



Rikky Firmansyah
Agus Mawardi H.
M. Umar Riandi

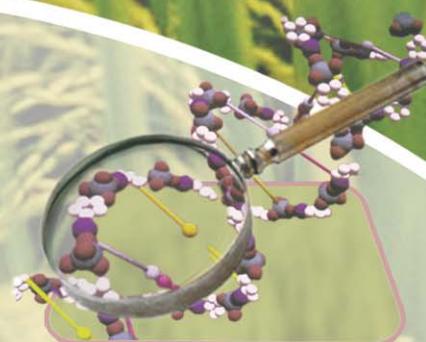
Mudah dan Aktif Belajar Biologi

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

3



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional



Rikky Firmansyah
Agus Mawardi H.
M. Umar Riandi

Mudah dan Aktif Belajar Biologi

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

3



PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

**Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang**

Mudah dan Aktif Belajar Biologi

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

Penulis : Rikky Firmansyah
Agus Mawardi Hendrawan
M. Umar Riandi
Penyunting : Dadan Nugraha
Andri Nurdiansyah
Pewajah Isi : Yoan Yohannes
Pewajah Sampul : A. Purnama
Pereka Ilustrasi : S. Riyadi

574.07

RIK
m

RIKKY Firmansyah

Mudah dan Aktif Belajar Biologi 3 : untuk Kelas XII Sekolah Menengah Atas /
Madrasah Aliyah Program Ilmu Pengetahuan Alam / penulis, Rikky Firmansyah,
Agus Mawardi Hendrawan, M. Umar Riandi penyunting, Dadan Nugraha,
Andri Nurdiansyah. — Jakarta : Pusat Perbukuan,
Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
viii, 218 hlm. : ilus. ; 30 cm

Bibliografi : hlm. 217-218

ISBN 978-979-068-827-8 (No. Jil Lengkap)

ISBN 978-979-068-830-8

1. Biologi-Studi dan Pengajaran I. Judul
II. Agus Mawardi Hendrawan III. M. Umar Riandi IV. Dadan Nugraha
V. Andri Nurdiansyah

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit Setia Purna Inves, PT

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009

Diperbanyak oleh

Kata Sambutan

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

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 22 Tahun 2007 tanggal 25 Juni 2007.

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

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

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

Jakarta, Juni 2009
Kepala Pusat Perbukuan

Kata Pengantar

Sampai saat ini, buku-buku Biologi untuk SMA/MA yang berkualitas dirasakan masih kurang. Sementara itu, tuntutan terhadap pemahaman prinsip-prinsip ilmu Biologi sangat tinggi. Lebih-lebih perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang didasari oleh ilmu Biologi semakin menantang dan sangat bervariasi dalam aplikasinya. Oleh sebab itu, kami berharap dengan terbitnya buku ini, belajar Biologi yang membutuhkan gabungan banyak konsep (baik konsep yang relevan dengan keterampilan maupun konsep baru) dan pengembangan keterampilan analisis bagi siswa SMA/MA dapat terpenuhi.

Biologi adalah ilmu tentang kehidupan. Aspek-aspek kehidupan hewan, tumbuhan, manusia, mikroorganisme, dan hubungan antarmakhluk hidup dipelajari dalam Biologi. Biologi sebagai salah satu cabang IPA menyediakan berbagai pengalaman belajar untuk memahami konsep dan proses sains. Selain bermanfaat dalam kehidupan sehari-hari, Biologi dapat menjadi bekal untuk meraih cita-cita Anda di masa yang akan datang.

Mata pelajaran Biologi bertujuan untuk mengembangkan kemampuan berpikir analitis dan kritis dalam menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan peristiwa alam sekitar. Berbagai permasalahan dalam ilmu Biologi ini berkaitan erat dengan cabang ilmu pengetahuan lainnya seperti Kimia, Fisika, dan Matematika.

Melihat pentingnya pelajaran Biologi di sekolah, penerbit mencoba menghadirkan buku yang dapat menjadi media belajar yang baik bagi Anda. Sebuah buku yang akan memandu Anda untuk belajar Biologi dengan baik. Sebuah buku yang disusun dan dikembangkan untuk memberikan dasar-dasar pengetahuan, keterampilan, keahlian, dan pengalaman belajar yang bermanfaat bagi masa depan Anda.

Demikianlah persembahan dari penerbit untuk dunia pendidikan. Semoga buku ini dapat bermanfaat.

Bandung, Mei 2007

Penerbit

Panduan untuk Pembaca

Cakupan materi pembelajaran pada buku ini disajikan secara sistematis, komunikatif, dan integratif. Di setiap awal bab dilengkapi gambar pembuka pelajaran, bertujuan memberikan gambaran materi pembelajaran yang akan dibahas, dan mengajarkan Anda konsep berpikir kontekstual dan logis sekaligus merangsang cara berpikir lebih dalam. Selain itu, buku ini juga ditata dengan format yang menarik dan didukung dengan foto dan ilustrasi yang representatif. Bahasa digunakan sesuai dengan tingkat kematangan emosional Anda sehingga Anda lebih mudah memahami konsep materinya.

Buku **Mudah dan Aktif Belajar Biologi** untuk SMA Kelas XII ini terdiri atas tujuh bab, yaitu Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan; Metabolisme; Materi Genetik dan Sintesis Protein; Reproduksi Sel dan Pewarisan Sifat; Mutasi; Teori Asal-Usul Kehidupan dan Evolusi; Bioteknologi. Untuk lebih jelasnya, perhatikan petunjuk untuk pembaca berikut.



(1) **Judul Bab**, disesuaikan dengan tema materi dalam bab.

(2) **Hasil yang harus Anda capai**, tujuan umum yang harus Anda capai pada bab yang Anda pelajari.

(3) **Setelah mempelajari bab ini, kamu harus mampu**, kemampuan yang harus Anda kuasai setelah mempelajari bab.

(4) **Gambar Pembuka Bab**, disajikan untuk memberi gambaran tentang materi yang akan dipelajari.

(5) **Advanced Organizer**, disajikan untuk menumbuhkan rasa ingin tahu dari materi yang akan dipelajari dan mengarahkan Anda untuk lebih fokus terhadap isi bab.

(6) **Tes Kompetensi Awal**, merupakan syarat yang harus Anda pahami sebelum memasuki materi pembelajaran.

(7) **Materi Pembelajaran**, disajikan secara sistematis, komunikatif, integratif, dan sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi sehingga Anda dapat tertantang untuk belajar lebih jauh.

(8) **Gambar dan Ilustrasi**, sesuai dengan materi dalam bab yang disajikan secara menarik dan mudah dipahami.

(9) **Aktivitas Biologi**, tugas yang diberikan kepada Anda berupa analisis masalah atau kegiatan di laboratorium sehingga dapat menumbuhkan semangat inovasi, kreativitas, dan berpikir kritis.

(10) **Logika Biologi**, melatih kemampuan dasar Anda, seperti berkomunikasi, interpretasi data, melakukan hipotesis, dan berpikir kritis.

(11) **Kata Kunci**, panduan Anda dalam mempelajari konsep materi.

(12) **Sekilas Biologi**, berisi tokoh biologi informasi menarik dan aplikatif berdasarkan materi bab yang dipelajari sehingga dapat menumbuhkan semangat bekerja keras dan belajar lebih jauh.

(13) **Fakta Biologi**, berisi fakta-fakta yang menarik seputar materi yang dipelajari.

(14) **Tugas Anda**, berisi kegiatan kelompok atau individu yang bertujuan agar Anda dapat lebih memahami materi yang dipelajari.

(15) **Tes Kompetensi Subbab**, menguji pemahaman Anda terhadap materi dalam setiap subbab.

(16) **Rangkuman**, merupakan ringkasan materi pembelajaran bab.

(17) **Peta Konsep**, menggambarkan hubungan antarkonsep sehingga memudahkan Anda mempelajari materi dalam bab.

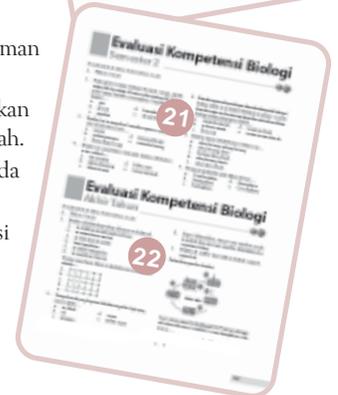
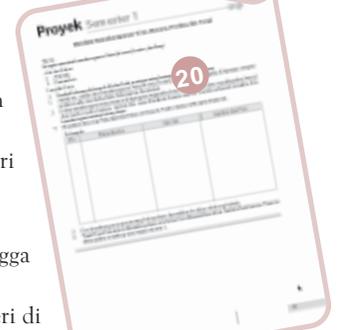
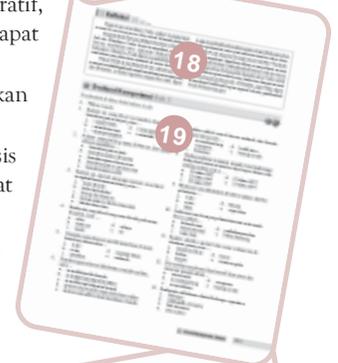
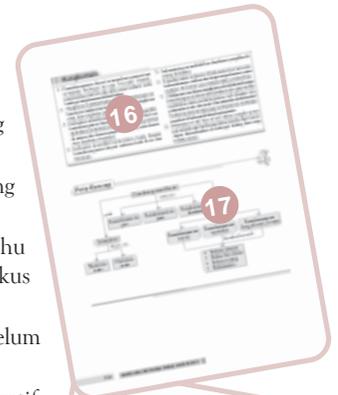
(18) **Refleksi**, sebagai cermin diri bagi Anda setelah mempelajari materi di akhir pembelajaran setiap bab.

(19) **Evaluasi Kompetensi Bab**, merupakan penekanan terhadap pemahaman konsep materi, berkaitan dengan materi dalam bab.

(20) **Proyek Semester**, disajikan agar Anda dapat menggali dan memanfaatkan informasi, menyelesaikan masalah, dan membuat keputusan dalam kerja ilmiah.

(21) **Evaluasi Kompetensi Biologi Semester**, disajikan untuk evaluasi Anda setelah mempelajari semester yang bersangkutan.

(22) **Evaluasi Kompetensi Biologi Akhir Tahun**, disajikan untuk evaluasi Anda setelah mempelajari seluruh bab.



Daftar Isi

Kata Sambutan • iii
Kata Pengantar • iv
Panduan Untuk Pembaca • v

Bab 1 **Pertumbuhan dan** **Perkembangan pada** **Tumbuhan • 1**

A. Pertumbuhan dan Perkembangan • 2
B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi
Pertumbuhan dan Perkembangan • 8
Rangkuman • 18
Peta Konsep • 19
Refleksi • 19
Evaluasi Kompetensi Bab 1 • 20

Bab 2 **Metabolisme • 23**

A. Molekul yang Berperan dalam
Metabolisme • 24
B. Katabolisme Karbohidrat • 30
C. Anabolisme Karbohidrat • 36
D. Metabolisme Protein dan Lemak • 45
Rangkuman • 48
Peta Konsep • 48
Refleksi • 49
Evaluasi Kompetensi Bab 2 • 49

Bab 3 **Materi Genetik** **dan Sintesis Protein • 51**

A. Materi Genetik • 52
B. Sintesis Protein • 59
Rangkuman • 65
Peta Konsep • 65
Refleksi • 66
Evaluasi Kompetensi Bab 3 • 66

Bab 4 **Reproduksi Sel** **dan Pewarisan Sifat • 69**

A. Reproduksi Sel • 70
B. Pembelahan Meiosis • 75
C. Gametogenesis • 80
D. Pola Pewarisan Sifat • 85
E. Pewarisan Sifat pada Manusia • 105
Rangkuman • 114
Peta Konsep • 115
Refleksi • 115
Evaluasi Kompetensi Bab 4 • 116

Bab 5 **Mutasi • 119**

A. Macam-Macam Mutasi • 120
B. Penyebab Mutasi • 129
C. Dampak Mutasi • 130
Rangkuman • 132
Peta Konsep • 132
Refleksi • 133
Evaluasi Kompetensi Bab 5 • 133
Proyek Semester 1 • 135
Evaluasi Kompetensi Biologi
Semester 1 • 136

Bab 6 **Teori Asal-Usul Kehidupan dan Evolusi • 139**

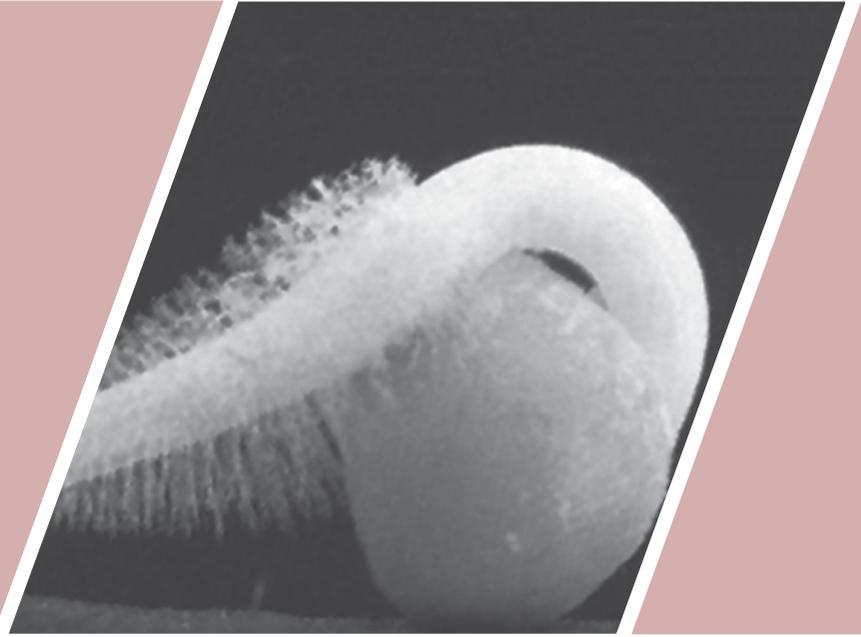
- A. Teori Asal-Usul Kehidupan • 140
 - B. Teori Evolusi • 147
 - C. Bukti Evolusi • 154
 - D. Proses Evolusi • 158
 - E. Evolusi dan Klasifikasi • 164
- Rangkuman • 167
Peta Konsep • 168
Refleksi • 168
Evaluasi Kompetensi Bab 6 • 169

Bab 7 **Bioteknologi • 171**

- A. Perkembangan dan Prinsip Dasar Bioteknologi • 172
 - B. Bioteknologi Konvensional dan Modern • 175
- Rangkuman • 190
Peta Konsep • 190
Refleksi • 191
Evaluasi Kompetensi Bab 7 • 191
Proyek Semester 2 • 193
Evaluasi Kompetensi Biologi Semester 2 • 194
Evaluasi Kompetensi Biologi Akhir Tahun • 196

- Apendiks 1 • 201
- Apendiks 2 • 206
- Apendiks 3 • 207
- Apendiks 4 • 208
- Apendiks 5 • 209
- Senarai • 210
- Indeks • 213
- Daftar Pustaka • 217

Bab 1



Sumber: *Biology for You*, 2002

Kecambah akan tumbuh dan berkembang menjadi individu baru yang memiliki organ lengkap.

Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Hasil yang harus Anda capai:

melakukan percobaan pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- merencanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan;
- melaksanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan;
- mengomunikasikan hasil percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan.

Pernahkah Anda berpikir bagaimana biji cabai merah dapat menjadi tanaman yang rimbun dan banyak buahnya? Selain itu, bagaimana biji semangka sekecil itu akhirnya dapat menghasilkan buah semangka sebesar kepala Anda?

Semua itu merupakan hasil dari pertumbuhan dan perkembangan yang terjadi pada tanaman tersebut. Tumbuh dan berkembang merupakan sifat yang diberikan oleh Tuhan Yang Maha Esa kepada setiap makhluk hidup. Akan tetapi, apakah Anda menyadari arti pertumbuhan dan perkembangan tersebut? Adakah perbedaannya? Pada bab pertama ini Anda akan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan beserta faktor-faktor yang memengaruhinya. Setelah mempelajari bab ini Anda diharapkan dapat melakukan percobaan mengenai pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan.

- A. Pertumbuhan dan Perkembangan**
- B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan**

Tes Kompetensi Awal

1. Apakah tumbuhan di rumah Anda bertambah besar?
2. Apakah semua tumbuhan berasal dari biji?
3. Apakah tumbuhan mengalami pertumbuhan dan perkembangan?



Sekilas Biologi

Stephen Hales
(1677-1761)



Stephen Hales adalah seorang ahli fisiologi dan kurator dari Inggris. Ia banyak melakukan percobaan tentang aliran air pada tumbuhan. Ia adalah orang pertama yang menemukan bahwa tumbuhan menyerap karbon dioksida dari udara. Dalam bukunya *Vegetable Statics* yang diterbitkan pada tahun 1727, ia menjelaskan banyak penelitian pada tumbuhan dan transpirasi tumbuhan.

Sumber: *Jendela IPTEK: Kehidupan*, 1997; *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Logika Biologi

Ketika akan melakukan pengecambahan, biasanya biji direndam dulu dalam air. Apakah maksud dari perendaman tersebut?

Kata Kunci

- Berkembang
- Dediferensiasi
- Diferensiasi
- *Irreversible*
- *Reversible*
- Tumbuh

A. Pertumbuhan dan Perkembangan

Pada perbincangan sehari-hari, Anda tentunya sering mendengar kata tumbuh dan juga berkembang. Tumbuh sering dikaitkan dengan tinggi, besar, dan panjang. Adapun berkembang sering dikaitkan dengan perubahan bentuk. Jadi, apa perbedaan tumbuh dan berkembang?

Pertumbuhan dapat diartikan menjadi beberapa hal, seperti bertambahnya ukuran, volume, berat, atau jumlah sel. Contohnya, seorang anak yang menjadi tinggi. Oleh karena itu, pertumbuhan pada tumbuhan dapat diartikan sebagai seluruh penambahan ukuran organisme atau bagiannya yang *irreversible* (tidak dapat terbalikkan). Pada tingkat sel, pertumbuhan terjadi karena pembelahan sel dan penambahan ukuran sel.

Perkembangan dapat diartikan sebagai perubahan kualitatif (bentuk dan sifat) organisme atau bagiannya. Pada tumbuhan, perkembangan erat kaitannya dengan pembentukan organ-organ tumbuhan dan perubahan bentuk dari embrio atau biji hingga menjadi tumbuhan utuh.

Organ tumbuhan seperti akar, batang, dan daun, semuanya tersusun atas berbagai jaringan. Susunan jaringan ini, mirip pada berbagai kelompok tumbuhan. Perlu diketahui, bahwa semua jaringan pada tumbuhan berasal dari satu jaringan, yaitu jaringan meristem. Bagaimanakah sel jaringan meristem berubah menjadi sel-sel jaringan lain?

Pada perkembangan tumbuhan, terdapat mekanisme yang menyebabkan sel-sel muda berkembang menjadi bermacam-macam sel atau jaringan dewasa, mekanisme ini disebut diferensiasi. Dengan kata lain, **diferensiasi** adalah proses beratur yang menyebabkan sel dengan struktur dan fungsi sama, menjadi berbeda. Hal tersebut terjadi selama hidup tumbuhan dan selalu diikuti oleh perubahan fisiologis yang kompleks. Diferensiasi menghasilkan sel, jaringan, dan organ terspesialisasi untuk fungsi yang berbeda.

Luka pada tumbuhan dapat merusak pola struktural tumbuhan tersebut. Misalnya, karena tumbuhan dimakan oleh herbivora, jaringan pengangkut di batang atau daun rusak. Contoh lain, patahnya cabang-cabang tumbuhan oleh tiupan angin yang kuat.

Jika terjadi luka, sel-sel dekat daerah luka merespons terhadap kerusakan dengan melakukan **dediferensiasi**. Artinya, sel-sel tersebut kembali menjadi bersifat meristematik, memprogram ulang gen-gennya dan bersiap-siap untuk melakukan diferensiasi. Putusnya seludang pembuluh menginduksi pembelahan sel-sel parenkim di sekitar luka. Hal tersebut membentuk lapisan yang menghubungkan ujung-ujung ikatan pembuluh. Lapisan jaringan parenkim ini kemudian berdediferensiasi menjadi jaringan pembuluh yang menghubungkan jaringan pembuluh dan menutup luka. Karena mekanisme dediferensiasi ini, perkembangan dapat dikatakan bersifat *reversibel* (dapat terbalikkan).

Tumbuhan dan hewan tumbuh dengan cara yang berbeda. Pada hewan, perkembangan dan pertumbuhan seluruh bagian tubuh hingga sempurna terjadi relatif lebih singkat. Pertumbuhan hewan umumnya berhenti setelah pertumbuhan organ-organnya sempurna. Hal ini berbeda dengan pertumbuhan pada tumbuhan yang tidak pernah berhenti seumur hidupnya.

Tidak semua bagian tumbuhan tumbuh secara bersamaan. Pertumbuhan tumbuhan terjadi pada daerah-daerah tertentu yang disebut **meristem**. Sel-sel pada daerah meristem selalu membelah dan belum berdiferensiasi menjadi sel-sel yang khusus. Oleh karena itu, sel-sel daerah meristem cenderung mirip satu sama lain dan ukurannya lebih kecil dibandingkan sel dewasa (telah terdiferensiasi). Sel meristem memiliki dinding sel yang tipis akibat sering membelah diri.

Terdapat tiga tipe meristem pada tumbuhan, yaitu meristem apikal, meristem lateral, dan meristem interkalar.

1. **Meristem apikal** terdapat di ujung akar dan ujung batang. Hasil pembelahan meristem ini menghasilkan pemanjangan akar dan batang. Proses pemanjangan ini disebut juga dengan pertumbuhan primer. Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada bahasan selanjutnya.
2. **Meristem lateral** merupakan meristem silindris yang terdapat pada batang dan akar tumbuhan dikotil. Aktivitas meristem ini menghasilkan pembesaran diameter batang dan akar. Proses ini dikenal dengan pertumbuhan sekunder. Pertumbuhan ini membuat tumbuhan menjadi kokoh dan memungkinkan untuk bertambah tinggi mencari cahaya matahari.
3. **Meristem interkalar** terdapat di antara jaringan dewasa. Meristem ini umumnya terdapat pada tumbuhan rumput dan bambu. Meristem ini terdapat pada dasar buku sehingga tumbuhan menjadi tinggi dan dapat menumbuhkan kembali pucuk jika pucuk termakan hewan herbivor.

Pertumbuhan dan perkembangan dimulai saat embrio atau biji. Biji yang biasa Anda temukan umumnya berada dalam fase istirahat atau dorman. Pada fase ini biji dapat bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan, seperti musim dingin ataupun pada saat kekeringan. Penyerapan air dan suhu lingkungan yang menunjang dapat memecah dormansi sehingga pertumbuhan dimulai. Proses penyerapan air pada biji ini disebut **imbibisi**. Adanya imbibisi mengaktifkan enzim-enzim untuk memulai perkecambahan.

Struktur pertama yang keluar dari biji adalah **radikula**, yang akan membentuk **akar primer**. Radikula merupakan bagian dari **hipokotil** atau bagian bawah kotiledon. Setelah radikula tumbuh, kemudian muncul **epikotil** atau bakal batang.

Terdapat perbedaan perkecambahan pada tumbuhan monokotil dan dikotil. Tumbuhan monokotil memiliki **koleoptil**, yakni selubung pelindung daun yang berguna saat daun tumbuh ke atas. Setelah daun muda mampu menangkap cahaya dan terus tumbuh ke atas, bagian lain dari biji tetap berada di bawah tanah. Pola perkecambahan ini disebut **hipogeal** dan umumnya terjadi pada monokotil (**Gambar 1.2a**).

Tumbuhan dikotil tidak memiliki koleoptil. Pola perkecambahannya pun berbeda dengan monokotil. Kotiledon pada dikotil akan terangkat dari tanah ketika hipokotil memanjang. Pola ini disebut juga **epigeal** (**Gambar 1.2b**).

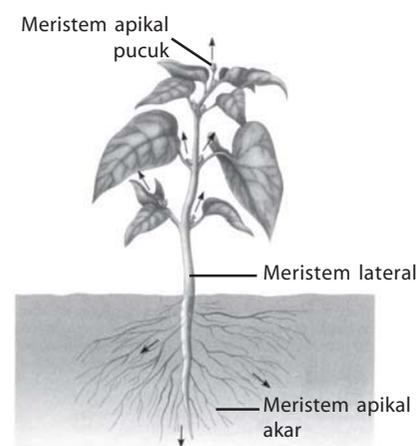


Fakta Biologi

Studi tentang pertumbuhan dan perkembangan jenis tanaman *Dioscorea* yang dikoleksi di Kebun Raya Purwodadi telah dilakukan pada Juni hingga Agustus 1997. Pengamatan dilakukan pada setiap fase pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang meliputi fase dormansi umbi, perkecambahan, pertunasan, pertumbuhan vegetatif, dan fase generatif.

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa tipe perkecambahan biji *Dioscorea* adalah hipogeal dengan masa dan presentase perkecambahan yang beragam. Masa dormansi umbi berkisar antara 2–3 bulan.

Sumber: www.lipi.go.id



Keterangan: → arah pemanjangan

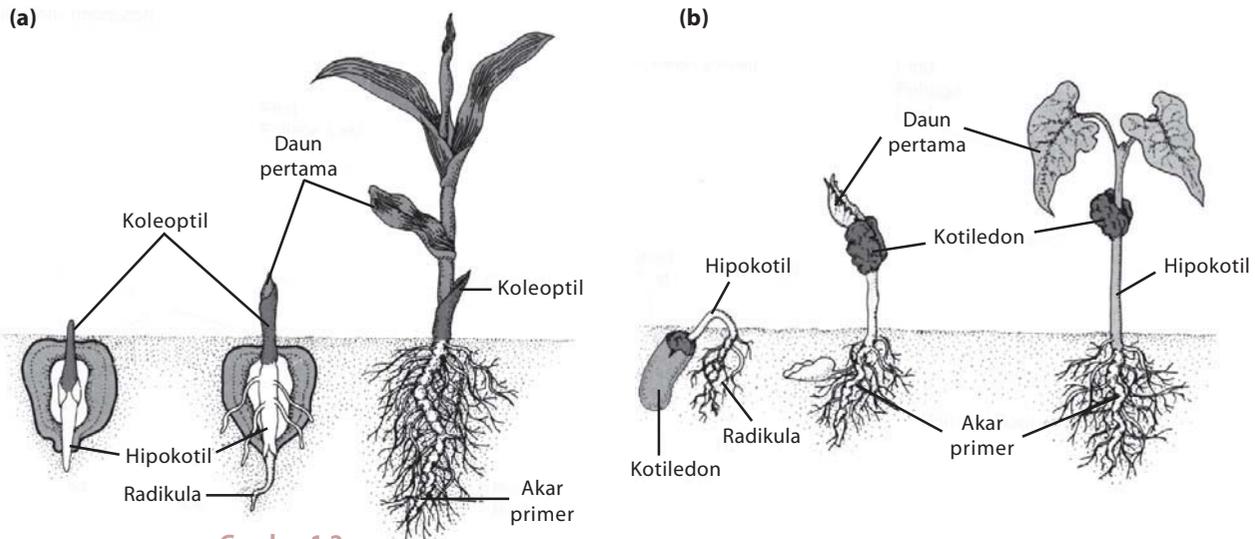
Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 1.1

Letak meristem dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan tumbuhan.

Kata Kunci

- Akar primer
- Epigeal
- Epikotil
- Hipogeal
- Hipokotil
- Imbibisi
- Koleoptil
- Kotiledon
- Meristem
- Radikula



Gambar 1.2

(a) Perkecambahan hipogeal dan
(b) perkecambahan epigeal.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990



Aktivitas Biologi 1.1

Pertumbuhan Epikotil dan Hipokotil

Tujuan

Mengamati pertumbuhan epikotil dan hipokotil

Alat dan Bahan

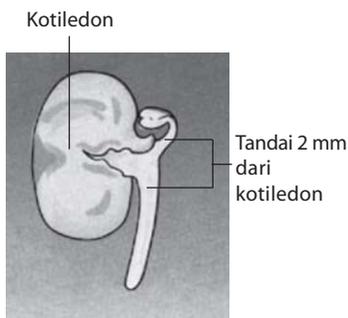
1. Gelas plastik transparan (gelas bekas minuman mineral)
2. 5 biji kacang merah
3. Kapas atau tisu

Langkah Kerja

1. Siapkan 5 biji kacang merah dan gelas plastik transparan.
2. Masukkan kapas atau tisu hingga memenuhi setengah isi gelas. Sisipkan 5 biji kacang merah di antara kapas dan dinding gelas.
3. Basahi kapas dengan air secukupnya, jangan sampai airnya tergenang.
4. Setelah dua hari biji dikecambahkan, tandai kecambah yang tumbuh di atas dan di bawah kotiledon sepanjang 2 mm. Amatilah selama 2 hari.

Pertanyaan

Struktur embrio manakah yang akan mengalami pemanjangan paling cepat? Simpulkan dari pengamatan lima biji kecambah tersebut.



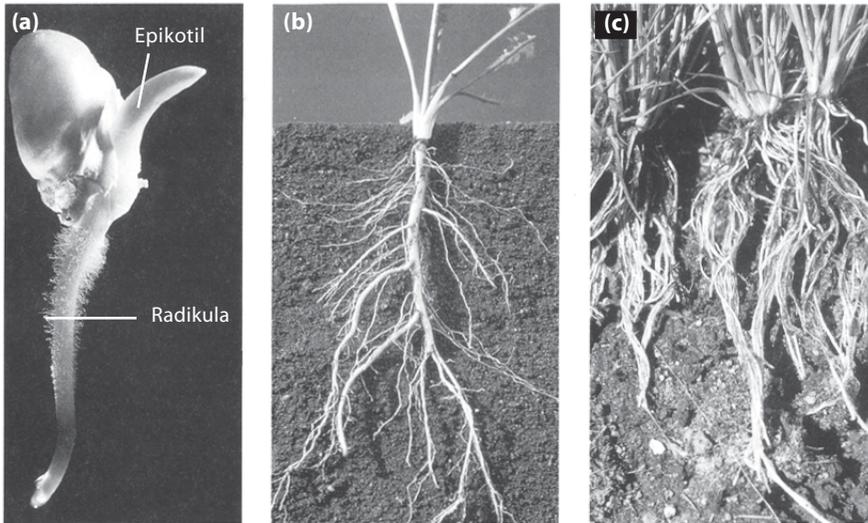
Sumber: *Biology for You*, 2002

1. Pertumbuhan Primer

Jika Anda mengecambahkan biji, misalnya biji kacang tanah, pertumbuhan yang menyebabkan kecambah biji kacang merah dapat memanjang adalah pertumbuhan primer. Pertumbuhan primer memungkinkan akar menembus tanah dan ujung batang mencapai cahaya matahari. Akhirnya, bakal akar dan bakal batang tersebut akan membentuk **sistem akar** dan **sistem tajuk**.

Saat biji berkecambah, bakal akar yang terbentuk disebut radikula. Pada kebanyakan tumbuhan dikotil, akar primer yang terbentuk dari radikula akan berkembang membentuk **akar tunggang** (Gambar 1.3b). Selanjutnya, akar tunggang ini akan membentuk cabang-cabang akar.

Pada tumbuhan monokotil, seperti tumbuhan jagung, akar primer akan berkembang menjadi banyak akar dengan ukuran yang sama. Jenis akar ini disebut **akar serabut** (Gambar 1.3c).



Sumber: Botany, 1995

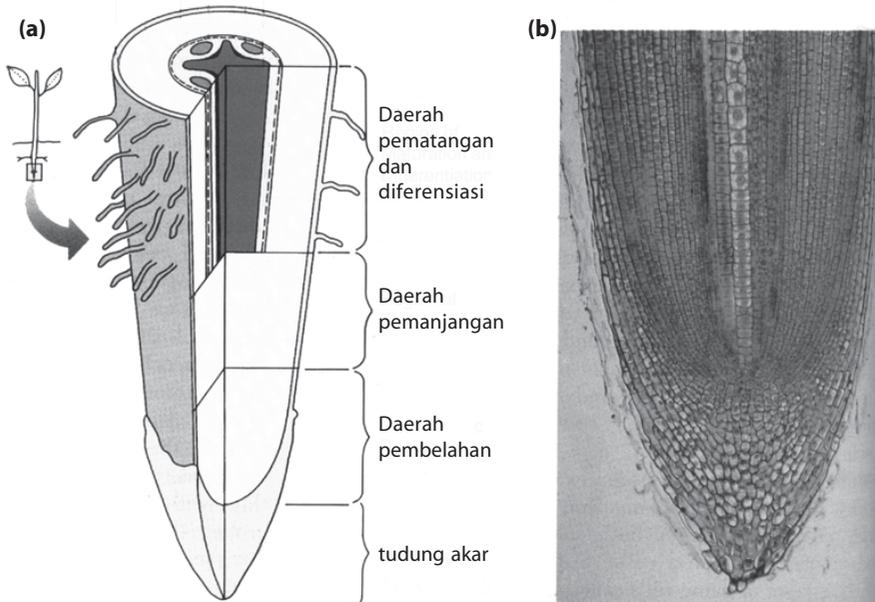
Kata Kunci

- Akar serabut
- Akar tunggang
- Dikotil
- Monokotil
- Tudung akar

Gambar 1.3

(a) Radikula pada kecambah, (b) akar tunggang, dan (c) akar serabut.

Pada ujung akar terdapat beberapa daerah pertumbuhan primer akar. Daerah tersebut, yaitu daerah pembelahan sel, daerah pemanjangan, dan daerah pematangan (Gambar 1.4).



Sumber: Essentials of Biology, 1990

Gambar 1.4

(a) Tiga daerah pertumbuhan primer pada akar. (b) Sayatan membujur ujung akar.

Daerah pembelahan sel meliputi meristem apikal dan sel-sel yang terbentuk dari meristem apikal. Sel-sel akar baru terbentuk di daerah ini, termasuk sel tudung akar. Sel Meristem pada daerah ini membelah diri setiap 12–36 jam. Pada beberapa tumbuhan, pembelahan meristem ini menghasilkan hampir 20.000 sel baru setiap hari.

Pada daerah pemanjangan, sel-sel akar memanjang bahkan hingga sepuluh kali dari panjang awal sel. Pemanjangan sel inilah penyebab utama memanjangnya akar lebih jauh ke dalam tanah. Sel-sel ini memanjang dan tidak melebar ke segala arah dikarenakan adanya serat selulosa yang membungkus sel-sel tersebut pada dinding selnya.



Sekilas Biologi

Alkylbenzene Sulphonate (LAS), suatu bahan aktif deterjen sintetik, mempengaruhi perkecambahan dan pertumbuhan tanaman kangkung, *Ipomoea aquatica*. Hasil penelitian menunjukkan LAS tidak memengaruhi proses perkecambahan dan luas daun pertama dan kedua, tetapi menghambat pada panjang kecambah, tinggi tanaman dan panjang internodus pertama dan kedua.

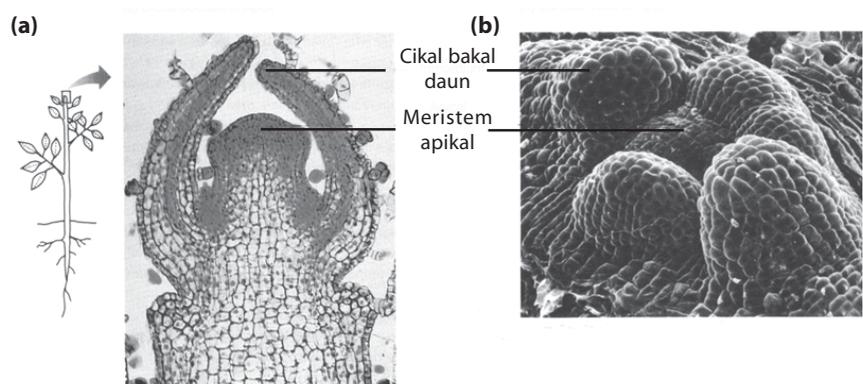
Selain itu, LAS juga merusak lapisan epidermis radikula kecambah kangkung dan menimbulkan kelainan struktur tudung akar. Hal ini menyebabkan penghambatan pada proses perkecambahan dan pertumbuhan kangkung, yang diberi perlakuan LAS mulai konsentrasi 50 sampai 100 ppm.

Sumber: www.digilib.bi.itb.ac.id

Sel-sel pada daerah pemanjangan mendorong tudung akar dan meristem apikal sel menembus tanah. Daerah pemanjangan menghasilkan pemanjangan rata-rata akar hingga 4 cm per hari. Sel-sel di belakang daerah pemanjangan tidak memanjang.

Sel-sel pada daerah pemanjangan mulai melakukan diferensiasi. Diferensiasi ini akan berakhir pada daerah pematangan. Daerah pematangan dapat mudah dibedakan dengan adanya rambut akar.

Pada batang, pertumbuhan primer terjadi di ujung pucuk. Meristem apikal pada pucuk ini terlihat sebagai kumpulan sel yang membelah dan membentuk kubah. Pemanjangan terjadi di bagian bawah meristem apikal pucuk. Hasil pemanjangan mendorong meristem apikal ke atas. Ketika meristem apikal terus mendorong ke atas, beberapa sel hasil pembelahan tetap di bawah dan menjadi meristem tunas ketiak daun. Perhatikan **Gambar 1.5** berikut.



Gambar 1.5

(a) Potongan membujur apeks dan (b) permukaan apeks.

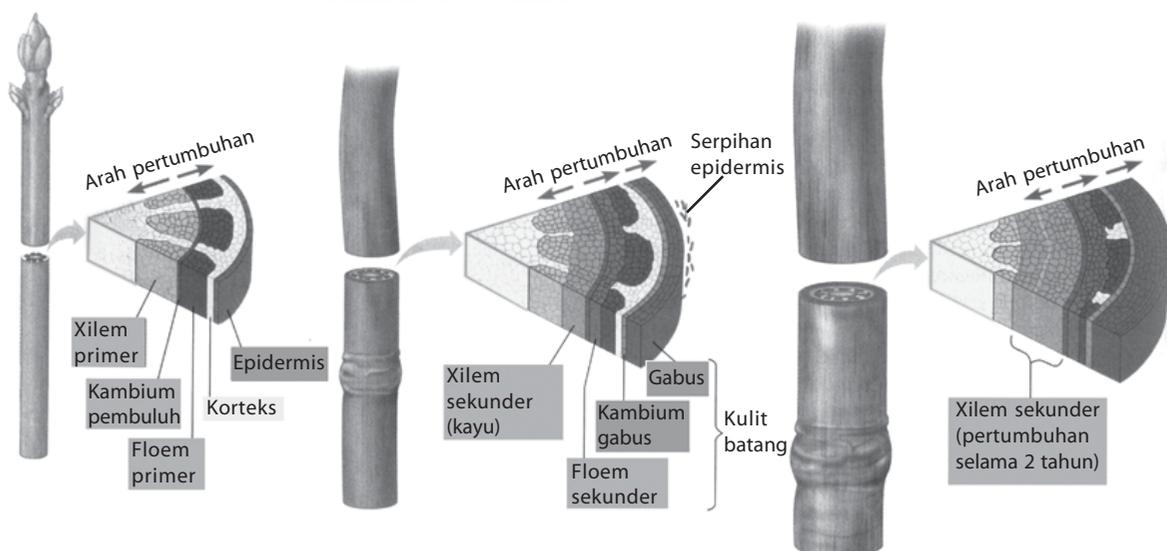
Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

2. Pertumbuhan Sekunder

Pada tumbuhan berkayu atau tumbuhan dikotil, pertumbuhannya tidak hanya memanjang, tetapi ukuran diameter akar dan batangnya juga terus membesar. Membesarnya diameter batang dan akar ini disebut pertumbuhan sekunder.

Pertumbuhan sekunder disebabkan oleh aktivitas meristem lateral. Meristem lateral ini berupa kambium dan kambium gabus. Perhatikan **Gambar 1.6** berikut.

Gambar 1.6
Pertumbuhan sekunder pada batang tumbuhan dikotil berkayu.



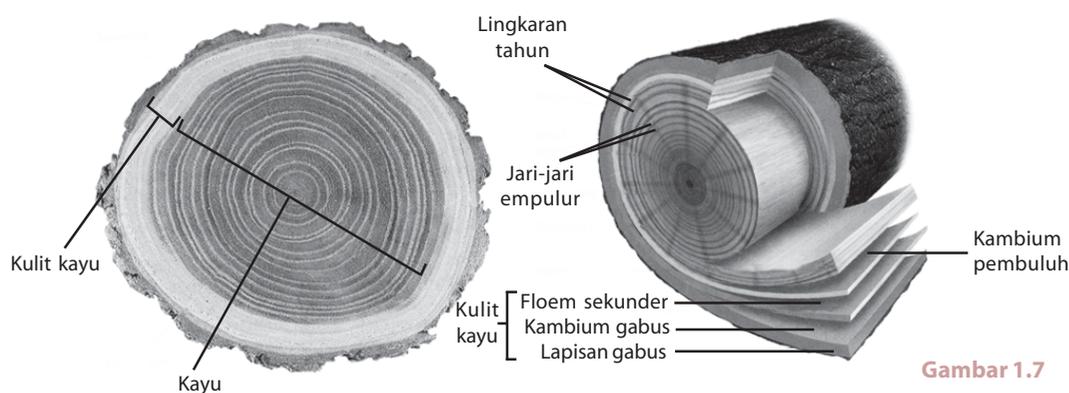
Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Proses pertumbuhan sekunder dimulai dari aktivitas kambium pembuluh. Kambium ini membentuk pembuluh xilem primer ke arah dalam dan membentuk floem primer ke arah luar. Pada saat tersebut, pertumbuhan batang tidak jauh berbeda dengan pertumbuhan batang pada pertumbuhan primer. Selanjutnya, pertumbuhan sekunder menambah lapisan pembuluh xilem sekunder dan floem sekunder. Setiap tahun, kambium pembuluh menambah lapisan xilem sekunder dan floem sekunder. Dengan demikian, kambium pembuluh menambah ukuran diameter akar dan batang.

Aktivitas kambium pembuluh yang memperbesar diameter batang tidak dapat diimbangi oleh aktivitas epidermis (kulit) dan korteks bagian luar. Akibatnya, dibentuk lapisan gabus yang menggantikan fungsi epidermis. Lapisan gabus dewasa merupakan sel mati dan memiliki dinding tebal yang berlilin. Lapisan ini melindungi jaringan batang di bawahnya dari penguapan, kerusakan fisik, dan patogen. Lapisan gabus diproduksi oleh jaringan kambium gabus dari sel parenkim di korteks. Pada beberapa permukaan batang terdapat **lentisel** Karena lapisan gabus tidak memungkinkan terjadinya pertukaran gas. Perhatikan gambar berikut ini.

Kata Kunci

- Floem
- Kambium
- Kambium gabus
- Meristem lateral
- Xilem



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 1.7
Penampang melintang batang pohon.



Aktivitas Biologi 1.2

Pertumbuhan Tanaman

Tujuan

Mengamati pertumbuhan tanaman

Alat dan Bahan

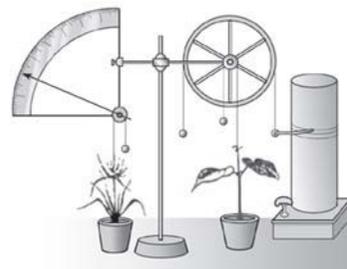
1. Auksanometer
2. Alat tulis
3. Dua buah tanaman yang berbeda dalam pot (misalnya, jagung dan tomat)

Langkah Kerja

1. Pasangkan auksanometer seperti terlihat pada gambar. Mintalah bantuan guru Anda untuk memasangkan alat tersebut.
2. Amatilah pertumbuhan tanaman selama satu minggu.
3. Catat dan buatlah laporan hasil pengamatan tersebut.

Pertanyaan

Bagaimana hasil pengamatan Anda? Apakah di antara kedua tanaman tersebut terdapat perbedaan pertumbuhan? Apa kesimpulan Anda?



Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan pertumbuhan primer?
2. Tuliskan daerah-daerah pada bagian ujung akar.

B. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Pertumbuhan dan Perkembangan

Pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan yang Anda lihat, merupakan hasil interaksi antara faktor dalam (**internal**) dan faktor luar (**eksternal**). Faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan yang berasal dari dalam tumbuhan disebut faktor internal. Adapun faktor eksternal merupakan faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan yang berasal dari luar tumbuhan. Apa saja faktor-faktor tersebut?

1. Faktor Internal

Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan dapat dibedakan atas faktor intraseluler dan faktor interseluler. Faktor **intraseluler** adalah faktor dari dalam sel, berupa gen yang memengaruhi sifat tumbuhan dan memberikan potensi bagi tumbuhan untuk tumbuh dan berkembang. Adapun faktor **interseluler** adalah faktor dari luar sel (tetapi masih dalam tumbuhan tersebut), berupa zat tumbuh atau disebut juga hormon. Kali ini akan dibahas lebih dalam mengenai faktor interseluler yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan. Adapun faktor intraseluler tidak dibahas lebih dalam karena sudah tercakup dalam bahasan pola pewarisan sifat.

Para ahli botani telah lama mengetahui bahwa satu bagian tumbuhan dapat memengaruhi bagian tumbuhan lain. Contohnya, menghilangkan ujung pucuk umumnya merangsang pertumbuhan tunas ketiak daun; biji biasanya berkecambah lebih cepat jika dipisahkan dari buahnya. Pengaruh ini sering dikaitkan dengan **hormon tumbuhan** atau **zat pengatur tumbuh**, yaitu molekul organik yang dihasilkan oleh satu bagian tumbuhan dan ditransportasikan ke bagian lain yang dipengaruhinya.

Terdapat lima kelompok hormon tumbuhan, yaitu **auksin**, **giberelin**, **sitokinin**, **asam absisat**, dan **gas etilen**. Kelima jenis hormon tersebut memiliki kelebihan dan pengaruh yang berbeda-beda terhadap sel-sel pada jaringan. Misalnya, auksin dapat merangsang pembesaran sel, sedangkan sitokinin dapat merangsang pembelahan sel.

Hormon tumbuhan tidak spesifik seperti hormon hewan. Bahkan mungkin tidak ada satu fase pertumbuhan tumbuhan yang hanya dipengaruhi oleh satu jenis hormon. Pengaruh hormon tumbuhan tidak spesifik dan dipengaruhi oleh hormon lain dan molekul lain. Berikut ini tabel fungsi utama beberapa hormon tumbuhan.

Kata Kunci

- Asam absisat
- Auksin
- Gas etilen
- Giberelin
- Hormon
- Interseluler
- Intraseluler
- Sitokinin

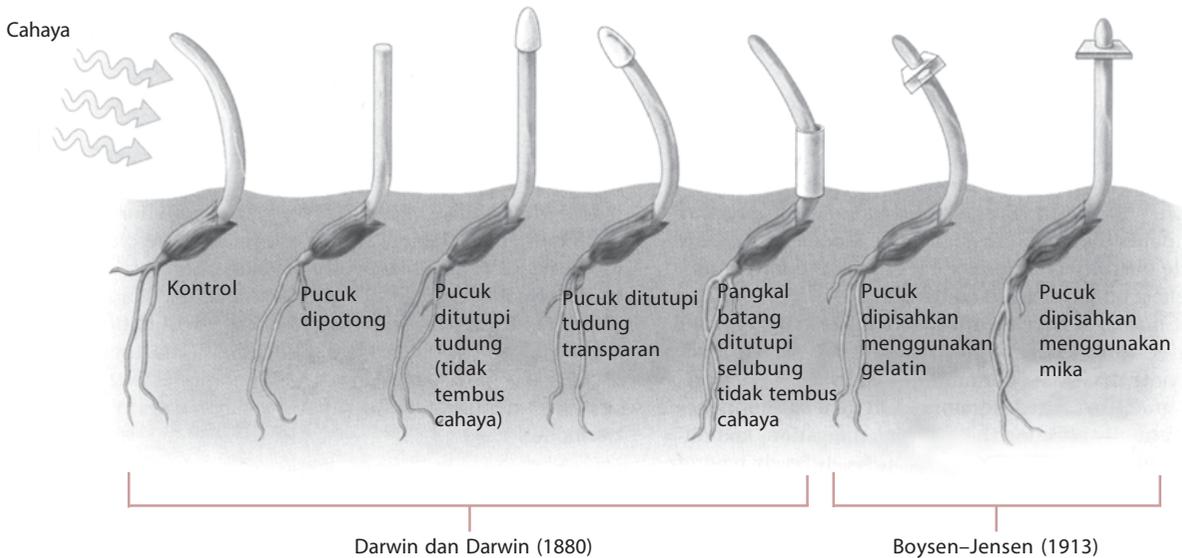
Tabel. 1.1 Fungsi Hormon Tumbuhan

| Kelompok Hormon | Fungsi Utama | Tempat Dihasilkan atau Ditemukan pada Tumbuhan |
|--|---|---|
| Auksin (contohnya IAA) | Merangsang pemanjangan batang, pertumbuhan akar, diferensiasi dan percabangan dominansi apikal, perkembangan buah; membantu fototropisme dan geotropisme | Endosperm dan embrio pada biji, meristem apikal dan daun muda |
| Giberelin (contohnya GA ₁) | Merangsang perkecambahan biji dan tunas, pemanjangan batang, dan pertumbuhan daun; merangsang perbungaan dan perkembangan buah; memengaruhi pertumbuhan akar dan diferensiasi | Meristem apikal tunas, akar, dan daun muda; embrio |
| Sitokinin (contohnya kinetin) | Memengaruhi pertumbuhan dan diferensiasi akar, merangsang pembelahan sel dan pertumbuhan, perkecambahan, dan perbungaan, menunda penuaan sel | Disintesis di akar dan ditransportasikan ke organ lain |
| Etilen | Merangsang pematangan buah; berlawanan atau mengurangi efek auksin; merangsang atau menghambat pertumbuhan dan perkembangan akar, daun, dan bunga, bergantung pada spesiesnya | Jaringan buah masak, nodus (buku) batang, dan daun tua |
| Asam Absisat | Menghambat pertumbuhan; penutupan stomata saat kekeringan; memelihara dormansi | Daun, batang, dan buah hijau |

Sumber: Botany, 1995

a. Auksin

Sekitar tahun 1880, **Charles Darwin** dan putranya **Francis Darwin**, melakukan penelitian awal tentang fototropisme. **Fototropisme** adalah pertumbuhan tumbuhan menuju sumber cahaya. Darwin mencoba mengungkap pertanyaan, mengapa tumbuhan tumbuh menuju sumber cahaya. Mereka meneliti koleoptil rumput kenari (*Phalaris canariensis*) dan gandum (*Avena sativa*). Mereka menyimpulkan bahwa pertumbuhan koleoptil menuju cahaya dikendalikan oleh koleoptil.



Sumber: Biology: Concepts and Connections, 2006

Beberapa tahun kemudian pada 1913, seorang ahli botani Denmark, **Peter Boysen-Jensen**, menguji penelitian Darwin. Penelitiannya menegaskan bahwa fototropisme disebabkan oleh zat kimia yang dapat berpindah tempat.

Gambar 1.8

Percobaan yang dilakukan oleh Darwin dan Boysen-Jensen.



Sekilas Biologi

Frits Went
(1903-1990)



Frits Went adalah seorang ahli fisiologi tanaman. Dia lahir di Utrecht, Belanda pada tanggal 18 Mei 1903 dan meninggal pada tanggal 1 Mei 1990. Dia pernah melakukan penelitian di Kebun Raya Bogor pada tahun 1927–1933. Pada tahun 1926, dia berhasil menemukan hormon auksin.

