restitusi 18
rhizokalin 18
riboflavin 32
ribosa 75
ribosom 75, 87
ribulosa difosfat karboksilase 50
RNA 87
rudimenter 155

S

sel 17, 21, 55
sel primordial 105
sel sinergid 107
seleksi alam 151, 152, 156, 161, 166,
168
selobiosa 61
selulosa 61
selulose 61
sentriol 97, 101
sentromer 81, 97
serin 66, 90
serum 124
siklus Krebs 41, 44, 45, 63
sindaktili 122, 123, 125
sindroma 133
sintesa protein 89
sintesis 52, 55, 79
sintesis protein 87

sistein 66, 90
sitokinesis 99, 137
sitokinin 17
sitokrom 19, 48
sitoplasma 5, 63, 81, 87, 88, 99
sitosin 73, 75, 89
spermatid 96
spermatogonium 96, 104
spermatisit 96, 104
spermatozoa 96
spesies 17, 149, 157, 153, 167,
168, 188
spora 104
stamen 106
steril 185
stroma 48
substansi 3
substrat 32, 34
suhu optimum 21
sukrase 61
sukrosa 61
suksinat dehidrogenase 48
Suroso AY 7
survive 149

T

Tanaman transgenik 190, 192
tautan 118
tautan gen 114, 118, 125
tautan seks 114, 125
telofase 98, 102
terapi gen 178, 183
testosteron 63
tetraploidi 132
thalasemia 122
threonin 66
tiamin 32
tilakoid 48
timin 73
tirosin 66, 90

titik tumbuh 5
toksin 65
totipotensi 185
transaminase 51
transaminasi 66
transfer gen 188
transformasi 55
transfusi 123
transkripsi 75, 87, 91
translasi 87, 91
translokasi 19
transpor elektron 44, 45
treonin 64, 90
triploidi 132
triptofan 64, 66, 90
tubulus seminiferus 105
tunas 17

U

urasil 89

V

Vaksin 182
valin 64, 90
variasi 152
varietas 167, 180
vektor 187
venaporta 67
viabilitas 161, 166
virus 180, 191
virus mozaik 180
vitalitas 158, 161, 166

X

Xilem 4, 7

Z

Zigonema 101
zigot 154, 189

Indeks Pengarang

Kimball 7
Dwidjoseputro 16
Suryo 73
Toegino 78

Slamet Santosa 87
Sastrodiharjo 151
Yusnita 186

Kunci

Panduan Pembelajaran Biologi XII SMA/MA

Bab I Pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

A. Pilihan Ganda

- c
- c
- d
- d
- d

B. Esai

- Kotiledon: daun pertama yang tumbuh apabila biji telah berkecambah.
 - Empulur: bagian tengah stele batang dikotil yang terdiri atas jaringan parenkim dan memiliki sifat lunak.
 - Jaringan meristem: jaringan pada tumbuhan yang selalu membelah

Bab II Faktor-faktor pertumbuhan dan Perkembangan Tumbuhan

A. Pilihan Ganda

- d
- c
- d
- c
- d

B. Esai

- Unsur makro yang diperlukan tumbuhan, yaitu: nitrogen, kalium, kalsium, fosfor, belerang, dan magnesium.
 - Unsur mikro yang diperlukan tumbuhan, yaitu: besi, boron, mangan, seng, tembaga, klor.

Bab III Enzim Metabolisme

A. Pilihan Ganda

- b
- c
- d
- e
- a

B. Esai

- Anabolisme: merupakan pembentukan molekul-molekul kompleks dari molekul sederhana.
 - Katabolisme: merupakan penguraian molekul-molekul kompleks menjadi molekul-molekul sederhana.

Bab IV Katabolisme dan Anabolisme Karbohidrat

A. Pilihan Ganda

- c
- b
- d
- d
- c

B. Esai

- Energi matahari yang ditangkap oleh fotosintesis I dan II dalam fasa terang cahaya diubah menjadi energi kimia NADPH dan ATP.

Bab V Metabolisme Karbohidrat, Lemak, dan Protein

A. Pilihan Ganda

- a
- b
- b

B. Esai

- Glukoneogenesis adalah pengubahan zat nonkarbohidrat menjadi glukosa.

Bab VI DNA, Gen, dan Kromosom

A. Pilihan Ganda

- b
- d
- b

B. Esai

- Gen dominan: gen yang menutupi ekspresi gen lain.
 - Fenotipe: sifat-sifat keturunan F₁, F₂, dan F₃ yang dapat dilihat, seperti tinggi, rendah, warna, dan bentuk.