Sumber: www.allbiographies.com

Kata Kunci

- Akropetal
- Basipetal
- Cahaya
- Dominasi apikal
- Fototropisme
- Parenkim

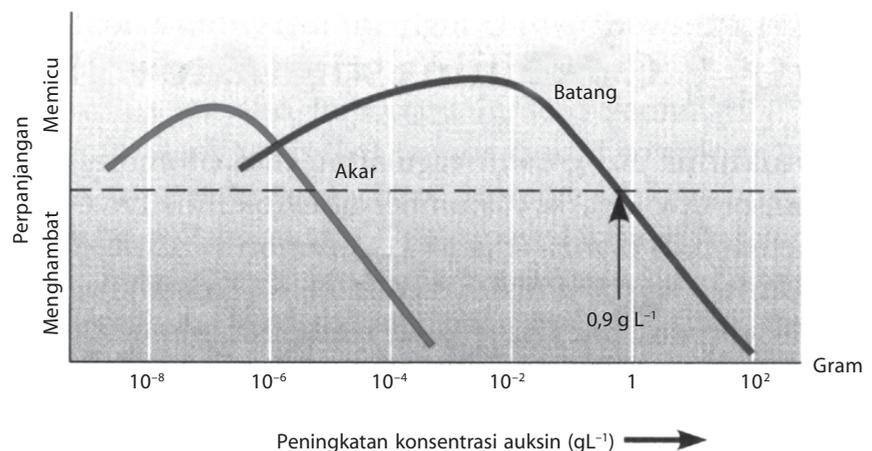
Akhirnya pada 1926, **Frits Went**, seorang peneliti dari Belanda memodifikasi penelitian Boysen-Jensen dan berhasil mengekstrak zat pengatur fototropisme pada tumbuhan rumput. Zat tumbuh atau hormon ini diberi nama auksin. Secara kimiawi, auksin ini bernama *indolacetic acid* (IAA). Setelah banyak penelitian tentang hormon, diketahui bahwa IAA ditemukan pada banyak tumbuhan.

IAA merupakan salah satu senyawa auksin alami. Terdapat beberapa auksin alami lain yang ditemukan pada tumbuhan, yaitu 4-chloro-IAA dan *phenylacetic acid*, namun, mereka lebih tidak aktif dibandingkan IAA. Selain auksin alami, terdapat juga auksin sintetis, yakni 2,4 D (*2,4-dichlorophenoxyacetic acid*) dan NAA (*naphthaleneacetic acid*).

IAA bergerak melalui sel-sel parenkim di korteks dan jaringan pembuluh. Pada batang, IAA bergerak secara **basipetal**, artinya IAA bergerak menuju dasar, bahkan jika batang dibalikkan. Pada akar, IAA bergerak secara **akropetal**, artinya bergerak menuju pucuk. Pengaruh auksin terhadap pertumbuhan dan perkembangan adalah sebagai berikut.

- 1) Merangsang pemanjangan sel pada kecambah rumput dan tumbuhan herba. Penyebaran auksin pada batang tidak merata sehingga daerah dengan banyak auksin mengalami pemanjangan sel dan membuat batang membengkok.
- 2) Merangsang pembentukan akar
- 3) Merangsang pembentukan buah tanpa biji
- 4) Merangsang diferensiasi jaringan pembuluh sehingga merangsang pertumbuhan diameter batang
- 5) Merangsang absisi (pengguguran daun)
- 6) Berperan dalam dominasi apikal, yaitu keadaan pertumbuhan batang terus ke atas dan tidak menghasilkan cabang. Jika ujung batang dipotong, dominasi apikal akan hilang dan tumbuhan menghasilkan cabang dari tunas ketiak.

Auksin merangsang pemanjangan sel pada konsentrasi tertentu. Rentang konsentrasi ini berbeda pada akar dan batang. Jika konsentrasi auksin terlalu tinggi, pemanjangan akar dan batang akan terhambat. Karena hal itu, auksin konsentrasi tinggi dapat digunakan sebagai herbisida.



Gambar 1.9

Pengaruh konsentrasi auksin terhadap pemanjangan sel

Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

b. Giberelin

Setelah penelitian **Frits Went** dipublikasikan, para ahli botani Jepang pada tahun 1926 mulai melakukan penelitian yang mengungkap adanya hormon tumbuhan baru, giberelin. **Ewiti Kurosawa** dan rekan-rekannya meneliti tanaman padi (*Oryza sativa*) yang terkena penyakit *foolish seedling*. Penyakit ini menyebabkan tanaman pucat dan luar biasa panjang. Diduga disebabkan infeksi jamur *Gibberella fujikuroi*.

Akhirnya E. Kurosawa berhasil mengisolasi zat yang dihasilkan jamur *Gibberella* yang menyebabkan penyakit tersebut. Zat ini dinamakan giberelin. Lebih dari delapan jenis giberelin telah didapatkan dari berbagai jamur dan tumbuhan. Penamaan giberelin disingkat GA (*gibberellic acid*) dan diberi nomor. Contohnya, GA₃ adalah giberelin yang didapat dari jamur *Gibberella fujikuroi* dan paling banyak dipelajari.

Giberelin terdapat pada tumbuhan angiospermae, gymnospermae, lumut, tumbuhan paku, dan jamur. Dalam angiospermae, giberelin terdapat pada biji muda, pucuk batang, ujung akar, dan daun muda. Giberelin ditransportasikan ke seluruh bagian tumbuhan melalui xilem dan floem.

Terdapat beberapa pengaruh giberelin terhadap tumbuhan, yaitu:

- 1) merangsang pemanjangan batang dan pembelahan sel;
- 2) merangsang perkecambahan biji dan memecah dormansi biji;
- 3) merangsang perbungaan dan pembentukan buah.

c. Sitokinin

Pada 1940, ahli botani **Johannes van Overbeek** melakukan penelitian yang menyimpulkan bahwa embrio tanaman tumbuh lebih cepat jika ditambahkan air buah kelapa. Air buah kelapa tersebut merupakan cairan endospermae buah kelapa yang banyak mengandung asam nukleat. Kemudian pada 1950, **Folke Skoog** dan siswanya, **Carlos Miller** mencampurkan DNA sperma ikan hering pada kultur jaringan tembakau. Sel-sel kultur jaringan tersebut mulai membelah diri.

Setelah sekian lama melakukan percobaan, Skoog dan Miller berhasil mengisolasi zat yang menyebabkan pembelahan sel. Zat ini dinamai kinetin. Adapun kelompok zat kinetin ini disebut **sitokinin** karena zat tersebut merangsang pembelahan sel (sitokinesis).

Selain kinetin, ditemukan juga sitokinin lain, seperti zeatin (dari jagung), zeatin ribosida, dan BAP (*6-benzilaminopurin*). Sitokinin diisolasi dari tumbuhan angiospermae, gymnospermae, lumut, dan tumbuhan paku. Pada angiospermae, sitokinin banyak terdapat pada biji, buah, dan daun muda. Sitokinin ditransportasikan melalui xilem, floem, dan sel parenkim.

Sitokinin memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan, antara lain:

- 1) bersama auksin mengatur pembelahan sel, pembentukan sistem tajuk dan sistem akar;
- 2) merangsang pembelahan sel dan pembesaran kotiledon;
- 3) memengaruhi organogenesis (pembentukan organ);
- 4) menghambat kerusakan klorofil pada daun gugur;
- 5) merangsang pembentukan tunas batang.



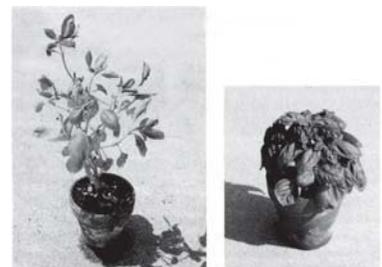
Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 1.10

Pengaruh giberelin (kanan) terhadap tumbuhan

Kata Kunci

- Air buah kelapa
- Biji muda
- Daun muda
- Kinetin
- Organogenesis
- Pucuk batang
- Ujung akar



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 1.11

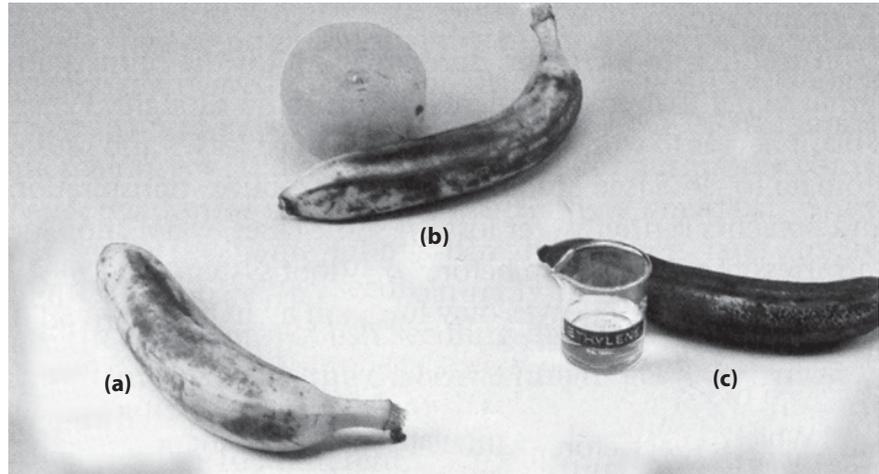
Pengaruh sitokinin (kiri) terhadap tumbuhan

Kata Kunci

- Absisi
- Dormansi tunas
- Gas
- Inhibitor
- Matang
- Meristem apikal

d. Gas Etilen

Etilen merupakan hormon tumbuhan pertama dalam bentuk gas. Jika buah jeruk yang sudah matang disatukan bersama buah pisang, buah pisang tersebut matang lebih cepat karena jeruk mengeluarkan gas etilen (**Gambar 1.12**). Penemuan hormon ini pada tumbuhan kali pertama diungkapkan oleh **R. Gane** pada 1934.



Gambar 1.12

(a) Pisang saja, (b) pisang yang telah disimpan bersama jeruk matang, dan (c) pisang yang telah disimpan bersama etilen cair. Semakin tinggi kadar etilen, semakin cepat pisang matang.

Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Etilen dibuat tumbuhan dan menyebabkan pematangan yang lebih cepat pada banyak buah, termasuk pisang. Pembentukan gas etilen memerlukan O_2 dan dihambat oleh CO_2 .

Semua bagian tumbuhan angiospermae dapat menghasilkan gas etilen. Pembentukannya terutama terjadi di akar, meristem apikal pucuk, modus, bunga yang gugur, dan buah matang. Gas etilen memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan, di antaranya sebagai berikut.

- 1) Pematangan buah. Para pedagang sering menyimpan buah dalam wadah yang diberi gas CO_2 pada saat pengiriman agar buah lebih lama matang dan matang setelah sampai tujuan. Terkadang pedagang memeras buah matang dengan buah yang baru agar cepat matang.
- 2) Gas etilen menghambat perbungaan pada banyak tumbuhan. Akan tetapi, pada beberapa jenis tumbuhan, gas etilen merangsang perbungaan. Contohnya pada pohon mangga dan nanas.
- 3) Merangsang absisi (pengguguran daun).
- 4) Bersama giberelin menentukan ekspresi organ kelamin tumbuhan, contohnya pada mentimun.

e. Asam Absisat

Penemuan berbagai hormon tumbuhan memberikan jalan baru untuk menjelaskan pertumbuhan dan perkembangan. Para ilmuwan menduga bahwa ada zat atau hormon tumbuhan lain yang tidak hanya merangsang, tetapi menghambat pertumbuhan dan perkembangan. Pada sekitar 1940-an **Torsten Hemberg** dari Swedia melaporkan adanya zat inhibitor

(penghambat) yang mencegah efek IAA terhadap dormansi tunas kentang. Hemberg memberi nama zat penghambat ini *dormin*, karena pengaruhnya terhadap dormansi tunas.

Pada awal 1960, **Philip Woreing** meneliti temuan Hemberg. Ia melaporkan bahwa pemberian dormin dapat menginduksi dormansi. Pada waktu yang sama, **F.T. Addicott** menemukan zat yang merangsang absisi buah tanaman kapas. Ia memberi nama zat ini *abscisin*. Para ahli botani terkejut mengetahui bahwa dormin dan *abscisin* adalah zat yang sama. Zat ini kemudian diberi nama asam absisat atau ABA.

Asam absisat terdapat pada angiospermae, gymnospermae, dan lumut tetapi tidak pada lumut hati. ABA bergerak ke seluruh bagian tumbuhan melalui xilem, floem, dan parenkim. Tidak terdapat ABA sintetik. ABA memiliki beberapa pengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan, di antaranya sebagai berikut.

- 1) Mengatur dormansi tunas dan biji
- 2) ABA memiliki pengaruh yang berlawanan dengan hormon tumbuhan lain. Misalnya, ABA menghambat produksi amilase pada biji yang diberi giberelin. ABA juga menghambat pemanjangan dan pertumbuhan sel yang dirangsang oleh IAA.
- 3) Menyebabkan penutupan stomata
- 4) Meskipun ABA menghambat pertumbuhan, tetapi tidak bersifat racun terhadap tumbuhan.

2. Faktor Eksternal

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan sangat dipengaruhi oleh lingkungan. Terdapat beberapa faktor lingkungan yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan, yaitu nutrisi, air, cahaya, suhu, kelembapan, dan gravitasi.

a. Nutrisi

Tumbuhan memerlukan setidaknya enam belas elemen penting. Karbon, hidrogen, oksigen, fosfor, potasium, nitrogen, sulfur, kalsium dan magnesium diperlukan dalam jumlah relatif banyak dan disebut **makronutrien**. Zat besi, klor, tembaga, mangan, seng, boron, dan molybdenum diperlukan dalam jumlah sedikit dan disebut **mikronutrien**.

Elemen-elemen penting didapat dari lingkungan dengan jumlah dan bentuk yang berbeda-beda. Setelah diserap, zat-zat tersebut dapat menjadi bagian struktur tumbuhan dan berfungsi dalam metabolisme. Zat-zat tersebut juga dapat menjadi zat pemacu dan penghambat enzim serta memengaruhi tekanan osmosis sel.

Berikut disajikan tabel unsur makro dan mikro bagi tumbuhan dan gejala kekurangan (*defisiensi*) unsur tersebut. Perhatikan **Tabel 1.2**.

Logika Biologi

Anda memiliki pohon pepaya di kebun belakang rumah. Jika pohon pepaya tersebut Anda siram setiap hari dengan air gula 10 %, apakah buah pepaya tersebut pasti akan manis? Mengapa?

Tabel 1.2 Unsur-Unsur Penting bagi Tumbuhan

| Unsur | Bentuk Molekul | Kepentingan bagi Tumbuhan | Gejala Defisiensi |
|--------------------|--|---|--|
| Unsur Makro | | | |
| Karbon | CO ₂ | Molekul-molekul organik dalam sel tumbuhan | Sangat jarang mengalami desisiensi |
| Oksigen | H ₂ O, O ₂ | Molekul organik dan anorganik dalam sel | Sangat jarang mengalami desisiensi |
| Nitrogen | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ | Pembentuk protein dan asam nukleat, hormon, koenzim | Daun pucat, klorosis yang berubah menjadi merah dan ungu, pertumbuhan terhenti |
| Kalium | K ⁺ | Kofaktor fungsional dalam sintesis protein, osmosis, keseimbangan ion dalam sel | Klorosis, pinggir daun cokelat, akar dan batang kerdil/lemah |
| Kalsium | Ca ²⁺ | Sintesis dinding sel, kofaktor enzim, perbaikan struktur membran | Menghambat pertumbuhan pada daerah meristem |
| Magnesium | Mg ²⁺ | Bagian dari molekul klorofil, berfungsi pada sintesis protein, berlaku sebagai kofaktor enzim | Klorosis daun pada daun tua, terdapat bercak merah atau ungu |
| Fosfor | H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ | Bagian dari asam nukleat dan fosfolipid, ATP, dan beberapa koenzim | Menghambat pertumbuhan, daun tua berwarna hijau tua |
| Sulfur (belerang) | SO ₄ ²⁻ | Bagian dari jenis-jenis protein, koenzim | Klorosis, daun kuning |
| Unsur Mikro | | | |
| Klorin | Cl ⁻ | Keseimbangan tekanan osmotik sel, reaksi fotosintesis | Tanaman layu, menghambat pertumbuhan akar, produksi buah kurang, klorosis |
| Besi | Fe ³⁺ , Fe ²⁺ | Bagian dari enzim penting (sitokrom), sintesis klorofil | Daun muda klorosis, batang pendek dan ramping |
| Boron | H ₃ BO ₃ | Berguna bagi transportasi karbohidrat dan sintesis asam nukleat | Meristem apikal batang dan akar mati, daun menggulung |
| Mangan | Mn ²⁺ | Enzim dalam siklus Krebs, pembebasan oksigen pada fotosintesis | Klorosis |
| Seng | Zn ²⁺ | Aktif dalam pembentukan klorofil, mengaktifkan beberapa enzim | Ukuran daun mengecil, klorosis, pemendekan internodus |
| Tembaga | Cu ⁺ , Cu ²⁺ | Kofaktor enzim, diperlukan dalam transpor elektron fotosintesis | Daun hijau tua, ujungnya kering, menggulung |
| Molybdenum | MoO ₄ ²⁻ | Fiksasi nitrogen | Klorosis, daun menggulung, daun muda mati |

Sumber: *Biology*, 1998

Semua unsur yang diperlukan oleh tumbuhan terkecuali karbon, didapatkan melalui akar. Absorpsi ini dibantu oleh luas penampang akar dan adanya ion-ion pada membran sel.

Dengan adanya pengetahuan tentang unsur-unsur yang diperlukan tumbuhan, manusia mulai mengembangkan cara pemupukan, hidroponik dan kultur jaringan. **Hidroponik** adalah cara pembudidayaan tanaman tanpa tanah. Sebagai penggantinya, tumbuhan ditanam pada air yang mengandung unsur-unsur yang diperlukannya. Selain air, penanaman hidroponik dapat juga dilakukan pada medium pasir dan kerikil.

Kultur jaringan merupakan teknik pengembangbiakan tanaman dalam medium bernutrisi dan dilakukan secara aseptik. Jaringan yang digunakan bermacam-macam, bahkan sel pun dapat digunakan. Hasil kultur jaringan berupa tanaman baru yang sifatnya sama dengan induknya dalam jumlah yang banyak.

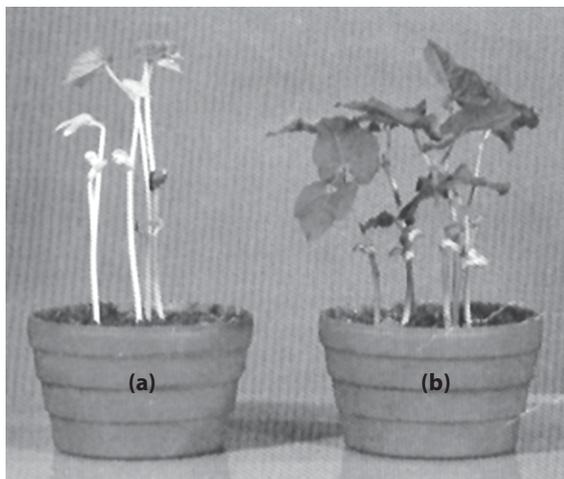
Tugas Anda 1.1

Bersama kelompok Anda, rencanakanlah sebuah percobaan mengenai pengaruh faktor luar terhadap tumbuhan. Faktor luar dapat berupa pengaruh nutrisi, cahaya (misalnya, intensitas dan lama pencahayaan), dan suhu (misalnya, dosis dan jenis pupuk). Buatlah rencana percobaan dalam bentuk proposal dan mencakup di dalamnya judul percobaan, latar belakang percobaan, tinjauan pustaka, hipotesis, tujuan dan manfaat percobaan, metode percobaan, serta daftar pustaka. Serahkan proposal kepada guru Anda untuk disetujui dengan memperhitungkan lama percobaan, bahan yang diperlukan, ketersediaan tempat, serta biaya.

Jika proposal kelompok Anda disetujui, lakukan percobaan tersebut sesuai metode yang telah kelompok Anda buat. Setelah diperoleh hasil percobaan, buatlah kesimpulannya. Laporkan hasil percobaan dalam bentuk laporan tertulis dan presentasikan hasil percobaan pada hari yang ditentukan guru Anda. Tanyakanlah kepada guru Anda jika terdapat hal-hal yang tidak Anda pahami.

b. Cahaya

Tumbuhan memerlukan cahaya sebagai syarat terjadinya fotosintesis. Tanpa fotosintesis, tumbuhan tidak dapat menyintesis makanannya. Hal ini berakibat terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Bukti yang sangat jelas terlihat pada tumbuhan yang hidup di tempat gelap. Tumbuhan tersebut tumbuh cepat dengan batang yang lebih panjang, ramping, dan rapuh serta daun yang tidak lebar dan pucat. Pertumbuhan tumbuhan di tempat gelap ini disebut **etiolasi**. Pada tumbuhan yang tumbuh di tempat terang, tumbuh lebih pendek, batang kokoh, dan daun hijau, lebar, serta lebih tebal. Perhatikan **Gambar 1.13**.



Sumber: *Biology; The Unity and Diversity of Life*, 1995

Pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan terutama perbungaan juga dipengaruhi oleh lamanya pencahayaan. Pada daerah dengan empat musim, lama siang hari dapat mencapai 16–20 jam sehingga dikenal

Kata Kunci

- Cahaya
- Defisiensi
- Etiolasi
- Fotoperiodisme
- Hidroponik
- Kultur jaringan
- Makronutrien
- Mikronutrien

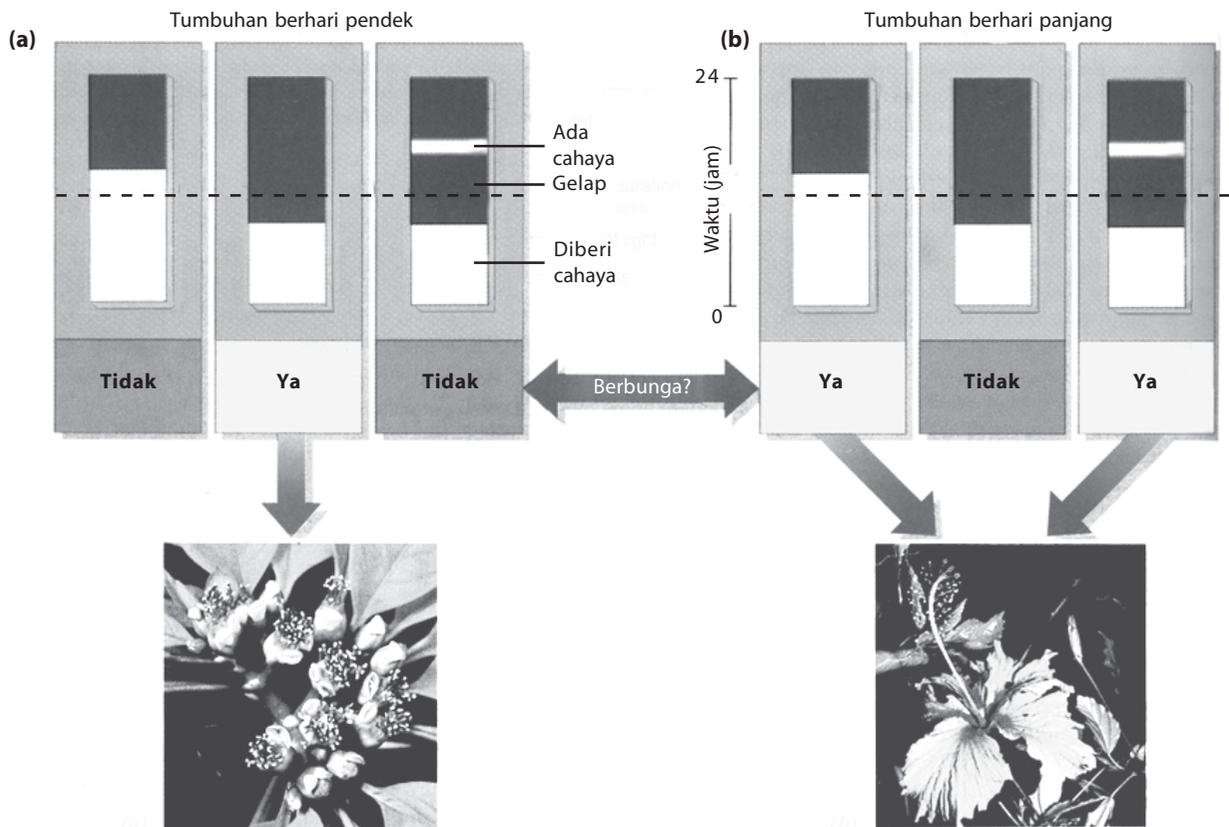
Gambar 1.13

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

Logika Biologi

Jika Anda menanam suatu jenis tumbuhan khas pegunungan di pantai, apakah tumbuhan tersebut akan tumbuh dengan baik? Mengapa hal tersebut dapat terjadi?

tiga macam tumbuhan, yaitu tumbuhan berhari pendek, tumbuhan berhari panjang, dan tumbuhan berhari netral. Respons tumbuhan terhadap lamanya pencahayaan ini disebut **fotoperiodisme**. Meskipun penelitian lebih lanjut menegaskan bahwa fotoperiodisme dipengaruhi lamanya gelap dan bukan lamanya penyinaran. Akan tetapi istilah tumbuhan berdasarkan lamanya penyinaran masih tetap digunakan. Oleh karena itu, tumbuhan berhari pendek sebenarnya adalah tumbuhan bermalam panjang dan tumbuhan berhari panjang sebenarnya adalah tumbuhan bermalam pendek. Gambar berikut memperlihatkan perbedaan pengaruh lama pencahayaan terhadap tumbuhan berhari pendek dan tumbuhan berhari panjang. Perhatikan **Gambar 1.14** berikut ini.



Gambar 1.14

(a) Tumbuhan hari pendek dan
(b) tumbuhan hari panjang

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Perbungan pada tumbuhan ini bergantung pada periode kritis gelap. Pada gambar terlihat bahwa tumbuhan berhari pendek tidak akan berbunga jika periode gelapnya tidak melebihi 10 jam gelap. Apa yang terjadi jika periode gelapnya terganggu cahaya?

Pada tumbuhan berhari panjang, tumbuhan akan berbunga jika lama gelap lebih pendek daripada periode kritis gelap (kurang dari 10 jam). Periode kritis ini berbeda-beda pada setiap spesies. Para petani menggunakan pengetahuan ini untuk memanen bunga di luar musimnya. Tumbuhan berhari pendek contohnya dahlia (*Dahlia* sp.), stroberi (*Fragaria vesca*), krisan (*Chrysanthemum* sp.), dan aster (*Aster novae-angliae*). Adapun tumbuhan berhari panjang contohnya kentang (*Solanum tuberosum*) dan gandum (*Avena sativa*).

Tumbuhan berhari netral masa perbungaannya tidak bergantung lamanya pemaparan cahaya. Contoh tumbuhan ini yaitu bunga matahari (*Helianthus annuus*), dan mawar (*Rosa hibrida*).

Setelah penemuan fotoperiodisme pada tumbuhan, para ilmuwan berusaha menjawab pertanyaan baru bagaimana tumbuhan mengetahui fotoperiodisme. Pada tumbuhan terdapat pigmen yang dapat menangkap cahaya, yaitu fitokrom. Fitokrom ini akan berubah bentuk pada malam dan siang hari karena penyerapan cahaya spektrum merah dan infra merah.

Arah cahaya juga dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Hal ini berhubungan dengan hormon auksin dan telah Anda pelajari sebelumnya.

c. Suhu

Suhu memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Karena suhu berpengaruh terhadap laju metabolisme, fotosintesis, respirasi, dan transpirasi tumbuhan.

Suhu tinggi merusakkan enzim sehingga metabolisme tidak berjalan baik. Suhu rendah pun menyebabkan enzim tidak aktif dan metabolisme terhenti. Oleh karena itu, tumbuhan memiliki suhu optimum antara 10–38°C. Adapun tumbuhan tidak akan bertahan pada suhu di bawah 0°C dan di atas 40°C.

d. Gravitasi

Akar tumbuhan selalu tumbuh mengarah ke bawah. Peristiwa ini disebut **gravitropisme**. Proses ini dipengaruhi oleh kalsium dan IAA. Hal ini menyebabkan batang tumbuh ke atas dan akar tumbuh ke bawah. IAA pada batang menyebabkan pemanjangan batang, sedangkan pada akar akan menghambat pertumbuhan akar. Gravitropisme penting bagi tumbuhan karena:

- 1) pertumbuhan akar ke bawah meningkatkan kemungkinan akar mendapat air dan mineral;
- 2) batang dan daun akan mendapatkan cahaya matahari untuk fotosintesis.

Tugas Anda 1.2

Di Kelas VII, Anda telah mempelajari penyelidikan ilmiah dalam bidang Biologi. Salah satu tahap di dalamnya adalah mengomunikasikan hasil penelitian.

Tugas Anda sekarang adalah mengumpulkan hasil penelitian yang telah dipublikasikan mengenai penggunaan hormon tumbuhan dalam peningkatan produksi pertanian. Hasil penelitian tersebut dapat berupa artikel, makalah sains, dan jurnal penelitian. Anda dapat mencari sumber melalui majalah sains, jurnal penelitian, dan internet.

Tugas ini bertujuan memperluas wawasan Anda. Selain memperluas wawasan materi mengenai pertumbuhan, dapat juga memperluas wawasan Anda mengenai cara mengomunikasikan hasil suatu penelitian.

Kata Kunci

- Akar
- Enzim
- Gravitasi
- Gravitropisme
- Metabolisme
- Suhu



Fakta Biologi

Rata-rata suhu udara 20–25°C sudah optimum untuk pertumbuhan tanaman buncis. Buncis menjalar cenderung tumbuh lebih baik pada suhu agak lebih dingin, dan lebih peka terhadap suhu tinggi pada saat pembungaan dibandingkan dengan tipe semak. Cekaman panas berpengaruh buruk terhadap pembentukan polong, dan beberapa kultivar lebih toleran dibanding yang lain. Suhu tanah yang sesuai adalah 18–30°C. Buncis peka terhadap kekeringan dan genangan.

Sumber: www.iptek.net.id

Latihan Pemahaman Subbab B

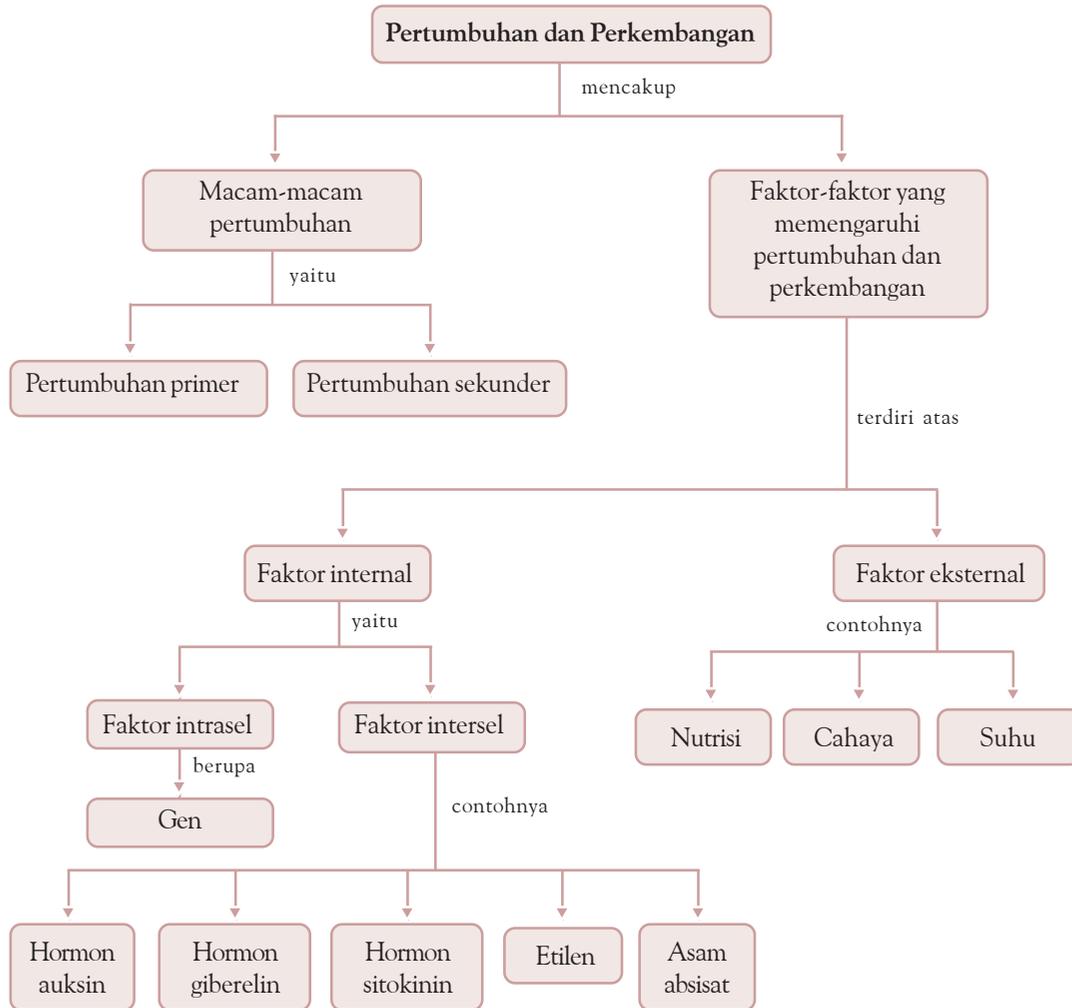
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Sebutkan beberapa unsur-unsur penting bagi tumbuhan.
2. Apa yang dimaksud dengan fotoperiodisme?
3. Sebutkan hormon yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan.

Rangkuman

1. Pada tumbuhan maupun hewan terjadi proses pertumbuhan dan perkembangan. Pertumbuhan pada tumbuhan berupa pertumbuhan primer yang terjadi selama fase embrio sampai perkecambahan dan pertumbuhan sekunder.
2. Tahap awal pertumbuhan pada tanaman monokotil berbeda dengan pada dikotil. Pada monokotil akan tumbuh koleoptil sebagai pelindung ujung bakal batang. Pada dikotil tidak muncul koleoptil. Akan tetapi, dari dalam tanah kotiledonnya akan muncul ke atas permukaan tanah bersamaan dengan daun pertama.
3. Membesarnya batang tumbuhan dikotil merupakan proses pertumbuhan sekunder. Bagian yang paling berperan dalam pertumbuhan sekunder adalah kambium dan kambium gabus (felogen). Ke arah dalam kambium akan membentuk pembuluh kayu (xilem), sedangkan ke arah luar akan membentuk pembuluh tapis (floem).
4. Pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu faktor eksternal (luar) dan faktor internal (dalam). Faktor eksternal, misalnya nutrisi, cahaya, dan suhu. Adapun faktor internal contohnya hormon.
5. Hormon pada tumbuhan berupa auksin untuk mempercepat pertumbuhan pucuk, giberelin untuk mengatur pemanjangan batang serta pertumbuhan pucuk dan buah, sitokinin untuk memperpanjang usia jaringan, asam absisat untuk menghambat pertumbuhan, dan gas etilen untuk pematangan buah.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi **Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan** ini? Cukup menarik, bukan? Setelah mempelajari bab ini, Anda telah mengetahui beberapa faktor internal dari faktor eksternal yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan. Dari pengetahuan ini, Anda tentunya tidak takut memelihara tanaman karena telah mengetahui faktor yang mempengaruhinya.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu merencanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan; melaksanakan percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan

tumbuhan; mengomunikasikan hasil percobaan pengaruh faktor luar terhadap pertumbuhan tumbuhan. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Selanjutnya, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan permasalahan berkenaan dengan materi Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan. Agar Anda mampu memahami materi pada bab ini lebih baik, pastikanlah Anda menguasai materi bab ini dengan giat belajar, mengerjakan tugas, dan aktivitas biologi, latihan subbab, serta mengerjakan evaluasi kompetensi pada bab ini.

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

- Faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan adalah
 - gen, cahaya, dan air
 - gen, cahaya, suhu, dan kelembapan
 - air, cahaya, dan kelembapan
 - hormon, kelembapan, dan suhu
 - gen, hormon, dan nutrisi
- Pertumbuhan suatu tumbuhan dapat dinyatakan dengan hal berikut, *kecuali*
 - bertambah banyaknya sel-sel
 - sel semakin membesar
 - penambahan substansi sel
 - penambahan panjang sel-sel tubuh
 - merupakan proses bersifat reversibel
- Etiolasi merupakan pertumbuhan
 - sangat lambat akibat pengaruh cahaya
 - sangat cepat karena cahaya matahari
 - lambat dalam keadaan gelap
 - cepat dalam keadaan gelap
 - lambat akibat kekurangan auksin
- Jika biji tanaman yang sedang berkecambah dipindahkan ke tempat gelap, pertumbuhan akan menjadi
 - lambat
 - terhenti sama sekali
 - batang mengecil dan memanjang
 - cepat pada batang
 - batang dan akar pendek
- Faktor internal yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan adalah
 - hormon
 - nutrisi
 - suhu
 - kecepatan angin
 - kondisi tanah
- Perhatikan tabel pertumbuhan biji padi berikut ini.

| Umur (hari) | Tinggi (cm) |
|-------------|-------------|
| 2 | 1 |
| 4 | 3 |
| 6 | 5 |
| 8 | 8 |
| 10 | 9 |

Data tersebut dapat dituangkan pada grafik dengan cara

- umur diletakkan pada garis vertikal
- tinggi diletakkan pada garis horizontal
- tinggi diletakkan pada garis vertikal
- rata-rata tinggi diletakkan pada garis horizontal
- rata-rata umur diletakkan pada garis vertikal

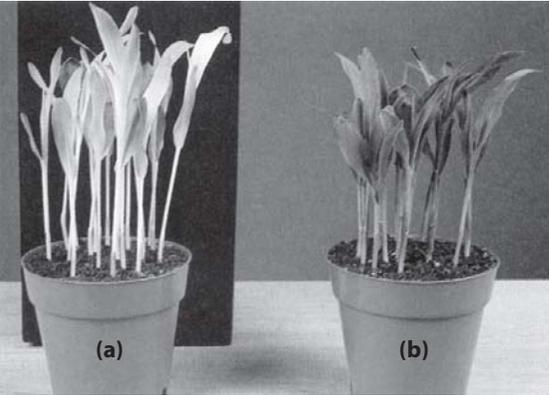
- Pertumbuhan memanjang pada ujung-ujung tumbuhan disebut
 - pertumbuhan primer
 - pertumbuhan sekunder
 - pertumbuhan tersier
 - pertumbuhan tunggal
 - pertumbuhan teratur
- Pertumbuhan pada tumbuhan disebabkan aktivitas jaringan
 - parenkim
 - kolenkim
 - epidermis
 - pembuluh
 - meristem
- Pertumbuhan sekunder pada tumbuhan dikotil menyebabkan
 - akar memanjang
 - tumbuhan berbunga
 - daun menggulung
 - batang melebar
 - pucuk memanjang
- Perhatikan gambar berikut.



Sumber: Heath Biology, 1985

Pertumbuhan tanaman tersebut dipengaruhi oleh

- cahaya matahari
 - kelembapan
 - nutrisi
 - suhu
 - air
- Sebelum tumbuh tunas dan daun, sumber makanan utama kecambah adalah

- a. akar
b. kotiledon
c. batang
d. embrio
e. pupuk
12. Sitokinin adalah hormon tumbuhan yang
a. berperan dalam pembelahan sel meristem akar
b. volume air saat menyiram
c. menghambat pertumbuhan batang
d. bekerja antagonis dengan etilen
e. terdapat di seluruh bagian akar
13. Perhatikan hal-hal yang berhubungan dengan tumbuhan berikut ini
1) hormon, 4) pupuk, dan
2) cahaya, 5) suhu.
3) genetis,
Faktor-faktor luar yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan adalah
a. 1, 2, dan 3
b. 1, 4, dan 5
c. 2, 3, dan 4
d. 2, 4, dan 5
e. 1, 3, dan 4
14. Berikut ini beberapa nutrisi penting bagi tumbuhan
1) karbon 4) kalsium
2) fosfor 5) besi
3) boron
Unsur-unsur yang diperlukan dalam jumlah relatif banyak (makronutrien) adalah
a. 1, 2, dan 3
b. 2, 3, dan 4
c. 1, 2, dan 4
d. 2, 4, dan 5
e. 3, 4, dan 5
15. Perhatikan gambar berikut.
- 
- Sumber: Heath Biology, 1985**
- Gambar tersebut merupakan perbandingan pertumbuhan tanaman yang disimpan (a) di tempat gelap dan (b) di tempat terang. Daun tanaman pot (a) berwarna kuning, sedangkan pot (b) berwarna hijau. Hal ini menunjukkan
- a. cahaya membantu fotosintesis
b. cahaya matahari membantu pembentukan klorofil
c. cahaya matahari menghambat hormon tanaman
d. suhu udara diperlukan untuk pertumbuhan tanaman
e. suhu udara menghambat pertumbuhan tanaman
16. "Semakin banyak pupuk NPK yang diberikan, semakin cepat pertumbuhan padi". Dari pernyataan tersebut yang *bukan* kemungkinan rancangan percobaan penelitian tersebut adalah
a. penggunaan pupuk kandang
b. penggunaan pupuk NPK
c. pemupukan 2, 4, dan 6 gram NPK
d. digunakan medium tanah
e. penggunaan benih tanaman padi
17. Faktor yang menghambat pertumbuhan antara lain cahaya matahari karena di dalam tumbuhan cahaya memengaruhi aktivitas
a. plastida
b. klorofil
c. glukosin
d. auksin
e. genetik
18. Jika tumbuhan berhari pendek setiap malam terkena cahaya beberapa saat, akan menyebabkan tumbuhan tersebut
a. mati
b. kekeringan
c. tidak berbunga
d. terhenti pertumbuhannya
e. berbunga
19. Berikut ini merupakan bagian akar yang memiliki sifat meristematis, *kecuali*
a. pucuk
b. kambium
c. felogen
d. ujung akar
e. perisikel
20. Berikut ini beberapa jaringan meristem yang ada di tumbuhan
1) lateral
2) interkalar
3) intravasikuler
4) apikal
Meristem yang menyebabkan pemanjangan tanaman jagung (*Zea mays*) adalah
a. 1 dan 2
b. 1 dan 4
c. 2 dan 3
d. 2 dan 4
e. 3 dan 4

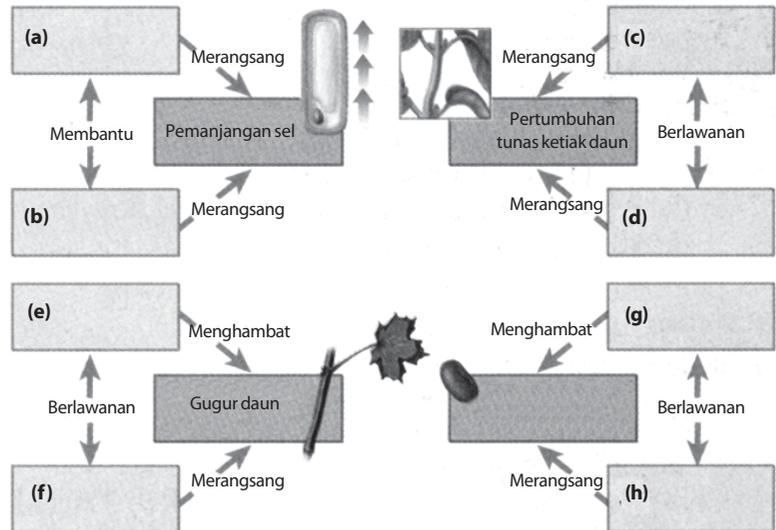
B. Soal Uraian

1. Mengapa perkembangan bersifat *reversible*? Jelaskan.
2. Tuliskan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan tumbuhan dan beri contohnya.
3. Jelaskan apa yang dimaksud pertumbuhan.
4. Jelaskan hubungan antara cahaya dan auksin dalam memengaruhi pertumbuhan.

5. Guru Anda memberi tugas untuk melakukan percobaan biji kacang merah. Pot A diberi media humus dan pot B diberi media tanah. Tentukanlah hipotesis dari langkah kerja percobaan tersebut.

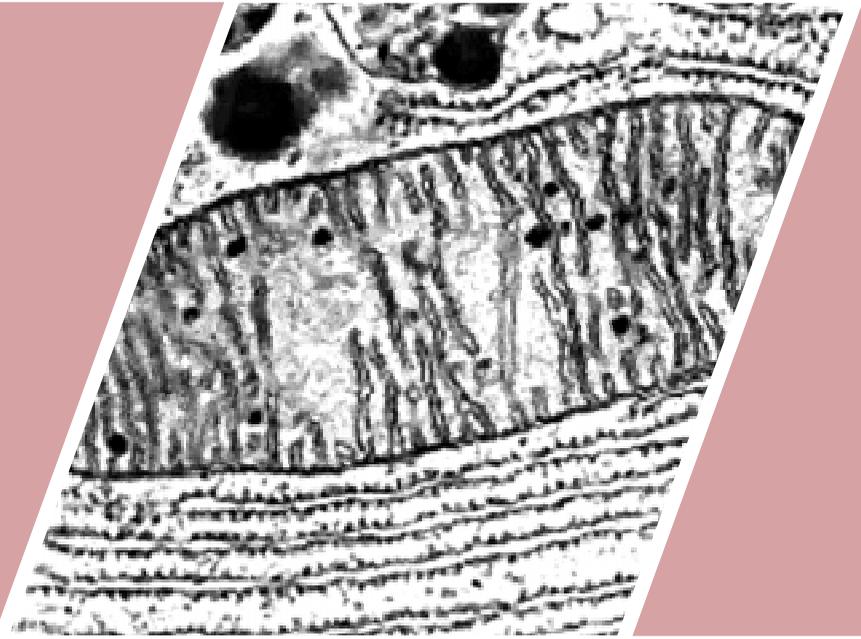
C. Soal Tantangan

Anda telah mengetahui bahwa pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan dipengaruhi oleh hormon, yaitu auksin, sitokinin, giberelin, asam absisat, dan etilen. Ternyata, beberapa hormon tersebut pengaruhnya saling berkaitan. Lengkapilah diagram berikut dengan jenis-jenis hormon yang sesuai.



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Bab 2



Sumber: www.miguelpalma.cl.tripod.com

Mitokondria merupakan tempat terjadinya respirasi sel

Metabolisme

Hasil yang harus Anda capai:

memahami pentingnya proses metabolisme pada organisme.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- mendeskripsikan fungsi enzim dalam proses metabolisme;
- mendeskripsikan proses katabolisme dan anabolisme karbohidrat;
- menjelaskan keterkaitan antara proses metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein.

Semua makhluk hidup menunjukkan aktivitas hidup, misalnya bernapas, bergerak, berkembang biak, tumbuh, dan berkembang. Untuk melakukan aktivitas tersebut makhluk hidup memerlukan energi. Setiap makhluk hidup memperoleh energi dengan cara yang berbeda-beda. Misalnya, manusia dan hewan memperoleh energi dari makanan yang dimakannya. Bagaimanakah dengan tumbuhan? Dalam bentuk apakah energi yang digunakan makhluk hidup?

Energi diperoleh makhluk hidup melalui proses metabolisme. Proses ini memerlukan bahan makanan dan oksigen serta menghasilkan bahan sisa, seperti CO_2 dan air. Selain pembentukan energi, metabolisme juga meliputi proses pembentukan molekul yang memerlukan energi.

- A. Molekul yang Berperan dalam Metabolisme
- B. Katabolisme Karbohidrat
- C. Anabolisme Karbohidrat
- D. Metabolisme Protein dan Lemak

Tes Kompetensi Awal

1. Apakah manfaat oksigen bagi tubuh Anda?
2. Menurut pendapat Anda, dari manakah energi pada makhluk hidup diperoleh?
3. Mengapa jika Anda belum makan, badan terasa lemas?



Sekilas Biologi

Edward Buchner
(1860–1917)



Edward Buchner adalah seorang ahli kimia asal Jerman. Ia lahir di Munich, anak seorang dokter. Buchner memperlihatkan bahwa fermentasi dapat terjadi di luar sel hidup. Hal ini merupakan awal penemuan enzim.

Sumber: www.nndb.com

A. Molekul yang Berperan dalam Metabolisme

Metabolisme adalah semua proses kimiawi yang terjadi dalam tubuh makhluk hidup. Metabolisme berasal dari bahasa Yunani, *metabole* yang artinya “berubah”. Proses metabolisme ini melibatkan berbagai reaksi kimia. Reaksi-reaksi tersebut memerlukan energi. Dari manakah energi didapatkan?

Sumber energi utama bagi seluruh makhluk hidup yang ada di bumi berasal dari energi matahari. Energi matahari tersebut digunakan oleh produsen, seperti tumbuhan untuk melangsungkan fotosintesis. Melalui fotosintesis, energi diubah menjadi senyawa berenergi seperti ATP. ATP digunakan langsung oleh tumbuhan atau disimpan dalam bentuk karbohidrat. Karbohidrat tersebut selanjutnya dapat diubah dan disimpan dalam bentuk lemak, protein, dan senyawa organik lainnya.

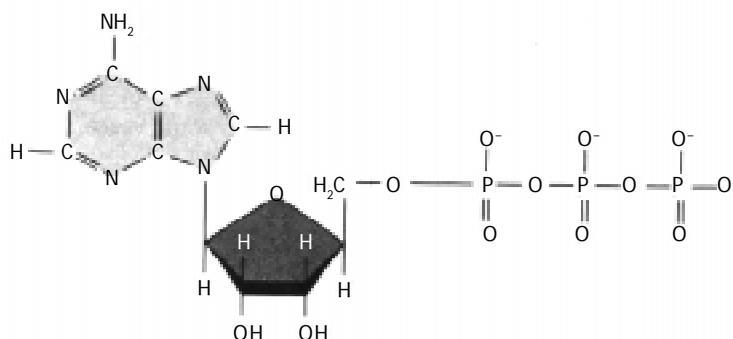
Konsumen seperti hewan herbivor mendapatkan senyawa organik setelah memakan produsen. Mereka mendapatkan energi melalui pemecahan molekul organik melalui proses respirasi sel. Energi yang didapatkan ini digunakan dalam berbagai aktivitas hidup.

Dari uraian tersebut diketahui bahwa secara tidak langsung, konsumen memperoleh energi dari matahari. Selain itu, terjadi perubahan bentuk energi dari energi sinar matahari menjadi energi kimia oleh tumbuhan. Proses ini disebut transformasi energi. Hal tersebut sesuai dengan Hukum Termodinamika Pertama, bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dlenyapkan, tetapi energi dapat diubah dan berpindah.

Dalam tubuh makhluk hidup, energi disimpan dalam bentuk ikatan fosfat berenergi tinggi. Energi tersebut digunakan untuk kontraksi otot, proses metabolisme, atau hilang dalam bentuk panas. Sebelum membahas metabolisme lebih jauh, terlebih dahulu dibahas molekul atau zat yang berperan dalam metabolisme. Apa saja molekul tersebut?

1. Adenosin Trifosfat

Adenosin trifosfat (ATP) adalah molekul berenergi tinggi yang tersusun atas basa adenin, gugus gula ribosa, dan tiga gugus fosfat.



Gambar 2.1
Rumus bangun ATP

Sumber: *Biology*, 1996

Ikatan tiga fosfat pada ATP tidak stabil dan ikatannya dapat putus melalui hidrolisis. Jika satu gugus fosfat terputus dari ikatan tersebut, ikatan ATP menjadi ikatan ADP (adenosin difosfat). Reaksi hidrolisis ini merupakan reaksi yang melepaskan energi. Hidrolisis satu mol ATP menghasilkan 7,3 kkal energi.

Makhluk hidup menggunakan ATP terus-menerus untuk aktivitas hidupnya. ATP merupakan sumber energi yang dapat diperbarui dengan menambahkan gugus fosfat pada ADP. Respirasi sel pada hewan menyediakan energi untuk proses ini. Pada tumbuhan, energi cahaya dapat digunakan untuk membentuk ATP kembali.

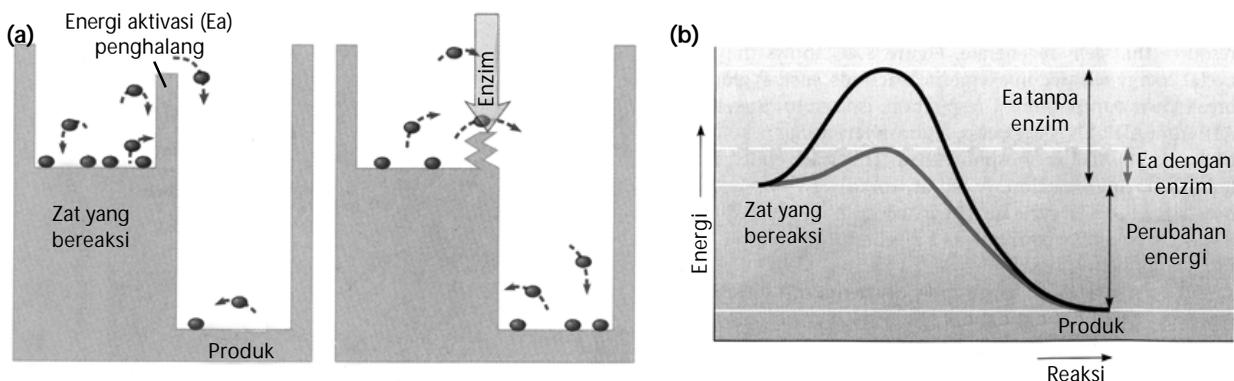
Kata Kunci

- ADP
- Aktivasi
- ATP
- Biokatalisator
- Enzim
- Energi
- Katalis
- Produk
- Protein
- Sisi aktif
- Substrat

2. Enzim

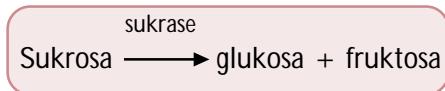
Enzim adalah protein yang dapat mempercepat reaksi metabolisme. Kerja enzim ini mirip dengan katalis, zat kimia yang mempercepat reaksi yang pada akhir reaksi akan diperoleh kembali dalam bentuk semula. Oleh karena itu, enzim disebut juga biokatalisator.

Enzim mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi (energi aktivasi) yang diperlukan untuk berlangsungnya reaksi tersebut. Tanpa adanya enzim, reaksi metabolisme yang terjadi dalam tubuh akan berlangsung sangat lama. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biology Concepts and Connections*, 2006

Oleh karena enzim terbuat dari protein, setiap enzim memiliki bentuk tiga dimensi yang unik. Zat yang akan dikatalis oleh enzim disebut substrat. Substrat akan berikatan dengan enzim pada daerah yang disebut sisi aktif. Zat baru yang terbentuk dari hasil katalisasi enzim disebut produk. Sisi aktif pada enzim hanya dapat berikatan dengan substrat tertentu. Oleh karena itu, enzim bekerja secara spesifik dan satu jenis enzim hanya akan terlibat dalam satu jenis reaksi saja. Berikut ini contoh reaksi yang dibantu enzim. Manakah substrat, enzim, dan produk?



Penamaan enzim pada umumnya sesuai dengan nama substratnya dan diberi akhiran ase. Contohnya, enzim sukrase yang mengubah sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa seperti contoh di atas.

Gambar 2.2

(a) Analogi energi aktivasi dan peran enzim terhadap energi aktivasi
 (b) Pengaruh enzim terhadap energi aktivasi.



Sekilas Biologi

Anselme Payen
(1795–1871)



Anselme Payen adalah seorang ahli kimia asal Perancis. Anselme Payen menemukan enzim pertama. Ia bekerja pada sebuah pabrik gula. Di sini ia semakin tertarik pada reaksi kimia pada tumbuhan. Pada 1833, Payen menemukan bahwa kecambah menghasilkan zat yang dapat mengubah pati menjadi gula. Ia menyebut zat ini diastase. Zat ini masih dapat bekerja meskipun telah dikeluarkan dari tanaman yang membuatnya.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Kata Kunci

- Apoenzim
- Denaturasi
- Efisien
- Gugus Prostetik
- Koenzim
- Selektif
- Spesifik

a. Struktur Enzim

Enzim utuh disebut juga holoenzim. Enzim tersusun atas dua bagian, yaitu:

- 1) Apoenzim merupakan bagian protein dari enzim dan bersifat tidak tahan panas (termolabil).
- 2) Gugus prostetik merupakan bagian nonprotein dari enzim dan bersifat tahan panas. Jika gugus prostetik berupa molekul anorganik, seperti logam seng dan besi, disebut kofaktor. Adapun jika berupa molekul organik, seperti vitamin B₁, B₂, dan NAD⁺ (ion Nicotinamide Adenine Dinucleotide) disebut koenzim.

b. Sifat Enzim

Enzim memiliki beberapa sifat khas, di antaranya selektif, spesifik, efisien, sebagai biokatalisator, dan merupakan protein.

1) Selektif

Enzim bersifat selektif karena hanya dapat bekerja pada substrat tertentu. Namun, selain substratnya, enzim dapat juga berikatan dengan zat penghambat (inhibitor). Hal ini akan dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan berikutnya.

2) Spesifik

Enzim bersifat spesifik karena enzim hanya dapat mengkatalisis reaksi tertentu. Satu jenis enzim hanya bekerja untuk satu jenis reaksi.

3) Efisien

Dengan adanya enzim yang bersifat sebagai katalis, energi aktivasi suatu reaksi dapat diturunkan. Hal tersebut memudahkan reaksi dan menghemat energi yang dibutuhkan untuk memulai reaksi.

4) Biokatalisator

Oleh karena enzim bersifat sebagai katalis, enzim tidak akan mengalami perubahan bentuk. Oleh karena itu, enzim dapat digunakan berkali-kali tanpa mengalami kerusakan.

5) Seperti protein

Oleh karena enzim terbuat dari protein, enzim dipengaruhi oleh hal-hal yang berpengaruh terhadap protein. Enzim dapat dipengaruhi oleh suhu, pH, dan adanya logam berat, sehingga enzim dapat mengalami denaturasi (perubahan bentuk, struktur, dan sifat).

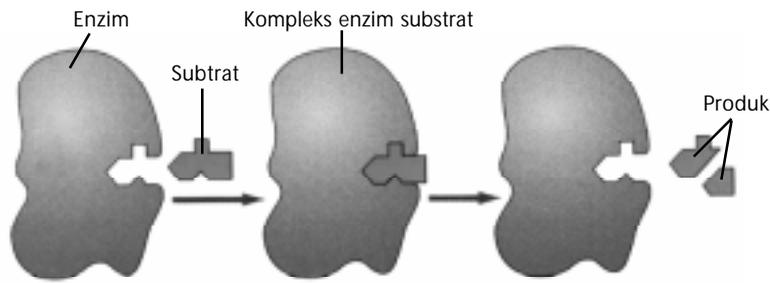
c. Cara Kerja Enzim

Terdapat dua teori yang menjelaskan cara kerja enzim. Teori lock and key (kunci dan anak kunci) yang dikemukakan oleh Emil Fischer, serta Teori induced fit (induksi pas) yang dikemukakan oleh Daniel Kashland.

1) Teori Lock and Key

Menurut teori ini, cara kerja enzim mirip dengan mekanisme kunci dan anak kunci. Enzim diibaratkan sebagai kunci gembok yang memiliki sisi aktif. Substrat diibaratkan sebagai anak kuncinya.

Substrat memasuki sisi aktif enzim seperti anak kunci memasuki kunci gembok. Substrat tersebut, kemudian diubah menjadi produk. Produk ini kemudian dilepaskan dari sisi aktif dan enzim siap menerima substrat baru (Gambar 2.3).



Sumber: *Biology*, 1999

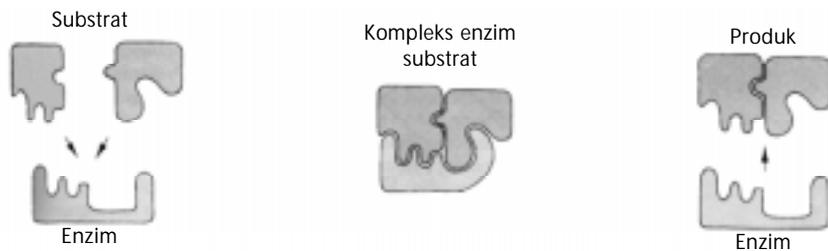
Gambar 2.3

Ilustrasi kerja enzim menurut teori *Lock and Key*

2) Teori Induced Fit

Berdasarkan Teori Induced Fit, enzim melakukan penyesuaian bentuk untuk berikatan dengan substrat. Hal ini bertujuan meningkatkan kecocokan dengan substrat dan membuat ikatan enzim substrat lebih reaktif.

Molekul enzim memiliki sisi aktif tempat melekatnya substrat dan terbentuklah molekul kompleks enzim-substrat. Pengikatan substrat menginduksi penyesuaian pada enzim yang meningkatkan kecocokan dan mendorong molekul kompleks enzim-substrat berada dalam keadaan yang lebih reaktif. Molekul enzim kembali ke bentuk semula setelah produk dihasilkan (Gambar 2.4).



Sumber: *Biological Science*, 1986

Gambar 2.4

Teori *Induced fit* menyatakan bahwa setiap substrat mempunyai permukaan yang pas dengan sisi aktif enzim.

Kata Kunci

- *Induced Fit*
- *Lock and key*
- Suhu
- pH

d. Faktor yang Memengaruhi Kerja Enzim

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi kerja enzim. Faktor-faktor tersebut erat kaitannya dengan sifat enzim sebagai protein. Faktor-faktor tersebut di antaranya suhu, derajat keasaman (pH), hasil akhir produk, konsentrasi enzim dan substrat, serta zat penghambat.

1) Suhu

Enzim terbuat dari protein sehingga enzim dipengaruhi oleh suhu. Suhu memengaruhi gerak molekul. Pada suhu optimal, tumbukan antara enzim dan substrat terjadi pada kecepatan yang paling tinggi. Pada suhu jauh di atas suhu optimal menyebabkan enzim terdenaturasi, mengubah bentuk, struktur, dan fungsinya. Pada suhu jauh di bawah suhu optimal, misalnya pada 0°C, enzim tidak aktif.

Enzim pada manusia bekerja optimal pada 35–40°C. Mendekati suhu normal tubuh. Adapun bakteri yang hidup di air panas memiliki enzim yang bekerja optimal pada 70°C.

2) Derajat keasaman (pH)

Seperti protein, enzim juga bekerja dipengaruhi oleh derajat keasaman lingkungan. Derajat keasaman optimal bagi kerja enzim umumnya mendekati pH netral, sekitar 6–8. Di luar rentang tersebut, kerja enzim dapat terganggu bahkan dapat terdenaturasi.

Logika Biologi

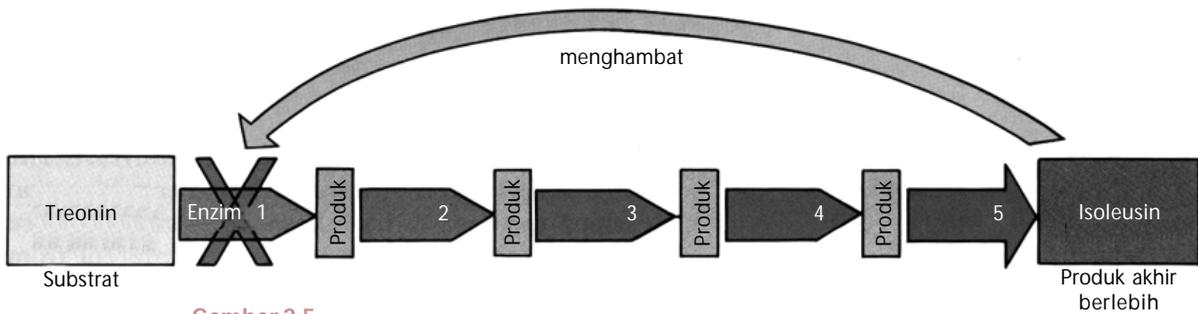
Berbagai reaksi yang terjadi pada proses metabolisme melibatkan enzim. Apakah yang terjadi jika reaksi metabolisme sel tidak melibatkan enzim?

Logika Biologi

Ketika terjadi demam, suhu tubuh akan meningkat. Bagaimanakah aktivitas enzim di dalam tubuh? Apakah akibatnya terhadap reaksi-reaksi kimia yang terjadi di dalam tubuh?

3) Hasil akhir (produk)

Jika sel menghasilkan produk lebih banyak daripada yang dibutuhkan, produk yang berlebihan tersebut dapat menghambat kerja enzim (Gambar 2.5). Hal ini dikenal dengan feedback inhibitor. Jika produk yang berlebihan habis digunakan, kerja enzim akan kembali normal. Mekanisme ini sangat penting dalam proses metabolisme, yaitu mencegah sel menghabiskan sumber molekul yang berguna menjadi produk yang tidak dibutuhkan.



Gambar 2.5

Peristiwa *feedback inhibitor* pada pembentukan isoleusin dari treonin

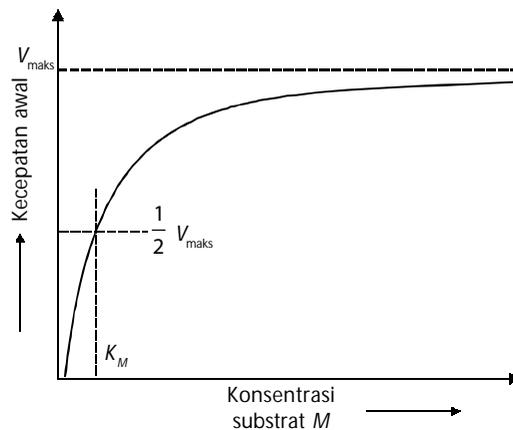
Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

4) Konsentrasi enzim

Pada reaksi dengan konsentrasi enzim yang jauh lebih sedikit daripada substrat, penambahan enzim akan meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi ini terjadi secara linier. Akan tetapi, jika konsentrasi enzim dan substrat sudah seimbang, laju reaksi akan relatif konstan. Mengapa?

5) Konsentrasi substrat

Penambahan konsentrasi substrat pada reaksi yang dikatalisis oleh enzim awalnya akan meningkatkan laju reaksi. Akan tetapi, setelah konsentrasi substrat dinaikkan lebih lanjut, laju reaksi akan mencapai titik jenuh dan tidak bertambah lagi (Gambar 2.6). Setelah mencapai titik jenuh, penambahan kembali konsentrasi substrat tidak berpengaruh terhadap laju reaksi.



Gambar 2.6

Grafik pengaruh konsentrasi substrat terhadap laju reaksi

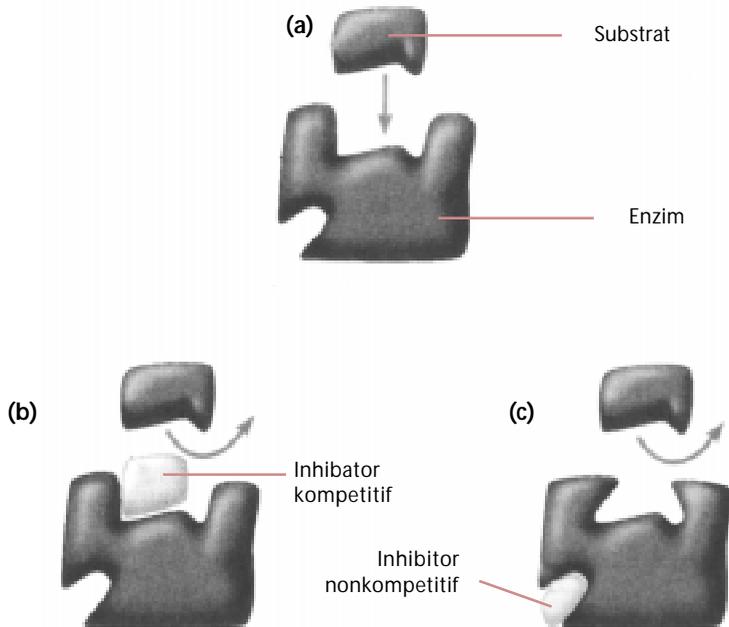
Pada keadaan laju reaksi jenuh oleh konsentrasi substrat, penambahan konsentrasi enzim dapat meningkatkan laju reaksi. Peningkatan laju reaksi oleh peningkatan konsentrasi enzim akan meningkatkan laju reaksi hingga terbentuk titik jenuh baru.

6) Zat Penghambat

Kerja enzim dapat dihambat oleh zat penghambat atau inhibitor. Terdapat dua jenis inhibitor, yaitu inhibitor kompetitif dan inhibitor nonkompetitif.

a) Inhibitor kompetitif

Inhibitor kompetitif menghambat kerja enzim dengan cara berikatan dengan enzim pada sisi aktifnya. Oleh karena itu, inhibitor ini bersaing dengan substrat menempati sisi aktif enzim. Hal ini terjadi karena inhibitor memiliki struktur yang mirip dengan substrat. Enzim yang telah berikatan dengan inhibitor tidak dapat menjalankan fungsinya sebagai biokatalisator.



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

b) Inhibitor nonkompetitif

Berbeda dengan inhibitor kompetitif, inhibitor nonkompetitif tidak bersaing dengan substrat untuk berikatan dengan enzim. Inhibitor jenis ini akan berikatan dengan enzim pada sisi yang berbeda (bukan sisi aktif). Jika telah terjadi ikatan enzim-inhibitor, sisi aktif enzim akan berubah sehingga substrat tidak dapat berikatan dengan enzim. Banyak ion logam berat bekerja sebagai inhibitor nonkompetitif, misalnya Ag^+ , Hg^{2+} , dan Pb^{2+} .

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah fungsi ATP?
2. Sebutkan sifat-sifat enzim.
3. Jelaskan dua teori cara kerja enzim.
4. Bagaimanakah cara kerja inhibitor enzim?

Kata Kunci

- Feedback inhibitor
- Inhibitor
- Kompetitif
- Nonkompetitif



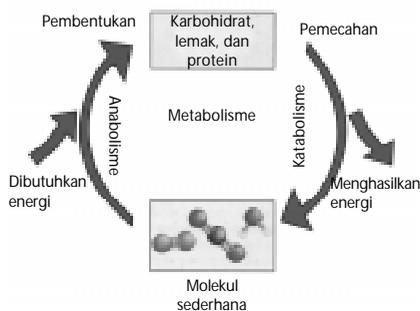
Fakta Biologi

Banyak antibiotik yang bekerja sebagai penghambat enzim. Penisilin, contohnya, menghambat enzim bakteri yang berguna dalam pembentukan dinding sel bakteri. Oleh karena manusia tidak memiliki enzim ini, manusia aman untuk mengonsumsi antibiotik pada dosis tertentu.

Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 2.7

Cara inhibitor mengganggu pengikatan substrat enzim. (a) Kerja enzim normal, (b) inhibitor kompetitif, dan (c) inhibitor nonkompetitif.



Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Gambar 2.8

Ilustrasi reaksi katabolisme dan anabolisme

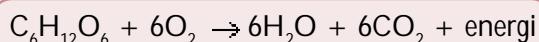
B. Katabolisme Karbohidrat

Metabolisme dalam makhluk hidup dapat dibedakan menjadi katabolisme dan anabolisme. Katabolisme adalah proses penguraian atau pemecahan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana. Dalam proses katabolisme, terjadi pelepasan energi sebagai hasil pemecahan senyawa-senyawa organik kompleks tersebut. Adapun anabolisme adalah proses pembentukan atau penyusunan senyawa organik sederhana menjadi senyawa kompleks. Kebalikan dari katabolisme, proses anabolisme ini memerlukan energi. Kali ini akan dibahas mengenai proses katabolisme.

Contoh dari proses katabolisme adalah respirasi selular. Berbeda dengan pengertian respirasi pada umumnya (proses pengikatan O_2), respirasi selular diartikan sebagai reaksi oksidasi molekul berenergi tinggi untuk melepaskan energinya. Respirasi selular terjadi pada semua sel tubuh hewan maupun tumbuhan terutama di mitokondria. Pada respirasi selular, molekul glukosa (karbohidrat) dan bahan makanan lain diuraikan atau dipecah menjadi karbon dioksida (CO_2), air (H_2O), dan energi dalam bentuk ATP. Berdasarkan keterlibatan oksigen dalam prosesnya, respirasi selular terbagi menjadi respirasi aerob dan respirasi anaerob. Apakah Anda tahu perbedaannya?

1. Respirasi Aerob

Respirasi aerob adalah proses respirasi yang menggunakan oksigen. Secara sederhana, proses respirasi aerob pada glukosa dituliskan sebagai berikut.



Apakah respirasi aerob terjadi sesederhana reaksi ini? Proses respirasi aerob melewati tiga tahap, yaitu:

- Glikolisis,
- Siklus Krebs, dan
- Rantai transfer elektron.

a. Glikolisis

Glikolisis merupakan serangkaian reaksi yang terjadi di sitosol pada hampir semua sel hidup. Pada tahap ini, terjadi perubahan senyawa glukosa dengan 6 atom C, menjadi dua senyawa asam piruvat dengan 3 atom C, serta NADH dan ATP. Tahap glikolisis belum membutuhkan oksigen.

Glikolisis yang terdiri atas sepuluh reaksi, dapat disimpulkan dalam dua tahap:

- Reaksi penambahan gugus fosfat. Pada tahap ini digunakan dua molekul ATP.
- Gliseraldehid-3-fosfat diubah menjadi asam piruvat. Selain itu, dihasilkan 4 molekul ATP dan 2 molekul NADH.

Pada tahap glikolisis dihasilkan energi dalam bentuk ATP sebanyak 4 ATP. Namun karena 2 ATP digunakan pada awal glikolisis maka hasil akhir energi yang didapat adalah 2 ATP.



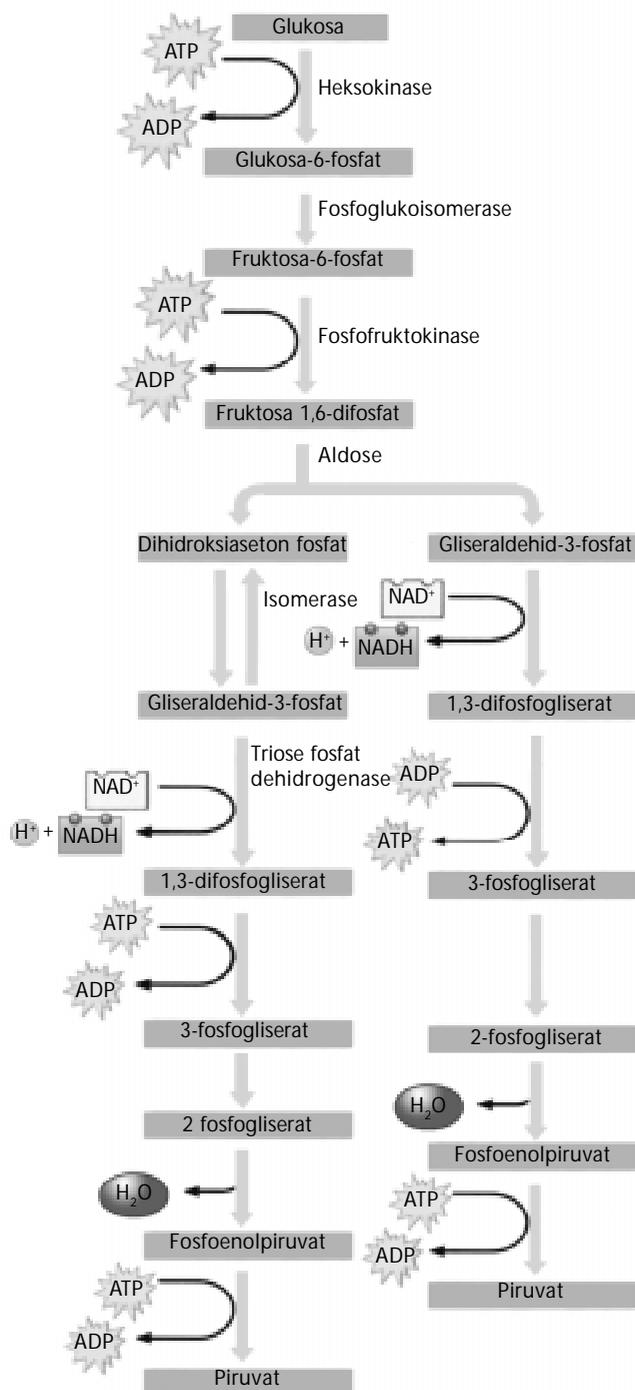
Sekilas Biologi

Glukosa adalah monosakarida yang mengandung enam atom karbon. Glukosa merupakan sumber energi penting bagi makhluk hidup. Hewan mendapat glukosa dengan memecah makanan melalui proses pencernaan. Adapun tumbuhan membentuk glukosa melalui fotosintesis.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Kata Kunci

- Aerob
- Glikolisis
- Katabolisme
- Respirasi



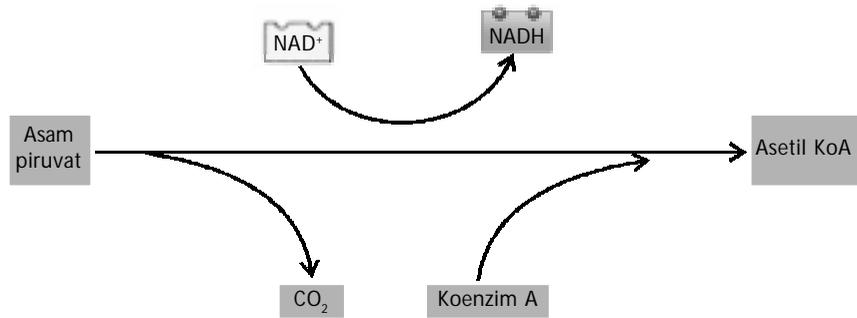
Kata Kunci

- Asam piruvat
- Dekarboksilasi oksidatif
- Koenzim A
- Krebs
- Mitochondria

Gambar 2.9 Bagan proses glikolisis. Pada proses ini dihasilkan 4 molekul ATP dan digunakan 2 molekul ATP.

b. Siklus Krebs

Dua molekul asam piruvat hasil dari glikolisis ditransportasikan dari sitoplasma ke dalam mitokondria, tempat terjadinya siklus Krebs. Akan tetapi, asam piruvat sendiri tidak akan memasuki reaksi siklus Krebs tersebut. Asam piruvat tersebut akan diubah menjadi asetil koenzim A (asetil koA). Tahap pengubahan asam piruvat menjadi asetil koenzim A ini terkadang disebut tahap transisi atau reaksi dekarboksilasi oksidatif. Berikut ini gambar proses pengubahan satu asam piruvat menjadi asetil koenzim A.



Gambar 2.10
Bagan dekarboksilasi oksidatif asam piruvat

Kompleks senyawa asetil koenzim A inilah yang akan memasuki siklus Krebs atau yang dikenal juga sebagai siklus asam sitrat. Koenzim A pada pembentukan asetil KoA merupakan turunan dari vitamin B.

Siklus Krebs dijelaskan pertama kali oleh Hans Krebs pada sekitar 1930-an. Dalam siklus Krebs, satu molekul asetil KoA akan menghasilkan 4 NADH, 1 GTP, dan 1 FADH. GTP (guanin trifosfat) merupakan salah satu bentuk molekul berenergi tinggi. Energi yang dihasilkan satu molekul GTP setara dengan energi yang dihasilkan satu molekul ATP. Molekul CO₂ juga dihasilkan dari siklus Krebs ini. Karena satu molekul glukosa dipecah menjadi dua molekul asetil KoA dan masuk ke siklus Krebs, berapa banyak molekul berenergi yang dihasilkannya?



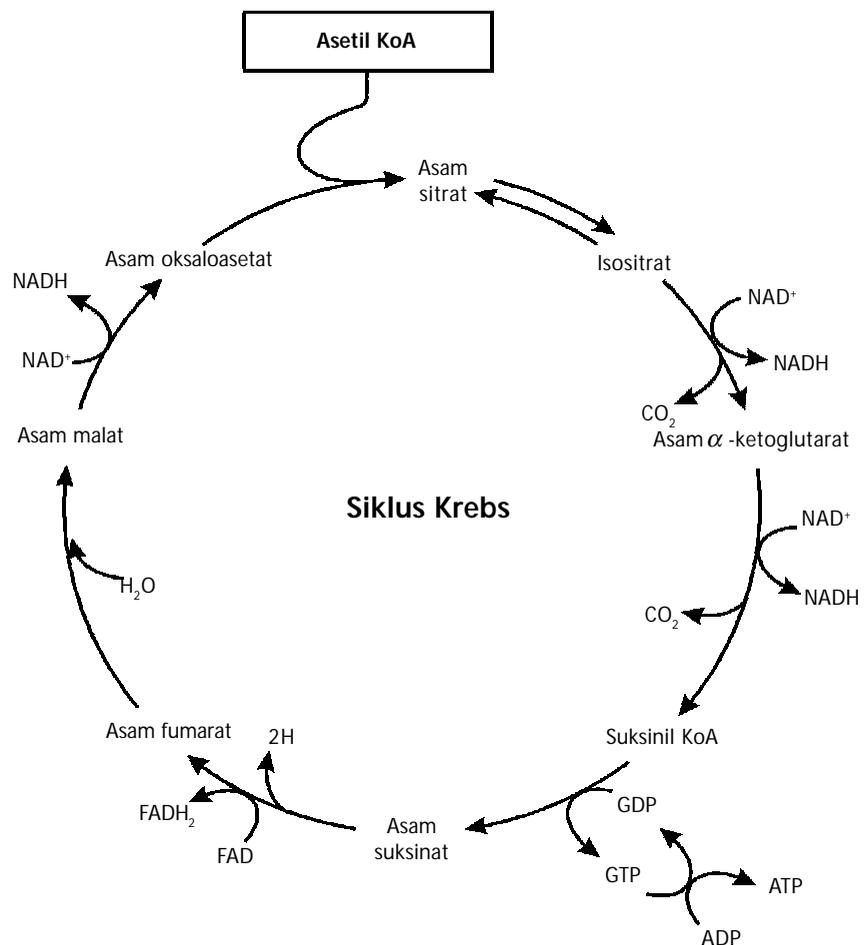
Sekilas Biologi

Hans Krebs
(1900–1981)



Hans Krebs melakukan penelitian tentang bagaimana sel melepaskan energi saat respirasi aerob. Ia menemukan bahwa glukosa dipecah dalam sebuah rantai reaksi yang kini dikenal dengan siklus asam sitrat atau siklus Krebs.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994



Gambar 2.11
Bagan siklus Krebs

Selain dihasilkan energi pada siklus Krebs, juga dihasilkan hidrogen yang direaksikan dengan oksigen membentuk air. Molekul-molekul sumber elektron seperti NADH dan FADH₂ dari glikolisis dan siklus Krebs, selanjutnya memasuki tahap transpor elektron untuk menghasilkan molekul berenergi siap pakai.

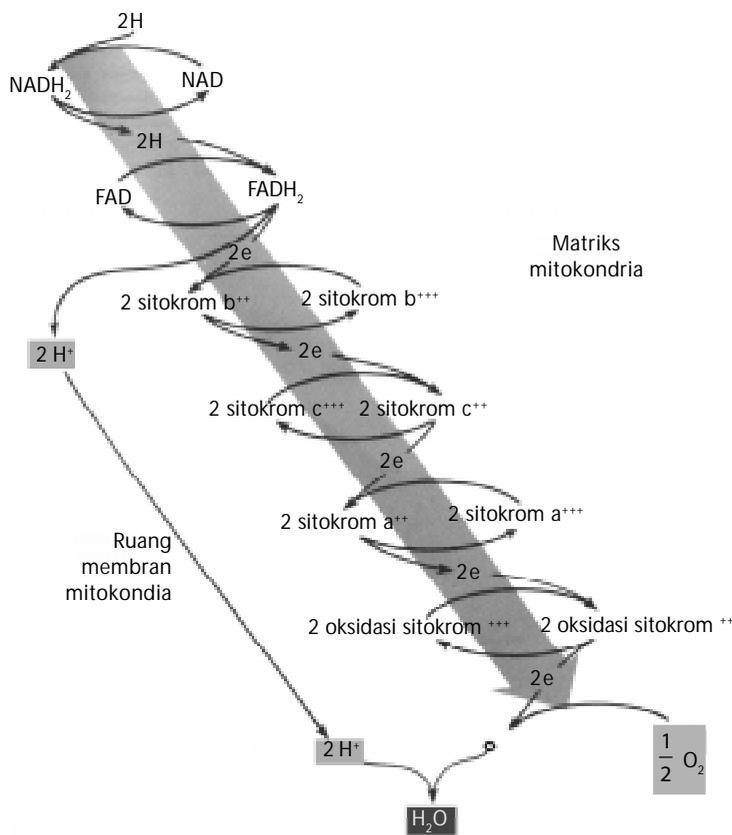
c. Sistem Transfer Elektron

Tahap terakhir dari respirasi seluler aerob adalah sistem transfer elektron. Tahap ini terjadi pada ruang intermembran dari mitokondria. Pada tahap inilah ATP paling banyak dihasilkan.

Seperti Anda ketahui, sejauh ini hanya dihasilkan 4 molekul ATP dari satu molekul glukosa, yaitu 2 molekul dari glikolisis dan 2 molekul dari siklus Krebs. Akan tetapi, dari glikolisis dan siklus Krebs dihasilkan 10 NADH (2 dari glikolisis, 2 dari tahap transisi siklus Krebs, dan 6 dari siklus Krebs) dan 2 FADH₂. Molekul-molekul inilah yang akan berperan dalam menghasilkan ATP.

Jika Anda perhatikan, meskipun glikolisis dan siklus Krebs termasuk tahap respirasi aerob, namun sejauh ini belum ada molekul oksigen yang terlibat langsung dalam reaksi. Pada tahap transfer elektron inilah oksigen terlibat secara langsung dalam reaksi.

Pada reaksi pertama, NADH mentransfer sepasang elektron kepada molekul flavoprotein (FP). Transfer elektron mereduksi flavoprotein, sedangkan NADH teroksidasi kembali menjadi ion NAD⁺. Elektron bergerak dari flavoprotein menuju sedikitnya enam akseptor elektron yang berbeda. Akhirnya, elektron mencapai akseptor protein terakhir berupa sitokrom a dan a₃. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biologi: Evolusi, Kepelbagaian, dan Persekitaran*, 1991



Fakta Biologi

Semua hewan menghasilkan panas melalui respirasi sel. Pada Mammalia dan Aves, panas ini dipertahankan oleh selapis bulu atau lemak. Dengan menyesuaikan kadar panas yang hilang, hewan endoterm atau "berdarah panas" memelihara suhu badan yang stabil (Homoioterm).

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994



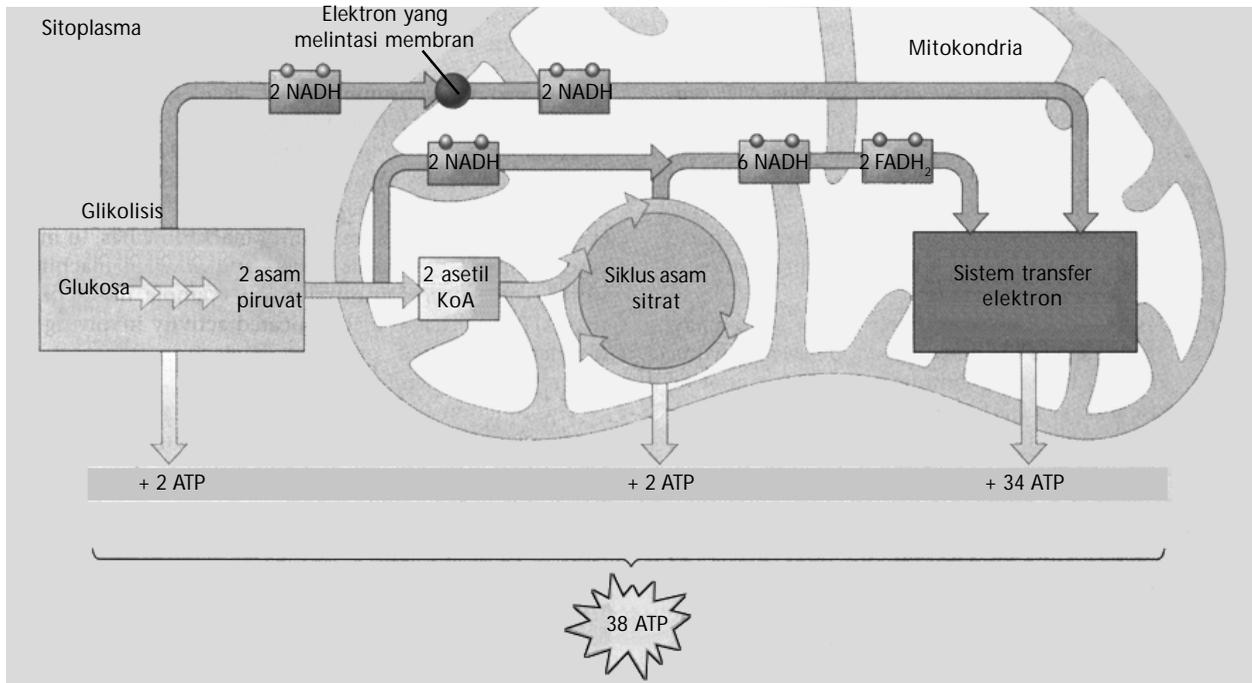
Kata Kunci

- Akseptor elektron
- Flavoprotein
- Intermembran
- Sitokrom
- Transfer elektron

Gambar 2.12

Ilustrasi transfer elektron. Sistem reaksi ini memberikan elektron dari glikolisis dan siklus Krebs pada oksigen sebagai akseptor elektron terakhir.

Seperti Anda lihat pada Gambar 2.12, akseptor terakhir dari rantai reaksi merupakan oksigen. Elektron berenergi tinggi dari NADH dan FADH_2 memasuki sistem reaksi. Dalam perjalanannya, energi elektron tersebut mengalami penurunan energi yang digunakan untuk proses fosforilasi ADP menjadi ATP sehingga satu molekul NADH setara dengan 3 ATP dan satu molekul FADH_2 setara dengan 2 ATP. Berapakan total ATP yang dihasilkan satu molekul glukosa melalui respirasi aerob? Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 2.13

Ilustrasi reaksi yang terjadi dalam respirasi sel dan jumlah ATP yang didapatkan

Kata Kunci

- Alkohol
- Anaerob
- Asetildehid
- Fermentasi
- Ragi

2. Respirasi Anaerob

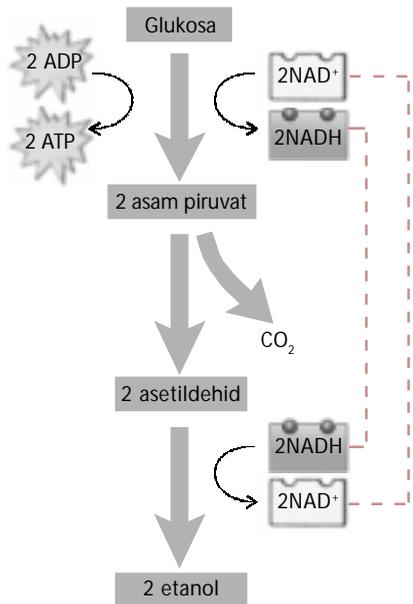
Respirasi anaerob adalah proses respirasi yang tidak memerlukan oksigen. Salah satu contoh proses ini adalah proses fermentasi. Respirasi anaerob dapat terjadi pada manusia dan hewan jika tubuh memerlukan energi secara cepat. Pada mikroorganisme seperti bakteri dan jamur, respirasi anaerob dilakukan karena keadaan lingkungan yang tidak memungkinkan dan belum memiliki sistem metabolisme yang kompleks.

Mengapa respirasi anaerob dapat terjadi dan berapa banyak energi yang dihasilkan? Masih ingatkah Anda tahap glikolisis pada respirasi aerob? Pada tahap tersebut, glukosa dapat dipecah untuk menghasilkan total 2 ATP dan tidak memerlukan oksigen. Meskipun energi yang dihasilkan jauh lebih kecil daripada respirasi aerob, jumlah ini cukup bagi mikroorganisme dan energi awal bagi hewan.

Selain menghasilkan ATP, glikolisis juga menghasilkan NADH dan NAD^+ . Tanpa suplai NAD^+ yang memadai, proses glikolisis pada respirasi anaerob dapat terhenti. Oleh karena itu, organisme yang melakukan respirasi anaerob harus mampu mengoksidasi NADH menjadi NAD^+ kembali. Berdasarkan hal tersebut terdapat dua cara respirasi anaerob yang dilakukan organisme.

a. Fermentasi alkohol

Beberapa organisme seperti khamir (*Saccharomyces cereviceace*) melakukan fermentasi alkohol. Organisme ini mengubah glukosa melalui fermentasi menjadi alkohol (etanol).



Gambar 2.14
Bagan fermentasi alkohol

Proses fermentasi alkohol diawali dengan pemecahan satu molekul glukosa menjadi dua molekul asam piruvat. Pada proses tersebut, dibentuk juga 2 ATP dan 2 NADH. Setiap asam piruvat diubah menjadi asetildehid dengan membebaskan CO_2 . Asetildehid diubah menjadi etanol dan NADH diubah menjadi NAD^+ untuk selanjutnya digunakan dalam glikolisis kembali.

Fermentasi alkohol merupakan jenis fermentasi yang banyak digunakan manusia selama ribuan tahun dalam pengolahan bahan makanan. Khamir banyak digunakan dalam pembuatan roti dan minuman beralkohol.



Aktivitas Biologi 2.1

Fermentasi Alkohol

Tujuan

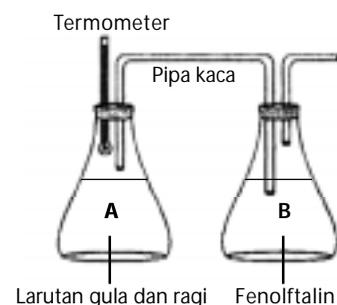
Mengamati dan melakukan proses fermentasi alkohol

Alat dan Bahan

- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1. Gula pasir | 6. Labu Erlenmeyer |
| 2. Ragi roti (fermipan) | 7. Sumbat gabus dua lubang |
| 3. Air suling | 8. Termometer |
| 4. Larutan fenolftalin | 9. Pipa kaca bentuk "U" |
| 5. Vaseline | 10. Termometer |

Langkah Kerja

- Larutkan 50 g gula pasir dalam 100 ml air suling. Masukkan larutan dalam labu A dan taburi dengan sedikit ragi roti.
- Masukkan larutan fenolftalin pada labu B dan susunlah alat percobaan seperti berikut bersama kelompok Anda.
- Jika alat-alatnya tidak tersedia, Anda dapat menggunakan botol minuman sebagai pengganti labu; dua buah sedotan fleksibel sebagai pengganti pipa kaca; air kapur sebagai pengganti larutan fenolftalin.
- Simpan alat percobaan di tempat yang hangat. Amati setelah beberapa jam.



Termometer

Pipa kaca

A

B

Larutan gula dan ragi

Fenolftalin

Pertanyaan

1. Adakah gelembung pada pipa yang menghubungkan labu A dan B? Jika ada, menandakan apakah gelembung tersebut?
2. Apa yang terjadi pada labu B? Buatlah kesimpulan hasil percobaan bersama kelompok Anda.

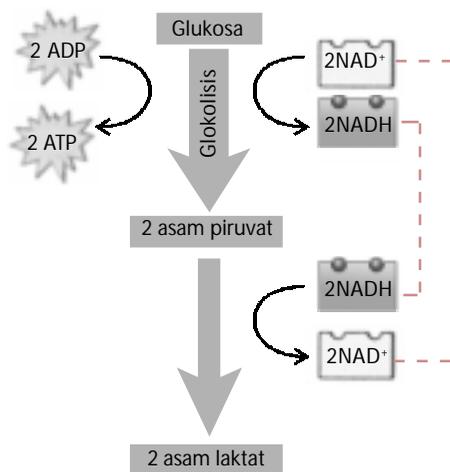
Kata Kunci

- Anabolisme
- Asam laktat
- Lelah
- Sel otot

b. Fermentasi Asam Laktat

Sama halnya dengan fermentasi alkohol, fermentasi asam laktat dimulai dengan tahap glikolisis. Fermentasi asam laktat dilakukan oleh sel otot dan beberapa sel lainnya, serta beberapa bakteri asam laktat. Pada otot, proses ini dapat menyediakan energi yang dibutuhkan secara cepat. Akan tetapi, penumpukan asam laktat berlebih dapat menyebabkan otot lelah. Asam laktat berlebih dibawa darah menuju hati untuk diubah kembali menjadi asam piruvat. Industri susu menggunakan fermentasi asam laktat oleh bakteri untuk membuat keju dan yoghurt.

Glukosa akan dipecah menjadi 2 molekul asam piruvat melalui glikolisis, membentuk 2 ATP dan 2 NADH. NADH diubah kembali menjadi NAD^+ saat pembentukan asam laktat dari asam piruvat. Fermentasi asam laktat tidak menghasilkan CO_2 , seperti halnya fermentasi alkohol.



Gambar 2.15

Bagan fermentasi asam laktat

Latihan Pemahaman Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

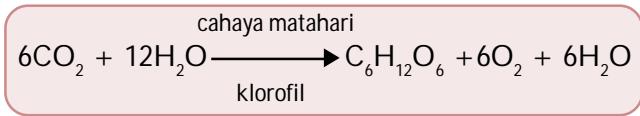
1. Jelaskan secara singkat proses respirasi sel.
2. Apakah perbedaan respirasi aerob dan anaerob?
3. Berapakah jumlah ATP yang dihasilkan mulai dari glikolisis, siklus Krebs, hingga transfer elektron?

C. Anabolisme Karbohidrat

Seperti yang telah Anda pelajari sebelumnya, anabolisme adalah proses pembentukan atau penyusunan senyawa organik sederhana menjadi senyawa organik kompleks. Senyawa kompleks tersebut dapat berupa karbohidrat, lemak, dan protein. Senyawa kompleks tersebut merupakan zat makanan yang diperlukan makhluk hidup. Anabolisme dapat terjadi melalui fotosintesis dan kemosintesis.

1. Fotosintesis

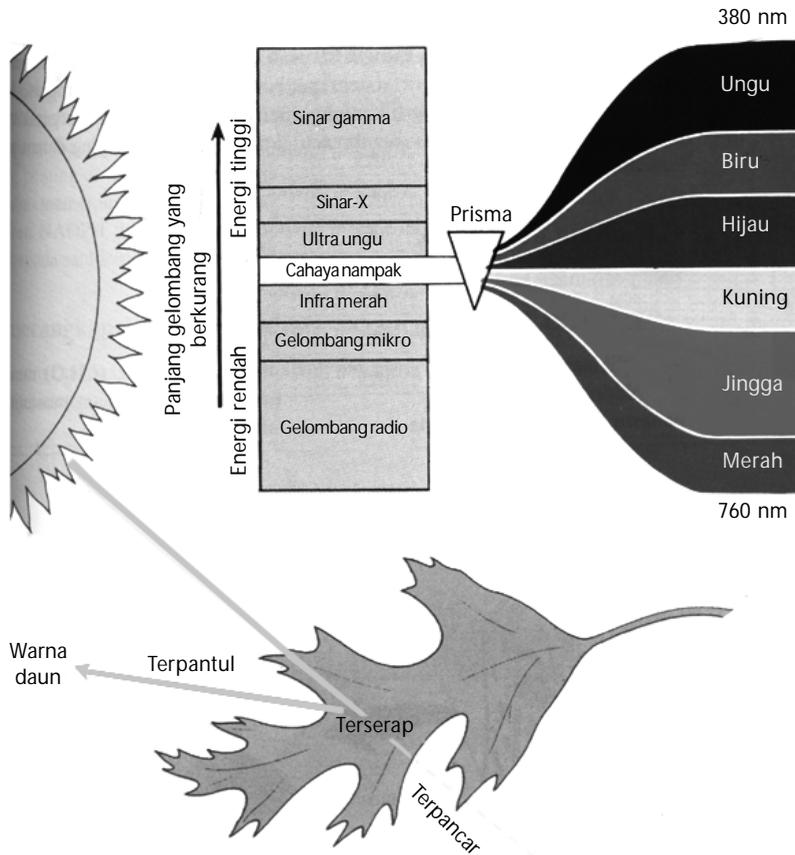
Fotosintesis adalah proses pembentukan karbohidrat dari karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O) pada kloroplas dengan bantuan cahaya matahari. Fotosintesis dapat dilakukan oleh tumbuhan, alga, dan bakteri yang memiliki kloroplas. Hasil dari fotosintesis adalah molekul glukosa yang disimpan dalam bentuk pati, amilum, atau tepung. Secara garis besar, reaksi fotosintesis dapat dituliskan sebagai berikut:



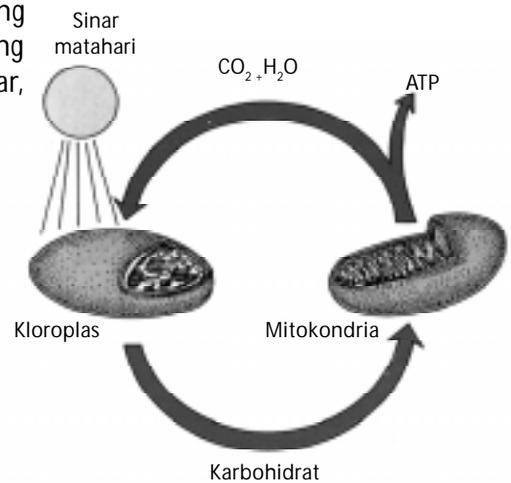
Pada beberapa aspek, proses fotosintesis dapat dikatakan sebagai kebalikan proses respirasi seluler. Fotosintesis membentuk glukosa dan menggunakan energi matahari, sedangkan respirasi memecah glukosa untuk menghasilkan energi.

a. Cahaya Matahari

Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi. Mata manusia dapat melihat cahaya tampak dengan panjang gelombang 400 nm (ungu) hingga 730 nm (merah). Cahaya matahari sebenarnya merupakan campuran panjang gelombang yang berbeda dan cahaya tampak hanyalah sebagian kecil gelombang yang dipancarkan matahari. Cahaya tampak terdiri atas warna pelangi dari ungu hingga merah. Perhatikan gambar 2.17.



Sumber: Biologi: Evolusi, Kepelbagaian, dan Persekitaran, 1991



Sumber: Biologi: Evolusi, Kepelbagaian, dan Persekitaran, 1991

Gambar 2.16

Ilustrasi hubungan fotosintesis dan respirasi sel. Fotosintesis terjadi di kloroplas dan menghasilkan karbohidrat. Adapun respirasi sel terjadi di mitokondria untuk menghasilkan energi.

Kata Kunci

- Cahaya matahari
- Cahaya tampak
- Fotosintesis

Gambar 2.17

Berbagai gelombang cahaya dari matahari. Hanya cahaya tampak yang dapat dilihat mata manusia.