- c. Genotipe: sifat-sifat keturunan yang tidak dapat dilihat, misalnya AA, Aa, dan aa.
- d. Homozigot dominan: dua gen dominan yang merupakan perpaduan dari sel kelamin jantan dan sel kelamin betina, misalnya genotipe AA.

Bab VII Sintesis Protein

A. Pilihan Ganda

- 1. c
- 3. b
- 5. a
- 7. d
- 9. a

B. Esai

- 5. a. Pita template: pita DNA yang berfungsi sebagai pencetakan RNA.
- b. Pita antisense: pita DNA yang tidak mencetak RNA.

Bab VIII Mitosis dan Meiosis

A. Pilihan Ganda

- 1. c
- 3. b
- 5. b
- 7. e
- 9. d

B. Esai

- 5. a. Spermatogenesis: proses pembentukan sperma.
- b. Oogenesis: proses pembentukan ovum.
- c. Gametogenesis: proses pembentukan sel kelamin.

Bab IX Hereditas

A. Pilihan Ganda

- 1. a
- 3. c
- 5. b
- 7. b
- 9. e

B. Esai

- 5. Penyakit albino adalah penyakit kekurangan pigmen (zat warna kulit).

Bab X Mutasi

A. Pilihan Ganda

- 1. b
- 3. d
- 5. e
- 7. b
- 9. c

B. Esai

- 5. Dampak positif dari mutasi, yaitu:

- 1) Dapat meningkatkan hasil panen produksi pangan.
- 2) Dapat meningkatkan hasil antibiotika.
- 3) Proses penting dalam variasi genetik.

Evaluasi Semester I

A. Pilihan Ganda

- 1. c 11. b
- 3. c 13. a
- 5. b 15. e
- 7. b 17. e
- 9. c 19. b

B. Esai

- 5. Perubahan yang terjadi pada substansi genetik dapat diwariskan karena substansi genetik atau gen baik DNA maupun kromosom merupakan pembawa sifat keturunan, maka apabila DNA maupun kromosom tersebut berubah atau bermutasi dapat diturunkan pada generasi selanjutnya.

Bab XI Evolusi

A. Pilihan Ganda

- 1. a
- 3. d
- 5. c
- 7. c
- 9. a

B. Esai

- 5. a. Evolusi: proses perubahan makhluk hidup yang terjadi secara perlahan-lahan dalam jangka waktu lama.

- b. Analogi: persamaan bentuk, fungsi, dan tingkah laku karena adanya evolusi konvergen dan bukan karena kesamaan leluhur.
- c. Homologi: berasal dari asal usul yang sama hingga menunjukkan hubungan kekerabatan meski bentuk, susunan, dan fungsinya berlainan.
- d. Mutasi gen: perubahan fisik dan kimia suatu gen yang menghasilkan perubahan nyata dibandingkan sifat semula dan bersifat diwariskan.

Bab XII Bioteknologi

A. Pilihan Ganda

- 1. c
- 3. d
- 5. d
- 7. b
- 9. a

B. Esai

- 5. a. Terapi gen: penambahan suatu gen yang berfungsi ke dalam suatu sel melalui penyelipan gen untuk mengatasi suatu penyakit menurun.
- b. Antigen: zat yang dapat menimbulkan respons kekebalan spesifik kepada manusia dan hewan lainnya.
- c. Aklimatisasi: penyesuaian diri makhluk hidup terhadap iklim, lingkungan, dan keadaan di sekitarnya.
- d. Vektor: makhluk hidup yang mampu membawa patogen.

Evaluasi Semester II

A. Pilihan Ganda

- 1. e 11. e
- 3. b 13. a
- 5. e 15. b
- 7. a 17. a
- 9. d 19. a

B. Esai

- 5. Kultur jaringan adalah: rekayasa yang dilakukan dengan tujuan untuk mempercepat pertumbuhan tanaman menggunakan media tumbuh yang telah diatur kondisinya.

Evaluasi Akhir

A. Pilihan Ganda

- 1. a 11. a
- 3. b 13. c
- 5. d 15. d
- 7. c 17. b
- 9. d 19. c

B. Esai

- 5. Manfaat transplantasi gen, yaitu menyembuhkan penyakit menurun, menghasilkan tanaman yang lebih baik, menggantikan sel-sel yang rusak, memperoleh gen pada tanaman yang dapat melawan penyakit dan hama, memperoleh tanaman sesuai dengan sifat yang diinginkan.



Panduan Pembelajaran

Biologi

Untuk SMA & MA

Kelas

XII

ISBN 978-979-068-136-1 (no. jil. lengkap)
ISBN 978-979-068-139-2

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007 Tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp11.874,-