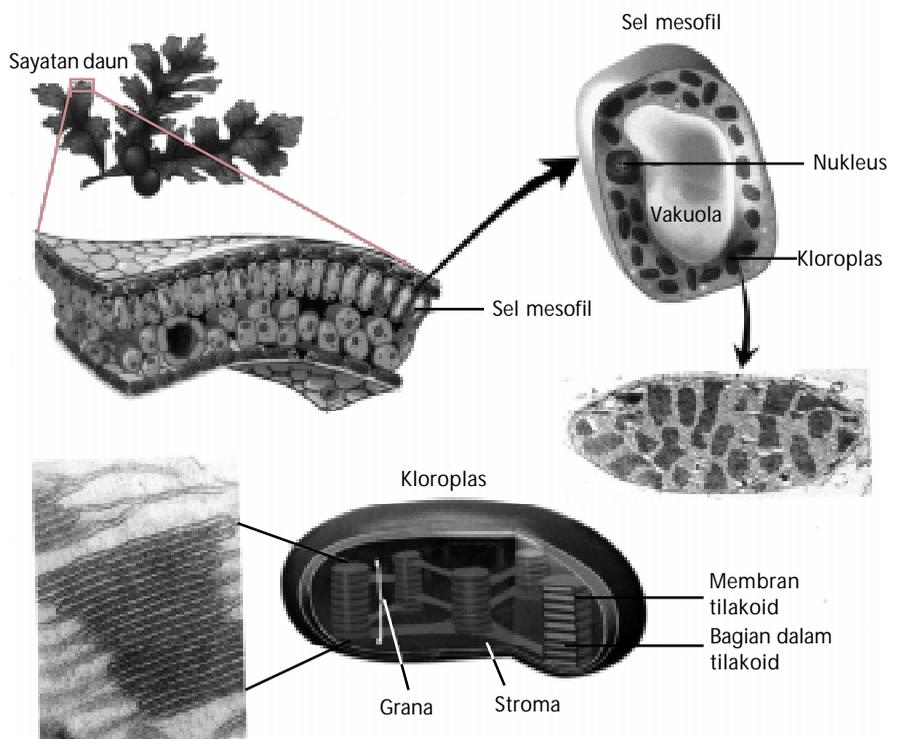
Permukaan benda akan tampak hitam jika menyerap semua panjang gelombang cahaya tampak. Adapun benda yang tampak putih memantulkan semua panjang gelombang cahaya tampak. Benda yang berwarna menyerap sebagian warna dan memantulkan warna yang terlihat mata. Jika benda berwarna merah, ia memantulkan cahaya merah dan menyerap cahaya lainnya. Bagaimana dengan daun yang berwarna hijau?

Kata Kunci

- Grana
- Klorofil
- Pigmen fotosintesis
- Stroma
- Tilokoid

b. Pigmen Fotosintesis

Pada sel eukariot, proses fotosintesis terjadi dalam organel yang disebut kloroplas. Organel ini memiliki dua lapis membran luar. Di dalam kloroplas terdapat tumpukan membran yang disebut tilakoid. Tilakoid merupakan membran yang mirip kantung dan pada beberapa bagian tersusun bertumpuk membentuk grana. Bagian matriks dari kloroplas disebut stroma (Gambar 2.18).



Gambar 2.18

Letak kloroplas pada tumbuhan dan strukturnya.

Sumber: *Biology*, 1999

Membran tilakoid memiliki protein penting dan berperan sebagai pembawa elektron. Akan tetapi, fungsi penting dari membran ini dalam fotosintesis adalah kandungan pigmen yang terdapat di dalamnya, yakni pigmen klorofil.

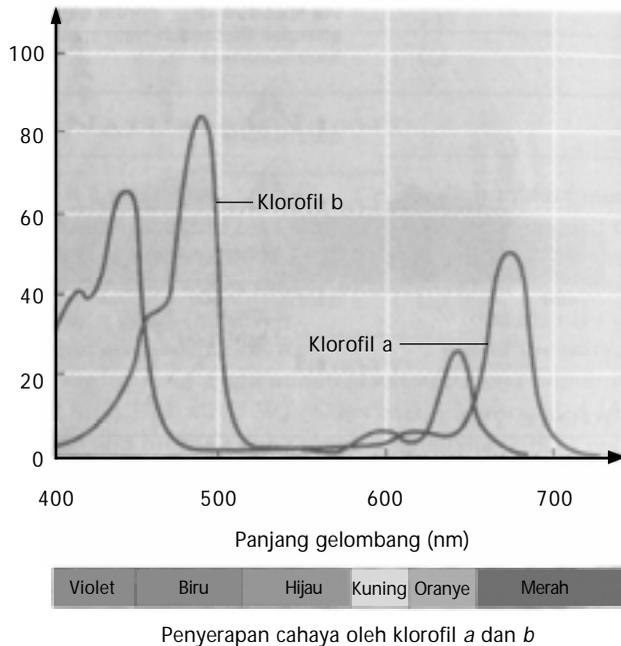
Klorofil adalah pigmen yang menyerap cahaya dengan efisiensi tinggi. Seperti pigmen lainnya, klorofil hanya dapat menyerap sebagian cahaya tampak. Klorofil dapat menyerap cahaya merah dan biru sangat baik, sedangkan cahaya hijau sangat sedikit diserap. Oleh karena itulah, tumbuhan yang mengandung klorofil terlihat berwarna hijau oleh mata kita karena cahaya hijau lebih banyak dipantulkan.

Tumbuhan juga memiliki pigmen lain, terutama karotenoid. Pigmen karotenoid termasuk karoten dan xantofil. Pigmen warna kuning, jingga, merah, dan ungu ini menyebabkan bakteri, tomat dan daun memiliki warna beraneka ragam.

Logika Biologi

Fotosintesis terjadi pada kloroplas. Apakah tumbuhan yang berdaun merah atau kuning melakukan fotosintesis?

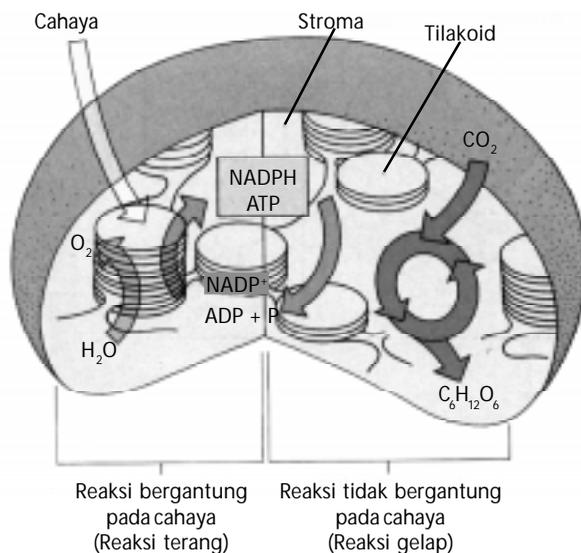
Terdapat beberapa jenis klorofil, yaitu klorofil a, b, c, dan d. Klorofil a merupakan jenis klorofil yang paling penting dalam fotosintesis. Klorofil ini terdapat pada semua makhluk hidup yang dapat berfotosintesis. Klorofil a dapat menyerap cahaya maksimal dengan panjang gelombang 430 nm dan 662 nm. Klorofil b juga berperan dalam fotosintesis. Klorofil b menyerap cahaya maksimal dengan panjang gelombang 453 dan 642 nm. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Botany*, 1995

c. Mekanisme Fotosintesis

Pada awal abad ke-20, para ilmuwan menyadari bahwa fotosintesis dapat dibedakan menjadi dua proses reaksi yang memerlukan cahaya dan reaksi yang tidak memerlukan cahaya. Reaksi yang memerlukan cahaya disebut juga reaksi terang. Reaksi ini secara langsung berhubungan dengan pigmen dan tilakoid di kloroplas. Adapun reaksi yang tidak memerlukan cahaya disebut juga reaksi gelap, terjadi di stroma dan matriks klorofil.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

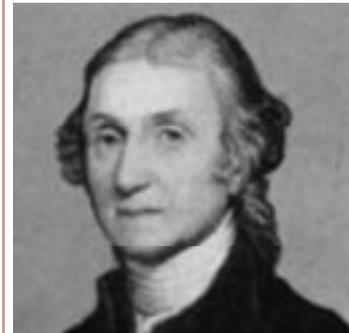
Gambar 2.19

Penyerapan cahaya oleh klorofil a dan b



Sekilas Biologi

Joseph Priestley
(1733–1804)



Joseph Priestley adalah orang pertama yang melakukan percobaan fotosintesis pada tahun 1772. Salah satu hasil percobaannya adalah lilin menyala yang ditempatkan dengan sepotong tunas tumbuhan. Lilin masih dapat menyala meskipun ditutup dengan sungkup kaca. Namun, dia belum dapat menjelaskan hasil temuannya tersebut.

Pada tahun 1779, Jan Ingenhousz berhasil menjelaskan fenomena yang terjadi pada hasil percobaan Priestley dan mengatakan bahwa hanya bagian hijau tumbuhan sajalah yang memegang peranan penting dalam proses tersebut.

Sumber: www.wikipedia.org

Gambar 2.20

Reaksi terang dan reaksi gelap pada kloroplas

Kata Kunci

- Fitosistem
- Fotofosforilasi
- Fotolisis
- Reaksi terang
- Siklik



Sekilas Biologi

Robert Mayer
(1814–1878)



Robert Mayer merupakan seorang ahli fisika Jerman. Ia adalah orang pertama yang dapat menjelaskan gambaran seluruh proses fotosintesis. Tahap yang penting dalam fotosintesis adalah absorpsi energi dalam bentuk cahaya, kemudian berubah menjadi energi kimia, yang selanjutnya disimpan dalam bentuk senyawa-senyawa yang dibuat oleh tumbuhan.

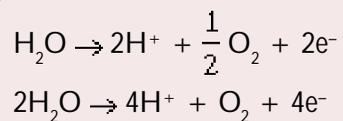
Sumber: www.dbhs.wvusd.k12.ca

1) Reaksi Terang

Proses dari reaksi terang adalah pusat fotosintesis. Pusat reaksi tersusun atas molekul klorofil yang dikelilingi oleh molekul lain yang mampu menerima elektron. Pusat reaksi terang disebut fotosistem yang terdiri atas kompleks protein, klorofil, dan pigmen lain yang menyerap cahaya. Fotosistem ini terdapat di membran tilakoid.

Pada tumbuhan dan alga terdapat dua pusat reaksi yang bekerja secara teratur. Pusat reaksi ini ditemukan karena memiliki penyerapan panjang gelombang cahaya yang berbeda. Fotosistem I memiliki penyerapan cahaya maksimum 700 nm, karena pada fotosistem I terdapat pigmen yang dapat menyerap panjang gelombang maksimum 700 nm ($p700$). Fotosistem II memiliki penyerapan cahaya maksimum 680 nm dengan pigmen yang dapat menyerap panjang gelombang maksimum 680 nm ($p680$). Meskipun fotosistem I ditemukan lebih dahulu, reaksi transfer elektron berawal dari fotosistem II. Elektron bergerak dari fotosistem II ke fotosistem I.

Ketika cahaya matahari (foton) mengenai fotosistem II, akan menyebabkan elektronnya tereksitasi (keluar). Elektron ini akan digantikan oleh elektron hasil hidrolisis dari molekul air. Peristiwa pemecahan molekul air pada fotosintesis ini disebut fotolisis.



Dapat Anda lihat bahwa fotolisis menyediakan elektron (e^-). Selain itu juga, proses ini menghasilkan oksigen (O_2) dan pasangan proton bebas (H^+) di dalam tilakoid. Pada reaksi inilah sumber oksigen di bumi dihasilkan.

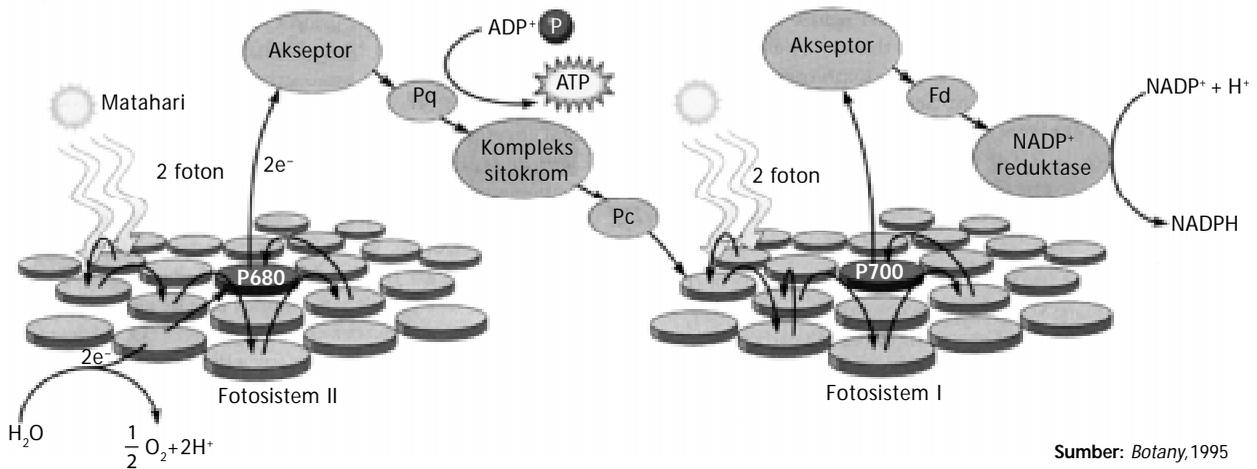
Bagaimanakah proses fotosintesis selanjutnya? Elektron yang dihasilkan akan memasuki sistem transfer elektron. Reaksi transfer elektron ini dapat dibedakan menjadi reaksi nonsiklik dan reaksi siklik.

a) Reaksi nonsiklik

Elektron yang tereksitasi dari fotosistem II bergerak melalui rangkaian akseptor elektron, seperti plastoquinon, sitokrom f, dan plastosianin. Pada proses tersebut dilepaskan energi yang ditangkap oleh ADP menjadi ATP. Selanjutnya elektron mencapai fotosistem I.

Seperti fotosistem II, fotosistem I merupakan molekul kompleks yang dapat melepaskan elektron yang dipicu oleh cahaya matahari. Elektron yang terlepas dari fotosistem I segera digantikan oleh elektron dari fotosistem II.

Elektron berenergi tinggi yang dilepaskan fotosistem I akan bergerak melalui rangkaian akseptor elektron baru. Pada akhirnya, elektron tersebut digunakan untuk mereduksi NADP (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) menjadi NADPH.



Sumber: Botany, 1995

Pada reaksi ini, elektron yang dilepas fotosistem I tidak kembali lagi ke fotosistem I. Pembentukan ATP dari reaksi nonsiklik ini disebut juga fotofosforilasi nonsiklik.

Gambar 2.21

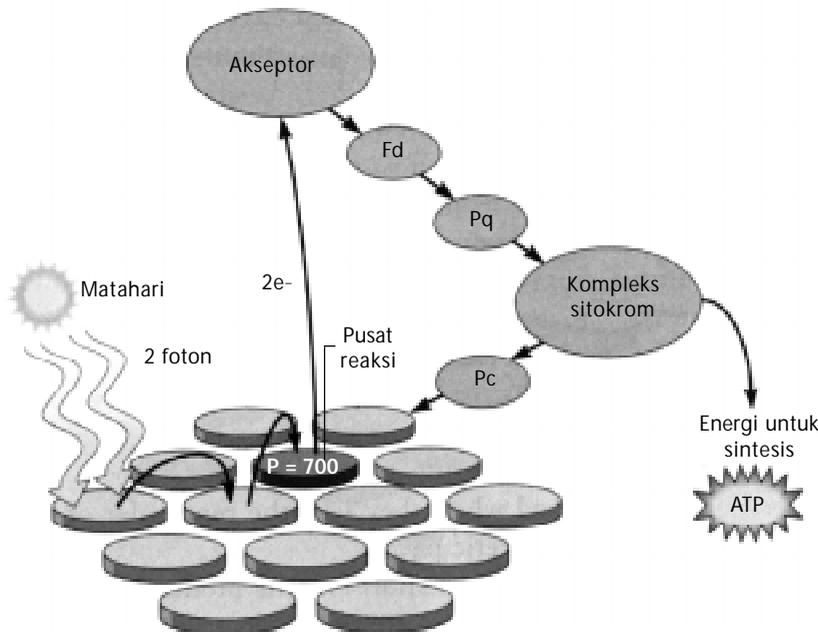
Reaksi nonsiklik yang terjadi pada membran tilakoid

b) Reaksi siklik

Pada beberapa kasus, terjadi pola pergerakan elektron yang berbeda. Pola ini disebut reaksi siklik, karena elektron yang dilepaskan fotosistem I selalu kembali pada fotosistem I. Ketika elektron melalui beberapa akseptor elektron, energi yang dilepaskan digunakan untuk membentuk ADP menjadi ATP.

Logika Biologi

Secara umum, fotosintesis terjadi pada siang hari ketika ada cahaya matahari. Kalau begitu, kapankah respirasi sel tumbuhan terjadi?



Sumber: Botany, 1995

Gambar 2.22

Reaksi siklik



Sekilas Biologi

Melvin Calvin
(1911–1997)



Melvin Calvin adalah seorang ahli kimia asal Amerika. Bersama Andrew Benson dan James Bassham, ia menemukan siklus reduksi karbon pada proses fotosintesis tumbuhan yang disebut siklus Calvin-Benson. Untuk itu, ia menerima hadiah nobel dibidang kimia pada tahun 1961.

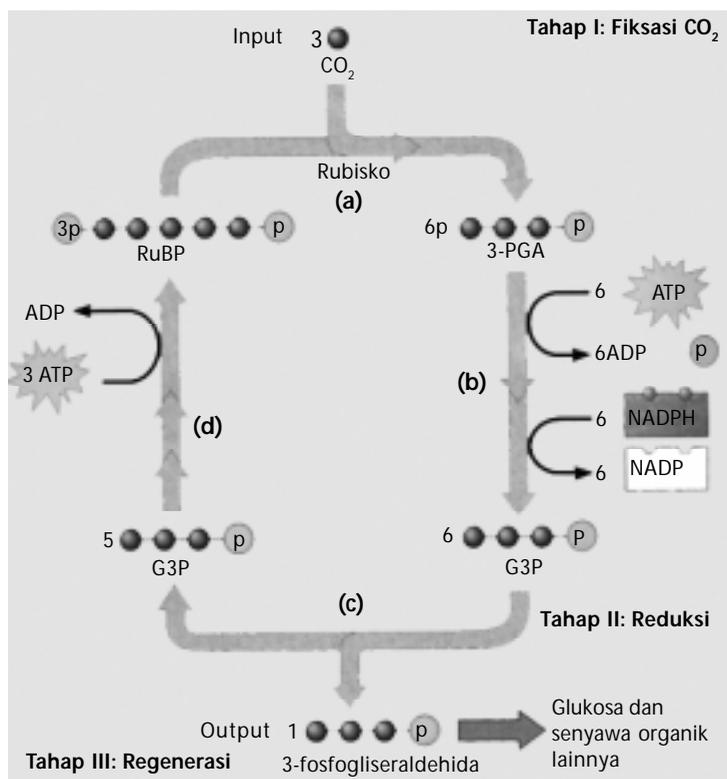
Sumber: www.wikipedia.org

Pembentukan ATP melalui reaksi siklik disebut juga fotofosforilasi siklik. Reaksi ini dilakukan jika ATP yang dibuat kurang dan banyak terjadi pada bakteri fotoautototrof.

2) Reaksi Gelap

Reaksi gelap merupakan langkah selanjutnya setelah reaksi terang. Reaksi ini terjadi di stroma kloroplas. Reaksi terang telah menyediakan energi kimia pada stroma kloroplas dalam bentuk ATP dan NADPH. Energi ini akan digunakan untuk menghasilkan glukosa, yaitu hasil akhir reaksi fotosintesis.

Reaksi gelap memerlukan ATP, NADPH, CO_2 , rangkaian enzim, serta kofaktor yang dapat ditemukan pada stroma kloroplas. Reaksi ini dijelaskan pertama kali oleh Melvin Calvin dan Andrew Benson. Oleh karena itu, reaksi ini disebut juga siklus Calvin-Benson. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.23

Siklus Calvin-Benson

Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Kata Kunci

- Calvin-Benson
- Fiksasi
- Reaksi gelap
- Reduksi
- Regenerasi
- Pelepasan

a) Fase fiksasi

Berdasarkan gambar tersebut, langkah pertama siklus Calvin-Benson adalah fiksasi CO_2 dari udara oleh ribulosa bifosfat (RuBP) dengan bantuan enzim rubisco. Fiksasi ini membentuk senyawa beratom C6. Hasil yang tidak stabil tersebut dipecah menjadi 2 senyawa C3 (3-fosfogliserat). Oleh karena itu, setiap 3 molekul CO_2 yang masuk akan menghasilkan enam molekul 3-fosfogliserat.

b) Fase reduksi

Pada fase reduksi, NADPH mereduksi 3-fosfogliserat menjadi 3-fosfogliseraldehid (G3P) dengan bantuan ATP. Untuk membuat 1 molekul G3P, siklus tersebut memerlukan atom karbon dari tiga molekul CO_2 .

Sebenarnya siklus ini mengambil satu karbon setiap satu siklusnya. Namun pada awal reaksi, digunakan 3 molekul CO_2 sehingga satu siklus reaksi ini menghasilkan 1 molekul G3P utuh.

c) Pelepasan satu molekul G3P

Lima molekul G3P dari langkah kedua tetap berada dalam siklus. Satu molekul G3P yang dilepaskan dari siklus merupakan hasil bersih fotosintesis. Sel tumbuhan menggunakan dua molekul G3P untuk membentuk satu molekul glukosa.

d) Fase regenerasi RuBP

Rangkaian reaksi kimia menggunakan energi ATP untuk menyusun kembali atom pada lima molekul G3P (total 15 atom C). Hal tersebut untuk membentuk tiga molekul RuBP yang akan digunakan kembali dalam siklus Calvin-Benson. Berapa banyak molekul CO_2 yang harus digunakan untuk membentuk satu molekul glukosa dalam siklus Calvin-Benson?



Aktivitas Biologi 2.2

Fotosintesis

Tujuan

Menunjukkan zat yang dihasilkan dari fotosintesis

Alat dan Bahan

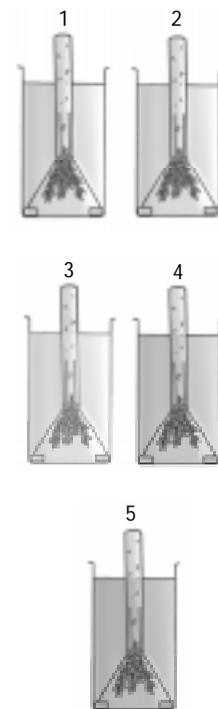
1. 5 buah gelas piala
2. 5 buah tabung reaksi
3. 5 buah corong plastik
4. kertas selofan berwarna merah, hijau, dan biru
5. tumbuhan air (Hydrilla)

Langkah Kerja

1. Siapkan 5 buah gelas piala, 5 buah tabung reaksi, 5 buah corong plastik, dan kertas selofan berwarna merah, hijau, dan biru.
2. Siapkan juga ganggang Spirogyra atau tumbuhan air, seperti Hydrilla.
3. Rangkailah alat-alat seperti pada gambar. Berhati-hatilah ketika memasukkan tabung reaksi, jangan sampai ada gelembung udara yang terperangkap.
4. Gelas piala 1 simpan di tempat teduh, sedangkan gelas piala 2, 3, 4, dan gelas 5 disimpan di tempat terang.
5. Gelas 3 ditutup kertas selofan merah, gelas 4 ditutup kertas selofan hijau, dan gelas 5 ditutup kertas selofan biru.
6. Amati gelembung udara yang muncul setelah beberapa waktu. Data yang diperoleh disusun dalam bentuk tabel.

Pertanyaan

1. Gas apakah yang terdapat pada gelembung udara tersebut? Buktikan.
2. Apakah maksud penutupan tabung piala dengan kertas selofan yang berwarna?
3. Faktor-faktor apakah yang memengaruhi fotosintesis yang diatur dalam percobaan ini? Jelaskan.



d. Faktor-Faktor yang Memengaruhi Fotosintesis

Terdapat beberapa faktor yang memengaruhi fotosintesis pada tumbuhan. Faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi faktor genetik dan faktor lingkungan.

Kata Kunci

- Air
- Cahaya
- Karbon dioksida
- Kemoautotrof
- Kemosintesis
- Nutrisi
- Suhu

Faktor genetik menentukan sifat dasar fotosintesis suatu tumbuhan. Faktor genetik mengatur lebar daun, jumlah daun, serta konsentrasi klorofil suatu tumbuhan.

Faktor lingkungan memengaruhi fotosintesis suatu tumbuhan sehingga daun tumbuhan dari spesies yang sama dapat memiliki laju fotosintesis yang berbeda. Faktor lingkungan dapat memengaruhi fotosintesis tumbuhan, di antaranya sebagai berikut.

- 1) Faktor cahaya, sangat mempengaruhi fotosintesis. Jika tidak terdapat cahaya, fotosintesis tidak terjadi. Ketika cahaya mulai tampak dan intensitasnya semakin naik, fotosintesis pun mulai terjadi dan lajunya naik seiring intensitas cahaya. Laju intensitas maksimum umumnya terjadi mendekati tengah hari. Ketika cahaya matahari bersinar sangat terang.
- 2) Faktor suhu, memengaruhi fotosintesis dengan adanya rentang suhu optimal bagi fotosintesis. Suhu optimal tersebut berkisar antara 28–30°C. Fotosintesis umumnya tidak dapat berlangsung pada suhu di bawah 5°C dan di atas 50°C. Mengapa?
- 3) Konsentrasi CO₂, pada tingkat di bawah 0,15 % dapat meningkatkan laju fotosintesis. Akan tetapi, jika konsentrasi CO₂ 0,15% atau lebih, stomata akan menutup dan fotosintesis terhenti. Bahkan pada beberapa tumbuhan, konsentrasi CO₂ di atas normal (0,04%) tidak lagi meningkatkan laju fotosintesis.
- 4) Ketersediaan air berperan dalam fotosintesis. Fotosintesis dapat terhenti jika tidak tersedia air yang menyebabkan stomata menutup dan menghentikan laju fotosintesis.
- 5) Ketersediaan nutrisi, berhubungan dengan pembentukan klorofil serta kofaktor enzim-enzim fotosintesis. Jika nutrisi tersebut tidak tersedia dapat menghambat fotosintesis.

2. Kemosintesis

Kemosintesis merupakan salah satu proses pembentukan (anabolisme) untuk menghasilkan molekul organik berenergi. Beberapa bakteri diketahui memiliki kemampuan ini. Berbeda dengan fotosintesis yang menggunakan energi matahari untuk menghasilkan ATP dan NADPH, bakteri kemoautotrof menggunakan reaksi kimia anorganik sebagai sumber energi. Mereka dapat mengoksidasi molekul anorganik untuk menghasilkan ATP dan NADPH, kemudian menggunakannya untuk mereduksi CO₂ menjadi molekul organik.

Bakteri belerang dari genus *Thiobacillus*, dapat menggunakan sulfur (belerang) untuk menghasilkan molekul organik. Ia mengoksidasi H₂S (sulfur) menjadi S(sulfat). Berikut reaksinya.



Bakteri hidrogen, *Hydrogenomonas*, dapat mengoksidasi H₂ (hidrogen) menjadi H₂O. Adapun bakteri besi, *Ferrobacillus*, mampu mengoksidasi ferro (Fe²⁺) menjadi ferri (Fe³⁺) untuk menghasilkan

Logika Biologi

Kapankah fotosintesis terjadi? Jika Anda akan menyiram tanaman, kapankah waktu yang baik untuk menyiram tanaman? Faktor apa yang berpengaruh terhadap waktu penyiraman tersebut.

molekul organik. Kemosintesis juga terjadi pada bakteri *Nitrosomonas* yang mengoksidasi amoniak (NH_3) menjadi nitrit (NO_2^-). Kemudian, bakteri *Nitrobacter* mengoksidasi nitrit (NO_2^-) menjadi nitrat (NO_3^-).

Makhluk hidup kemoautotrof tumbuh secara lambat, karena reaksi ini tidak menghasilkan banyak energi. Makhluk hidup ini hidup di tempat-tempat yang ekstrim, tempat makhluk hidup lain tidak bertahan. Contohnya di kawah gunung, di dalam tanah, dan di rekahan dasar laut. Beberapa bakteri kemoautotrof seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* berperan juga dalam siklus materi di ekosistem. Siklus materi apakah itu?

Latihan Pemahaman Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah perbedaan fotosintesis dan kemosintesis?
2. Apa sajakah yang dihasilkan dari reaksi terang?
3. Mengapa reaksi gelap dinamai demikian?
4. Jelaskan secara ringkas mekanisme fotosintesis.

D. Metabolisme Protein dan Lemak

Pada awal pembahasan metabolisme, penjelasan lebih banyak ditujukan pada metabolisme karbohidrat. Bagaimana dengan protein dan lemak? Dapatkah protein dan lemak digunakan sebagai sumber energi? Bagaimana jika sel kekurangan atau kelebihan karbohidrat, protein, atau lemak?

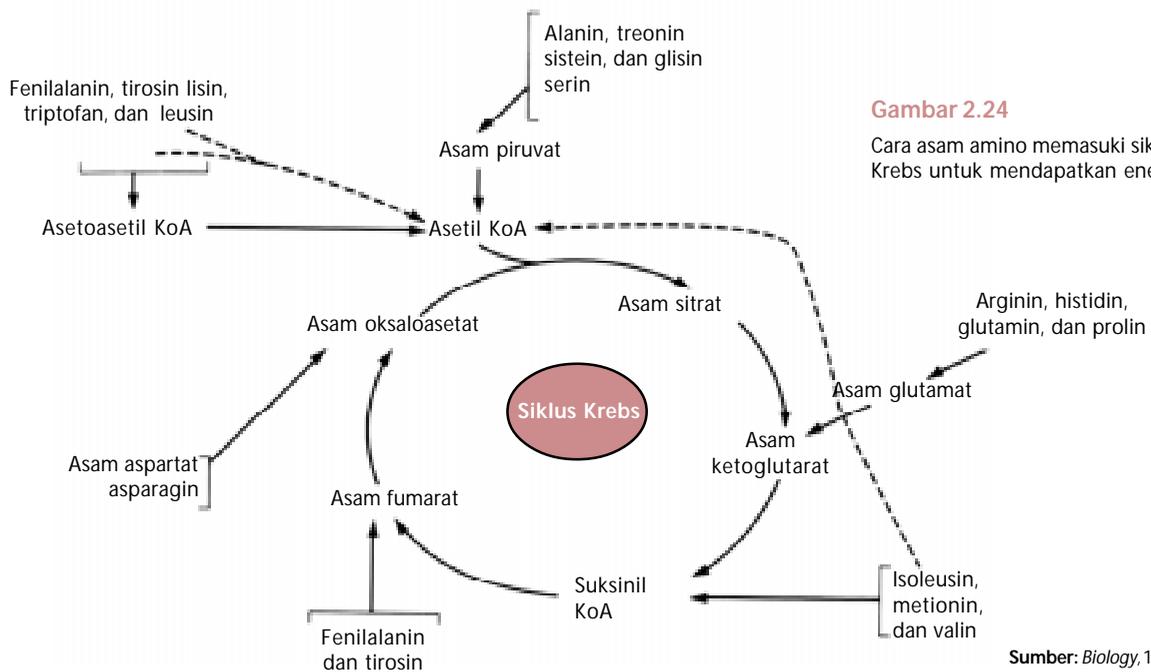
1. Penggunaan Protein dan Lemak Sebagai Sumber Energi

Protein dapat digunakan sebagai sumber energi. Akan tetapi, sebelumnya harus dipecah berdasarkan asam amino pembentuknya. Asam amino-asam amino tersebut diubah oleh enzim sehingga gugus karboksil ($-\text{COOH}$) dari asam amino tersebut dapat menjadi asam piruvat, asetil KoA, atau masuk dalam siklus Krebs. Sebelumnya, gugus amin ($-\text{NH}_2$) dari asam amino tersebut dipisahkan untuk kemudian diubah menjadi amoniak (NH_3) dan dikeluarkan melalui urine.

Jika tubuh kekurangan karbohidrat dan lemak, protein akan dioksidasi untuk menghasilkan energi. Setiap 1 gram protein menghasilkan 4 kkal energi. Perhatikan gambar berikut.

Kata Kunci

- Amoniak
- Gugus amin
- Protein



Gambar 2.24
Cara asam amino memasuki siklus Krebs untuk mendapatkan energi.

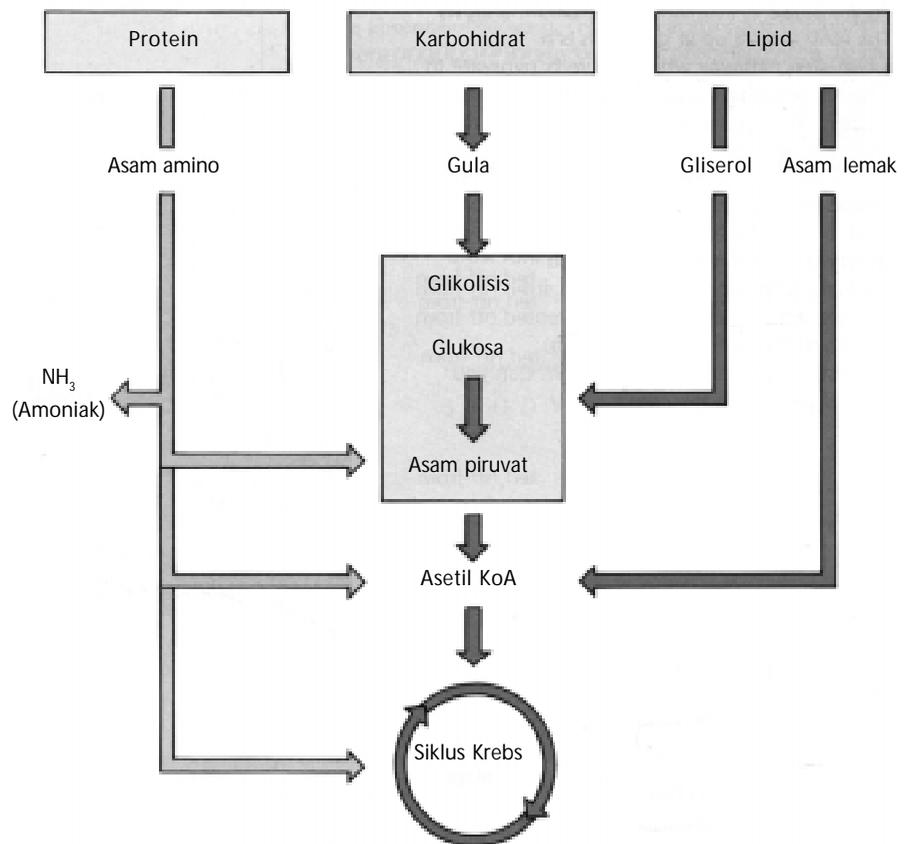
Sumber: *Biology*, 1999

Kata Kunci

- Asam lemak
- Gliserol
- Lemak

Seperti halnya karbohidrat dan protein, lemak juga dapat digunakan sebagai sumber energi. Bahkan, lemak pada hewan digunakan sebagai penyimpanan energi yang sewaktu-waktu dapat digunakan. Lemak sangat baik digunakan sebagai sumber energi selular karena lemak memiliki rantai karbon yang lebih panjang sehingga berenergi lebih tinggi.

Sebelum digunakan, sel menghidrolisis lemak menjadi asam lemak dan gliserol, kemudian gliserol diubah menjadi 3 fosfogliseraldehid dan memasuki jalur glikolisis. Asam lemak dipecah menjadi dua rantai karbon yang masuk ke siklus Krebs sebagai asetil koA. Melalui jalur-jalur tersebut, satu gram lemak memberikan ATP lebih banyak daripada karbohidrat dan protein. Satu gram lemak mampu menghasilkan 9 kkal energi. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2.25

Jalur respirasi aerob. Protein, karbohidrat, dan lemak memasuki jalur respirasi selular melalui beberapa cara untuk menghasilkan energi.

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

2. Pembentukan Protein dan Lemak

Sel memerlukan zat makanan sebagai pembentuk tubuh maupun sebagai sumber energi. Tidak semua molekul organik digunakan sebagai sumber energi penghasil ATP. Molekul organik menyediakan rangka karbon yang diperlukan sel untuk membangun molekul sel.

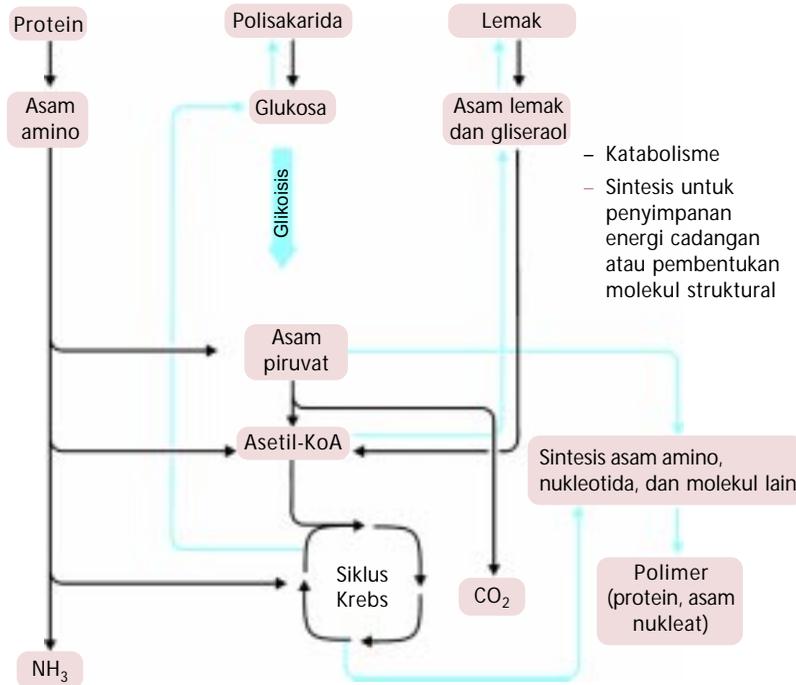
Beberapa molekul organik sederhana yang didapat dari makanan dapat langsung digunakan. Contohnya, asam amino hasil hidrolisis protein dapat langsung digunakan sebagai protein sel.

Seringkali sel memerlukan molekul tertentu yang tidak didapat dari makanan. Komponen yang terbentuk sebagai komponen intermediet dari glikolisis dan siklus Krebs, dapat dialihkan ke dalam jalur anabolisme sebagai prekursor untuk menyintesis molekul yang diperlukan sel. Contohnya, tubuh manusia dapat membentuk asam amino nonesensial

dengan memodifikasi komponen yang dialihkan dari siklus Krebs. Selain itu, glukosa dapat dibuat dari asam piruvat, dan asam lemak dapat disintesis dari asetil KoA. Jalur pembentukan molekul anabolisme ini memerlukan ATP. Perhatikan gambar berikut.

Logika Biologi

Jika seseorang melakukan diet dengan cara tidak memakan makanan berlemak, akankah diet yang ia lakukan efektif? Jelaskan.



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 2.26

Jalur metabolisme bagi sintesis penyimpanan energi cadangan atau pembentukan molekul struktural

Glikolisis dan siklus Krebs berfungsi mengubah beberapa molekul menjadi molekul yang diperlukan tubuh. Kelebihan makanan dapat disimpan sebagai energi cadangan dalam bentuk lemak, pati, atau glikogen. Bahan-bahan pembangun sel dapat disintesis dengan mengubah beberapa hasil metabolisme utama menjadi asam amino dan monomer lain yang akhirnya membentuk polimer struktural.

Tugas Anda 2.1

Pengetahuan mengenai metabolisme makhluk hidup banyak dimanfaatkan manusia untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas produk. Beberapa pengetahuan metabolisme, seperti fermentasi digunakan manusia untuk menghasilkan berbagai produk seperti yoghurt, dan minuman beralkohol. Pengetahuan metabolisme lain, seperti peningkatan fotosintesis digunakan untuk peningkatan hasil pertanian. Tugas Anda sekarang, yakni membuat karya tulis mengenai berbagai teknologi yang mengaplikasikan pengetahuan metabolisme makhluk hidup. Carilah sumber dari internet, buku, majalah, dan koran sebagai rujukan. Karya tulis terbaik dapat ditampilkan pada majalah dinding sekolahmu.

Latihan Pemahaman Subbab D

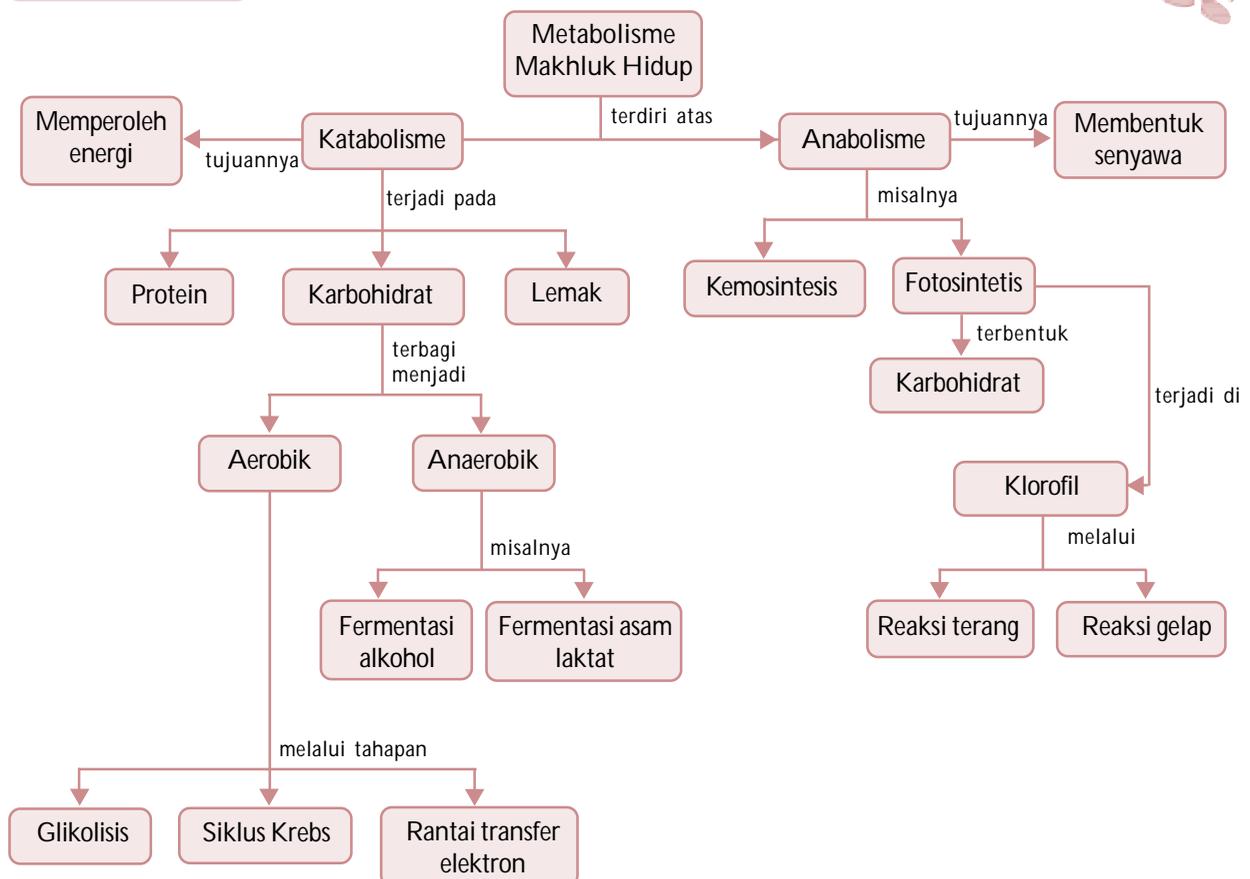
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Berapa besarkah energi yang dapat dihasilkan dari katabolisme protein dan lemak?
2. Apa yang terjadi jika sel kelebihan satu macam bahan makanan?

Rangkuman

1. Metabolisme merupakan serangkaian reaksi kimia yang terjadi di dalam sel dan merupakan salah satu ciri makhluk hidup.
2. Enzim berperan sebagai katalis dalam metabolisme tubuh. Enzim memiliki sifat selektif, spesifik, dan efisien. Enzim tersusun atas dua bagian, yaitu senyawa protein yang disebut apoenzim dan senyawa nonprotein yang disebut gugus prostetik. Cara kerja enzim dijelaskan dengan dua teori, yaitu Teori lock and key dan Teori induced fit. Kerja enzim dipengaruhi oleh faktor suhu, pH, feedback inhibitor, konsentrasi substrat, konsentrasi enzim, kadar air, serta pengaruh zat penggiat dan penghambat.
3. Katabolisme adalah penguraian atau pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan hasil akhir berupa energi. Pada makhluk hidup, proses ini meliputi respirasi dan fermentasi.
4. Respirasi ada dua macam, yaitu respirasi aerob dan anaerob. Respirasi aerob terdiri atas tahap-tahap glikolisis (mengubah glukosa menjadi asam piruvat), siklus Krebs (mengubah asam piruvat menjadi CO_2 dan ATP), dan sistem transpor elektron. Fermentasi atau respirasi anaerob merupakan pemecahan molekul tanpa bantuan oksigen bebas, biasanya dilakukan oleh mikroorganisme. Fermentasi ada tiga macam, yaitu fermentasi alkohol, fermentasi asam laktat, dan fermentasi asam cuka.
4. Anabolisme adalah proses penyusunan atau sintesis senyawa yang lebih kompleks dari senyawa yang lebih sederhana. Sintesis zat makanan memerlukan bahan dasar CO_2 , H_2O , dan energi. Jika energinya berasal dari cahaya, prosesnya disebut fotosintesis, jika energinya berasal dari zat kimia, prosesnya disebut kemosintesis.
5. Fotosintesis pada tumbuhan melibatkan dua tahap, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Pada reaksi terang terjadi lintas elektron siklik atau lintas elektron nonsiklik, bergantung pada panjang gelombang cahaya yang mengenai kloroplas. Pada reaksi terang dihasilkan ATP dan NADPH, serta terjadi pemecahan air. Pada reaksi gelap akan terjadi pengikatan karbon dioksida, dan dihasilkan karbohidrat.

Peta Konsep



Refleksi

Anda telah mempelajari materi metabolisme, bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari bab ini? Menarik, bukan? Banyak hal yang bisa Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini. Misalnya, Anda mengetahui mengapa makhluk hidup memerlukan oksigen, sedangkan tumbuhan menghasilkan oksigen. Selain itu, Anda juga telah mengetahui fungsi fermentasi dalam pembuatan minuman beralkohol dan roti.

Tujuan Anda mempelajari bab ini agar Anda mampu mendeskripsikan fungsi enzim dalam proses metabolisme; mendeskripsikan proses katabolisme dan anabolisme karbohidrat; menjelaskan keterkaitan antara proses

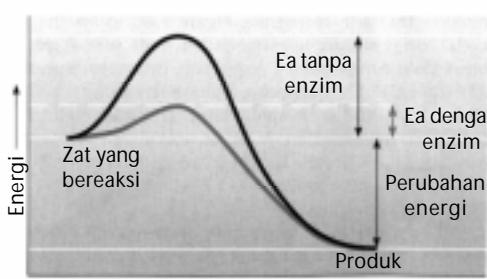
metabolisme karbohidrat dengan metabolisme lemak dan protein. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan permasalahan berkenaan dengan materi metabolisme. Agar Anda mampu memahami materi pada bab ini lebih baik, pastikanlah Anda menguasai materi bab ini dengan giat belajar, mengerjakan tugas, latihan subbab dan aktivitas, serta mengerjakan evaluasi kompetensi pada bab ini.

Evaluasi Kompetensi Bab 2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

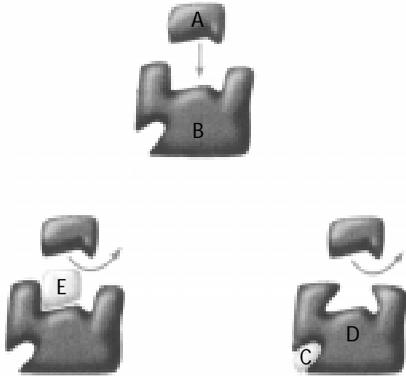
- Perhatikan pernyataan berikut.
 - Penamaan protein, lemak, dan karbohidrat
 - Pengangkutan sari-sari makanan oleh lemak
 - Respirasi sel
 - Pengangkutan hormon oleh darah
 - fotosintesis pada tumbuhanContoh dari metabolisme adalah
 - 1, 2, dan 3
 - 1, 3, dan 4
 - 1, 3, dan 5
 - 2, 4, dan 5
 - 2, 3, dan 4
- Seluruh reaksi yang terjadi di dalam tubuh makhluk hidup menggunakan sumber energi berupa
 - ATP
 - enzim
 - glukosa
 - lemak
 - protein
- Tahapan katabolisme glukosa atau respirasi sel adalah
 - glikolisis, transpor elektron, dan siklus Krebs
 - transfer elektron, glikolisis, dan siklus Krebs
 - glikolisis, siklus Krebs, dan transpor elektron
 - siklus Krebs, glikolisis, dan transpor elektron
 - siklus Krebs, transpor elektron, dan glikolisis
- Hasil dari peristiwa glikolisis adalah
 - 2 ADP, 2 NAD, dan 2 glukosa
 - 2 ATP, 2 NADH, dan 2 asam piruvat
 - 2 ADP, 2 NADH, dan 2 asam piruvat
 - 2 ATP, 2 NAD, dan 2 asam piruvat
 - 2 ATP, 2 NAD, dan 2 glukosa
- Siklus Krebs menghasilkan molekul-molekul
 - H₂O, NADH, dan FADH
 - CO₂, NAD, dan FAD
 - H₂O, NAD, dan FAD
 - CO₂, NADH, dan FADH
 - CO₂, NADH, dan FAD
- Katabolisme karbohidrat mengalami beberapa tahap, di antaranya transfer elektron yang terjadi di dalam
 - ribosom
 - sitoplasma
 - mitokondria
 - badan golgi
 - lisosom
- Dalam peristiwa anabolisme karbohidrat di antaranya terjadi siklus elektron yang menghasilkan
 - NADH
 - O₂
 - FADH₂
 - glukosa
 - H₂O
- Seseorang yang telah bekerja berat akan merasa lelah. Hal ini terjadi karena terjadi penimbunan hasil glukosa, yaitu
 - ATP
 - NADH
 - asam piruvat
 - asetil koA
 - asam laktat
- Perhatikan grafik pengaruh enzim terhadap energi aktivasi

Berdasarkan grafik tersebut, pengaruh enzim adalah

 - meningkatkan energi aktivasi
 - menurunkan energi aktivasi tanpa ikut bereaksi
 - menurunkan energi aktivasi dengan ikut bereaksi
 - menurunkan laju reaksi
 - tidak berpengaruh terhadap reaksi

10. Berikut ini beberapa sifat enzim, kecuali ...
- selektif
 - efisien
 - bekerja bolak-balik
 - biokatalisator
 - tahan panas

Untuk menjawab soal nomor 11–12, perhatikan gambar berikut.



11. Enzim ditunjukkan oleh huruf ...
- B dan D
 - B dan A
 - A dan E
 - C dan D
 - C dan E
12. Inhibitor non kompetitif dan inhibitor kompetitif ditunjukkan oleh huruf ...
- A dan B
 - B dan C
 - C dan D
 - C dan E
 - D dan E
13. Pada saat pembuatan tape terjadi proses fermentasi yang menghasilkan alkohol setelah peristiwa ...
- transfer elektron
 - glikolisis
 - siklus krebs
 - dekarboksilasi oksidatif
 - siklus Calvin-Benson
14. Dalam satuan berat yang sama, bahan makanan yang menghasilkan energi tertinggi melalui katabolisme adalah ...
- karbohidrat
 - protein
 - lemak
 - vitamin
 - mineral
15. Tempat berlangsungnya reaksi terang fotosintesis adalah ...
- membran tilakoid
 - stroma
 - matriks
 - krista
 - ruang dalam kloroplas
16. Jika dalam satu siklus Krebs dihasilkan 3 NADH dan 1 FADH₂, maka setelah melalui transfer elektron dihasilkan ...
- 11 ATP
 - 24 ATP
 - 28 ATP
 - 32 ATP
 - 36 ATP

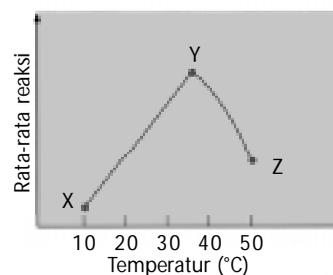
17. Di bawah ini ciri reaksi terang fotosintesis, kecuali ...
- penyerapan energi cahaya untuk diubah menjadi energi kimia
 - dihasilkan ATP dan NADPH₂
 - fotolisis air
 - membutuhkan cahaya
 - pengikatan karbondioksida
18. Dalam peristiwa siklus Calvin-Benson terjadi pengikatan CO₂ oleh senyawa ...
- asam fosfogliserat (PGA)
 - ribulosa bifosfat (RuBP)
 - fosfogliseraldehid (PGAL)
 - ATP
 - NADPH
19. Kelompok makhluk hidup yang mampu menggunakan reaksi kimia anorganik sebagai sumber energi adalah ...
- heterotrof
 - fotoautotrof
 - kemoheterotrof
 - kemoautotrof
 - parasitis
20. Proses kemosintesis yang dilakukan oleh bakteri nitrifikasi mempunyai ciri sebagai berikut, kecuali ...
- membutuhkan tanah gembur
 - berlangsung secara aerob
 - membutuhkan senyawa anorganik
 - nitrat yang dihasilkan digunakan untuk membentuk protein
 - berlangsung secara anaerob

B. Soal Uraian

- Jelaskan fungsi enzim dan teori mengenai cara kerja enzim.
- Apa yang dimaksud dengan katabolisme dan metabolisme?
- Jelaskan tahap-tahap dalam respirasi aerob.
- Jelaskan tahap-tahap dalam fotosintesis.
- Jelaskan keterkaitan antara metabolisme lemak, karbohidrat, dan protein.

C. Soal Tantangan

- Grafik berikut menunjukkan pengaruh suhu terhadap reaksi yang melibatkan enzim.



Sumber: *Biology for You*, 2002

- Bagaimanakah reaksi antara X–Y.
- Bagaimanakah reaksi yang terjadi antara Y–Z.
- Bagaimanakah pengaruh enzim terhadap laju reaksi.
- Apakah yang terjadi pada enzim ketika suhu bertambah tinggi?

Bab 3



Sumber: *Cloning Frontiers of Genetic Engineering*, 1999

Gambar tersebut memperlihatkan model DNA *double helix*. DNA merupakan materi genetik.

Materi Genetik dan Sintesis Protein

Hasil yang harus Anda capai:

memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan konsep gen, DNA, dan kromosom;
- menjelaskan hubungan gen (DNA)-RNA-poli-peptida dan proses sintesis protein.

Anda tentu melihat bahwa satu organisme akan selalu menghasilkan organisme yang spesiesnya sama. Seekor kuda akan melahirkan seekor kuda, manusia akan melahirkan bayi manusia. Namun jika Anda perhatikan, tidak semua keturunan yang dihasilkan mirip dengan induknya. Selalu terdapat variasi antara induk dan keturunan serta keturunan dengan keturunan yang lain, terkecuali jika keturunan tersebut kembar identik (berasal satu zigot).

Bagaimanakah sifat-sifat tersebut diturunkan dari induk kepada turunannya? Mengapa terdapat perbedaan atau variasi antara induk dan keturunan serta antarketurunan? Pertanyaan-pertanyaan ini akan Anda ketahui setelah Anda mempelajari pewarisan sifat atau hereditas. Namun sebelumnya, Anda terlebih dahulu akan mempelajari materi genetik serta hubungannya dengan sintesis protein. Kedua hal tersebut merupakan dasar pewarisan sifat yang akan Anda pelajari pada bab selanjutnya.

- A. Materi Genetik
- B. Sintesis Protein

Tes Kompetensi Awal

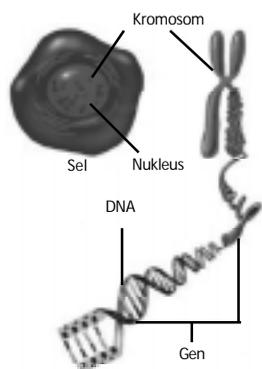
1. Menurut Anda, apakah yang dimaksud dengan gen?
2. Apakah pengaruh gen terhadap makhluk hidup?
3. Apakah gen semua makhluk hidup sama?

Kata Kunci

- Gen
- Hereditas
- Kromosom
- Meiosis
- Mitosis
- Sitologi



Fakta Biologi



Gen adalah unit fungsional materi genetik. Satu gen mengatur satu jenis karakter.

Satu gen terdiri dari puluhan sampai ratusan ribu pasangan basa (*base pair, bp*). 1.000 *bp* = 1 kb (kilo basa). Oleh karena itu, panjang DNA suatu gen dalam sel-sel tubuh diberi ukuran menurut banyak pasangan basa dalam ribuan atau kb.

Sumber: www.publications.nigms.nih.gov.com

Gambar 3.1

Struktur kromosom dan kromatin dalam nukleus.

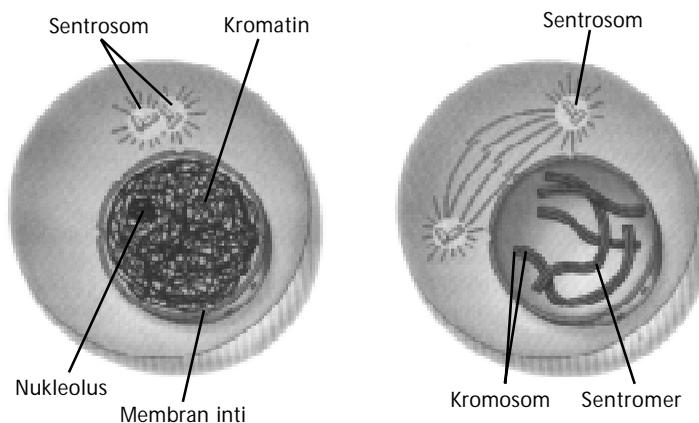
A. Materi Genetik

Manusia sejak dulu sangat tertarik pada pewarisan sifat atau hereditas. Manusia telah mengetahui pentingnya pewarisan sifat dalam keluarga, produksi tanaman, dan ternak. Gregor Mendel adalah orang pertama yang mempelajari pewarisan sifat secara ilmiah. Sekitar 1857, ia melakukan pengamatan pewarisan sifat terhadap tanaman ercis (*Pisum sativum*). Meskipun Mendel mengetahui adanya pola pewarisan sifat pada tanaman ercis, ia tidak mengetahui materi genetik apa yang diturunkan dan menyebabkan pola pewarisan sifat. Kini para ilmuwan menyebut unit hereditas yang dipelajari Mendel sebagai gen. Adapun genom adalah seperangkat gen yang dimiliki suatu makhluk hidup. Di manakah gen berada? Bagaimanakah bentuk fisik gen?

1. Kromosom

Kromosom berasal dari kata *chrome* artinya berwarna dan *soma* artinya badan. Oleh karena itu, kromosom dapat diartikan sebagai badan yang menyerap warna.

Kromosom terdapat pada nukleus (inti sel) setiap sel. Kromosom dapat diamati pada tahap metafase saat pembelahan mitosis maupun meiosis. Pada saat tidak membelah diri, di dalam nukleus tidak terbentuk badan kromosom, tetapi dalam bentuk benang-benang yang terurai yang disebut benang kromatin. Perhatikan Gambar 3.1.



Sumber: *Biology*, 1999

Pada 1875 dan 1890, para ahli Sitologi mempelajari proses mitosis dan meiosis secara mendalam. Mereka menemukan indikasi adanya hubungan antara kromosom dan gen yang dijelaskan Mendel. Beberapa kesamaan tersebut di antaranya sebagai berikut.

- Pada sel diploid, kromosom dan gen sama-sama berpasangan.
- Pasangan kromosom homolog berpisah saat meiosis. Begitu juga dengan pasangan gen sealel saat menjadi gen gamet.
- Fertilisasi mengembalikan keadaan kromosom dan gen yang berpasangan.

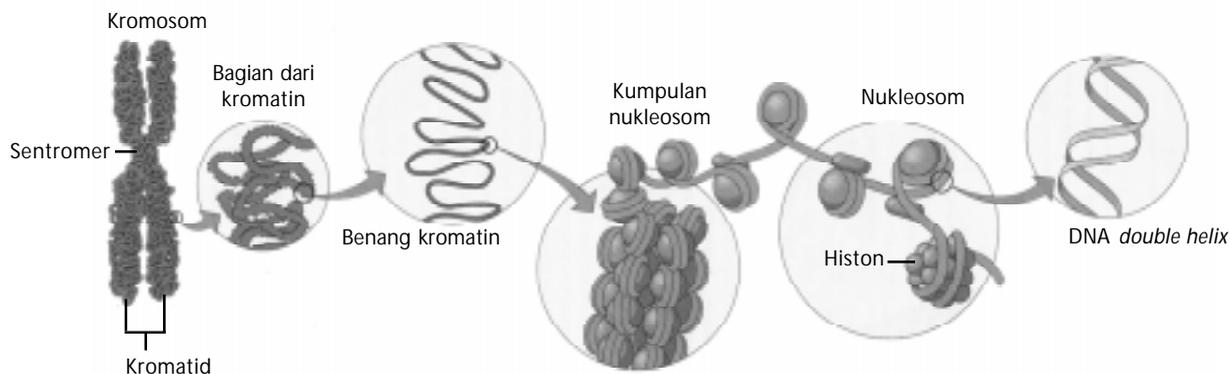
Sekitar 1902 Walter S. Sutton dan Theodor Boveri menyadari hubungan tersebut. Maka terbentuklah teori kromosom tentang pewarisan sifat. Teori ini menyatakan bahwa:

- gen berada dalam satu tempat di dalam kromosom yang disebut lokus;
- alel dari setiap gen berada dalam satu kromosom homolog;
- setiap gen yang berbeda, berada dalam lokus yang berbeda atau kromosom lain.

a. Struktur Kromosom

Kromosom terdiri atas sentromer dan lengan kromosom. Sentromer tidak mengandung gen dan merupakan tempat melekatnya kromosom. Jika dilihat menggunakan mikroskop, sentromer terlihat terang karena kemampuan menyerap zat warna yang rendah. Sentromer memiliki fungsi penting dalam pembelahan sel mitosis dan meiosis yang akan Anda pelajari pada bab berikutnya.

Lengan kromosom merupakan bagian kromosom yang mengandung gen. setiap kromosom memiliki satu atau dua lengan. Setiap lengan kromosom, terdapat benang halus yang terpilin. Benang-benang halus tersebut dikenal dengan kromatin. Benang-benang kromatin juga merupakan untaian DNA (deoxyribonucleic acid) yang berpilin dengan protein histon. Bentuk ikatan DNA dan protein histon disebut juga nukleosom. Perhatikan Gambar 3.3.



Sumber: Botany, 1995

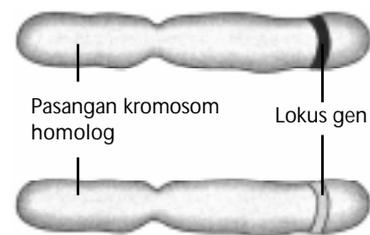
Kromosom yang dapat terlihat saat pembelahan sel berupa kromosom dengan dua kromatid. Dua kromatid ini merupakan hasil replikasi DNA, sehingga kromosom berbentuk huruf X. Bentuk kromosom ini disebut juga kromosom dupleks. Ketika pembelahan sel terjadi, kromatid setiap kromosom sel akan berpisah ke dalam dua sel anak. Setiap kromatid tersebut berfungsi sebagai kromosom utuh dan disebut juga kromosom simpleks (Guttman, 1995: 261).

b. Bentuk Kromosom

Kromosom memiliki bentuk yang berbeda-beda. Berdasarkan panjang lengan yang dimilikinya kromosom dibedakan menjadi metasentrik, submetasentrik, akrosentrik, dan telosentrik.

Kata Kunci

- DNA
- Dupleks
- Kromatin
- Nukleosom
- Sentromer
- Simpleks



Sumber: Biology, 1998

Gambar 3.2

Gen dan letaknya pada kromosom homolog.

Gambar 3.3

Struktur kromosom.

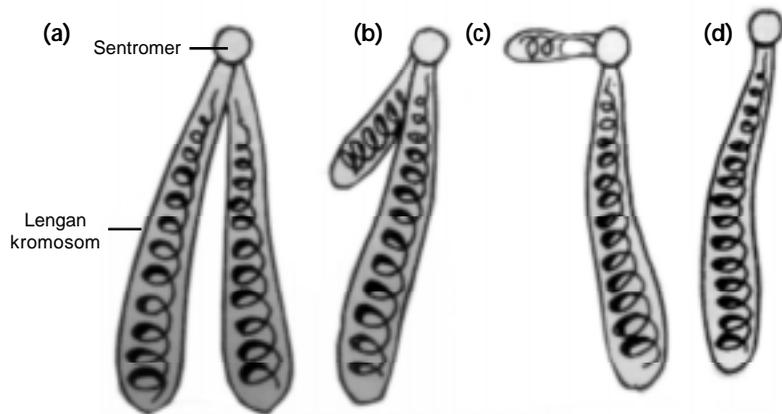
Logika Biologi

Semua makhluk hidup memiliki DNA dan RNA sebagai materi genetik. Tetapi tidak ada satu pun individu yang sama persis dengan individu lainnya. Jelaskan perbedaan ini dan kaitannya dengan materi genetik.

Kata Kunci

- Akrosentrik
- Autosom
- Gonosom
- Metasentrik
- Submetasentrik
- Telosentrik

- 1) Metasentrik, kromosom jenis ini memiliki panjang lengan yang relatif sama sehingga sentromer berada di tengah-tengah kromosom.
- 2) Submetasentrik, kromosom jenis ini memiliki satu lengan kromosom lebih pendek sehingga letak sentromer sedikit bergeser dari tengah kromosom.
- 3) Akrosentrik, pada kromosom ini salah satu lengan kromosom jauh lebih pendek dibandingkan lengan kromosom lainnya.
- 4) Telosentrik, kromosom ini hanya memiliki satu buah lengan saja sehingga letak sentromernya berada di ujung kromosom.



Gambar 3.4

Jenis kromosom berdasarkan panjang lengannya.
 (a) metasentrik,
 (b) submetasentrik,
 (c) akrosentrik, dan
 (d) telosentrik.

Sumber: Heath Biology, 1985

c. Jumlah kromosom

Semua makhluk hidup eukariotik memiliki jumlah kromosom yang berbeda-beda. Pada sel tubuh atau sel somatis, jumlah kromosom umumnya selalu genap, karena kromosom sel tubuh selalu berpasangan. Jumlah kromosom sel somatis tersebut terdiri atas 2 set kromosom (diploid, $2n$), dari induk jantan dan induk betina. Berikut ini tabel jumlah kromosom beberapa makhluk hidup.

Tabel 3.1 Jumlah Kromosom pada Berbagai Makhluk Hidup

| o. | rganisme | umlah Kromosom ($2n$) |
|-----|-------------|-------------------------|
| | Hewan | |
| 1. | Ayam | 78 |
| 2. | Bebek | 80 |
| 3. | Anjing | 68 |
| 4. | Domba | 60 |
| 5. | Katak | 34 |
| 6. | Kadal | 34 |
| 7. | Kambing | 60 |
| 8. | Kelinci | 44 |
| 9. | Kucing | 38 |
| 10. | Kuda | 60 |
| 11. | Kukang | 50 |
| 12. | Kumbang | 28 |
| 13. | Kera | 42 |
| 14. | Lalat rumah | 12 |
| 15. | Lembu | 60 |
| 16. | Lebah madu | 32 |
| 17. | Marmut | 60 |
| 18. | Gorila | 48 |

| | | |
|-----|------------|----|
| 19. | Orang utan | 48 |
| 20. | Simpanse | 48 |
| 21. | Siamang | 50 |
| 22. | Sapi | 60 |
| 23. | Salamander | 28 |
| | Tumbuhan | |
| 1. | Jagung | 20 |
| 2. | Padi | 24 |
| 3. | Tebu | 86 |
| 4. | Tembakau | 48 |
| 5. | Kubis | 18 |
| 6. | Pepaya | 18 |
| 7. | Kentang | 48 |
| 8. | Gandum | 20 |
| 9. | Tomat | 24 |
| 10. | Bawang | 16 |
| 11. | Mawar | 28 |

Pada sel gamet atau sel kelamin, seperti sel telur dan sel sperma, hanya memiliki setengah dari jumlah kromosom sel tubuh. Jumlah kromosom sel gamet hanya satu set atau haploid (n). Pada manusia dengan jumlah kromosom sel somatis 46, sel telur atau sel sperma hanya memiliki 23 kromosom. Adanya fertilisasi (peleburan sel telur dan sel sperma) mengembalikan jumlah kromosom sel tubuh menjadi 46 buah.

d. Tipe Kromosom

Kromosom dalam tubuh berdasarkan pengaruhnya terhadap penentuan jenis kelamin dan sifat tubuh dibedakan menjadi dua, yaitu:

- 1) Autosom, disebut juga kromosom biasa atau kromosom tubuh. Autosom tidak menentukan jenis kelamin organisme. Pada manusia dengan jumlah kromosom sel somatis 46 buah, memiliki 44 autosom. Selebihnya, 2 kromosom, adalah kromosom kelamin. Penulisan autosom dilambangkan dengan huruf A sehingga penulisan autosom sel somatis manusia adalah 44A atau 22AA. Bagaimanakah penulisan sel gamet?
- 2) Gonosom, disebut juga kromosom kelamin atau kromosom seks. Gonosom dapat menentukan jenis kelamin makhluk hidup. Jumlahnya sepasang pada sel somatis. Pada manusia dengan jumlah kromosom sel somatis 46 buah, terdapat 44 autosom dan 2 gonosom. Terdapat 2 jenis gonosom, yaitu X dan Y. Umumnya pada makhluk hidup, gonosom X menentukan jenis kelamin betina dan gonosom Y menentukan jenis kelamin jantan. Susunan gonosom wanita XX dan gonosom pria XY. Oleh karena itu, penulisan kromosom sel somatis ($2n$) adalah 44A + XY (pria) atau 44A + XX (wanita). Adapun untuk sel gamet (n) adalah 22A + X atau 22A + Y.

2. DNA (*Deoxyribonucleic Acid*)

Sebelumnya Anda telah mengetahui bahwa kromosom mengandung banyak gen. Selain itu, Anda juga mengetahui bahwa kromosom tersusun atas rantai DNA yang berpilin bersama protein histon.



Sekilas Biologi

James Watson (1928) dan Francis Crick (1916–2004)



James Watson merupakan seorang ilmuwan Amerika yang lahir pada 1928. Francis Crick adalah ahli Biologi kelahiran Northampton, Inggris 1916.

Pada 1962, keduanya menerima penghargaan Nobel dalam bidang fisiologi atau kedokteran. Penghargaan ini diberikan atas penemuan struktur DNA pada 1952.

Sumber: www.lakes.chebucto.org



Fakta Biologi

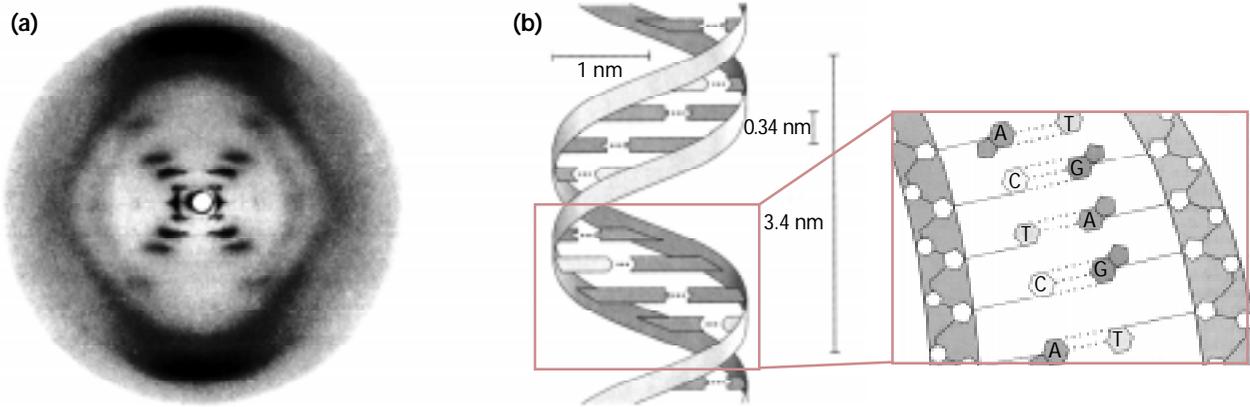
DNA kali pertama berhasil dimurnikan pada 1868 oleh ilmuwan Swiss Friedrich Miescher di Tubingen, Jerman, yang menamainya *nuclein* berdasarkan lokasinya di dalam inti sel. Meskipun demikian, penelitian terhadap peranan DNA di dalam sel baru dimulai pada awal abad 20, bersamaan dengan ditemukannya postulat genetika Mendel. DNA dan protein dianggap dua molekul yang paling memungkinkan sebagai pembawa sifat genetis berdasarkan teori tersebut.

Sumber: www.wikipedia.org

Kata Kunci

- Basa nitrogen
- *Double helix*
- Gugus fosfat
- Gula pentosa
- Nukleotida

Perkembangan ilmu dan teknologi tentang sel telah membawa manusia pada pengetahuan baru. Kemajuan dalam memahami sel berkembang sekitar tahun 1950-an. Pada saat itu, James Watson dan Francis Crick dapat menjelaskan struktur DNA pada kromosom berdasarkan bukti-bukti yang ada. Berdasarkan bukti difraksi sinar-X, mereka menyimpulkan bahwa struktur DNA adalah seperti tangga terpilin atau double helix (Gambar 3.5).



Sumber: Botany, 1995; Biology: Discovering Life, 1991

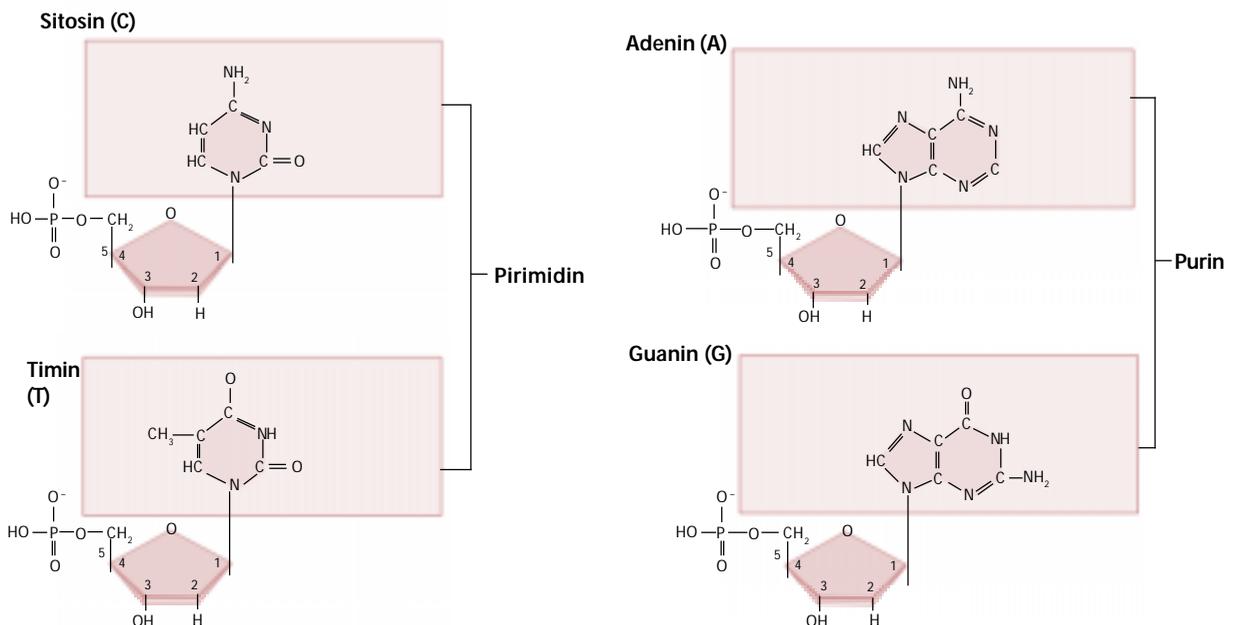
Gambar 3.5

(a) Foto hasil difraksi sinar-X dari DNA dan,
(b) model DNA *double helix*.

DNA tersusun atas rangkaian nukleotida. Nukleotida adalah gabungan antara gugus fosfat, gula pentosa, dan basa nitrogen. Adapun nukleosida adalah gabungan antara gula pentosa dan basa nitrogen. Setiap nukleotida mengandung gugus gula deoksiribosa yang memiliki 5 atom karbon, gugus fosfat dan basa nitrogen. Semua nukleotida dalam DNA mengandung gula dan gugus fosfat yang sama sehingga disebut juga "tulang punggung DNA". Adapun basa nitrogen DNA selalu berpasangan antara kelompok purin dan pirimidin. Basa purin yakni adenine (A) dan guanine (G), sedangkan basa pirimidin, yakni cytosine (C) dan thymine (T). Pada DNA, G berpasangan dengan C dan A berpasangan dengan T.

Gambar 3.6

Struktur kimia nukleotida dengan basa purin dan pirimidin.



DNA dengan pasangan basa nitrogen adalah bentuk nyata dari gen. Umumnya satu gen mengandung puluhan hingga ratusan ribu pasangan basa. DNA tersebut mengatur kehidupan sel dan tubuh suatu makhluk hidup melalui proses replikasi (penggandaan) dan transkripsi (pencetakan). Replikasi berguna untuk pembelahan sel dan reproduksi, sedangkan transkripsi berguna untuk sintesis protein. Melalui sintesis protein dibentuk berbagai zat dan organel yang mengatur tubuh dan memengaruhi sifat makhluk hidup.

a. Fungsi DNA

Secara umum terdapat tiga fungsi dari DNA, yaitu:

1) Pembawa informasi genetik

DNA sebagai bentuk kimiawi gen merupakan pembawa informasi genetik makhluk hidup. DNA membawa instruksi bagi pembentukan ciri dan sifat makhluk hidup.

2) Berperan dalam duplikasi diri dan pewarisan sifat

Oleh karena DNA mengandung semua informasi sifat makhluk hidup, ia juga harus memiliki informasi bagi perbanyakannya (replikasi). Replikasi DNA memberikan jalan bagi DNA untuk diwariskan dari satu sel ke sel lainnya.

3) Ekspresi informasi genetik

Gen-gen membawa informasi untuk membentuk protein tertentu. Proses ini terjadi melalui mekanisme sintesis protein. Proses pembentukan protein ini terjadi melalui proses transkripsi DNA menjadi RNA dan translasi RNA membentuk rantai polipeptida.

b. Mekanisme Replikasi DNA

Kemampuan memperbanyak diri merupakan ciri penting makhluk hidup. Hal ini dapat diamati hingga tingkat molekuler, yakni perbanyakannya materi genetik melalui replikasi. Proses ini memerlukan bahan baku deoksiribonukleotida, enzim, dan nukleotida. Proses replikasi DNA akan menghasilkan rantai DNA baru yang sama. DNA juga dapat menghasilkan rantai RNA baru melalui proses transkripsi.

Replikasi diawali dengan terbukanya pilinan dan pemisahan rantai oleh enzim helikase sehingga terbentuk dua pita tunggal. Kedua pita tersebut berfungsi sebagai cetakan DNA baru dengan bantuan enzim DNA polimerase.

Perlu Anda perhatikan bahwa terdapat satu sifat DNA double heli yang memengaruhi replikasi, yakni kedua pita DNA bersifat antiparalel. Artinya, ikatan gula-fosfat kedua pita berlawanan arah. Perhatikan Gambar 3.7.

Pada gambar terlihat bahwa lima karbon pada gula deoksiribosa diberi nomor 1 hingga 5. Terdapat gugus fosfat yang berikatan pada karbon nomor 3' atau nomor 5'. Hasilnya terdapat dua buah pita DNA dengan polaritas berbeda.

DNA polimerase dapat mensintesis DNA baru dengan arah $5' \rightarrow 3'$. Oleh karena itu, dalam pembentukan DNA baru akan terdapat pembentukan pita yang kontinu dan diskontinu. Pita D A kontinu terbentuk dari arah $5' \rightarrow 3'$ tanpa terputus. Pita D A diskontinu akan terbentuk dari arah $3' \rightarrow 5'$ terputus-putus. Pembentukannya diawali pembentukan RNA primer oleh enzim primase dan diteruskan oleh DNA

Kata Kunci

- Antiparalel
- Helikase
- Polimerase
- Primase
- Replikasi

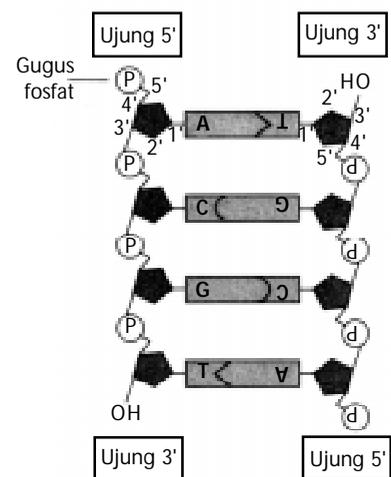


Fakta Biologi

Berdasarkan laporan *The Journal of the American Medical Association*, tahun 1998, sebanyak 2,2 juta pasien setiap tahun mengalami ketidakcocokan obat, dan 106.000 di antaranya meninggal dunia. Permasalahan ini bersumber pada genetik. Gen manusia tersusun dari milyaran kombinasi basa-basa A (adenin), T (timin), C (sitosin), dan G (guanin).

Kesalahan dan perbedaan kombinasi urutan atau jenis satu basa saja dapat menimbulkan berbagai masalah. Sebagai contoh, sebanyak 50% pasien penderita stres tidak kebal dengan obat anti depresi. Mereka yang bermasalah dengan kolesterol, obat *pravastatin* mungkin tidak bekerja jika yang bersangkutan memiliki variasi susunan basa tertentu.

Sumber: www.tempo.co.id



Sumber: *Biology*, 1999

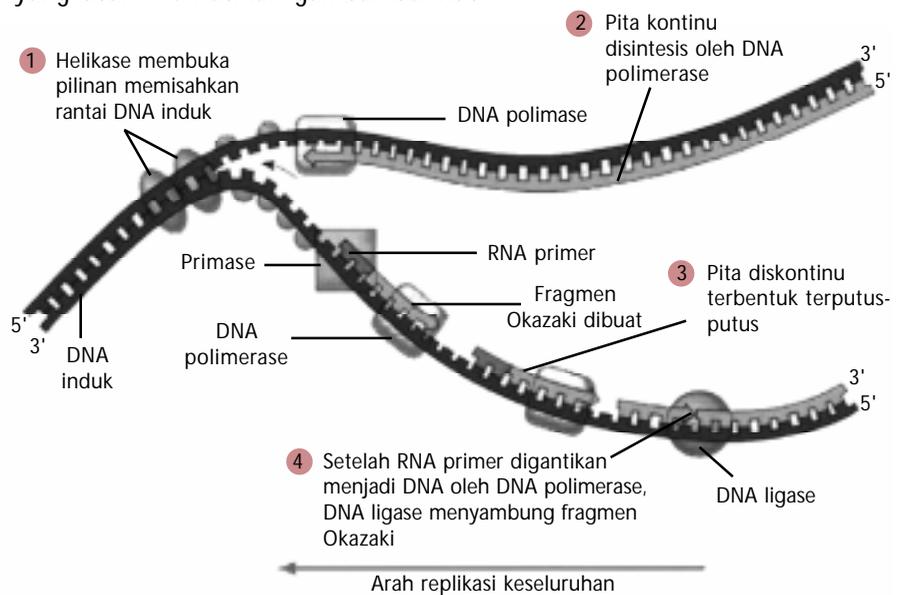
Gambar 3.7

Dua pita DNA bersifat antiparalel.

Kata Kunci

- Dispersif
- Fragmen Okazaki
- Konservatif
- Ligase
- Semikonservatif

polimerase membentuk fragmen DNA yang disebut fragmen Okazaki. RNA primer akan digantikan DNA bersamaan dengan penyambungan fragmen Okazaki oleh enzim ligase. Akibatnya, terbentuk pita DNA baru yang utuh. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 3.8
Proses replikasi DNA

Sumber: www.library.thinkquest.org



Sekilas Biologi

Ilmuwan forensik dapat menggunakan DNA yang terletak dalam darah, cairan semen, air liur atau rambut yang tersisa di tempat kejadian kejahatan untuk mengidentifikasi kemungkinan tersangka. Proses tersebut dinamakan *fingerprinting* genetik atau pemrofilan DNA.

Pemrofilan DNA dikembangkan pada 1984 oleh ahli genetik asal Inggris Alec Jeffreys dari Universitas Leicester, dan kali pertama digunakan untuk mendakwa Colin Pitchfork pada 1988 dalam kasus pembunuhan Enderby di Leicestershire, Inggris.

Sumber: www.wikipedia.org.

Terdapat tiga hipotesis mengenai proses replikasi DNA, yaitu konservatif, semikonservatif, dan dispersif.

1) Konservatif

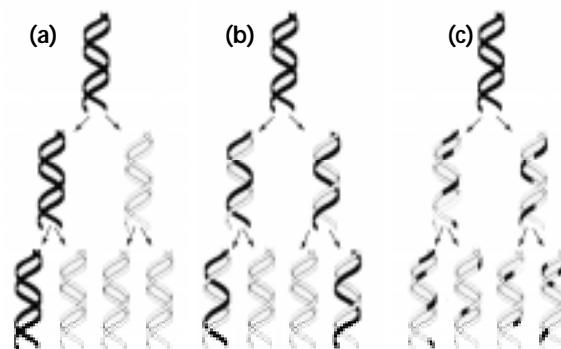
Menurut model replikasi konservatif, semua pita DNA double heli berfungsi sebagai cetakan. Proses tersebut menghasilkan sebuah pita DNA double heli baru (Gambar 3. a).

2) Semikonservatif

Model replikasi DNA ini diusulkan oleh Watson dan Crick beberapa saat setelah mengajukan model DNA double heli. Model ini menjelaskan, setelah pita terurai menjadi pita tunggal, setiap pita berfungsi sebagai cetakan. Setiap pita tunggal membentuk pita pasangannya sehingga terbentuk dua pita double heli (Gambar 3. b).

3) Dispersif

Berdasarkan model ini, pita spiral (double heli) terputus-putus, kemudian potongan DNA tersebut membentuk dua pita baru. Potongan DNA lama akan bersambungan dengan DNA baru pada kedua pita double heli baru tersebut (Gambar 3. c).



Sumber: *Biology*, 1999

Gambar 3.9

Tiga hipotesis replikasi DNA, yaitu (a) konservatif, (b) semi konservatif dan (c) dispersif.

Dari ketiga hipotesis tersebut, hipotesis semikonservatif lebih banyak diterima oleh para ilmuwan dalam menjelaskan replikasi DNA. Beberapa penelitian pun memperkuat hipotesis semikonservatif sebagai mekanisme replikasi DNA.

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan gen?
2. Di manakah letak gen dalam kromosom?
3. Apakah yang dimaksud dengan autosom dan gonosom?
4. Jelaskan hubungan gen, DNA, dan kromosom.

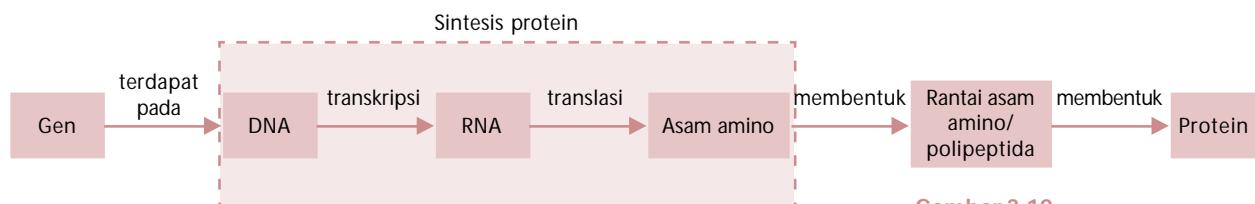
B. Sintesis Protein

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gen bersama rangkaian DNA-nya memengaruhi sifat makhluk hidup. Bagaimanakah caranya? Jawaban singkat dari pertanyaan tersebut adalah bahwa DNA mengendalikan sintesis protein. Mengapa sintesis protein sangat penting?

Pada tingkat biokimia, protein sangatlah penting. Protein merupakan pembentuk sel, bagian dari molekul-molekul dan enzim. Enzim yang sebagian besar terbuat dari protein bertanggung jawab bagi pembentukan hampir semua makromolekul (molekul besar) pada sel.

Kata Kunci

- Asam amino
- Protein
- Ribosa
- RNA
- Urasil



Gambar 3.10
Bagan sintesis protein

Seperti yang terlihat dari bagan, bahwa sintesis protein terjadi melalui dua tahap, yaitu transkripsi dan translasi. Proses sintesis protein juga dibantu oleh asam nukleat lain, yakni RNA (ribonucleic acid).

1. RNA (*Ribonucleic Acid*)

Selain DNA, di dalam sel prokariotik dan eukariotik terdapat asam nukleat lain yang disebut RNA. RNA adalah polimer ribonukleotida. Pita tersebut dapat berbentuk pita tunggal atau pita ganda tidak berpilin. Terdapat beberapa perbedaan RNA dibandingkan DNA, perhatikan tabel berikut.

Tabel 3.2 Perbedaan antara DNA dan RNA

| Pembeda | D A | R A |
|---------------|--|---|
| Letak | Di dalam nukleus, plastida, mitokondria | Di dalam nukleus, sitoplasma, matriks, plastida, ribosom |
| Bentuk pita | Double heli | Tunggal, ganda tak berpilin |
| Kadar | Tetap | Tidak tetap |
| Fungsi | Pengendali faktor keturunan dan sintesis RNA | Berperan dalam aktivitas sintesis protein |
| Basa nitrogen | Purin (adenin dan guanin) Pirimidin (timin dan sitosin) | Purin (adenin dan guanin) Pirimidin (urasil dan sitosin) |
| Gula | Deoksiribosa | Ribosa |

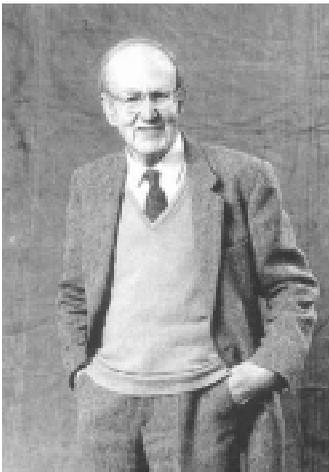
Kata Kunci

- mRNA
- Nukleus
- rRNA
- tRNA
- Transkripsi



Sekilas Biologi

Max Perutz
(1914-2002)



Max Perutz menghabiskan waktu selama 25 tahun, sebagian besar karirnya, hanya untuk mempelajari satu macam protein, yaitu haemoglobin. Atas jerih payahnya, Perutz menerima penghargaan Nobel pada tahun 1962.

Sumber: *Kartun Biologi Genetika*, 2001;
www.ul.ie.com

Berdasarkan sifatnya, RNA dapat dibedakan menjadi RNA genetik dan RNA nongenetik. RNA genetik umumnya terdapat pada virus dan berfungsi layaknya DNA bagi virus, bertanggung jawab dalam membawa unsur genetik (genom virus). Adapun RNA nongenetik tidak berfungsi layaknya DNA. Mahkluk hidup umumnya memiliki DNA maupun RNA.

Berdasarkan letak dan fungsinya dalam sintesis protein, RNA dibedakan atas messenger RNA (mRNA), transfer RNA (tRNA), dan ribosom RNA (rRNA).

- a. messenger RNA (mRNA) atau disebut juga RNA duta, merupakan RNA terbesar dan terpanjang. RNA ini membentuk pita panjang dan berfungsi sebagai pola cetakan pembentuk polipeptida. Oleh karena itu, RNA ini disebut juga kodon karena merupakan hasil transkripsi DNA di dalam inti sel.
- b. Transfer RNA (tRNA) merupakan RNA pendek yang bertindak sebagai penerjemah kodon dari mRNA sehingga disebut juga antikodon. RNA ini berfungsi juga mengikat asam-asam amino yang akan disusun menjadi pita polipeptida di ribosom. Sisi anti kodon tRNA akan berhubungan dengan kodon mRNA.
- c. Ribosom RNA (rRNA) merupakan RNA yang terdapat di dalam ribosom. RNA ini berupa pita tunggal tidak bercabang dan fleksibel. Hingga kini fungsi rRNA belum banyak diketahui, namun diduga berkaitan dengan sintesis protein.

2. Mekanisme Sintesis Protein

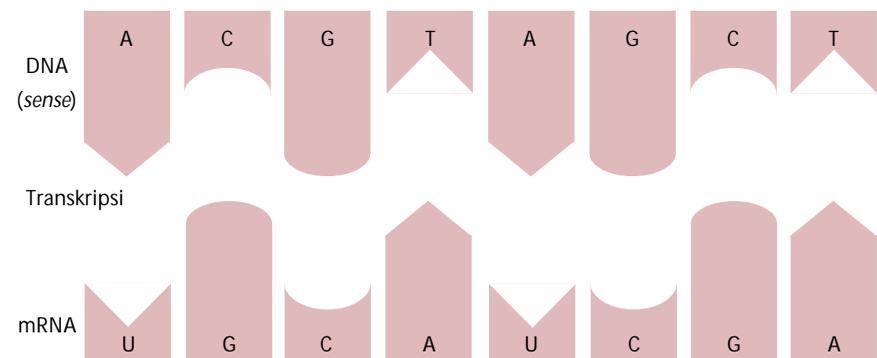
Seperti yang telah Anda ketahui, DNA menentukan sifat makhluk hidup. DNA menentukan urutan asam amino pada setiap protein yang disintesis. Proses sintesis protein adalah proses yang kompleks. Dalam proses tersebut diperlukan 20 macam asam amino; mRNA dan tRNA sebagai pelaksana; ATP sebagai sumber energi; enzim RNA polimerase.

Secara garis besar, sintesis protein dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap transkripsi dan tahap translasi.

a. Transkripsi

Proses transkripsi, sesuai namanya merupakan proses pencetakan atau penulisan ulang DNA ke dalam mRNA. Proses ini terjadi di dalam nukleus.

Pada tahap ini, setiap basa nitrogen DNA dikodekan ke dalam basa nitrogen RNA. Misalnya, jika urutan basa nitrogen DNA adalah ACGTAGCTA, maka urutan mRNA hasil transkripsi adalah UGC AUC GAU.



Gambar 3.11

Contoh transkripsi urutan basa nitrogen DNA ke dalam mRNA.

Tahap transkripsi dapat dibagi lagi menjadi tiga tahap, yaitu iniasi, elongasi, dan terminasi.

1) Inisiasi

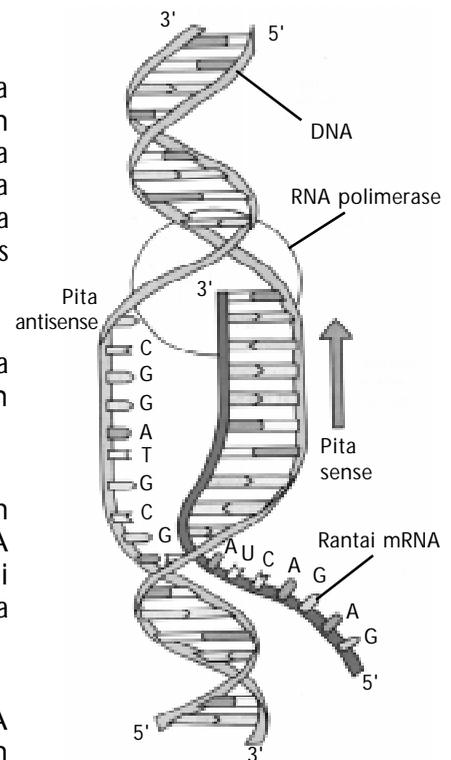
Tahap ini diawali oleh melekatnya enzim RNA polimerase pada pita DNA pada titik awal. Pita DNA akan terbuka, akibatnya basa nitrogen pada pita tersebut menjadi bebas. Basa nitrogen pada salah satu pita tersebut akan menjadi cetakan mRNA. Pita DNA ini disebut juga pita bermakna atau sense. Adapun pita yang tidak ditranskripsi disebut pita tak bermakna atau antisense. Enzim RNA polimerase mulai menyintesis RNA dari titik awal pita.

2) Elongasi (pemanjangan)

Enzim RNA polimerase akan terus membentuk mRNA hingga terbentuk pita mRNA. Pita mRNA ini akan terus memanjang. Oleh karena itu, tahap ini disebut tahap elongasi.

3) Terminasi

Pada saat enzim RNA polimerase sampai pada tempat pemberhentian (terminal site) DNA, transkripsi akan terhenti. Setelah itu, mRNA dibebaskan dan RNA polimerase terlepas dari DNA. DNA akan kembali seperti bentuknya semula. Hasil dari transkripsi, yakni mRNA selanjutnya akan keluar dari inti sel melalui membran inti menuju sitoplasma.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

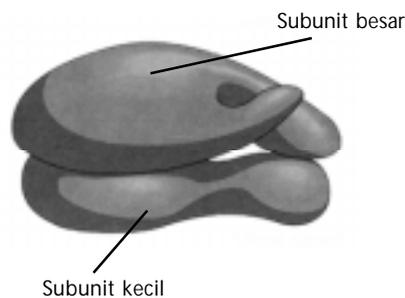
Gambar 3.12

Proses pembentukan mRNA atau transkripsi.

b. Translasi

Tahap translasi adalah tahap penerjemahan kode mRNA oleh tRNA ke dalam urutan asam amino. Tahap ini terjadi di dalam sitoplasma dengan bantuan ribosom.

Ribosom merupakan salah satu organel dalam sitoplasma yang berperan dalam sintesis protein. Ribosom terdiri atas dua bagian, yaitu subunit besar dan subunit kecil (Gambar 3.13). Ribosom mengandung protein dan rRNA.



Sumber: *Botany*, 1995

Gambar 3.13

Subunit besar dan subunit kecil pada ribosom .

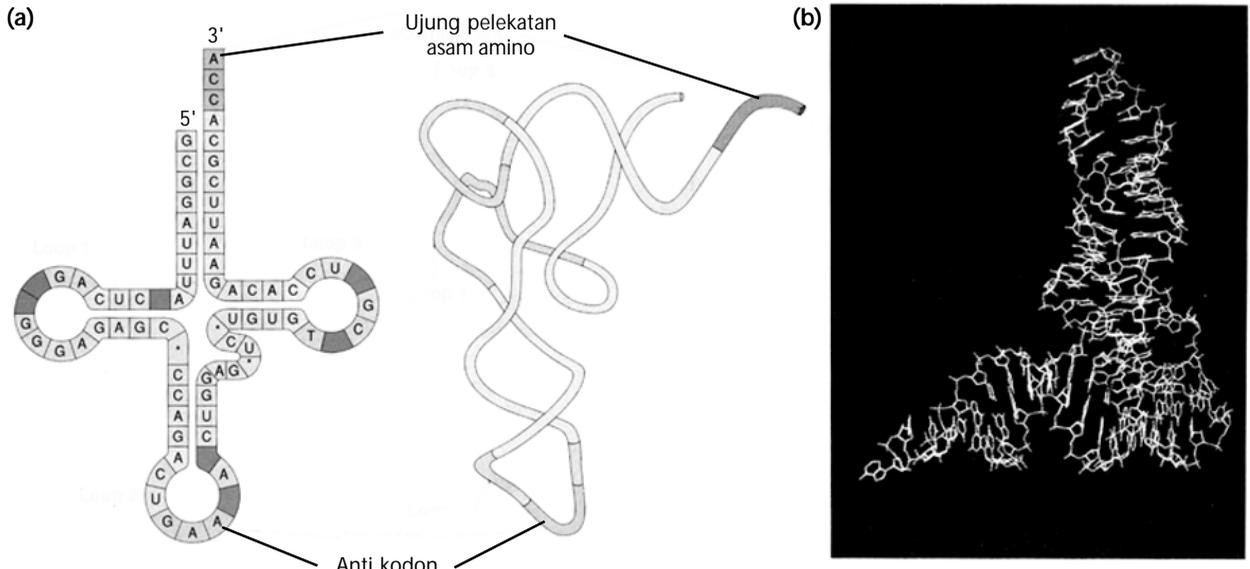
Tahap translasi mirip tahap transkripsi. Keduanya menggunakan enzim untuk membuat rantai polimer polinukleotida pada transkripsi dan polipeptida pada translasi. Pada proses translasi juga terjadi tahap inisiasi, elongasi, dan terminasi.

Pada tahap translasi kode genetik atau kodon dari mRNA diterjemahkan menjadi rangkaian asam amino. Apakah kodon itu? Kodon merupakan urutan tiga basa nitrogen pada mRNA. Setiap urutan tiga basa tersebut memiliki arti khusus yang dapat diterjemahkan dalam proses translasi. Urutan tiga basa tersebut dikenal sebagai triplet. Misalnya, AUG, AAA, UCA, dan UUA.

Kodon pada mRNA dikenali oleh antikodon pada tRNA. Jika urutan triplet pada mRNA adalah AUG AAA UCA UUA maka urutan antikodonya adalah UAC UUU AGU AAU. Triplet antikodon terletak pada salah satu sisi tRNA. Pada sisi yang lain, tRNA membawa asam amino yang sesuai dengan pesanan kodon.

Kata Kunci

- Antikodon
- Antisense
- Elongasi
- Iniasi
- Kodon
- Ribosom
- Sense
- Sitoplasma
- Terminasi
- Translasi
- Triplet



Sumber: Botany, 1995

Gambar 3.14

(a) Letak sisi antikodon dan tempat melekatnya asam amino pada tRNA.
 (b) Struktur tiga dimensi tRNA.

Dari 64 macam triplet kodon, terdapat 61 macam yang dapat mengodekan 20 macam asam amino. Akibatnya, terdapat beberapa asam amino yang dapat dikodekan oleh lebih dari satu triplet atau disebut juga kodon sinonim. Tiga triplet lainnya tidak mengodekan asam amino, tetapi berfungsi sebagai kodon to , triplet yang memerintahkan penghentian proses translasi. Selain kodon stop, terdapat juga kodon ta t yang memerintahkan dimulainya proses translasi, yaitu kodon AUG dan berfungsi juga sebagai pengode asam amino metionin. Agar lebih memahami kode genetik, perhatikan tabel berikut.

Tabel. 3.3 Rangkaian Basa yang Mengodekan Setiap Jenis Asam Amino

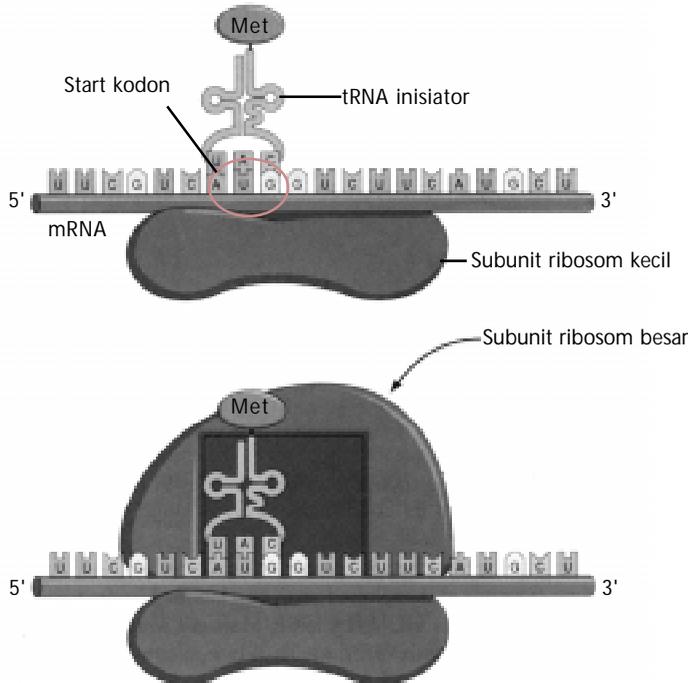
| | U | C | A | G |
|---|---|--------------------------------------|--|---|
| U | UUU } phe UUC } UUA } leu UUG } | UUU } UCC } ser UCA } UCG } | UAU } tyr UAC } UAA } stop UAG } stop | UGU } cys UGC } UGA } stop UGG } tri |
| C | CUU } leu CUC } CUA } CUG } | CCU } CCC } pro CCA } CCG } | CAU } his CAC } CAA } gln CAG } | CGU } arg CGC } CGA } CGG } |
| A | AUU } ileu AUC } AUA } AUG } met start | ACU } thr ACC } ACA } ACG } | AAU } asp AAC } AAA } lis AAG } | AGU } ser AGC } AGA } arg AGG } |
| G | GUU } val GUC } GUA } GUG } | GCU } ala GCC } GCA } GCG } | GAU } asp GAC } GAA } glu GAG } | GGU } gly GGC } GGA } GGG } |

Keterangan

Sumber: Biology: Discovering Life, 1991

| | | | | | | | | | |
|------|---------------|-----|---------------|------|-----------|-----|-------------|-----|-----------|
| Ala | alanin | Cys | sistein | His | histidin | Met | metionin | Thr | treonin |
| Arg | arginin | Glu | asam glutamat | Ileu | isoleusin | Phe | fenilalanin | Tri | triptofan |
| Asp | asam aspartat | Gln | glutamin | leu | leusin | Pro | prolin | Tyr | tirosin |
| Aspn | asparagin | Gly | glisin | Lis | lisin | Ser | serin | Val | valin |

Translasi dimulai ketika mRNA dan tRNA inisiator berikatan dengan ribosom subunit kecil. Molekul tRNA inisiator merupakan molekul yang membawa asam amino pertama dan merupakan komplemen kodon AUG (kodon start). Biasanya membawa asam amino metionin. Antikodon pada tRNA inisiator adalah UAC. Setelah itu, ribosom subunit besar berikatan dengan ribosom subunit kecil. Fase inisiasi ini sempurna setelah terbentuknya ribosom yang fungsional. Perhatikan Gambar 3.15.



Sumber: Botany, 1995

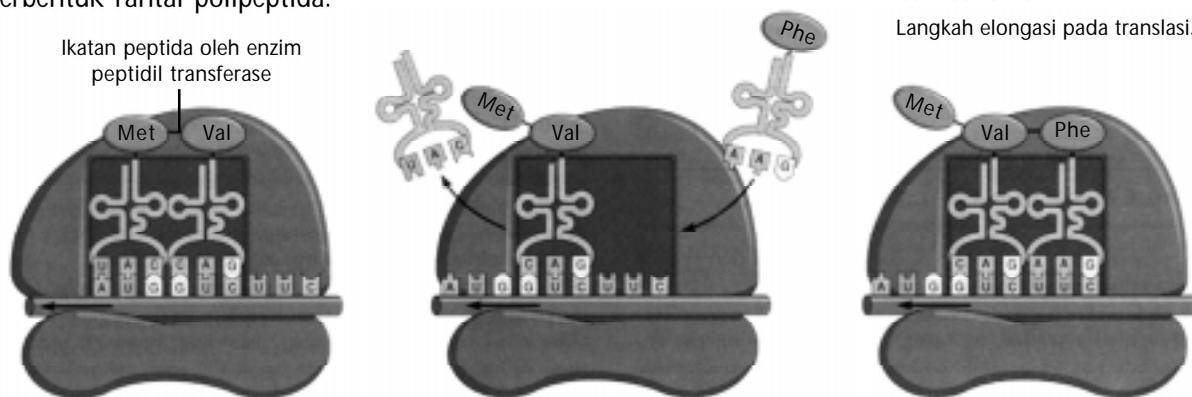
Kata Kunci

- Kodon *start*
- Kodon *stop*
- Peptidil transferase
- *Release - factors*

Gambar 3.15
Tahap inisiasi pada translasi.

Elongasi terjadi setelah tRNA kedua berikatan dengan kodon selanjutnya setelah kodon start. Misalnya, kodon lain setelah kodon start adalah GUC, maka akan berikatan dengan antikodon tRNA CAG yang membawa asam amino valin. Kedua asam amino, metionin dan valin, akan berikatan dengan bantuan enzim peptidil transferase.

Setelah metionin dan valin berikatan, tRNA^{met} yang awalnya membawa metionin, dilepaskan dari ribosom. Kemudian, ribosom bergerak pada molekul mRNA sepanjang satu kodon. Pergerakan ini membuat tRNA^{val} bergerak ke tempat yang ditinggalkan tRNA^{met}. Molekul tRNA ketiga, kemudian berikatan dengan kodon mRNA ketiga dan membawa asam amino lainnya. Proses elongasi ini terus mengikatkan asam amino hingga terbentuk rantai polipeptida.



Sumber: Botany, 1995

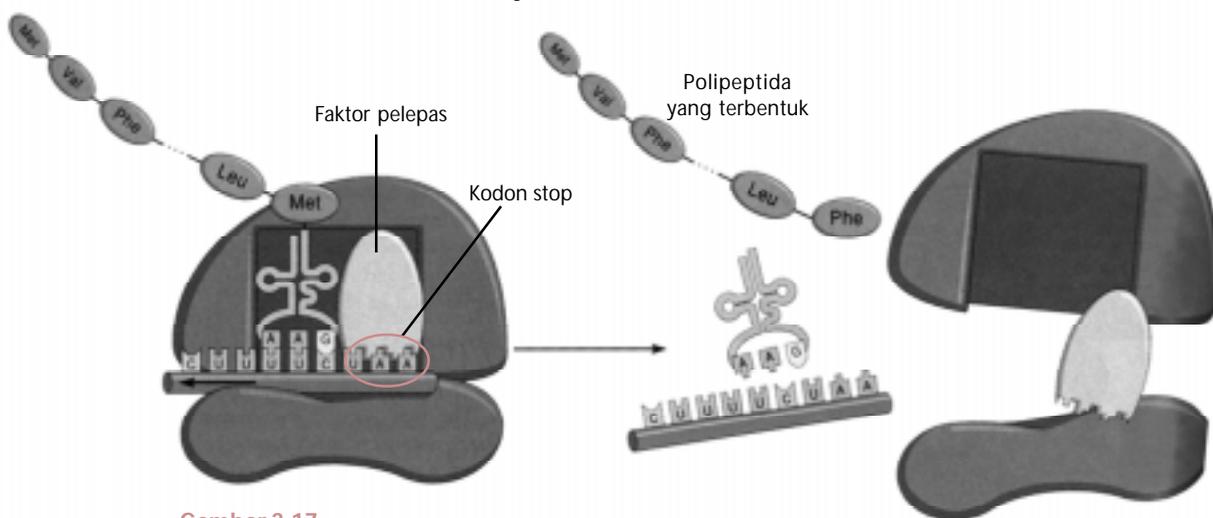
Logika Biologi

Apakah yang terjadi pada asam amino jika terjadi perubahan satu basa nitrogen dalam urutan DNA pembentuk suatu protein?

Gambar 3.16
Langkah elongasi pada translasi.

Translasi terhenti ketika ribosom mencapai kodon stop pada mRNA. Kodon stop tidak berikatan dengan tRNA, namun ia berikatan dengan protein khusus yang disebut release factors (faktor pelepas). Faktor pelepas menghentikan translasi dan menghidrolisis ikatan antara asam amino terakhir pada rantai polipeptida baru dan tRNA-nya

Pada proses sintesis protein, satu macam gen umumnya hanya mengatur satu sintesis polipeptida. Polipeptida yang terbentuk terlebih dahulu dimodifikasi untuk menjadi protein yang fungsional. Misalnya, beberapa polipeptida harus disatukan untuk membentuk satu protein yang memiliki fungsi tertentu.



Gambar 3.17

Translasi berakhir ketika ribosom mencapai stop kodon.

Sumber: Botany, 1995

Tugas Anda 1.1

Anda telah mempelajari proses sintesis protein. Proses ini menyusun protein berdasarkan urutan basa nitrogen DNA melalui proses transkripsi dan translasi. Kali ini tugas Anda bersama kelompok Anda adalah membuat sebuah bagan proses sintesis protein. Buatlah bagan pada kertas karton sebagus mungkin. Gunakan buku sumber terpercaya sebagai rujukan membuat bagan. Guru Anda akan menilai bagan yang kelompok Anda buat dan bagan terbaik akan dipajang di dinding kelas.

Latihan Pemahaman Subbab B

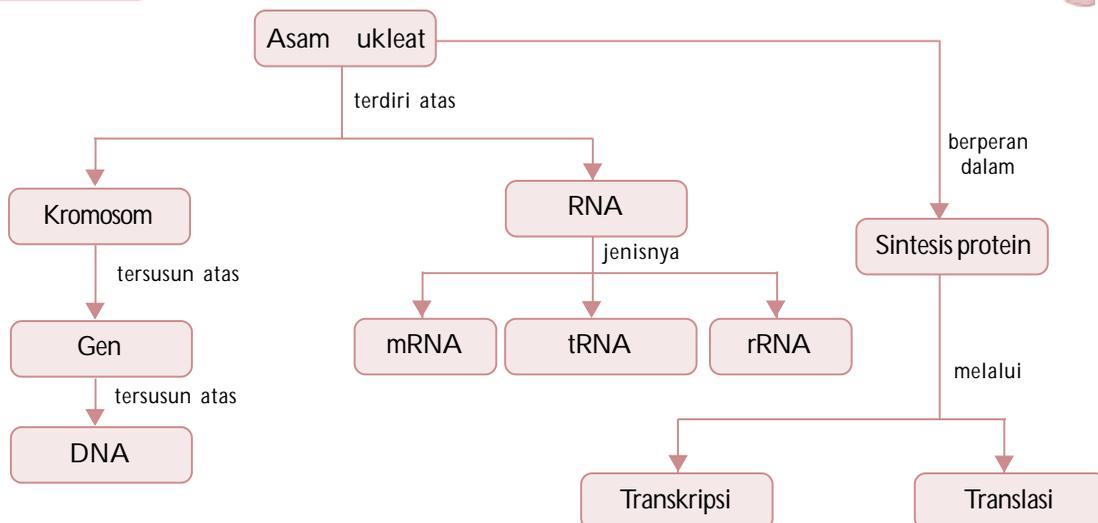
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apa yang dimaksud dengan kodon dan antikodon?
2. Jika rangkaian basa nitrogen mRNA adalah UAU UUU CUA, asam amino apakah saja yang terbentuk?
3. Jelaskan dua tahap sintesis protein.
4. Jelaskan hubungan gen, DNA, dan sintesis protein.

Rangkuman

1. Di dalam nukleus setiap sel suatu organisme terdapat kromosom. Struktur kromosom pada dasarnya terdiri atas dua bagian, yaitu sentromer dan lengan kromosom. Berdasarkan panjang lengannya (bentuknya), kromosom dikelompokkan menjadi empat, yaitu metasentrik, submetasentrik, akrosentrik, dan telosentrik. Makhluk hidup eukariotik selalu mempunyai dua tipe kromosom, yaitu gonosom (kromosom seks) dan autosom (kromosom tubuh).
2. Di dalam kromosom terdapat gen. Gen tersebut tersimpan dalam kedudukan tertentu yang disebut lokus atau kromomer. Gen berperan dalam pewarisan sifat makhluk hidup yang diturunkan dari generasi ke generasi berikutnya. Susunan gen di dalam tubuh individu disebut genotipe, sedangkan ekspresi genotipe tersebut dinamakan fenotipe. Gen-gen yang terletak pada lokus yang bersesuaian pada kromosom homolog dinamakan alel.
3. DNA dan RNA adalah persenyawaan kimia pembawa substansi genetik. Persenyawaan DNA, RNA, dan protein membentuk nukleoprotein yang merupakan komponen penyusun kromosom. DNA mengandung materi genetik yang dapat memberi informasi hereditas dari sel ke sel dan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Informasi tersebut disampaikan dengan kode genetik berupa urutan huruf sebagai lambang basa nitrogen (A, T, C, G) yang dapat diterjemahkan menjadi macam-macam asam amino yang akan dirakit menjadi protein di dalam tubuh.
4. DNA merupakan polimer besar yang tersusun atas unit-unit nukleotida yang berulang-ulang. Setiap nukleotida tersusun atas basa nitrogen purin (guanin dan adenin) dan basa nitrogen pirimidin (timin dan sitosin). Deretan polinukleotida yang berpilin dikenal dengan istilah double heli .
5. DNA memiliki kemampuan untuk menyintesis molekul kimia lain, seperti RNA. DNA juga memiliki kemampuan menyintesis DNA yang baru. Pencetakan DNA baru ini dikenal dengan istilah replikasi DNA. Terdapat tiga hipotesis yang menjelaskan proses replikasi DNA, yaitu semikonservatif, konservatif, dan dispersif.
6. RNA adalah polimer asam nukleotida yang terdiri atas empat jenis ribonukleotida. Molekul RNA dapat berbentuk pita tunggal saat sintesis protein atau pita ganda pada virus. RNA mengandung gula pentosa, basa nitrogen, dan asam posfat. Berbeda dengan DNA, basa nitrogen RNA terdiri atas pirimidin (timin dan urasil) dan purin (adenin dan guanin).
7. Terdapat dua kelompok utama RNA, yaitu RNA genetik dan RNA nongenetik. RNA genetik terdapat pada beberapa jenis virus dan berfungsi layaknya DNA, sedangkan RNA non-genetik tidak berfungsi layaknya DNA.
8. Protein memegang peranan penting dalam proses hidup makhluk hidup. Sintesis protein dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap transkripsi dan tahap translasi. Transkripsi merupakan proses pembentukan mRNA. Proses transkripsi terdiri atas tiga tahap, yaitu inisiasi, elongasi, dan terminasi. Adapun translasi merupakan proses penerjemahan mRNA menjadi polipeptida.

Peta Konsep



Refleksi

Apakah pendapat Anda setelah mempelajari Materi Genetik dan Sintesis Protein ini? Masihkah Anda bingung mengenai gen, DNA, dan kromosom? Tentunya tidak, karena pengetahuan mengenai gen dan DNA merupakan dasar bagi materi selanjutnya. Selain itu, dengan memahami gen dan sintesis protein, Anda mengetahui cara gen memengaruhi sifat semua makhluk hidup.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah untuk memahami gen, DNA, dan kromosom serta hubungannya

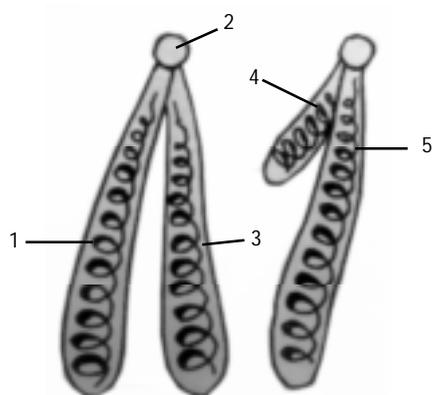
dengan sintesis protein. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Jika Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan permasalahan berkenaan dengan materi genetik dan sintesis protein. Agar Anda mampu memahami materi ini lebih baik, pastikanlah Anda mengerjakan latihan subbab, tugas, aktivitas biologi, dan evaluasi kompetensi bab pada bab ini.

Evaluasi Kompetensi Bab 3

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

- Basa nitrogen yang terdapat pada DNA sebagai berikut, kecuali
 - guanin
 - adenin
 - urasil
 - timin
 - sitosin
- DNA di dalam sel terletak pada
 - sitoplasma, inti terutama ribosom
 - inti sel, pada kromosom dan dalam sitoplasma
 - sitoplasma terutama dalam ribosom
 - inti sel terutama dalam ribosom
 - inti sel terutama kromosom
- Bahan dasar DNA adalah
 - gula, fosfat, dan basa nitrogen
 - gula, basa nitrogen, dan guanin
 - purin, basa nitrogen, dan guanin
 - adenin, timin dan, basa nitrogen
 - fosfat, sitosin, dan timin
- Berikut ini adalah keterangan tentang struktur dan fungsi DNA dan RNA.
 - Terdapat dalam inti sel dan kromosom
 - Membentuk pita tunggal dan pendek
 - Berhubungan dengan sintesis protein dan kadarnya berubah-ubah
 - Mengandung pirimidin, sitosin, dan urasil
 - Mengandung purin, adenin, dan guanin
 - Memiliki komponen gula ribosaStruktur dan fungsi RNA adalah
 - 2, 3, 5, dan 6
 - 1, 2, 3, dan 4
 - 3, 4, 5, dan 6
 - 2, 3, 4, dan 5
 - 1, 3, 5, dan 6
- Pasangan basa nitrogen adenin pada RNA adalah
 - timin
 - guanin
 - sitosin
 - urasil
 - adenin
- Jika urutan basa nitrogen suatu rantai DNA AGC - TAG - GCA - TAC, maka rantai pasangannya
 - UCG AUC CGU AUG
 - UCG UAC GGU UCG
 - TCG CTA GCT ATG
 - TCG ATC CGT GTA
 - TCG ATC CGT ATG
- Perhatikan gambar struktur kromosom berikut ini.

Bagian sentromer ditunjukkan oleh nomor

 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Perhatikan pernyataan berikut ini.
 - Transkripsi
 - Elongasi
 - Translasi
 - Pembentukan proteinUrutan sintesis protein yang benar adalah
 - 1, 2, 3, dan 4
 - 1, 3, 2, dan 4
 - 1, 4, 3, dan 2
 - 2, 3, 4, dan 1
 - 3, 1, 4, dan 2

9. Kode genetik yang dibawa mRNA berdasarkan kode genetik dari
- a. ATP
 - b. ADP
 - c. DNA
 - d. tRNA
 - e. rRNA

10. Perhatikan tabel berikut.

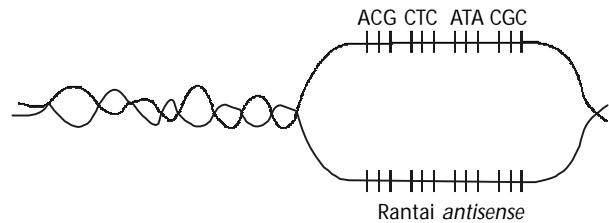
| Asam Amino | Kodon |
|------------|-------|
| Glisin | GGG |
| Sistein | UGC |
| Serin | AGC |
| Treonin | ACG |
| Leusin | GUA |

Jika urutan basa nitrogen DNA adalah TGC TCG CAT, asam amino yang akan tersusun adalah

- a. treonin, serin, leusin
 - b. treonin, sistein, treonin
 - c. leusin, serin, leusin
 - d. glisin, teronin, sistein,
 - e. serin, sistein, treonin
11. Proses translasi akan berhenti ketika pembacaan bertemu dengan kodon terminasi (kodon stop), yaitu
- a. AUG
 - b. AGU
 - c. UUU
 - d. UGC
 - e. UAA
12. Hipotesis replikasi DNA yang menyatakan bahwa DNA terpisah berdasarkan arah panjangnya, kemudian setiap pita membentuk komplemennya merupakan hipotesis replikasi
- a. konservatif
 - b. semikonservatif
 - c. dispersif
 - d. bidireksional
 - e. divergen
13. Orang yang kali pertama mengemukakan model struktur DNA adalah
- a. Francis Crick dan August eismann
 - b. Herman Muller dan Francis Crick
 - c. James D. atson dan Francis Crick
 - d. Herman Muller dan August eismann
 - e. James D. atson dan August eismann
14. Berikut ini pernyataan yang benar mengenai DNA dan RNA adalah
- a. DNA merupakan penyusun gen
 - b. memiliki ikatan basa nitrogen
 - c. tersusun atas gula pentosa, asam fosfat, dan basa nitrogen
 - d. dapat bereplikasi
 - e. berperan langsung dalam proses translasi sistesis protein

15. Enzim yang berperan dalam proses translasi adalah
- a. DNA polimerase
 - b. RNA polimerase
 - c. protease
 - d. karbonat anhidrase
 - e. ligase

Untuk nomor 16 hingga 20, perhatikan gambar berikut.



16. Urutan basa mRNA yang merupakan hasil transkripsinya adalah
- a. TGC GAG TAG CGC
 - b. UCG GUG UAG CGC
 - c. UGC GAG TAG CGC
 - d. TGC CCC UAG GCG
 - e. UGC GAG UAU GCG
17. Dalam peristiwa translasi untuk pita nukleotida tersebut, diperlukan tRNA sebanyak
- a. 3 buah
 - b. 4 buah
 - c. 7 buah
 - d. 8 buah
 - e. 12 buah
18. Empat antikodon dari tRNA yang sesuai dengan urutan basa N dari mRNA yang dibentuk adalah
- a. USG CAC UUC GCG
 - b. ACG CUC AUC CGC
 - c. GUG UAG CGC CGC
 - d. ACU CAC AUC CGC
 - e. ACG CUC AUA CGC
19. Perhatikan tabel berikut.

| Kodon | Asam Amino |
|-------|---------------|
| ACG | Treonin |
| CUC | Leusin |
| CGC | Arginin |
| GCG | Alanin |
| UAU | Tirosin |
| AUU | Isoleusin |
| UGC | Serin |
| GAG | Asam glutamat |
| AUA | Isoleusin |

Berdasarkan translasi tersebut didapatkan asam amino

- a. serin - asam glutamat - tirosin - alanin
- b. leusin - tirosin - asam glutamat - isoleusin
- c. tirosin - isoleusin - arginin - sistein
- d. treonin - leusin - isoleusin - arginin
- e. alanin - tirosin - isoleuisn - serin

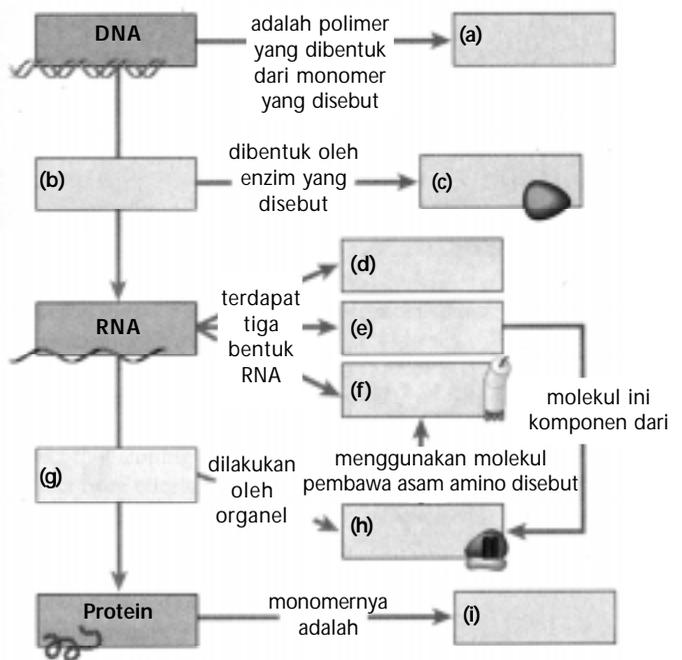
20. Di antara pernyataan berikut, yang paling tepat untuk menyatakan hubungan antara gen, kromosom, dan molekul DNA adalah
- gen-gen terletak dalam kromosom dan urutan basa nitrogen dalam molekul DNA menentukan macam gen
 - kromosom tersusun atas molekul-molekul DNA dan gen
 - kromosom merupakan benang panjang yang tersusun atas gen, dan di sepanjang kromosom menempel DNA
 - gen sebenarnya adalah DNA itu sendiri yang tersusun atas untaian nukleotida dan terletak di dalam kromosom
 - kromosom adalah benang yang di dalamnya terdapat molekul DNA yang mengikat gen-gen

B. Soal Uraian

- Jelaskan hubungan gen, DNA, dan kromosom.
- Bagaimana cara gen mengendalikan sifat makhluk hidup?
- Tuliskan 5 perbedaan antara RNA dan DNA.
- DNA dapat dianggap sebagai unit terkecil dari kehidupan. Jelaskan maksudnya.
- Urutkan dan uraikan tahap-tahap sintesis protein dengan singkat dan jelas.

C. Soal Tantangan

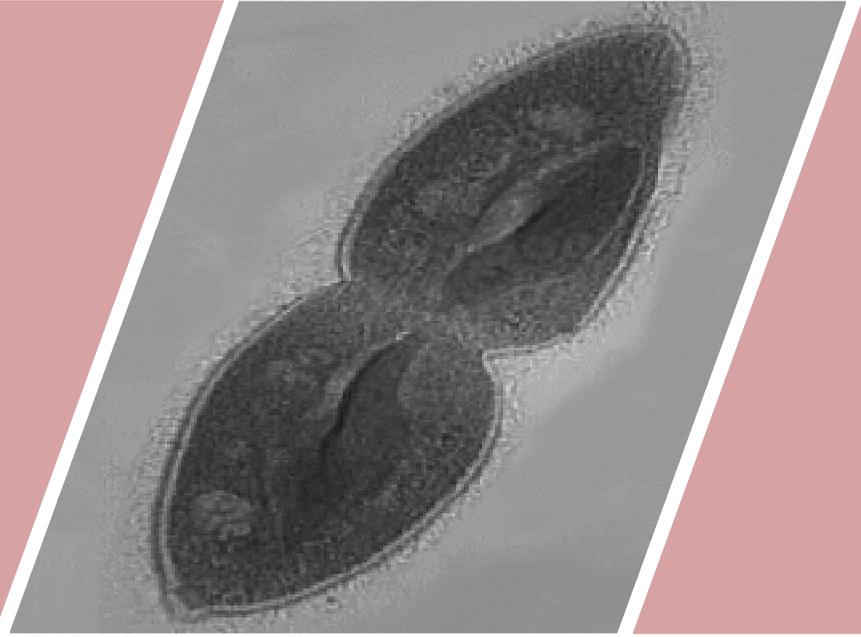
Berikut adalah bagan yang menjelaskan keterkaitan berbagai komponen dalam sintesis protein.



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Salinlah bagan tersebut dalam buku latihan Anda. Kemudian, lengkapi bagan tersebut dengan benar. Isilah kotak-kotak kosong sehingga membentuk suatu alur yang jelas.

Bab 4



Sumber: www.biodidac.bio.uottawa.ca

Paramecium yang sedang melakukan pembelahan.

Reproduksi Sel dan Pewarisan Sifat

Hasil yang harus Anda capai:

memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan keterkaitan antara proses pembelahan mitosis dan meiosis dengan pewarisan sifat;
- menerapkan prinsip hereditas dalam mekanisme pewarisan sifat.

Pada bab sebelumnya, Anda telah memahami apa yang dimaksud dengan gen, DNA, serta kromosom. Anda juga telah mengetahui bagaimana gen diekspresikan sebagai protein dalam proses sintesis protein. Untuk memengaruhi suatu sifat, polipeptida hasil sintesis protein tersebut harus melalui proses yang kompleks.

Setelah mengetahui cara gen diekspresikan, pernahkan Anda mencoba mengetahui bagaimana gen-gen tersebut dapat diwariskan kepada keturunannya? Mengapa seorang anak akan memiliki mata atau hidung mirip ayah atau ibunya? Bahkan, pernahkan Anda memikirkan dari manakah sel berasal?

Semua pertanyaan tersebut dapat Anda temukan jawabannya pada bab ini. Anda kan mempelajari siklus sel beserta pembelahan mitosis dan meiosis. Selain itu, Anda akan mengetahui mekanisme perwarisan sifat beserta hubungannya dengan mitosis dan meiosis.

- A. Reproduksi Sel
- B. Pembelahan Meiosis
- C. Gametogenesis
- D. Pola Pewarisan Sifat
- E. Pewarisan Sifat pada Manusia

Tes Kompetensi Awal

1. Dari manakah sel berasal?
2. Apakah semua makhluk hidup selalu mirip kedua orangtuanya? Mengapa?
3. Adakah bagian tubuh Anda yang mirip orangtua Anda? Mengapa demikian?



Sekilas Biologi

Tidak semua makhluk hidup multiselular berkembang biak dengan menghasilkan gamet. *Hydra* adalah hewan air tawar kecil dengan tubuh seperti tabung dengan tentakel yang menyengat. Selain bereproduksi secara seksual, *Hydra* dapat bereproduksi secara aseksual melalui pembentukan tunas. Tunas yang dihasilkan merupakan hasil dari pembelahan mitosis yang terjadi terus menerus hingga menghasilkan individu baru.

Sumber: *Jendela IPTEK: Kehidupan*, 1997

Kata Kunci

- Duplikasi
- Reproduksi sel
- Tumbuh

Logika Biologi

Bakteri dan khamir (jamur satu sel) melakukan reproduksi melalui pembelahan biner dan molekul DNA menggandakan diri hanya melalui duplikasi. Adakah pengaruh proses ini terhadap variasi pada organisme uniselular?

A. Reproduksi Sel

Semua makhluk hidup, baik itu makhluk hidup uniselular maupun multiselular, tersusun atas sel. Unit fungsional terkecil ini dapat melakukan berbagai aktivitasnya sebagai makhluk hidup. Salah satunya adalah tumbuh dan melakukan reproduksi.

Tumbuh adalah proses bertambahnya ukuran. Pada tingkat sel, terjadi penambahan ukuran sel. Seiring penambahan ukuran, kebutuhan sel pun akan meningkat. Sel semakin banyak membutuhkan nutrisi dan bahan lain dari lingkungannya serta menghasilkan banyak zat buangan. Agar lebih efisien, sel harus membelah diri, menghasilkan dua sel baru. Secara umum, dua sel baru tersebut mirip dengan sel sebelumnya.

Pada makhluk hidup uniselular, pembelahan sel merupakan cara reproduksi. Menghasilkan dua individu baru dari satu individu. Pada multiselular, pembelahan sel memungkinkan satu sel, sel zigot, terus membelah dan berkembang hingga menjadi satu individu. Meskipun makhluk hidup multiselular telah dewasa, pembelahan sel tetap terjadi untuk memperbarui sel-sel mati atau rusak. Misalnya, sel-sel sumsum tulang belakang terus membelah untuk menghasilkan sel darah merah baru.

Pola pembelahan sel sebenarnya sederhana. Sel yang telah melalui fase penambahan ukuran, selanjutnya membelah diri menjadi dua. Pada proses tersebut terdapat dua hal penting yang terjadi.

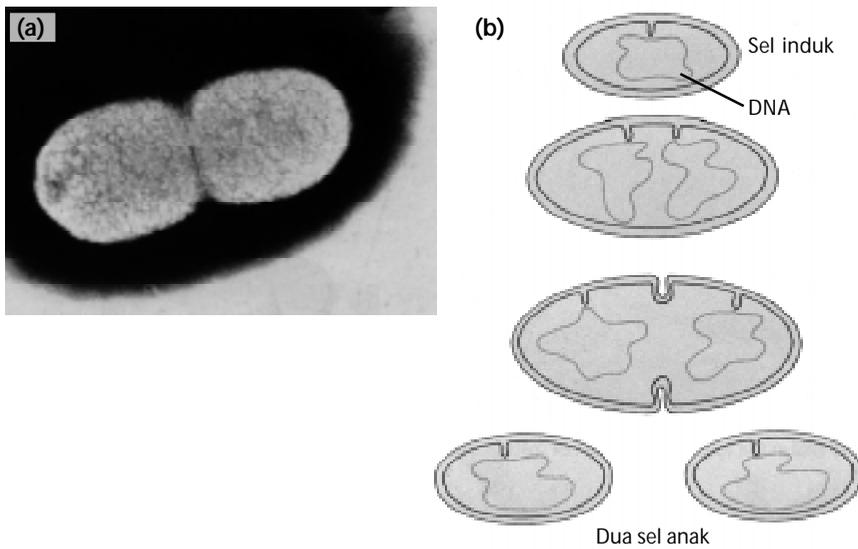
1. Proses duplikasi, yang menyebabkan setiap sel yang dihasilkan memiliki struktur sel yang sama, termasuk gen-gen yang dikodekan menjadi DNA.
2. Proses pemisahan sel yang dilakukan secara hati-hati dan tepat sehingga setiap sel hasil pembelahan memiliki struktur yang lengkap.

Bentuk informasi paling penting bagi sel adalah DNA. Pada pembelahan sel, DNA diturunkan kepada keturunannya. DNA membawa informasi bagi sintesis protein. Bahkan, hampir semua informasi pembentukan molekul penting dikodekan menjadi DNA. Oleh karena itu, saat kritis pembelahan sel adalah ketika duplikasi molekul DNA. Tentunya, terdapat suatu mekanisme yang menyalurkan molekul DNA antara dua sel hasil pembelahan.

1. Pembelahan Sel pada Prokariot

Sel prokariot, sel tanpa membran inti, mampu membelah diri secara sederhana. Setelah sel tumbuh dan mampu melakukan pembelahan, serta telah menduplikasi molekul DNA-nya, terjadi pelekukan pada membran sel. Molekul DNA prokariot menempel pada beberapa titik membran sel. Dengan demikian, molekul DNA tersebut dapat terpisah dengan arah

yang berlawanan ketika pelebaran membran sel semakin dalam. Ketika molekul DNA terpisah, membran sel dan dinding sel semakin melekat ke dalam hingga mulai terlihat pemisahan dua sel baru.



Gambar 4.1

(a) Sel bakteri yang sedang membelah dan (b) proses pembelahan sel pada sel prokariot.

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Proses sel yang terbagi dua secara sederhana ini disebut juga pembelahan biner. Sel prokariot, seperti sel bakteri, dapat melakukan pembelahan biner setiap 20 menit. Hal tersebut memberikan bakteri kemampuan memperbanyak diri yang menakjubkan.

2. Pembelahan Sel pada Eukariot

Proses pembelahan sel pada eukariot dikenal dengan mitosis. Pembelahan sel pada eukariot lebih kompleks dibandingkan pembelahan sel pada prokariot. Pada sel eukariot molekul DNA terkumpul dalam struktur yang disebut kromosom. Masih ingatkah Anda dengan kromosom?

Kromosom dapat ditemukan di dalam nukleus (inti sel). Kromosom kali pertama ditemukan pada sel eukariot karena penampakkannya yang jelas pada saat mitosis. Kromosom tersusun atas rangkaian protein dan DNA yang terpilin dan membentuk badan kromosom. Namun, rangkaian tersebut lebih sering tercerai berai di dalam nukleus selama siklus hidup sel. Rangkaian protein dan DNA ini disebut juga benang kromatin. Ketika memasuki mitosis benang kromatin tersebut terkondensasi dan mengumpul membentuk struktur kromosom.

Siklus hidup sel eukariot dapat dibagi menjadi dua fase, yakni mitosis dan interfase. Mitosis adalah fase pembelahan sel, sedangkan interfase adalah fase persiapan sebelum memasuki mitosis. Oleh karena banyak sel yang mampu melakukan pembelahan sel dari satu mitosis ke mitosis lain secara cepat, proses tersebut dapat diilustrasikan sebagai suatu siklus. Proses pembelahan sel pada eukariot dapat disebut juga siklus sel.

Kata Kunci

- Interfase
- Mitosis
- Pembelahan biner
- Siklus sel

Kata Kunci

- Anafase
- Metafase
- Profase
- Telofase

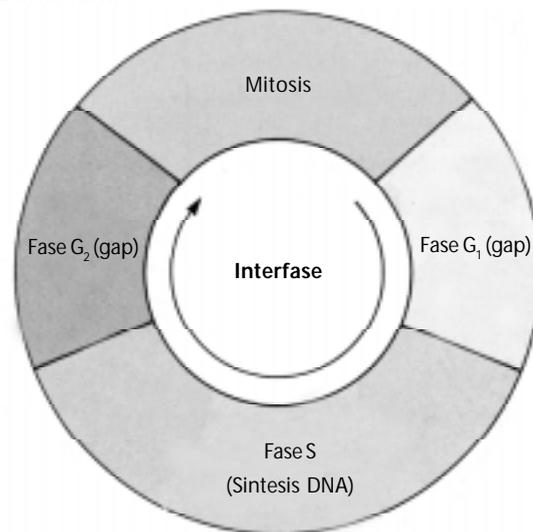
a. Interfase

Istilah interfase atau fase antara terkadang salah dimaknai. Karena memberikan pengertian seolah-olah pada fase ini tidak terjadi apa-apa. Padahal pada fase ini sel sedang mempersiapkan semua kebutuhan untuk melakukan pembelahan mitosis. Pada fase ini sel terus tumbuh, bertambah ukuran, membentuk struktur dan molekul baru.

Secara umum, interfase dapat dibedakan lagi menjadi beberapa tahap, yaitu tahap G_1 , S, dan G_2 (Gambar 4.2). Tahap G_1 (gap 1) merupakan tahap pembentukan macam-macam protein dan transkripsi RNA. Hal tersebut menyebabkan pertumbuhan sel terus membesar.

Proses selanjutnya adalah tahap S (sintesis). Pada tahap S terjadi sintesis DNA, berupa replikasi DNA dan sintesis protein histon. Jumlah DNA dalam inti sel bertambah dua kali lipat dan protein histon serta protein kromosom lain yang disintesis di sitoplasma bergabung dengan DNA setelah melewati membran inti sel. Gabungan DNA serta protein tersebut membentuk kromatin.

Pada akhir tahap S, sel memasuki tahap G_2 (gap 2). Pada tahap ini terjadi metabolisme normal dan penambahan pertumbuhan akibat pembentukan protein yang terus terjadi. Ketika sel memasuki tahap M (mitosis), benang-benang kromatin terkondensasi, dan berkumpul membentuk kromosom.



Gambar 4.2
Siklus sel eukariot

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

b. Mitosis

Fase mitosis merupakan fase paling pendek dari siklus sel. Pada proses ini terjadi pembagian informasi genetik kepada setiap sel hasil pembelahan. Informasi genetik yang dibagikan terlebih dahulu telah melalui proses replikasi pada interfase sehingga DNA sel hasil pembelahan mirip dengan DNA induk.

Para ahli biologi telah membagi proses mitosis menjadi beberapa tahap berdasarkan ciri utama yang dapat diamati, sebagai berikut.

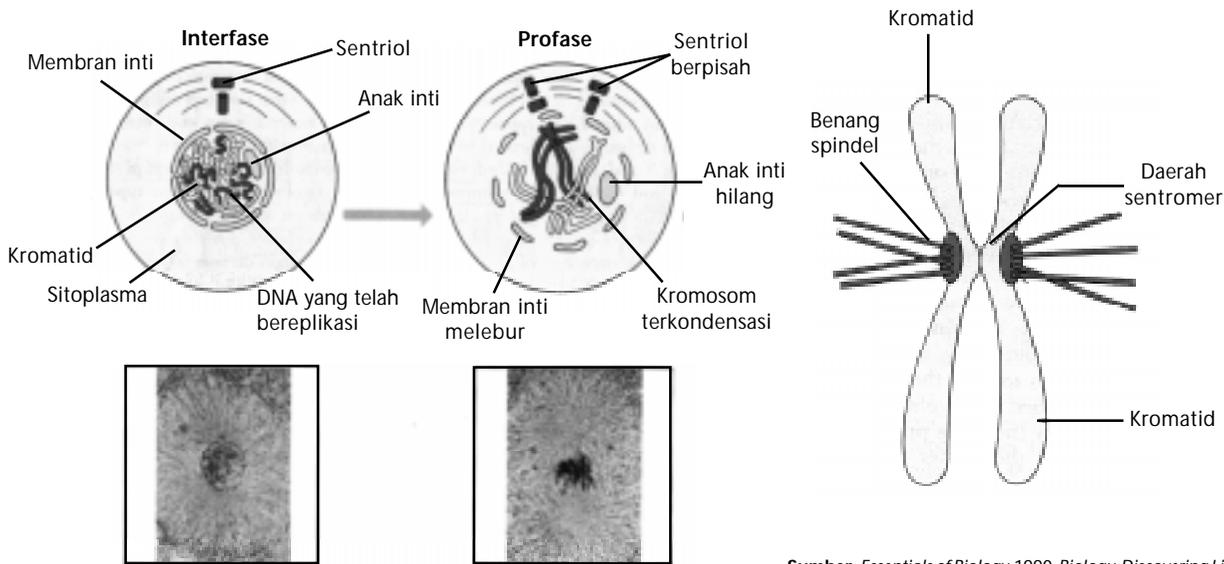
- 1) Profase, persiapan untuk pembelahan sel. Kromosom terkondensasi dan membran inti sel melebur.
- 2) Metafase, kromosom berada di bidang ekuator.
- 3) Anafase, kromosom terbagi dan bergerak ke arah kutub yang berlawanan.

4) Telofase, akhir dari mitosis. Membran inti terbentuk dan kedua sel terpisah.

Pada akhir mitosis dan meiosis, biasanya diikuti oleh pembagian sitoplasma. Proses ini disebut juga sitokinesis. Sitokinesis membagi sitoplasma dan membentuk membran atau dinding sel baru bagi setiap sel hingga kedua sel terpisah. Berikut ini penjelasan terperinci dari tahap-tahap tersebut.

1) Profase

Seperti yang telah Anda pelajari, pada interfase, terjadi replikasi DNA. Memasuki profase, benang-benang kromatin tersebut terkondensasi membentuk kromosom. DNA asal dan DNA hasil replikasi membentuk kromosom dan merekat pada sentromer. Kromosom tersebut tersusun atas dua kromatid. Perhatikan Gambar 4.3.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990; *Biology: Discovering Life*, 1991

Kromosom dengan dua kromatid ini disebut juga kromosom dupleks. Melalui mitosis ini, setiap pasangan kromatid dari kromosom nantinya akan terbagi ke sel anak. Dengan demikian, setiap kromatid tersebut merupakan kromosom bagi setiap sel. Bentuk kromosom tanpa pasangan kromatidnya disebut kromosom simpleks.

Jika sel baru tersebut akan melakukan pembelahan sel, setiap kromosom akan menggandakan diri melalui proses duplikasi menjadi kromosom dupleks. Sebenarnya, proses duplikasi merupakan hasil replikasi DNA yang terjadi pada tahap S interfase.

Tahap profase ditandai juga oleh penggandaan jumlah sentriol. Sentriol berada di luar membran inti. Setelah terbentuk kromatid, sentriol-sentriol bergerak ke kutub yang berlawanan.

Dari sekitar sentriol tersebut muncul benang-benang halus yang disebut benang spindel (mitotic spindle). Benang-benang spindel ini menyelimuti inti sel dan akan memegang kromosom tepat pada struktur protein kompleks yang disebut kinetokor. Benang-benang spindel ini terbuat dari mikrotubulus.

Gambar 4.3

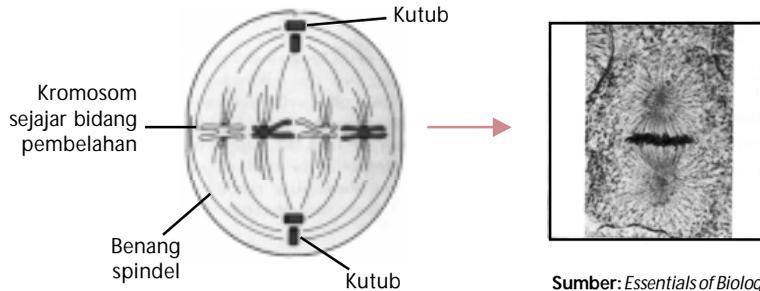
Profase, kromosom mulai terlihat sebagai pasangan kromatid.

Kata Kunci

- Kromosom dupleks
- Kromosom simpleks

2) Metafase

Ketika sentromer setiap kromosom sejajar bidang ekuator, menandakan mitosis memasuki tahap metafase. Pada metafase, semua kromosom sel bergerak ke arah bidang ekuator atau bidang pembelahan. Pergerakan ini dibantu oleh benang spindel. Kromosom dengan dua kromatid identik dapat diamati secara jelas pada tahap ini. Perhatikan Gambar 4.4.

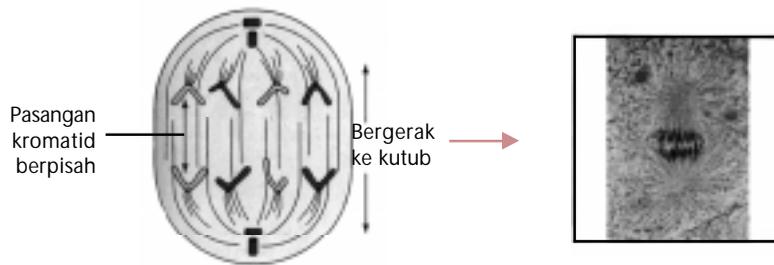


Gambar 4.4
Tahap metafase

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

3) Anafase

Anafase dimulai ketika sentromer yang menggabungkan kedua kromatid terpisah. Kromatid tunggal ini sekarang disebut kromosom simpleks, bergerak menuju kutub-kutub pada arah yang berlawanan. Anafase berakhir ketika setiap sel kromosom sampai pada kutub-kutubnya.



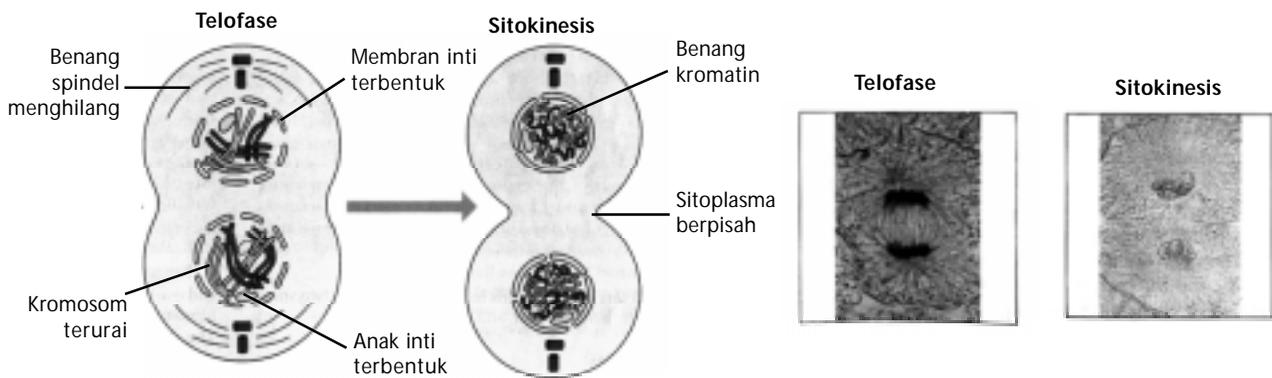
Gambar 4.5
Tahap anafase

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

4) Telofase

Telofase dimulai saat benang-benang spindel menghilang dan membran inti mulai terbentuk di sekeliling daerah kromosom. Membran inti akhirnya membungkus kromosom-kromosom tersebut.

Lilitan kromosom mulai terurai menjadi kromatin. Pada saat ini jika sel diamati menggunakan mikroskop, kromosom terlihat menghilang dan inti sel menjadi jernih. Setelah tahap telofase, biasanya diikuti oleh tahap sitokinesis, pemisahan sitoplasma. Pada beberapa sel, sitokinesis terjadi sebelum telofase berakhir. Perhatikan Gambar 4.6.



Gambar 4.6
Tahap-tahap mitosis.

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

c. Sitokinesis

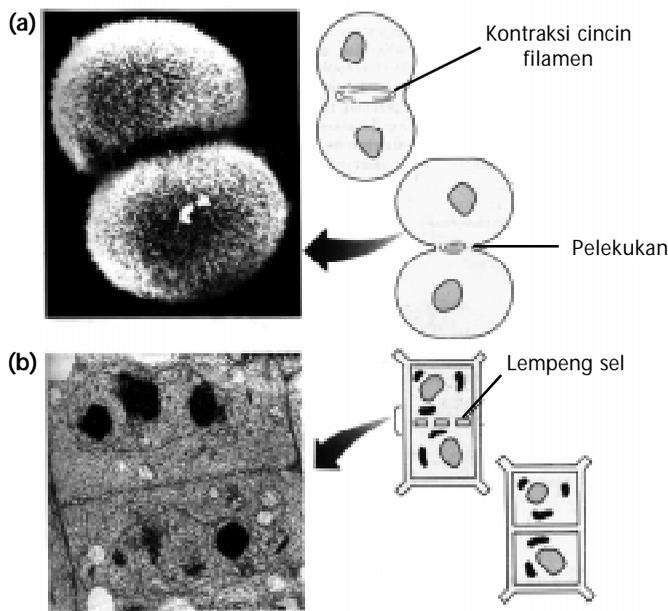
Sitokinesis umumnya terjadi setelah sel sedang membelah sudah memiliki dua inti sel pada kutub yang berbeda. Sitokinesis dilakukan untuk memisahkan sitoplasma dan membran sel agar terbentuk dua sel anak utuh.

Terdapat beberapa perbedaan mekanisme sitokinesis antara sel hewan dan sel tumbuhan. Pada sel hewan dengan membran sel yang lentur, sitokinesis terjadi karena adanya pelekukan yang membagi sel menjadi dua. Pelekukan tersebut terjadi di bidang pembelahan dan disebabkan oleh kontraksi cincin filamen.

Pada sel tumbuhan yang memiliki dinding sel kaku, tidak terjadi pelekukan membran sel. Oleh karena itu, setelah materi sel terbagi dua, pada bidang pembelahan terbentuk lempeng sel. Lempeng sel ini merupakan vesikula-vesikula dari badan Golgi yang bersatu dan memanjang pada bidang pembelahan. Dinding sel baru terbentuk pada lempeng sel tersebut. Dinding sel terus terbentuk hingga bersatu dengan membran dan dinding sel lama. Akhirnya, terbentuklah dua sel tumbuhan yang terpisah serta memiliki membran dan dinding sel sendiri. Perhatikan Gambar 4.7.

Kata Kunci

- Cincin filamen
- Lempeng sel
- Sitokinesis



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.7

Sitokinesis pada (a) sel hewan dan (b) sel tumbuhan.

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan siklus sel?
2. Dalam siklus sel, apakah yang terjadi selama fase G_1 , S, dan G_2 ?
3. Kapankah pembelahan mitosis terjadi?
4. Jelaskan secara singkat tahapan pembelahan mitosis.

B. Pembelahan Meiosis

Makhluk hidup uniselular dapat bereproduksi hanya dengan membelah diri. Pada makhluk hidup multiselular, reproduksi diawali oleh pembentukan sel spora atau gamet (sel telur atau sel sperma), kemudian sel-sel gamet tersebut bersatu melalui proses fertilisasi.



Sekilas Biologi

Pada tahun 1883, ahli biologi Belgia, Edward van Beneden (1846–1910) menemukan bahwa sel kelamin tempat gen berada, hanya mempunyai setengah dari jumlah kromosom normal. Sel kelamin dibentuk secara meiosis dan terjadi reduksi jumlah kromosom. Sel kelamin juga mempunyai kombinasi gen unik sehingga menghasilkan variasi dalam keturunan.

Sumber: *Jendela IPTEK: Kehidupan*, 1997

Kata Kunci

- Bivalen
- Haploid
- Kiasma
- Kromatid
- Meiosis I
- Meiosis II
- Pembelahan reduksi
- Sinapsis
- Tetrad

Manusia memiliki jumlah kromosom sel somatis sebanyak 46 buah. Jika sel gamet manusia memiliki jumlah kromosom lengkap, melalui proses fertilisasi keturunan yang dihasilkan akan memiliki 92 kromosom. Keturunan selanjutnya akan memiliki jumlah kromosom 184, 368, 736, dan seterusnya. Akan tetapi, akumulasi kromosom makhluk hidup tidak terjadi seperti itu. Terdapat suatu proses yang menyebabkan jumlah kromosom keturunan sama dengan jumlah induknya, meskipun berasal dari peleburan dua sel. Proses tersebut adalah pembelahan meiosis.

Pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi karena jumlah kromosom sel hasil pembelahan ini berkurang setengahnya. Pada saat fertilisasi, jumlah kromosom sel zigot akan kembali utuh karena berasal dari sel gamet jantan dan sel gamet betina. Kromosom dari gamet jantan merupakan pasangan kromosom homolog dari gamet betina.

Sel yang mengandung dua set kromosom homolog disebut diploid. Sel somatis (sel tubuh) pada tumbuhan, hewan, dan manusia memiliki kromosom diploid. Adapun sel gametnya telah tereduksi dan hanya memiliki satu set kromosom disebut haploid. Satu set kromosom disimbolkan dengan huruf n sehingga set diploid adalah $2n$ dan set haploid adalah n .

Selain reduksi kromosom, pembelahan meiosis memiliki fungsi penting lain. Meiosis menyebabkan terjadinya variasi antara induk dengan keturunannya serta antarketurunan itu sendiri. Hal tersebut terjadi melalui pengelompokan kromosom secara bebas dan pindah silang (crossing over).

Meiosis terjadi melalui dua tahap pembelahan sel. Meskipun tahap meiosis mirip dengan tahap pada mitosis, terdapat perbedaan besar pada perilaku kromosom dalam kedua proses tersebut.

Dua tahap pembelahan meiosis menghasilkan empat sel haploid dari satu sel diploid. Pada pembelahan meiosis I terjadi pemisahan kromosom homolog ke dalam dua sel anak. Pembelahan meiosis II tidak diikuti oleh fase S pada interfase sehingga replikasi DNA dan duplikasi kromosom tidak terjadi pada kedua sel anak.

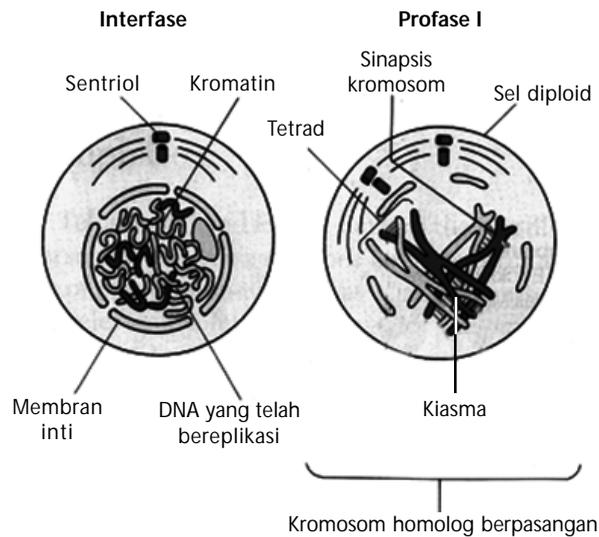
1. Meiosis I

Sama halnya dengan pembelahan mitosis, sebelum sel memasuki tahap pembelahan, terlebih dahulu terjadi tahap interfase. Pada fase S interfase terjadi replikasi DNA yang menghasilkan duplikasi kromosom. Tahap meiosis I terdiri atas profase I, metafase I, anafase I, dan telofase I.

a. Profase I

Pada awal profase I, terdapat dua kromatid untuk setiap kromosom. Mirip profase pada mitosis. Namun, pada meiosis, setiap pasangan kromosom homolog saling mendekat dan berpasangan membentuk struktur dengan empat kromatid yang disebut tetrad. Proses kromosom homolog yang berpasangan ini disebut sinapsis. Setiap pasangan kromosom ini disebut bivalen.

Sama halnya dengan fase profase mitosis, pada profase I membran inti sel melebur. Pada sel hewan terjadi duplikasi sentriol. Penampakan kromosom semakin jelas ketika mendekati akhir profase I (Gambar 4.8).



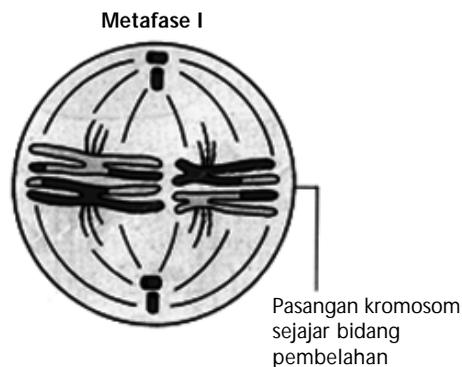
Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.8
Tahap interfase dan profase I

Pada akhir profase I, ikatan kromosom homolog tidak terlalu kuat dan pasangan kromosom homolog mulai terpisah. Pasangan kromosom homolog masih saling berikatan pada beberapa titik. Titik kromatid homolog berikatan ini disebut kiasma (jamak, kiasmata). Pada kiasma inilah kemungkinan pindah silang dapat terjadi. Karena pengaruh gen-gen pada satu kromosom (atau kromatid) dapat berbeda dengan gen-gen pada pasangan homolognya dapat berbeda, pindah silang dapat mengubah urutan gen-gen pada kromosom. Pengaruh pindah silang dapat Anda pelajari pada pembahasan tentang pewarisan sifat.

b. Metafase I

Pada metafase I, benang-benang spindel menempatkan setiap tetrad sejajar bidang ekuator. Benang spindel melekat pada kinetokor sentromer. Benang spindel dari satu kutub hanya akan melekat pada salah satu kromosom homolog dari setiap tetrad. Benang spindel dari kutub lain akan melekat pada kromosom homolog lain dari tetrad tersebut. Dengan demikian, setiap kromosom dari pasangan kromosom homolog hanya dapat tertarik pada kutub yang berlawanan. Perhatikan Gambar 4. , apakah perbedaannya dengan metafase pada mitosis?



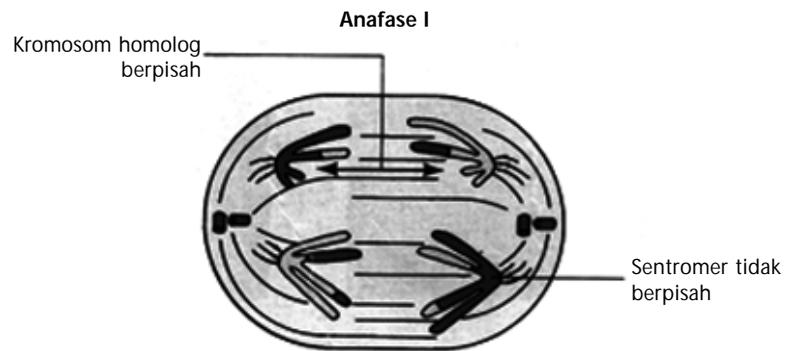
Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.9
Tahap metafase I

c. Anafase I

Berdasarkan pengaturan pelekatan benang spindel pada metafase I, pada anafase I setiap kromosom dupleks dari pasangan kromosom homolog bergerak menuju kutub yang berlawanan sehingga ikatan tetrad saja yang

terpisah. Hal ini berbeda dengan anafase pada mitosis yang terjadi pemisahan kromatid. Pada fase ini jumlah kromosom bagi calon sel anak sudah tereduksi. Perhatikan Gambar 4.1 .



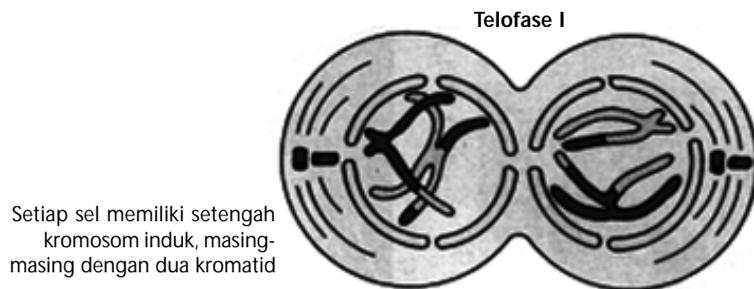
Gambar 4.10
Tahap anafase I

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

d. Telofase I dan Sitokinesis

Pada telofase I, kromosom berkumpul pada masing-masing kutub sel. Saat ini setiap kutub sel memiliki jumlah kromosom haploid dan kromosomnya masih dalam bentuk dupleks, dengan dua kromatid. Biasanya sitokinesis terjadi bersamaan dengan telofase I dan menghasilkan dua sel anak haploid.

Jika meiosis ini terjadi pada sel gamet manusia, jumlah kromosom tubuh yang 46 buah akan tereduksi menjadi 23 buah pada akhir meiosis I. Perhatikan Gambar 4.11.



Gambar 4.11
Tahap telofase I

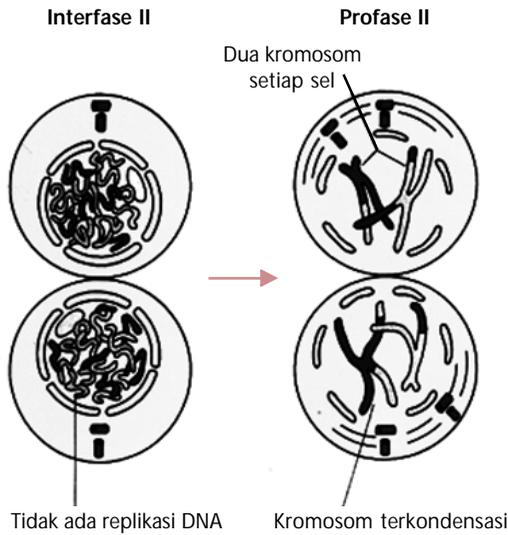
Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

2. Meiosis II

Dua sel haploid hasil meiosis I sekarang memasuki meiosis II. Terdapat perbedaan dalam siklus sel meiosis II ini. Pada interfase II, tidak terjadi replikasi DNA sehingga kromosom dalam kedua sel tersebut berada dalam keadaan dupleks. Oleh karena, kemiripannya dengan mitosis, tahap meiosis II ini secara keseluruhan dapat dikatakan sebagai mitosis haploid.

a. Profase II

Pada tahap ini benang kromatin yang semula terurai setelah telofase I mengalami kondensasi kembali membentuk kromosom. Kromosom yang terbentuk masih dalam keadaan dupleks, dengan dua kromatid. Membran inti mulai melebur. Perhatikan Gambar 4.12.

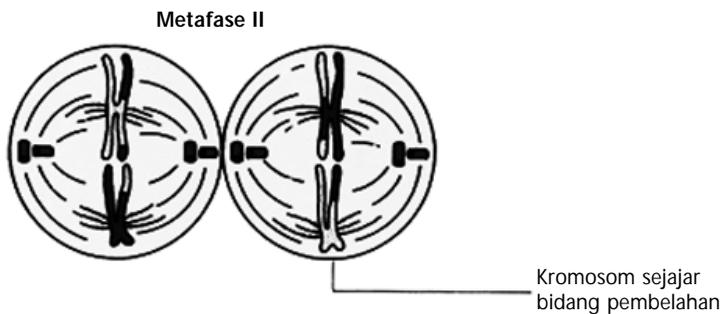


Gambar 4.12
Tahap metafase II dan profase II

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

b. Metafase II

Kromosom berkumpul kembali pada bidang pembelahan dengan bantuan benang-benang spindel. Benang-benang spindel ini melekat pada kinetokor yang nantinya akan menarik pasangan kromatid menuju kutub yang berlawanan (Gambar 4.13).

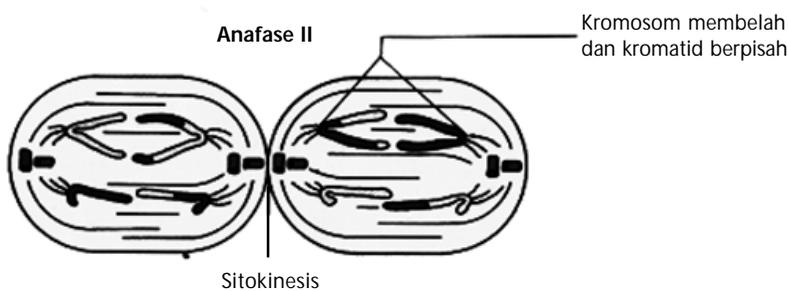


Gambar 4.13
Tahap metafase II

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

c. Anafase II

Anafase II mirip dengan anafase pada mitosis. Tahap ini diawali pemisahan sentromer dan setiap kromatid bergerak menuju kutub yang berlawanan (Gambar 4.14).



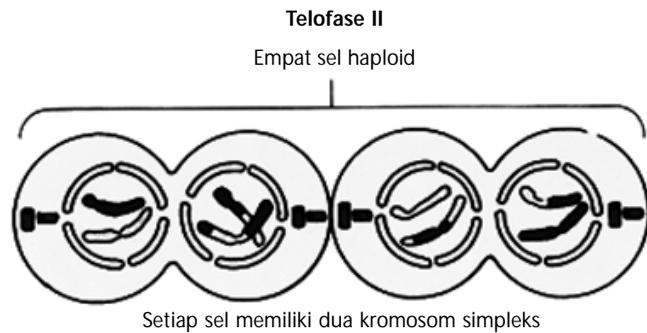
Gambar 4.14
Tahap anafase II

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

d. Telofase dan Sitokinesis

Tahap telofase II berlanjut dengan terbentuknya membran inti yang menyelimuti kromosom pada masing-masing kutub. Kromosom terurai kembali menjadi benang-benang kromatin dan diikuti oleh sitokinesis.

Sitokinesis pada dua sel tersebut menghasilkan empat sel haploid. Pada hewan jantan, empat sel baru yang terbentuk dapat menjadi sperma. Pada bagian bunga jantan, dapat menjadi serbuk sari (polen). Pada hewan atau bagian bunga betina, pembentukan gametnya lebih kompleks.



Gambar 4.15
Tahap telofase II

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Berdasarkan penjelasan yang telah Anda pelajari tentang pembelahan mitosis dan meiosis, tentu Anda dapat membedakan kedua proses pembelahan tersebut. Apakah perbedaan keduanya? Perhatikan tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Perbedaan Mitosis dan Meiosis

| o. | Mitosis | Meiosis |
|----|---|---|
| 1. | Satu kali duplikasi dan satu kali pembelahan | Satu kali duplikasi dan membelah berturut-turut dua kali |
| 2. | Dihasilkan dua sel anak diploid (2n) | Dihasilkan empat sel anak haploid (n) |
| 3. | Susunan gen sama dengan sel parental (induk) | Susunan gen rekombinasi dari kedua sel parental |
| 4. | Terjadi pada sel somatik dan zigot | Hanya terjadi pada pembentukan gamet |
| 5. | Tidak terbentuk tetrad, tidak terjadi sinapsis, dan tidak terjadi crossing over | Terbentuk tetrad, terjadi peristiwa sinapsis, dan ada crossing over |
| 6. | Profase terjadi dalam waktu yang relatif singkat | Profase terjadi dalam waktu yang relatif lama |
| 7. | Pemisahan sentromer di bidang ekuator langsung terjadi pada tahap anafase | Pemisahan sentromer tidak langsung terjadi pada meiosis I, tetapi pada meiosis II |
| 8. | Tujuannya memperbanyak sel dan mengganti sel yang rusak | Tujuannya mempertahankan jumlah kromosom pada generasi berikutnya |

Latihan Pemahaman Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

- Mengapa pembelahan meiosis penting bagi makhluk hidup multiselular?
- Mengapa pembelahan meiosis disebut juga pembelahan reduksi?
- Pada pembentukan apakah pembelahan meiosis terjadi?
- Apakah perbedaan pembelahan meiosis I dan meiosis II?

C. Gametogenesis

Gametogenesis adalah proses pembentukan sel gamet, baik gamet jantan maupun betina. Pembelahan sel pada gametogenesis terjadi secara meiosis. Setelah meiosis, terjadi pematangan sel untuk menjadi sel gamet sesuai spesies makhluk hidup.

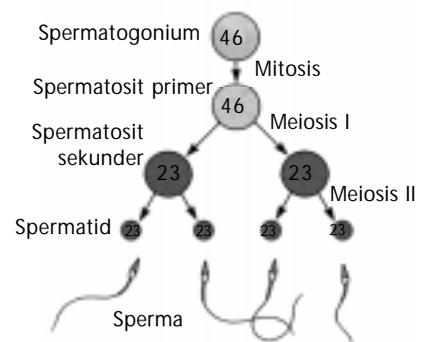
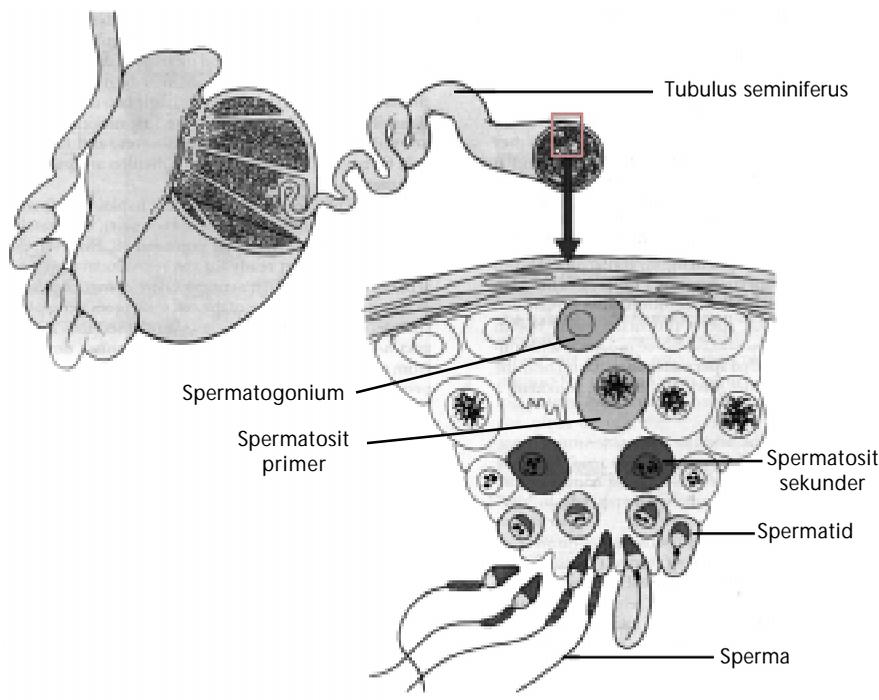
1. Gametogenesis pada Hewan

Gametogenesis terjadi pada organ reproduksi makhluk hidup multiselular. Pada hewan jantan terjadi di organ testis yang disebut spermatogenesis. Pada hewan betina terjadi di organ ovarium yang disebut oogenesis.

a. Spermatogenesis

Sel sperma atau spermatozoid merupakan hasil dari spermatogenesis. Sel sperma berbentuk lonjong dan berukuran kecil dengan flagela pada bagian posterior (ekor). Flagela berfungsi untuk pergerakan sperma menuju sel telur saat fertilisasi.

Pembentukan sel sperma terjadi pada organ testis hewan jantan. Di dalam testis terdapat banyak saluran kecil yang disebut tubulus seminiferus. Pada dinding dalam saluran inilah terjadi proses spermatogenesis. Perhatikan Gambar 4.15 dibawah ini.



Gambar 4.16

Proses spermatogenesis pada tubulus semiferus testis

Pada tubulus seminiferus, terdapat sel-sel induk sperma atau spermatogonium yang diploid. Untuk melangsungkan pembentukan sel sperma, sel spermatogonium membelah secara mitosis dan menghasilkan spermatosit primer.

Setelah spermatosit primer terbentuk, pembelahan meiosis terjadi pada sel tersebut. Sel spermatosit primer mengalami meiosis I. Terjadi reduksi kromosom sehingga menghasilkan dua sel spermatosit sekunder yang haploid.

Dua sel spermatosit sekunder hasil meiosis I melakukan pembelahan meiosis II. Dari dua sel spermatosit sekunder tersebut dihasilkan empat sel spermatid.

Sel spermatid yang terbentuk mengalami pematangan untuk menjadi sel sperma yang fungsional. Pematangan meliputi pembentukan tudung akrosom yang menembus sel telur dan pembentukan flagel.

Kata Kunci

- Sperma
- Spermatid
- Spermatogonium
- Spermatosit

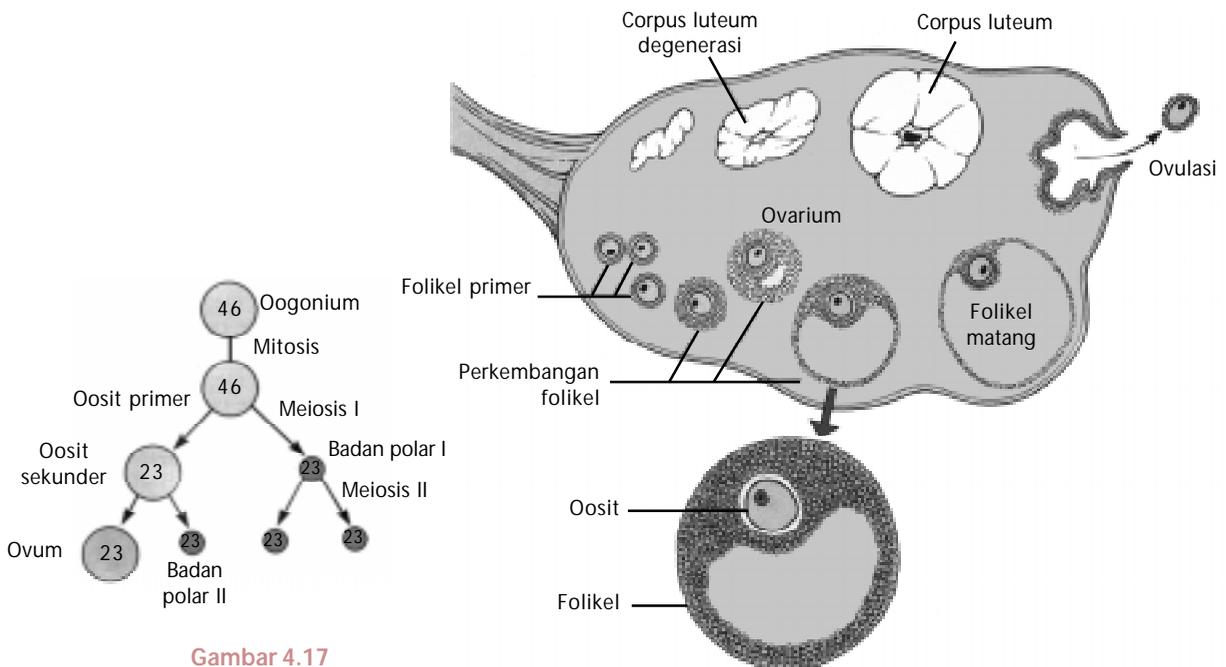
Pada manusia, proses spermatogenesis dari spermatogonium hingga menjadi sperma matang memerlukan waktu sekitar 72 hari. Sperma yang telah matang dilepaskan menuju epididimis. Produksi sperma pada manusia terjadi secara terus-menerus.

b. Oogenesis

Organ reproduksi hewan betina yang utama adalah ovarium. Pada organ ini terjadi pembentukan sel telur atau oogenesis (Gambar 4.17). Sel telur atau ovum berkembang dari sel induk telur atau oogonium yang diploid, mirip spermatogonium pada spermatogenesis. Namun, pada oogonium, proses mitosisnya telah terjadi sebelum individu dilahirkan. Setelah lahir, pada ovarium terdapat sekitar 400.000 oosit primer yang siap memasuki tahap meiosis.

Kata Kunci

- Badan polar
- Oogonium
- Oosit



Gambar 4.17

Proses oogenesis di ovarium

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Oosit primer ($2n$) akan mengalami meiosis I menghasilkan oosit sekunder yang haploid (n) dan sel yang lebih kecil yang disebut badan polar I. Saat oosit sekunder memasuki profase II pada meiosis II, oosit tersebut dilepaskan dari ovarium. Peristiwa pelepasan ini disebut ovulasi.

Oosit sekunder yang dilepaskan bergerak secara pasif dengan bantuan pergerakan cairan dan silia tuba Fallopii menuju uterus. Meiosis II yang menghasilkan satu ovum matang dan badan polar II tidak akan terjadi sebelum oosit sekunder dibuahi oleh sel sperma (Levine Miller, 1991: 730). Pada saat sel sperma melakukan penetrasi menembus permukaan sel telur, meiosis II berlangsung menghasilkan sel ovum matang dan badan polar II.

Pada individu betina, oogenesis hanya menghasilkan satu ovum fungsional. Selain itu, pengeluaran sel ovum tidak terjadi secara serentak dan banyak seperti halnya sel sperma.



Hewan umumnya dapat bergerak sehingga hewan jantan dan betina dapat bertemu untuk melakukan reproduksi. Pada tumbuhan berbunga, hal ini tidak dapat dilakukan. Oleh karena itu, tumbuhan bergantung pada hewan atau angin untuk membawa gamet jantan atau polen ke bunga lain.

Berbeda dengan hewan umumnya, banyak tumbuhan berbunga adalah hermafrodit. Artinya tumbuhan memiliki organ jantan dan organ betina, biasanya terdapat pada bunga yang sama.

Sumber: *Jendela IPTEK: Kehidupan*, 1997

2. Gametogenesis pada Tumbuhan

Pada tumbuhan, gametogenesis terjadi pada organ reproduksinya, yakni bunga. Pembentukan gamet jantan terjadi pada alat reproduksi jantan (kotak spora) dan disebut mikrogametogenesis. Adapun pembentukan gamet betina terjadi pada alat reproduksi betina (ovarium) dan disebut megagametogenesis.

a. Mikrogametogenesis

Alat kelamin tumbuhan angiospermae jantan adalah stamen atau benang sari. Pada organ ini, khususnya pada kepala sari, terbentuk mikrospora yang berkembang menjadi serbuk sari atau polen.

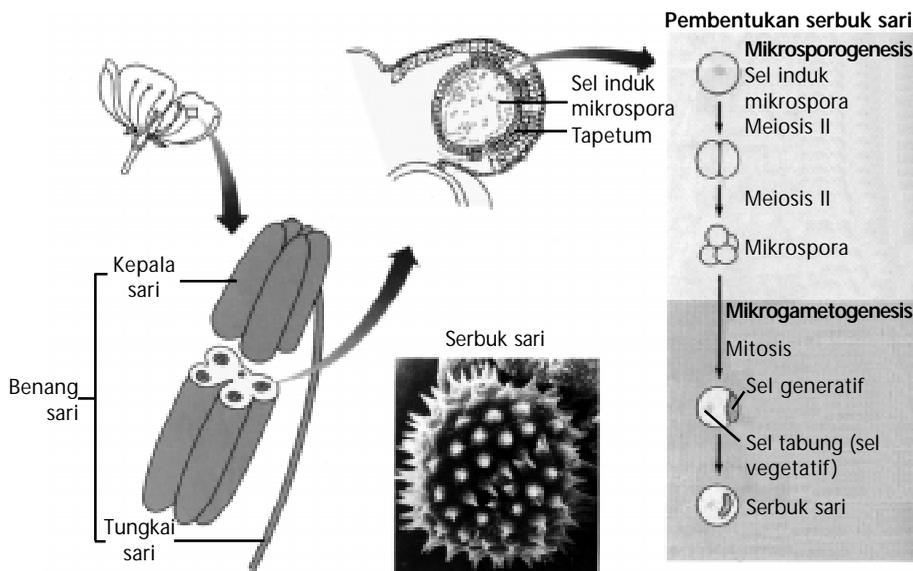
Benang sari terdiri atas kepala sari (antera) dan tangkai sari (filamen). Setiap kepala sari umumnya memiliki empat kantung serbuk sari (sporangium). Di dalam sporangium, terdapat banyak sel induk mikrospora. Sel induk tersebut akan berkembang menjadi serbuk sari.

Langkah pertama dalam pembentukan serbuk sari adalah mikrosporogenesis (Hopson dan essels, 1990: 468). Proses ini dimulai dengan pembelahan meiosis sel induk mikrospora. Sel diploid tersebut melalui pembelahan meiosis akan menghasilkan empat sel mikrospora haploid yang masih berlekatan satu sama lain. Empat sel mikrospora hasil meiosis akhirnya saling memisah. Langkah kedua adalah mikrogametogenesis, proses pematangan mikrospora menjadi serbuk sari fungsional. Proses pematangan melibatkan pembelahan mitosis sel mikrospora dan terjadi dalam dua tahap. Tahap pertama, terjadi pembelahan inti dan sitoplasma sel mikrospora membentuk sel tabung (sel vegetatif) dan sel generatif. Sel generatif berada di dalam sel tabung. Dua sel yang berada dalam satu dinding sel ini merupakan bentuk serbuk sari matang.

Tahap ke dua, jika serbuk sari menempel pada putik saat polinasi, sel tabung akan membentuk jalan tabung bagi sel generatif. Saat jalan tabung terus memanjang ke bawah, sel generatif membelah secara mitosis menjadi dua sel generatif haploid. Kedua sel ini nantinya berperan dalam pembuahan ganda.

Kata Kunci

- Mikrogametogenesis
- Mikrosporogenesis
- Sel generatif
- Sel Induk mikrospora
- Sel vegetatif



Gambar 4.18

Proses pembentukan serbuk sari

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

b. Megagametogenesis

Seperti serbuk sari, sel telur tumbuhan angiospermae dibentuk di bagian bunga, yaitu pistilum. Pada organ ini terjadi pembentukan sel telur dan tempat terjadinya fertilisasi (pembuahan). Pistilum terdiri atas tiga bagian, yaitu kepala putik (stigma), tangkai putik (stilus), dan ovarium. Pada ovarium inilah tempat sel telur terbentuk.

Pada ovarium terdapat ovulum atau kantung embrio. Beberapa spesies tumbuhan dapat memiliki ovulum lebih dari satu sehingga dapat menghasilkan buah dengan banyak biji. Pada uraian ini, hanya akan dijelaskan perkembangan pada ovarium dengan satu ovulum. Di dalam ovulum tersebut terdapat sel induk megaspora.

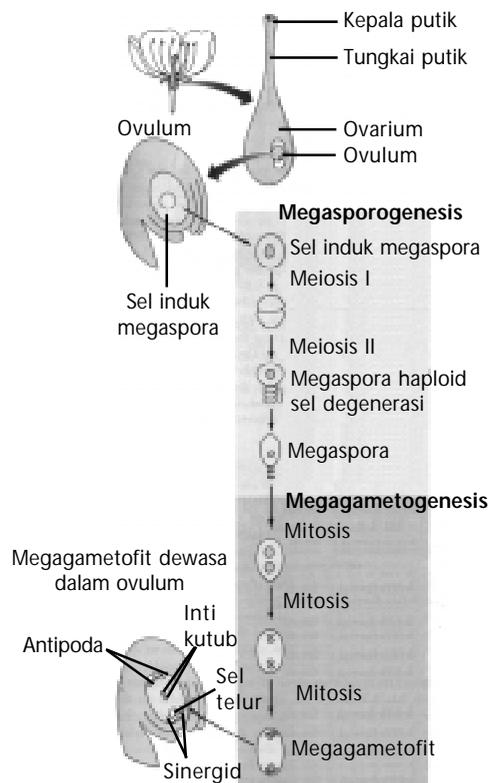
Megasporogenesis terjadi di ovarium. Dimulai dengan pembelahan meiosis pada sel induk megaspora yang menghasilkan 4 sel megaspora haploid. Tiga sel megaspora mengalami degenerasi, sedangkan satu megaspora tetap hidup dan akan mengalami pembelahan lebih lanjut.

Selanjutnya, terjadi pematangan melalui megagametogenesis. Pada proses ini satu sel megaspora akan mengalami tiga kali mitosis. Akan tetapi, pembelahan tersebut tidak diikuti sitokinesis sehingga hanya terjadi pembelahan inti sel. Tiga kali pembelahan mitosis menghasilkan satu sel telur dengan 8 inti sel. Kedelapan inti sel ini terkumpul dalam dua kelompok pada ujung yang berlawanan. Satu inti dari setiap kelompok bergerak ke tengah sel. Dua sel di tengah ini adalah inti kutub atau inti polar.

Sel dengan 8 inti sel ini disebut juga kandung lembaga yang memiliki satu lubang kecil (mikropil) tempat masuknya gamet jantan. Terdapat tiga inti dekat mikropil. Dua di antaranya disebut sinergid dan satu inti lain merupakan inti telur. Tiga inti pada tempat yang berlawanan dengan mikropil disebut antipoda. Perhatikan Gambar 4.1 .

Kata Kunci

- Antipoda
- Inti kutub
- Sinergid
- Sel induk megaspora
- Sel telur



Gambar 4.19

Proses oogenesis di ovulum

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Tiga buah inti di daerah mikropil dan tiga buah inti antipoda, masing-masing membentuk membran sel menjadi 6 buah sel. Dua inti kutub bersatu membentuk satu sel dengan dua inti sehingga di dalam kandung lembaga terdapat 7 sel. Pada saat fertilisasi, hanya sel telur dan inti sel saja yang dibuahi membentuk zigot (2n) dan endospermae (3n).

Latihan Pemahaman Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apa yang dimaksud dengan gametogenesis?
2. Pada spermatogenesis, berapakah sel sperma fungsional yang dihasilkan oosit primer melalui oogenesis?
3. Pada mikrogametogenesis, apakah fungsi mikrosporogenesis dan mikrogametogenesis?
4. Tuliskan sel-sel yang dihasilkan pada megagametogenesis.

D. Pola Pewarisan Sifat

Selama ribuan tahun, manusia telah melakukan seleksi terhadap tumbuhan dan hewan. Seleksi tersebut dilakukan dengan mengawinkan tumbuhan atau hewan unggul untuk mendapatkan keturunan dengan sifat yang diinginkan manusia. Selama waktu tersebut, manusia memahami pewarisan sifat hanya sebatas percampuran sifat antara induk jantan dan induk betina yang diwariskan kepada keturunannya. Pada beberapa kasus hal tersebut benar. Umumnya, penampakan diri Anda sedikit mirip dengan ayah dan ibu Anda sendiri. Namun, manusia akan bingung jika mengawinkan dua bunga ungu dan menghasilkan semua keturunan bunga warna putih. Dari manakah sifat warna putih didapatkan?

Pada 1857, Gregor Johann Mendel (1822–1884), seorang biarawan yang berasal dari Austria, mulai mengadakan penelitian tentang pola pewarisan sifat pada tanaman ercis (*Pisum sativum*). Pada 1866, Mendel menyampaikan hasil penelitiannya kepada kalangan ilmuwan. Ia menemukan bahwa semua ciri makhluk hidup diturunkan berpasangan (gen sealel). Ia juga menemukan bahwa biasanya hanya satu ciri dari pasangan tersebut yang menjadi sifat yang tampak (gen dominan). Saat itu, Mendel belum mengetahui DNA dan kromosom dalam sel serta menyebut gen-gen yang bertanggung jawab terhadap suatu ciri makhluk hidup sebagai unit hereditas. Dua hal yang dikemukakan Mendel merupakan dasar bagi genetika, ilmu tentang pewarisan sifat makhluk hidup. Akan tetapi, entah karena tidak dipahami atau tidak disetujui, saat itu penelitian Mendel terabaikan.

Kerja keras Mendel baru ditemukan kembali 35 tahun kemudian, ketika Hugo de Vries dan Belanda dan Carl Correns dari Jerman menghasilkan kesimpulan yang sama dengan Mendel pada penelitian mereka. Mereka menemukan hasil penelitian Mendel pada tahun 1900 ketika mempersiapkan publikasi hasil penelitiannya. Oleh sebab itu, Mendel dinobatkan sebagai "Bapak Genetika".

1. Percobaan Mendel

Mendel melakukan penelitian tentang pewarisan sifat pada tanaman ercis. Penggunaan tanaman tersebut merupakan pilihan tepat. Oleh karena tanaman ercis memiliki kriteria yang menguntungkan, yaitu



Sekilas Biologi

Gregor Johann Mendel
(1822–1884)



Gregor Johann Mendel adalah seorang biarawan Austria yang membangun landasan ilmu genetika. Ia dikenal sebagai "Bapak Genetika".

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

berumur pendek, dapat melakukan penyerbukan sendiri, dan memiliki banyak ciri yang dapat diamati. Gambar 4.2 berikut memperlihatkan beberapa ciri tanaman ercis yang diamati Mendel.

| Bentuk Biji | arna Biji | arna Bunga | arna Tunas | arna Kulit Biji | Bentuk Buah | arna Buah | Posisi Bunga | Panjang Batang |
|-------------|-----------|------------|------------|-----------------|--------------|-----------|-------------------------|----------------|
| Bulat | Kuning | Ungu | Ungu | Ungu Abu-abu | Halus | Hijau | Ketiak batang (aksial) | Tinggi |
| | | | | | | | | |
| Kisut | Hijau | Putih | Hijau | Putih | Bergelombang | Kuning | Ujung batang (terminal) | Pendek |
| | | | | | | | | |

Sumber: Botany, 1995

Gambar 4.20
Beberapa ciri yang diamati Mendel

Perlu diingat pada pembahasan genetika, istilah *character* atau ciri khas digunakan untuk menjelaskan ciri yang dapat diturunkan. Contohnya, warna bunga, penampakan biji, dan panjang batang yang bervariasi antarindividu. Setiap sifat dari ciri khas tersebut, seperti bunga ungu atau bunga putih, disebut *trait* atau sifat (Campbell, 1998: 239). Setiap sifat untuk ciri tersebut selalu berpasangan, seperti tinggi dan pendek, bulat dan kisut, atau besar dan kecil.

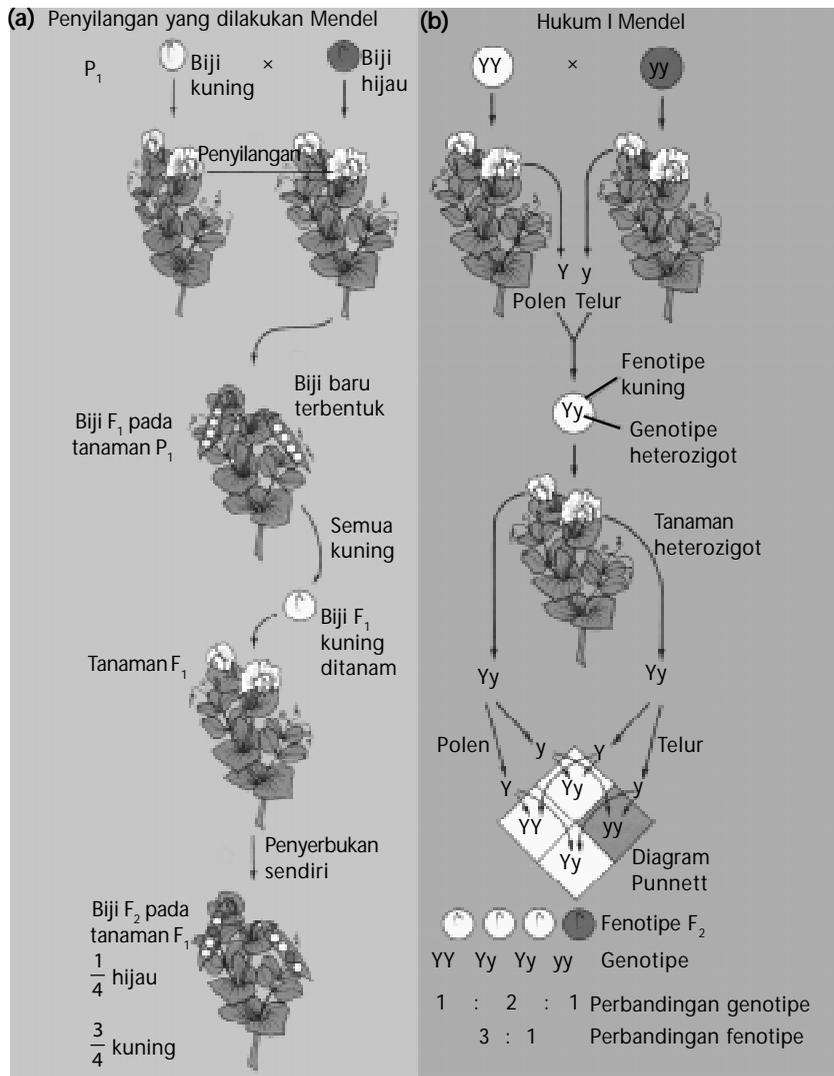
a. Hukum I Mendel

Pada satu percobaan, Mendel menyilangkan tanaman ercis dan biji kuning dengan tanaman dari biji hijau. Kedua biji tanaman tersebut merupakan galur murni, didapat dari individu dengan sifat asli dan murni. Galur murni didapat dengan mengawinkan individu dengan sifat sama yang diinginkan berkali-kali.

Tanaman galur murni tersebut disebut P_1 atau parental (induk) pertama. Keturunan hasil persilangan disebut F_1 atau filial (generasi) pertama. Semua F_1 persilangan tersebut adalah biji kuning.

Untuk mengetahui generasi selanjutnya, Mendel menanam biji kuning dari F_1 . Tanaman tumbuh dan dewasa, melakukan penyerbukan sendiri, dan menghasilkan keturunan F_2 . Hasilnya biji dengan sifat warna hijau muncul kembali pada generasi F_2 . Dari 8.023 biji F_2 yang dihasilkan, Mendel menemukan bahwa 6.022 biji adalah kuning dan 2.001 biji lainnya adalah hijau. Hal tersebut menghasilkan perbandingan biji kuning dan hijau sebesar 3:1 (Gambar 4.2).

- Dari hasil percobaan tersebut, Mendel mencatat dua hal penting.
- 1) Sifat warna biji hijau menghilang pada generasi F_1 , namun muncul kembali pada generasi F_2 .
 - 2) Ketika sifat warna biji hijau muncul kembali, sifatnya sama dengan biji P_1 .



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.21

(a) Langkah-langkah penyilangan yang dilakukan Mendel.
(b) Kesimpulan yang didapat oleh Mendel.

Mendel kemudian berpendapat bahwa pada tanaman F_1 , informasi untuk pembentukan biji hijau masih ada, namun tidak terlihat. Mendel juga berpendapat bahwa setiap tumbuhan P_1 memberikan informasi bagi pembentukan warna biji kuning dan hijau, meskipun akhirnya mereka hanya menghasilkan biji kuning.

Ketika terdapat dua alternatif sifat bagi suatu ciri, sifat yang terlihat adalah sifat dominan, sedangkan sifat yang kalah dan tidak terlihat adalah resesif. Pada kasus ini, sifat biji kuning adalah dominan terhadap sifat biji hijau. Pada semua ciri tanaman ercis yang Mendel amati, ia menemukan bahwa selalu terdapat satu sifat dominan terhadap sifat lain. Selain itu, perbandingan keturunan pada generasi pada generasi F_2 selalu 3 : 1 untuk sifat dominan terhadap resesif.

Kata Kunci

- Diagram Punnett
- Dominan
- Fenotipe
- Genotipe
- Heterozigot
- Homozigot
- Resesif
- Segregasi
- *Test cross*

Logika Biologi

Diketahui sifat rambut keriting dominan terhadap sifat rambut lurus. Jika pasangan dengan rambut keriting menikah, adakah kemungkinan keturunannya berambut lurus?

Mendel menarik kesimpulan bahwa perbandingan 3 : 1 untuk sifat dominan terhadap resesif pada F_2 dapat terjadi jika setiap individu hanya memiliki dua unit hereditas untuk setiap ciri yang dipengaruhi. Setiap unit hereditas didapat dari setiap induk jantan dan betina.

Kini unit hereditas yang diungkapkan Mendel disebut gen, yakni faktor pewarisan sifat yang mengatur ciri khusus individu, seperti penampakan, perilaku, dan fisiologis. Pada penelitian Mendel, gen mengatur warna biji, hijau atau kuning. Setiap bentuk alternatif gen disebut alel. Misalnya, pada gen yang mengatur warna biji terdapat gen untuk warna biji hijau dengan alel gen untuk warna biji kuning sehingga gen selalu berpasangan.

Pada individu, alel didapat dari setiap induk dan bersifat dominan atau resesif. Gen dominan biasanya dilambangkan dengan huruf kapital (besar), sedangkan gen resesif dilambangkan dengan huruf kecil yang sama. Jika huruf Y dilambangkan untuk alel gen warna biji kuning maka huruf y dilambangkan untuk alel gen warna biji hijau.

Berdasarkan hal tersebut, tanaman galur murni dengan sifat biji hijau memiliki pasangan alel YY, untuk galur murni biji kuning adalah yy. Pasangan alel ini disebut homozigot, memiliki pasangan yang sama.

Pada F_1 , pasangan alel didapat dari kedua induk galur murni sehingga semua generasi F_1 memiliki pasangan alel Yy. Pasangan ini disebut heterozigot, memiliki pasangan yang berbeda. Pasangan alel-alel tersebut merupakan genotipe, tipe gen pada sel atau individu. Genotipe tidak tampak pada individu, namun genotipe memengaruhi penampakan sel-sel atau individu. Penampakan genotipe ini disebut fenotipe.

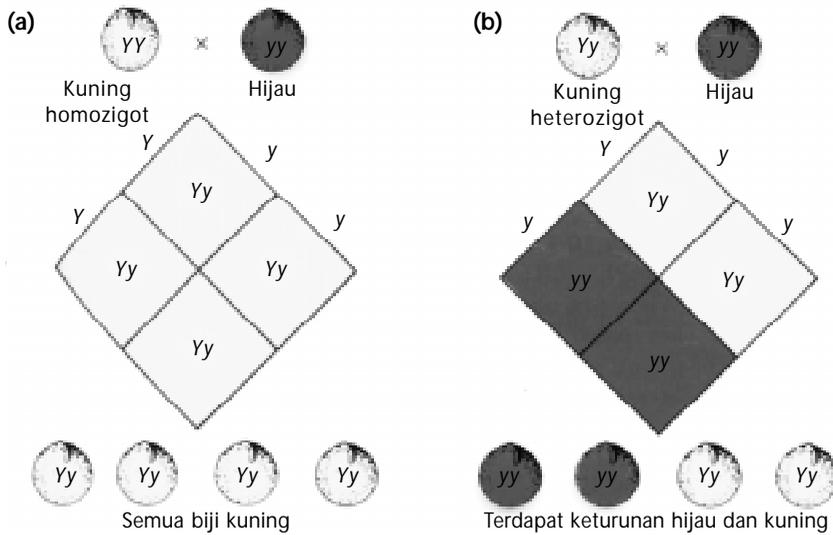
Pada generasi F_1 memiliki genotipe Yy yang mengandung alel untuk sifat biji warna kuning dan hijau. Akan tetapi, fenotipe generasi tersebut adalah biji warna kuning. Hal tersebut merupakan ekspresi alel gen dominan.

Hasil percobaan Mendel terhadap sifat dominan dan resesif yang diwariskan, menghasilkan Hukum I Mendel atau hukum segregasi. Berdasarkan hukum ini, setiap individu membawa dua unit hereditas (gen sealel) yang memengaruhi suatu ciri tertentu. Selama meiosis, dua alel tersebut bersegregasi (berpisah) satu sama lain. Setiap alel kemudian bergabung dalam gamet. Alel akan bergabung kembali dengan pasangan alel yang sama atau berbeda melalui fertilisasi. Individu diploid hasil fertilisasi memiliki dua alel untuk setiap ciri. Satu dari setiap induknya.

Pembentukan pasangan alel pada individu melalui fertilisasi terjadi secara acak. Terdapat suatu metode untuk mengetahui kemungkinan pasangan alel pada individu baru yang disebut diagram Punnett. Diagram ini memperlihatkan kemungkinan alel gamet dari pasangan homozigot dan atau heterozigot, serta kemungkinan pasangan alel pada individu baru.

Pada generasi F_2 terdapat biji fenotipe kuning dengan genotipe homozigot maupun heterozigot. Bagaimana cara Mendel mengetahui genotipe yang berbeda pada semua biji warna kuning? Mendel melakukan test cross, mengawinkan tanaman dengan genotipe yang belum diketahui dengan tanaman yang memiliki genotipe homozigot resesif (biji hijau galur

murni). Jika semua keturunan tetap kuning, berarti biji kuning F_2 adalah homozigot. Akan tetapi, jika test cross mengandung biji kuning dan hijau, berarti biji kuning F_2 adalah heterozigot. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.22

Diagram Punnett dan test cross yang dilakukan Mendel.

- (a) Jika biji F_2 homozigot dan
- (b) jika biji F_2 heterozigot.

b. Hukum II Mendel

Makhluk hidup umumnya memiliki pasangan alel untuk ratusan hingga ribuan ciri khas di dalam selnya. Pada percobaan sebelumnya, Mendel menyilangkan tanaman ercis dengan satu ciri. Bagaimana jika menyilangkan individu dengan dua ciri?

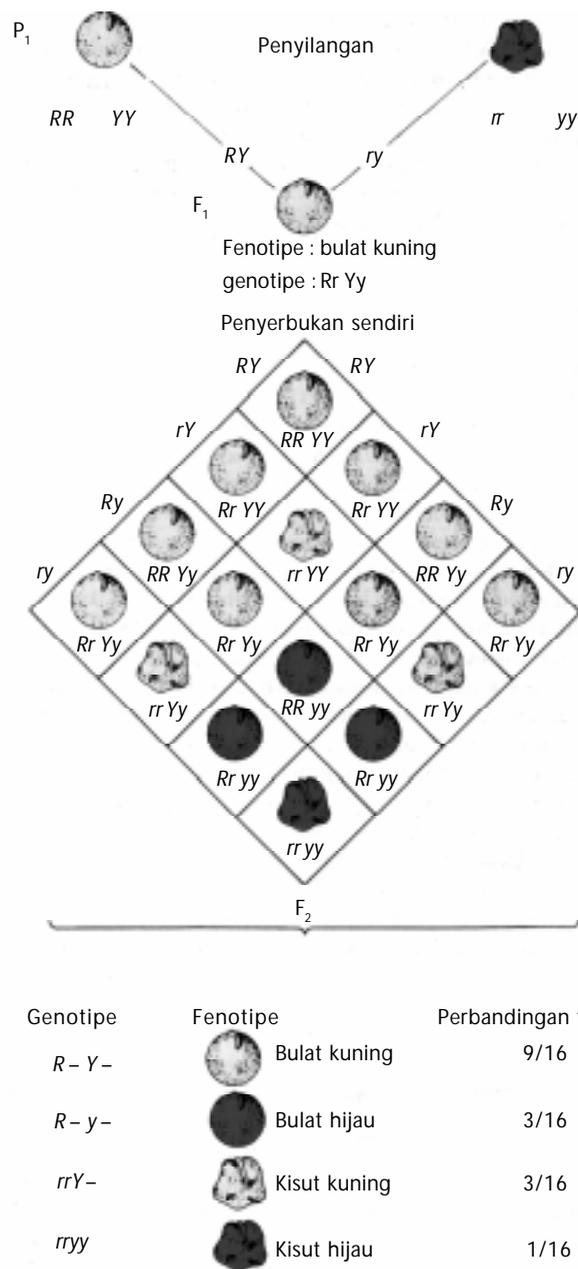
Mendel melakukan sebuah percobaan untuk mempelajari bagaimana dua ciri, bentuk dan warna biji, dapat berinteraksi dalam pewarisan sifat. Setelah mengetahui pada bentuk biji, sifat biji bulat dominan terhadap biji kisut, Mendel menyilangkan galur murni biji bulat kuning (RRYY) dengan galur murni biji kisut hijau (rryy).

Persilangan dengan dua ciri beda ini disebut persilangan dihibrid. Sebelumnya Mendel melakukan persilangan tanaman ercis dengan satu ciri yang disebut persilangan monohibrid. Persilangan dihibrid antara galur murni biji bulat kuning dan biji kisut hijau menghasilkan generasi F_1 semua biji bulat kuning.

Pada persilangan antara F_1 dan F_1 , dihasilkan generasi F_2 yang bervariasi. Termasuk dua fenotipe baru yang belum terlihat pada kedua induk. Tampaknya, alel dari gen untuk warna dan bentuk biji memisah secara bebas pada pembentukan gamet generasi F_2 sehingga dihasilkan empat jenis polen dan sel telur dengan kombinasi gen yang berbeda. Setiap gamet dapat memiliki kombinasi gen RY, ry, rY, atau Ry. Rekombinasi atau penyusunan kembali gen-gen yang terjadi melalui fertilisasi menghasilkan 16 kombinasi alel. Dari 16 kombinasi, dihasilkan 9 macam genotipe dan 4 macam fenotipe dengan perbandingan 9:3:3:1.

Kata Kunci

- Dihibrid
- Pengelompokan secara bebas
- Segitiga pascal



Gambar 4.23

Persilangan dihibrid dan kombinasi sifat yang didapatkan

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Dari hasil tersebut, Mendel menyimpulkan hasilnya dan dikenal dengan Hukum II Mendel, hukum pengelompokan secara bebas (independent assortment). Hukum ini menyatakan bahwa alel dari gen yang berbeda dibagikan secara acak ke dalam gamet-gamet dan fertilisasi terjadi secara acak pula.

Persilangan monohibrid menghasilkan perbandingan fenotipe 3:1. Adapun persilangan dihibrid menghasilkan perbandingan fenotipe 9:3:3:1. Bagaimana perbandingan fenotipe dengan tiga ciri atau bahkan lebih? Hal tersebut dapat diketahui menggunakan segitiga Pascal. Perhatikan Tabel 4.2 berikut.

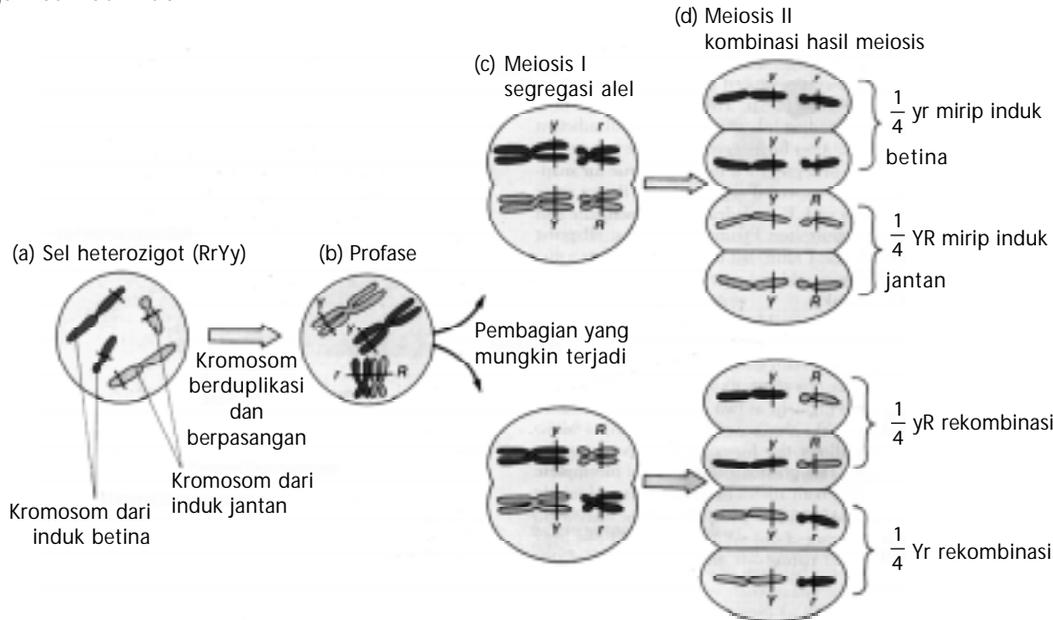
Tabel. 4.2 Segitiga Pascal untuk Mengetahui Perbandingan Fenotipe

| umlah Ciri | umlah Macam Gamet F ₁ | Kemungkinan Macam Fenotipe F ₂ | Perbandingan Fenotipe F ₂ |
|------------|----------------------------------|---|--|
| 1 | 2 ¹ 2 | 1 1 | 3 : 1 |
| 2 | 2 ² 4 | 1 2 1 | 9 : 3 : 3 : 1 |
| 3 | 2 ³ 8 | 1 3 3 1 | 27 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 1 |
| 4 | 2 ⁴ 16 | 1 4 6 4 1 | 81 : 27 : 27 : 27 : 27 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 9 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1 |
| 5 | 2 ⁵ 43 | 1 5 10 10 5 1 | 243 ... dan seterusnya |
| n | 2 ⁿ | dan seterusnya | 3 ⁿ : ... dan seterusnya |

2. Kromosom, Meiosis, dan Pewarisan Sifat

Pada 1902, seorang sarjana Amerika, Walter Sutton dan seorang ahli biologi Jerman, Theodor Boveri secara terpisah menemukan hubungan antara pembelahan meiosis dan pola pewarisan sifat Mendel. Mereka mengamati bahwa kromosom pada pembelahan meiosis memiliki perilaku yang mirip dengan perilaku gen-gen yang dijelaskan Mendel.

Sutton meneliti sel testis belalang dan menemukan bahwa kromosom berpisah selama meiosis. Gen-gen tersusun kembali dan mengelompok secara acak. Melalui pengamatan yang hati-hati, Sutton dan Boveri mengajukan teori kromosom pewarisan sifat. Berdasarkan teori ini, kromosom membawa unit hereditas (gen) Mendel. Unit hereditas ini memisah dan tersusun kembali dalam meiosis dan fertilisasi. Perhatikan gambar berikut.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Gambar 4.24

Segresi dan pengelompokan secara bebas yang terjadi pada kromosom saat meiosis pembentukan gamet.

Gambar tersebut memperlihatkan pergerakan kromosom selama meiosis dan bagaimana gen dibagikan selama pembentukan gamet. Induk jantan dari generasi P₁ memberikan alel Y dan R, sedangkan induk betina memberikan alel y dan r kepada sel tubuh F₁ (Gambar 4.24a). Individu F₁ akan dewasa dan menghasilkan gamet (Gambar 4.24b).



Sekilas Biologi

Penyimpangan semu hukum Mendel menghasilkan perdebatan di kalangan ilmuwan saat itu. Seorang ahli genetika Soviet, Trofim Lysenko (1898–1976), merupakan orang yang berpengaruh pada zaman pemerintahan Stalin. Lysenko mengusir ahli-ahli genetika pengikut Mendel dan mendominasi genetika Soviet selama bertahun-tahun.

Sumber: *Jendela IPTEK: Evolusi*, 1996

Saat pembentukan gamet, dua pasang kromosom homolog dapat tersusun dalam dua cara yang berbeda saat metafase (Gambar 4.24c). Cara pertama menghasilkan gamet dengan susunan kromosom mirip induk P_1 . Menghasilkan gamet dengan kombinasi gen YR dan yr. Cara kedua menghasilkan gamet rekombinasi (kombinasi baru) dengan kombinasi gen yR dan Yr (Gambar 4.24d). Hasil kerja Sutton dan Boveri ini memperlihatkan hubungan antara gen, kromosom, meiosis, dan pewarisan sifat yang dikemukakan Mendel.

3. Penyimpangan Semu Hukum Mendel

Meskipun hukum Mendel merupakan dasar dari perwarisan sifat, penelitian lebih lanjut menemukan bahwa banyak gen yang tidak sesuai hukum Mendel. Jika perbandingan dengan fenotipe F_2 hasil persilangan monohybrid dan dihibrid berdasarkan hukum Mendel adalah 3:1 dan 9:3:3:1, penelitian lain menghasilkan perbandingan F_2 yang berbeda. Misalnya, 9:3:4, 12:3:1, dan 9:7.

Penelitian lebih lanjut mengungkapkan bahwa hal tersebut disebabkan oleh adanya interaksi antargen. Interaksi tersebut menghasilkan perbandingan fenotipe yang menyimpang dari hukum Mendel. Interaksi antargen yang menyebabkan penyimpangan semu hukum Mendel dapat berupa epistasis hipostatis, polimeri, kriptomeri, dan adanya gen komplementer.

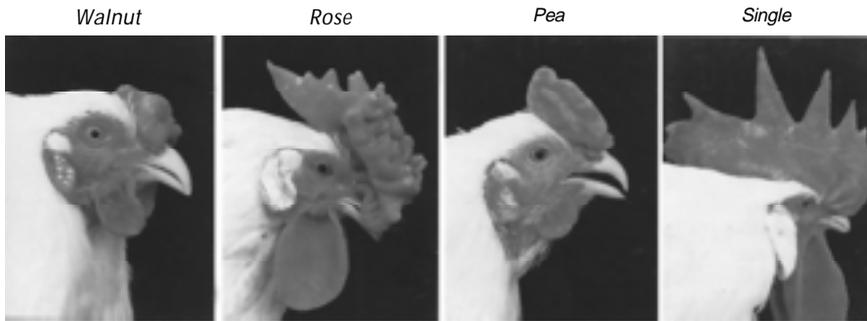
a. Epistasis dan Hipostatis

Fenomena ini diungkapkan kali pertama oleh William Bateson dan R.C Punnett. Mereka mengawinkan berbagai macam ayam dengan memerhatikan bentuk jengger. Persilangan antara ayam berjengger tipe rose (mawar) dengan tipe pea (ercis) menghasilkan 100% ayam berjengger alnut.

Semula, munculnya ayam berjengger alnut diduga merupakan sifat intermedier (sifat antara) yang muncul jika gennya heterozigot. Akan tetapi, jika ayam F_1 berjengger alnut tersebut dikawinkan sesamanya, dihasilkan empat fenotipe dengan perbandingan 9:3:3:1. Selain fenotipe jengger ayam rose, pea, dan alnut muncul satu sifat baru lain, yakni single (tunggal).

Diagram Persilangan Ayam Berjengger Rose dan Ayam Berjengger Pea

| | | | | | |
|-------|------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| P_1 | genotipe : ♀ RRpp | | | rrPP ♂ | |
| | fenotipe : rose | | | pea | |
| | gamet : Rp | | ↓ | rP | |
| F_1 | | | RrPp | | |
| P_2 | genotipe : RrPp | | | RrPp | |
| | fenotipe : alnut | | | alnut | |
| | gamet : RP, rP, Rp, rp | | ↓ | RP, rP, Rp, rp | |
| F_2 | ♀ ♂ | RP | rP | Rp | rp |
| | RP | RRPP alnut | RrPP alnut | RRPp alnut | RrPp alnut |
| | rP | RrPP alnut | rrPP pea | RrPp alnut | rrPp pea |
| | Rp | RRPp alnut | RrPp alnut | RRpp rose | Rrpp rose |
| | rp | RrPp alnut | rrPp pea | Rrpp rose | rrpp single |



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

Gambar 4.25

Empat tipe jengger ayam

Jengger tipe alnut dan single merupakan tipe jengger baru yang muncul dan tidak dijumpai pada kedua induk. Hal ini disebabkan oleh adanya interaksi antargen. Adanya empat sifat beda dengan perbandingan 9:3:3:1 memberikan petunjuk bahwa terdapat dua pasang alel yang berbeda ikut mempengaruhi bentuk jengger ayam.

Sepasang alel (RR) menentukan tipe jengger rose dan sepasang alel (PP) menentukan tipe jengger pea. Interaksi antar gen rose dan pea menghasilkan fenotipe alnut (R-P-) dan single (rrpp).

Gen R dominan terhadap alel r dan gen P dominan terhadap p. Satu atau sepasang gen R dominan terhadap gen r, dalam hal ini menghasilkan fenotipe baru, yakni alnut. Sepasang gen rrpp menghasilkan fenotipe baru, single. Meskipun terdapat dominansi antara gen P dan gen R, gen-gen tersebut bukanlah gen sealel (Suryo, 2001: 131).

Peristiwa sebuah atau sepasang gen yang menutupi atau mengalahkan ekspresi gen lain yang bukan sealel disebut epistasis. Adapun gen yang kalah disebut hipostasis. Terkadang, peristiwa epistasis dan hipostasis menghasilkan fenotipe baru (Starr Taggart, 1995:179)

Epistasis dapat dibedakan berdasarkan dominansi terhadap gen lain menjadi:

1) Epistasis dominan

Hal ini terjadi jika suatu gen bersifat epistasis terhadap gen lain jika bersifat dominan terhadap alelnya. Misalnya, terdapat gen A dan B yang mengatur suatu ciri, maka pada epistasis dominan berlaku sifat gen:

A epistasis terhadap B dan b

2) Epistasis resesif

Pada epistasis ini, gen akan bersifat epistasis jika dalam keadaan resesif terhadap alelnya. Contohnya:

aa epistasis terhadap B dan b

3) Epistasis dominan dan resesif

Epistasis jenis ini terjadi jika pada suatu ciri yang dikendalikan oleh dua gen dan terdapat epistasis dominan dan resesif. Contohnya:

A epistasis terhadap B dan b
bb epistasis terhadap A dan a



Fakta Biologi

Charles Darwin menamai peristiwa munculnya kembali suatu sifat keturunan yang telah menghilang selama beberapa generasi sebagai **atavisme**. Peristiwa epistasis dapat menyebabkan timbulnya suatu sifat yang telah menghilang selama beberapa generasi. Atavisme sering dijumpai pada perkawinan burung dara kipas yang dapat menghasilkan anak berekor lurus menyerupai burung dara liar.

Sumber: *Suryo*, 2001

Contoh Soal 4.1

Warna umbi lapis bawang (*Allium sp.*) dipengaruhi dua gen

M: gen untuk umbi merah

K : gen untuk umbi kuning

Gen M epistasis terhadap gen K. Adapun genotipe mmkk menghasilkan fenotipe baru, yakni umbi lapis putih. Tentukan perbandingan fenotipe generasi ke-2.

P genotipe : ♀ MMkk mmKK ♂
 fenotipe : Merah kuning

gamet : Mk mK
 F₁ genotipe : MmKk
 fenotipe : Merah
 gamet : MK, Mk, mK, mk

| ♀ \ ♂ | MK | Mk | mK | mk |
|-------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| MK | MMKK merah | MMKk merah | MmKK merah | MmKk merah |
| Mk | MMKk merah | MMkk merah | MmKk merah | Mmkk merah |
| mK | MmKK merah | MmKk merah | mmKK kuning | mmKk kuning |
| mk | MmKk merah | mMkk merah | mmKk kuning | mmkk kuning |

F₂ : M-K- 9 Umbi lapis merah
 M-kk 3 Umbi lapis merah
 mmK- 3 Umbi lapis kuning
 mmkk 1 Umbi lapis putih

Perkawinan antara bawang dengan umbi lapis warna merah homozigot dengan kuning homozigot menghasilkan generasi F₁ 100% berumbi lapis warna merah. Persilangan antar F₁ menghasilkan generasi F₂ dengan perbandingan umbi lapis merah, kuning dan putih sebesar 12 : 3 : 1.

Terlihat perbandingan fenotipe tersebut berbeda dari hukum Mendel, tetapi sebenarnya tidak demikian. Perbandingan fenotipe perkawinan dihibrid ini tetap 9 : 3 : 3 : 1, hanya perbandingan fenotipe yang mengalami modifikasi menjadi (9 + 3) : 3 : 1.



Aktivitas Biologi 4.1

Epistasis dan Hipotasis

Tujuan

Menentukan genotipe hasil epistasis dan hipotasis

Alat dan Bahan

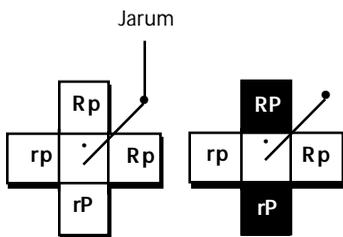
1. Dua buah baling-baling genetik yang memiliki empat tangan seperti tampak pada gambar
2. Jarum pentul
3. Papan

Langkah Kerja

1. Siapkan 2 buah baling-baling genetik.
2. Tancapkan kedua buah baling-baling genetik tersebut pada sebidang papan.
3. Putarlah kedua baling-baling secara bersamaan dan hentikan secara acak
4. Amati tangan baling-baling yang bertemu. Catatlah dalam suatu tabel. Lakukan terus hingga menghasilkan minimal 96 kombinasi.

Pertanyaan

Bagaimana hasilnya? Tuliskan genotipe dan fenotipe yang diperoleh berikut perbandingannya.



Keterangan:

R = rose

P = pea

R dan P jika bertemu = walnut

r dan p jika bertemu = single

b. Polimeri

elston Ehle membuktikan polimeri ketika menyilangkan gandum kulit merah dengan kulit putih. Generasi F_1 hasil perbandingan tersebut menghasilkan 100% gandum kulit merah. Persilangan F_1 menghasilkan generasi F_2 dengan perbandingan kulit merah dan putih sebesar 15:1. Dari perbandingan tersebut dapat diduga bahwa persilangan yang dilakukan merupakan persilangan dihibrid.

Perbandingan 15:1 merupakan modifikasi dari hukum Mendel mengenai persilangan dihibrid. Perbandingan 15:1 dihasilkan dari modifikasi perbandingan $(9 + 3 + 3) : 1$. Penelitian lebih lanjut memperlihatkan bahwa gen pembawa sifat merah adalah dominan dan terdapat dua pasang alel yang menentukan sifat kulit merah. Perhatikan persilangan berikut.

Diagram Persilangan Gandum warna Merah dan warna Putih

Gen merah disimbolkan M_1 dan M_2 , sedangkan gen putih disimbolkan dengan m_1 dan m_2 .

| | | |
|--|----------|--|
| <p>P genotipe : merah fenotipe : ♀ $M_1M_1M_2M_2$ gamet : M_1M_2</p> | <p>↓</p> | <p>putih genotipe : ♂ $m_1m_1m_2m_2$ fenotipe : m_1m_2 merah genotipe : ♂ $M_1m_1M_2m_2$ fenotipe : $M_1m_1M_2m_2$ gamet : $M_1M_2, M_1m_2, m_1M_2, m_1m_2$</p> |
|--|----------|--|

| ♀ \ ♂ | ♂ | M_1M_2 | M_1m_2 | m_1M_2 | m_1m_2 |
|----------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| M_1M_2 | ♂ | $M_1M_1M_2M_2$ (merah) | $M_1M_1M_2m_2$ (merah) | $M_1m_1M_2M_2$ (merah) | $M_1m_1M_2m_2$ (merah) |
| M_1m_2 | ♂ | $M_1M_1M_2m_2$ (merah) | $M_1M_1m_2m_2$ (merah) | $M_1m_1M_2m_2$ (merah) | $M_1m_1m_2m_2$ (merah) |
| m_1M_2 | ♂ | $M_1m_1M_2M_2$ (merah) | $M_1m_1M_2m_2$ (merah) | $m_1m_1M_2M_2$ (merah) | $m_1m_1M_2m_2$ (merah) |
| m_1m_2 | ♂ | $M_1m_1M_2m_2$ (merah) | $M_1m_1m_2m_2$ (merah) | $m_1m_1M_2m_2$ (merah) | $m_1m_1m_2m_2$ (putih) |

F_2 M_1 - - - 15 merah
 $m_1m_1m_1m_1$ 1 putih

Berdasarkan hasil generasi F_2 , diketahui bahwa terdapat 15 dari 16 kemungkinan perkawinan menghasilkan fenotipe merah, karena mengandung gen dominan M. Adapun satu kemungkinan menghasilkan fenotipe putih karena tidak memiliki gen dominan M. Hasil generasi F_2 juga mengungkapkan bahwa semakin banyak gen dominan M, semakin tua warna kulit gandum tersebut. Jika terjadi sebaliknya, warna kulit gandum semakin putih.

Dari percobaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa polimeri merupakan peristiwa dipengaruhi satu ciri oleh banyak gen yang berdiri sendiri dan terjadi secara akumulatif. Semakin banyak gen yang memengaruhi, semakin nyata perbedaannya. Contoh lain polimeri terjadi pada warna iris mata manusia dan warna kulit.

c. Kriptomeri

Kriptomeri kali pertama diungkapkan oleh Corens pada saat menyilangkan bunga *Linaria maroccana* galur murni warna merah dan putih. Generasi F₁ hasil persilangan didapatkan semua bunga berwarna ungu. Kemudian bunga tersebut disilangkan dengan sesamanya menghasilkan generasi F₂. Hasilnya, didapatkan fenotipe bunga ungu, merah, dan putih dengan perbandingan 9:3:4. Dari hasil tersebut diduga kuat bahwa persilangan tersebut merupakan persilangan dihibrida.

Berdasarkan penelitian Correns, gen pembentuk antosianin dominan terhadap gen tanpa antosianin. Pigmen antosianin berwarna merah jika berada dalam sitoplasma sel yang bersifat asam. Jika sitoplasma bersifat basa, pigmen berwarna ungu. Sifat asam basa sitoplasma ini dipengaruhi oleh gen lain. Gen penyebab sitoplasma basa ini bersifat dominan.

Berdasarkan dua ciri, pembentukan antosianin dan derajat keasaman sitoplasma menyebabkan fenotipe bunga warna ungu tersembunyi. Warna ungu akan tampak jika kedua gen dominan muncul. Karena itulah peristiwa ini disebut kriptomeri (kriptos tersembunyi). Perhatikan persilangan berikut.

Diagram Persilangan Bunga *Linaria maroccana*

| | | | | |
|----------------|------------|--------|---|--------|
| P | genotipe : | merah | | putih |
| | fenotipe : | ♀ AAbb | ↓ | aaBB ♂ |
| | gamet : | Ab | | aB |
| F ₁ | genotipe : | ungu | | ungu |
| | fenotipe : | AaBb | | AaBb |
| | gamet : | AB, Ab | | aB, bb |

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

| | | | |
|----------------|-------|---|-------------------------------------|
| F ₂ | A-B- | 9 | ungu (antosianin, basa) |
| | A-bb | 3 | merah (antosianin, asam) |
| | aa- - | 4 | putih (tanpa antosianin, basa asam) |

Perbandingan fenotipe F₂ 9:3:4 terlihat tidak sesuai dengan perbandingan fenotipe dihibrid menurut Mendel. Sebenarnya perbandingan tersebut hanyalah modifikasi dari hukum Mendel, yaitu 9:3 : (3 + 1).

d. Komplementer

Fenomena gen komplementer kali pertama diamati oleh . Bateson dan R.C. Punnet saat mengamati persilangan bunga *Athyrus odoratus*. Komplementer merupakan interaksi gen yang saling melengkapi. Jika salah satu gen tidak muncul, sifat yang dimaksud juga tidak muncul atau tidak sempurna.

Pada bunga *athyrus odoratus*, terdapat dua gen yang saling berinteraksi dalam memunculkan pigmen pada bunga.

Gen C : membentuk pigmen warna

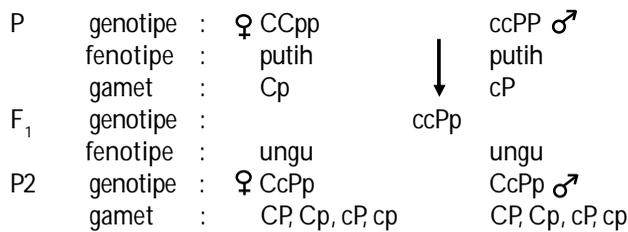
Gen c : tidak membentuk pigmen warna

Gen P : membentuk enzim pengaktif pigmen

Gen p : tidak membentuk enzim pengaktif pigmen

Berdasarkan gen-gen tersebut, warna pada bunga hanya akan timbul jika kedua gen, penghasil pigmen (C) dan penghasil enzim pengaktif pigmen (P), muncul. Jika salah satu atau kedua gen tidak muncul, bunga tidak berwarna (putih). Perhatikan persilangan berikut.

Diagram persilangan *Lat y u odo atu*



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

| | | | |
|----------------|-------|---|---|
| F ₂ | C-P - | 9 | ungu (pigmen warna, enzim pengaktif) |
| | C-pp | 3 | putih (pigmen warna, tanpa enzim pengaktif) |
| | ccP- | 3 | putih (tanpa pigmen warna, enzim pengaktif) |
| | ccpp | 1 | putih (tanpa pigmen dan enzim) |

Berdasarkan hasil persilangan, generasi F₂ menghasilkan perbandingan fenotipe ungu dan putih sebesar 9:7. Sepintas, tampak hal tersebut tidak sesuai hukum Mendel. Akan tetapi, sebenarnya perbandingan 9:7 tersebut hanya modifikasi dari perbandingan 9 : (3+3+1).

4. Pautan dan Pindah Silang

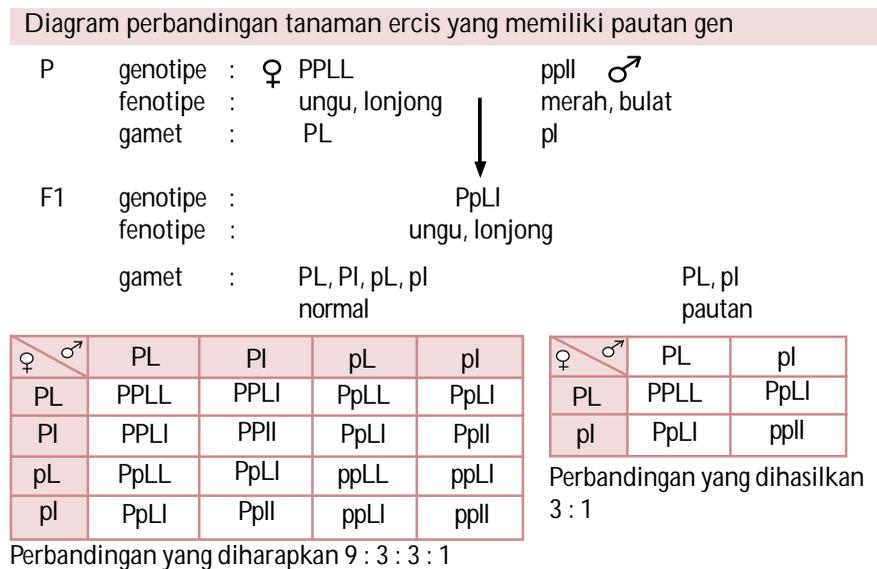
Meskipun prinsip dasar Hukum II Mendel adalah adanya pengelompokan secara bebas (*independent assortment*), para ahli genetika akhirnya mengetahui bahwa tidak semua gen mengelompok secara bebas. Beberapa diturunkan bersama-sama atau saling terkait. Fenomena ini menyebabkan perbedaan hasil persilangan yang tidak sesuai hukum Mendel yang disebut pautan. Selain pautan, perbedaan hasil juga diperoleh jika terjadi pindah silang (*crossing over*) antarkromosom.

a. Pautan

Terjadinya pautan (*gen linkage*) antargen ini ternyata disebabkan oleh letak gen-gen tersebut masih berada dalam kromosom yang sama. Oleh sebab itu, ketika kromosom memisah sewaktu meiosis dan membentuk gamet, kedua gen tetap bersama.

Salah satu contoh pautan terjadi pada penelitian oleh Iliam Bateson dan R.C. Punnett sekitar 1905. Mereka mengembangkan tanaman ercis galur murni yang mengandung gen P untuk warna bunga ungu yang dominan terhadap gen p untuk warna bunga merah. Tanaman tersebut juga mengandung gen L untuk polen lonjong yang dominan terhadap gen l untuk polen bulat.

Pertama, mereka menyilangkan tanaman dengan alel homozigot. Hasilnya, semua generasi F₁ menghasilkan tanaman bunga ungu dengan polen lonjong (PpLl) seperti yang telah diduga sebelumnya. Ketika sesama F₁ disilangkan, perbandingan fenotipe yang tidak biasa dihasilkan. Perhatikan diagram berikut.



| Generasi F ₂ yang Dihasilkan | | | | | |
|---|----------|---------|--------|----------|---------|
| Dominansi normal | | | Pautan | | |
| Hasil | Fenotipe | | Hasil | Fenotipe | |
| | Bunga | Polen | | Bunga | Polen |
| 9 | ungu | lonjong | 3 | ungu | lonjong |
| 3 | ungu | bulat | 1 | merah | bulat |
| 3 | merah | lonjong | | | |
| 1 | merah | bulat | | | |

Berdasarkan persilangan tersebut, terlihat bahwa terdapat pautan antara gen P dengan L dan p dengan l. Oleh karena itu, meskipun genotipe F₁ adalah PpLl, gamet yang dihasilkan tetap bergenotipe PL dan pl. Hal ini menghasilkan generasi F₂ dengan perbandingan 3:1 (bunga ungu, polen lonjong : bunga merah, polen bulat).

b. Pindah Silang

Sebenarnya, sebelum didapat kesimpulan bahwa peristiwa persilangan tanaman ercis oleh Iliam Bateson dan R.C. Punnett adalah peristiwa pautan, mereka dikejutkan oleh hasil perbandingan dari data asli yang

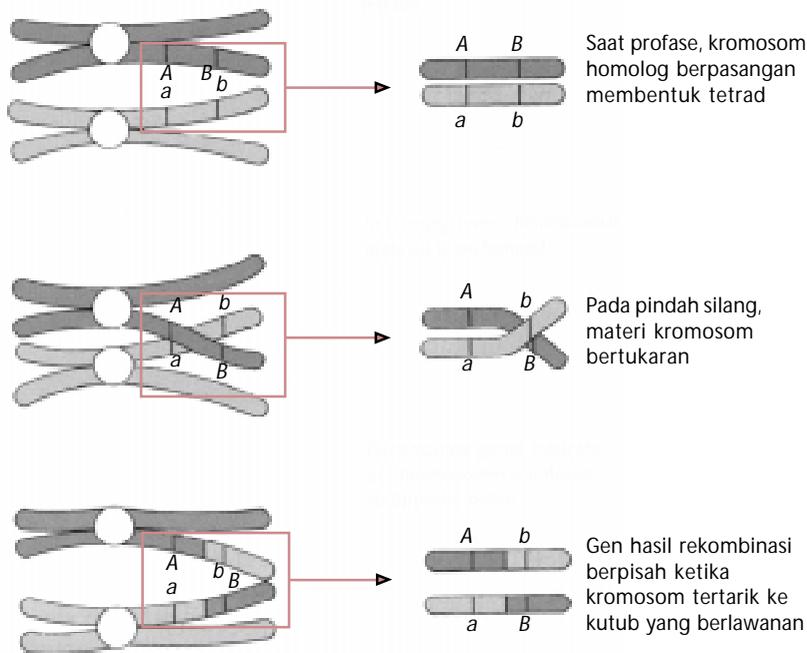
didapat. Dari data tersebut, terdapat sejumlah kecil hasil dengan fenotipe ungu bulat dan merah lonjong yang seharusnya tidak ada jika terjadi pautan saja pada gen-gennya.

Tabel. 4.3 Perbandingan Hasil Persilangan Dihibrid Normal, Hasil Asli Persilangan, dan Hasil Pautan

| Fenotipe | | ormal | Data Asli | Pautan |
|----------|---------|---------|-----------|--------|
| Bunga | Polen | | | |
| ungu | lonjong | 56% (9) | 74% | 75% |
| ungu | bulat | 19% (3) | 6% | – |
| merah | lonjong | 19% (3) | 6% | – |
| merah | bulat | 6% (1) | 14% | 25% |

Melalui pengamatan lebih lanjut, para ahli genetika mengetahui bahwa hasil tersebut dapat terjadi melalui mekanisme pindah silang (crossing over) yang terjadi selama meiosis. Selama meiosis, kromosom homolog saling berpasangan membentuk tetrad. Pada keadaan ini, terjadi pertukaran materi genetik antara kromosom dan pasangan homolognya. Menyebabkan gen-gen dapat berpindah dari satu kromosom ke kromosom homolognya.

Perpindahan ini dapat terjadi sepanjang pasangan kromosom. Proses ini disebut juga pindah silang (crossing over). Pada proses meiosis, pindah silang terjadi pada kiasma. Oleh karena materi serta susunan gen berubah akibat pindah silang, proses ini disebut juga rekombinasi gen.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 4.26
Peristiwa pindah silang

Jika dua gen berpautan, kedua gen ini akan bersama-sama diwariskan dalam satu gamet. Akan tetapi, jika terjadi pindah silang dalam proses meiosis, kedua gen tersebut dapat berpisah dan membentuk rekombinasi baru dalam gametnya. Hal inilah yang menyebabkan adanya hasil pada sifat bunga ungu-polen bulat dan bunga merah-polen lonjong, meskipun nilai tersebut kecil.

5. Determinasi dan Pautan Seks

Prinsip pewarisan sifat yang diajukan Mendel berlaku bagi banyak ciri dan sifat yang diturunkan. Akan tetapi, pola pewarisan sifat yang ada di alam lebih beraneka ragam. Di antaranya penentuan (determinasi) jenis kelamin dan gen pautan seks.

a. Determinasi Seks

Determinasi seks, seperti halnya penentuan ciri khas lain dari makhluk hidup, diturunkan dari induk kepada turunannya. Mekanisme penentuan jenis kelamin ini melalui mekanisme yang sama dengan penentuan ciri lain.

Seperti yang telah Anda ketahui dari bab sebelumnya, penentuan jenis kelamin satu individu bergantung pada kromosom seks. Penentuan ini dilakukan semenjak pembentukan gamet dan proses fertilisasi. Berdasarkan tipe kromosom dan makhluk hidup yang memilikinya, determinasi seks dapat dibedakan atas tipe XY, Z, XO, dan ZO.

1) Tipe

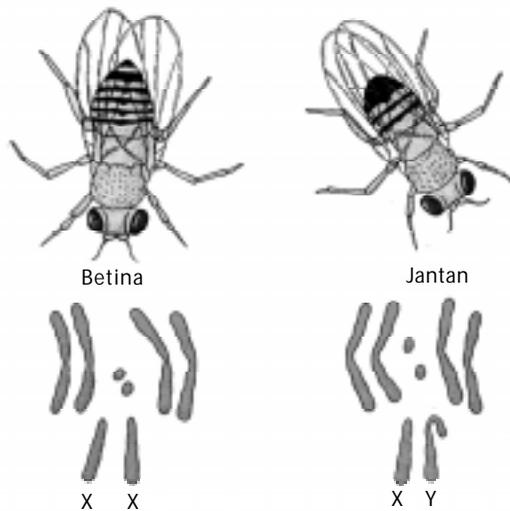
Determinasi seks berdasarkan kromosom tipe XY ini berlaku pada manusia, sebagian hewan, dan tumbuhan. Pada betina, memiliki jenis kromosom seks XX, sedangkan jantan memiliki jenis kromosom seks XY. Bagaimanakah kromosom ini diwariskan?

Jika diperhatikan, kromosom dalam sel tubuh, misalnya pada lalat *Drosophila*, berada dalam keadaan berpasangan dengan kromosom homolognya. Pada lalat *Drosophila* betina, Anda dapat dengan mudah mengelompokkan 8 buah kromosom dalam empat pasangan. Akan tetapi, pada lalat jantan, hal tersebut berbeda. Anda dapat mengelompokkan enam buah kromosom dalam tiga pasang kromosom sama, tetapi masih terdapat dua kromosom yang tidak mirip. Kedua kromosom ini, yaitu kromosom X dan Y.



Fakta Biologi

Mutasi dapat menyebabkan perubahan jumlah kromosom pada manusia. Salah satunya perubahan kromosom seks. Jika pada manusia normal, kromosom wanita XX, mutasi dapat menyebabkan individu memiliki kromosom XXX, XXY, atau hanya X saja.



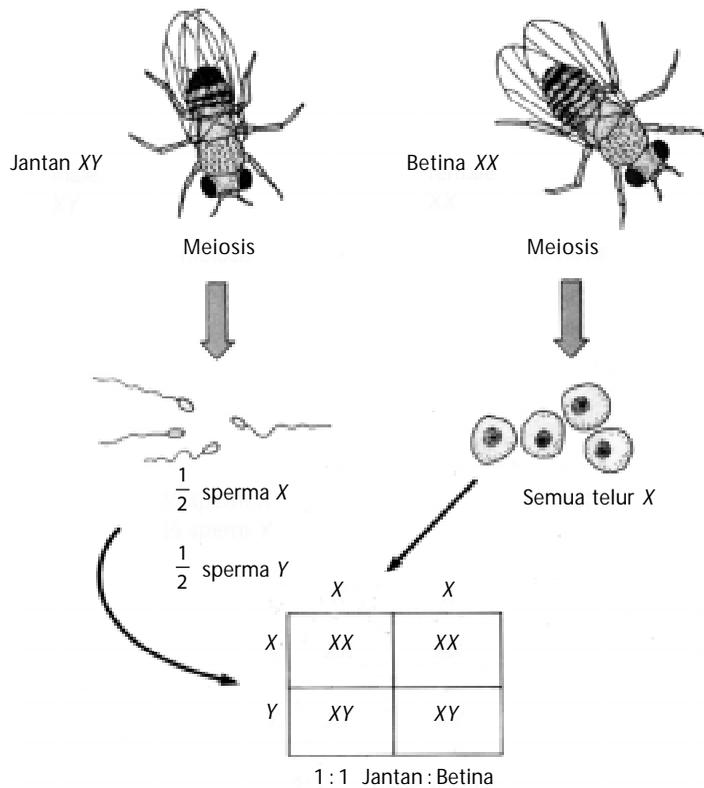
Gambar 4.27

Sel jantan dan betina pada lalat buah

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Kromosom X dan Y diberikan dari satu sel ke sel keturunannya seperti kromosom lain, kecuali saat proses meiosis. Sel tubuh betina memiliki sepasang kromosom X sehingga saat meiosis dan pembentukan gamet, semua sel gamet betina memiliki kromosom X. Adapun sel tubuh jantan memiliki kromosom X dan Y sehingga saat meiosis dan pembentukan gamet, terdapat gamet dengan kromosom X dan gamet dengan kromosom Y.

Melalui fertilisasi, gamet jantan melebur dengan gamet betina menghasilkan individu XX (betina) dan XY (jantan) dengan perbandingan fenotipe 1:1. Oleh karena itu, kemungkinan didapat individu jantan adalah 50% dan betina 50%.



Gambar 4.28

Diagram Punnet yang memperlihatkan penentuan jenis kelamin berdasarkan kromosom X dan Y

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

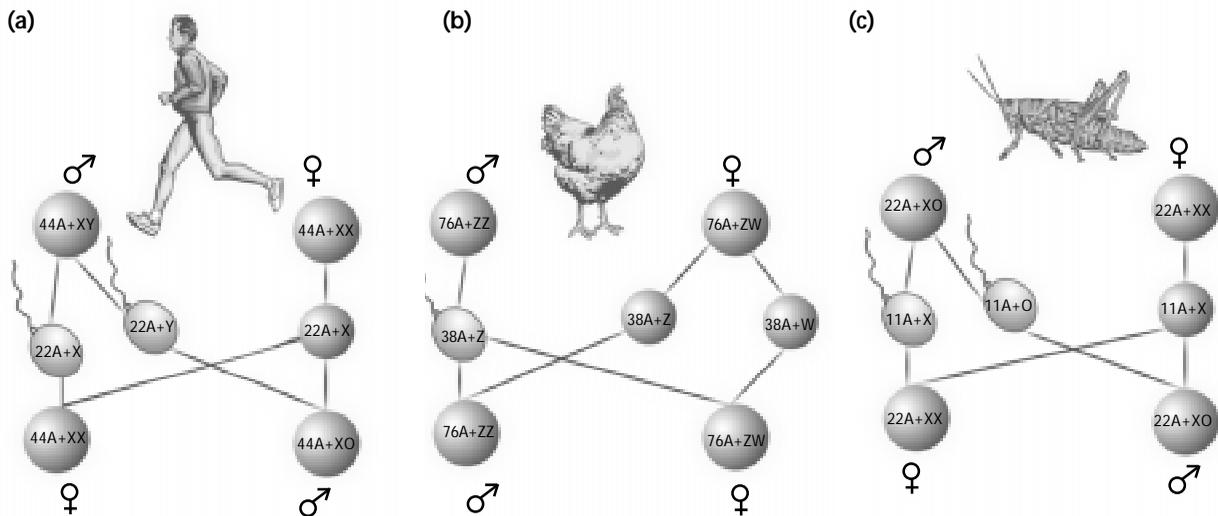
Mekanisme kromosom X dan Y juga terjadi pada manusia dan menghasilkan jenis kelamin laki-laki dan perempuan dengan kemungkinan yang sama. Apa yang terjadi pada gen-gen yang terdapat di kromosom X atau Y? Jawaban ini kali pertama ditemukan oleh Thomas Hunt Morgan, bahwa pewarisan sifat dapat berpautan dengan jenis kelamin. Penjelasan lebih lanjut dapat Anda temukan pada bahasan pautan seks.

2) Tipe Z

Penentuan jenis kelamin berdasarkan tipe ini berlaku pada beberapa unggas, kupu-kupu, reptil, dan beberapa jenis ikan. Penentuan jenis kelamin tipe ini kebalikan dengan tipe XY. Jika manusia laki-laki XY dan perempuan XX, pada tipe ini terjadi kebalikannya. Untuk menghindari kekeliruan, maka dipakai lambang ZZ untuk jantan dan Z untuk betina.

3) Tipe

Pada tipe ini, kromosom seks atau gonosom yang dimiliki jantan hanya X saja (XO), sedangkan betina XX. Penentuan jenis kelamin tipe ini berlaku pada beberapa jenis serangga, seperti kutu, belalang, serta anggota Orthoptera dan Heteroptera lain.



Gambar 4.29

Beberapa tipe penentuan jenis kelamin pada (a) manusia, (b) ayam, dan (c) belalang

4) Tipe Ploidi

Penentuan jenis kelamin tipe ini tidak ditentukan oleh kromosom kelamin, tetapi ditentukan oleh jumlah set kromosom yang dimiliki. Pada lebah, betina memiliki jumlah kromosom diploid ($2n$) hasil fertilisasi. Adapun lebah jantan merupakan individu haploid (n) yang dapat tumbuh dan berkembang menjadi individu utuh meskipun tidak dibuahi. Proses ini disebut juga partenogenesis.

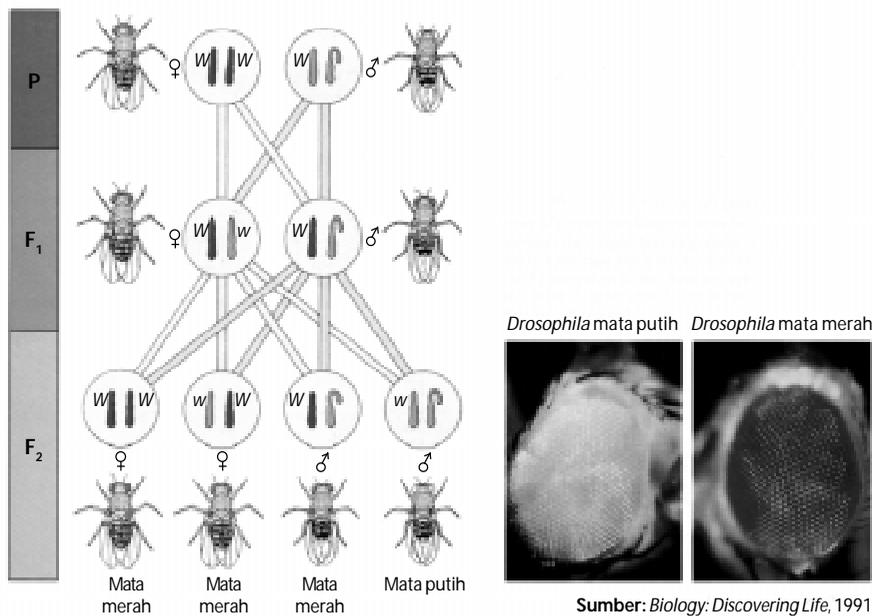
b. Pautan Seks

Thomas Hunt Morgan merupakan orang pertama yang membuktikan adanya gen pautan seks. Fenomena ini dapat diamati pada persilangan lalat buah (*Drosophila*) jantan mata putih dengan betina mata normal atau merah.

Dari hasil persilangan didapatkan semua lalat generasi F_1 , baik jantan maupun betina, 100% bermata merah. Persilangan antara sesama F_1 , menghasilkan generasi F_2 sebagai berikut.

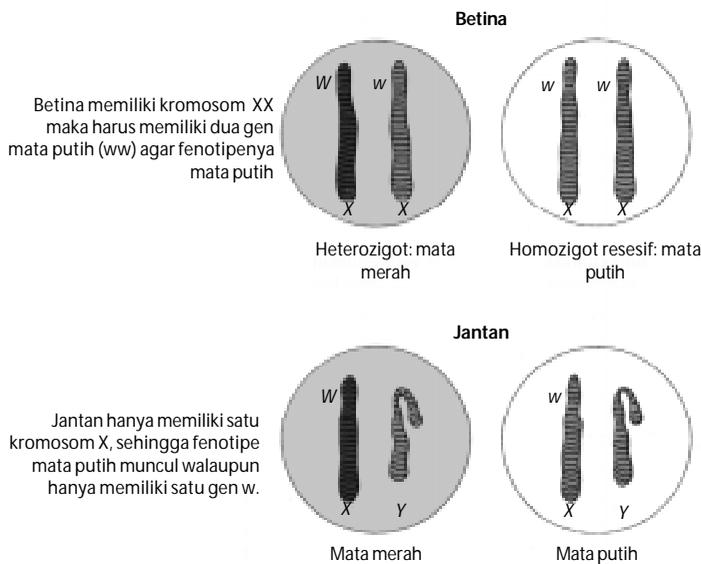
| enis Kelamin | Mata Merah | Mata Putih |
|--------------|------------|------------|
| Jantan | 25 % | 25 % |
| Betina | 50 % | 0 |

Pada generasi F_2 , diketahui bahwa tidak ada satupun lalat betina dengan mata putih. Sifat mata putih hanya ditemukan pada lalat jantan. Dari hasil tersebut, Morgan menduga bahwa gen untuk mata putih terletak pada kromosom X. Jika digunakan simbol w untuk alel mata merah dan w untuk mata putih, jantan mata putih pada P memiliki kromosom X_wY . Adapun betina mata merah adalah X_wX_w .



Gambar 4.30
Persilangan antara jantan mata putih dan betina mata merah dengan gen yang terpaut seks

Percobaan Morgan menjelaskan bahwa terdapat sifat yang diturunkan dan terpaut jenis kelamin. Pola ini berlaku juga pada gen-gen yang terletak pada kromosom X. Ketika gen resesif terdapat pada salah satu kromosom X di individu betina, sifat tersebut dapat terekspresikan atau tidak. Hal ini bergantung ada atau tidaknya gen dominan pada kromosom lain. Akan tetapi, pada individu jantan, semua gen pada kromosom X akan terekspresikan. Hal ini disebabkan tidak terdapat kromosom X lain sebagai alel gen tersebut.



Gambar 4.31
Kemungkinan letak gen W dan w pada kromosom seks lalat buah betina dan jantan

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

6. Gen Letal

Gen letal adalah gen yang dalam keadaan homozigot, menyebabkan kematian pada individu tersebut. Gen letal dapat menyebabkan kematian pada saat individu masih embrio atau setelah lahir. Ada pula gen yang menyebabkan kematian saat individu menjelang dewasa. Gen ini disebut juga gen subletal. Berdasarkan sifat dan pengaruhnya, gen letal dapat dibedakan atas gen letal dominan dan gen letal resesif.

a. Gen Letal Dominan

Gen letal dominan menyebabkan kematian pada keadaan homozigot dominan. Pada keadaan heterozigot, umumnya penderita hanya mengalami kelainan.

Contoh kelainan ini terdapat pada ayam redep. Ayam redep memiliki kaki dan sayap pendek. Dalam keadaan gen homozigot dominan, ayam mati. Jika heterozigot, ayam hidup, tetapi memiliki kelainan kaki dan sayap pendek. Perhatikan persilangan berikut.

Diagram persilangan pada ayam redep

| | | | | | |
|---|----------|---|-------|---|-------|
| P | genotipe | : | ♀ Rr | | ♂ Rr |
| | fenotipe | : | redep | | redep |
| | gamet | : | R, r | ↓ | R, r |

| | | |
|-------|----|----|
| ♀ \ ♂ | R | r |
| R | RR | Rr |
| r | Rr | rr |

| | | | |
|----------------|----|---|------------------|
| F ₁ | RR | 1 | letal (25%) |
| | Rr | 2 | ayam redep (50%) |
| | rr | 1 | normal (25%) |

Dari persilangan tersebut hanya dihasilkan ayam redep dan normal dengan perbandingan 2 : 1. Hal ini karena individu dengan genotipe homozigot (RR) selalu mati. Perbandingan ini berbeda dengan perbandingan fenotipe berdasarkan Hukum I Mendel yang menghasilkan perbandingan 3 : 1.

b. Gen Letal Resesif

Pada gen letal resesif, individu akan mati jika memiliki gen letal homozigot resesif. Pada keadaan heterozigot, individu normal, tetapi membawa gen letal.

Contoh gen ini terdapat pada tanaman jagung. Gen ini memengaruhi pembentukan klorofil. Oleh karena itu, jika individu memiliki gen homozigot resesif, tanaman menjadi albino dan mati. Perhatikan diagram berikut.

Diagram persilangan pada jagung dengan gen letal resesif

| | | | | | |
|---|----------|---|------------|---|------------|
| P | genotipe | : | ♀ Aa | | ♂ Aa |
| | fenotipe | : | hijau muda | | hijau muda |
| | gamet | : | A, a | ↓ | A, a |

| | | |
|-------|----|----|
| ♀ \ ♂ | A | a |
| A | AA | Aa |
| a | Aa | aa |

| | | | |
|----------------|----|---|-------------------------|
| F ₁ | AA | 1 | jagung hijau tua (25%) |
| | Aa | 2 | jagung hijau muda (50%) |
| | aa | 1 | albino letal (25%) |

Latihan Pemahaman Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

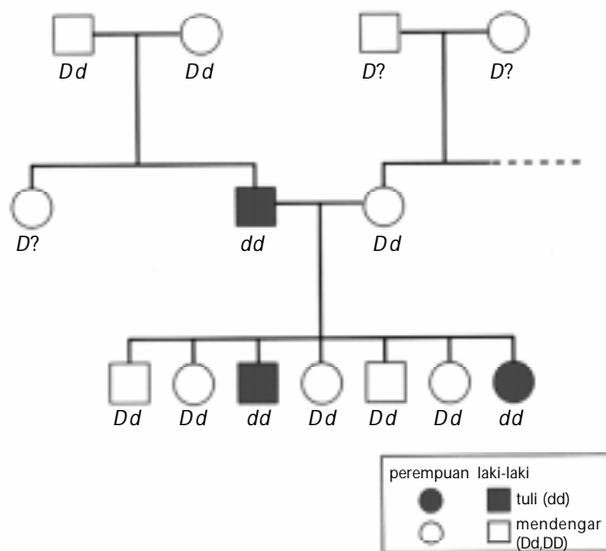
- Jelaskan hasil dari kedua percobaan Mendel.
- Tuliskan beberapa peristiwa pola pewarisan sifat yang berbeda dengan pola pewarisan sifat yang dikemukakan Mendel.
- Apa yang dimaksud dengan penyimpangan semu hukum Mendel? Jelaskan penyebab penyimpangan tersebut.
- Jelaskan hubungan kromosom, meiosis, dan pewarisan sifat.
- Jika gen A mengontrol sifat bunga merah dan a bunga hijau; gen B tumbuhan tinggi dan b pendek; gen C daun besar dan c daun kecil; gen A berpautan dengan gen C. Bagaimana fenotipe tanaman dari persilangan antara genotipe AaBBcc dan AabbCc?

E. Pewarisan Sifat pada Manusia

Anda telah mempelajari pola-pola pewarisan sifat dengan contoh-contohnya pada hewan dan tumbuhan. Bagaimanakah pola pewarisan pada manusia? Untuk dapat mengaplikasikan pola-pola pewarisan sifat yang dikemukakan Mendel pada manusia, sebelumnya harus diketahui ciri atau sifat yang diwariskan dan dipengaruhi oleh satu gen.

Hal ini tidaklah mudah, karena terkadang sulit untuk mengetahui suatu ciri sebagai ciri yang diwariskan atau sebagai pengaruh lingkungan. Hal lain yang menyulitkan, yakni pada manusia tidak dapat dilakukan test cross seperti halnya pada hewan dan tumbuhan. Manusia juga tidak menghasilkan keturunan sebanyak tumbuhan atau hewan. Oleh karena itu, biasanya bergantung pada catatan keluarga mengenai kelahiran, perkawinan, dan kematian untuk mengungkapkan pewarisan sifat pada manusia.

Catatan tersebut dibuat dalam bentuk pedigree atau peta silsilah. Peta silsilah ini dibuat dalam beberapa generasi sehingga dari peta silsilah tersebut dapat diketahui riwayat kondisi kesehatan serta sifat-sifat yang diturunkan pada keluarga tersebut. Berikut ini contoh peta silsilah tiga generasi.



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006



Sekilas Biologi

Untuk menghindari pewarisan sifat yang dapat menimbulkan penyakit turunan, pasangan yang akan menikah dapat mengikuti penyuluhan genetika. Hal ini untuk mengetahui dan menghindari kemungkinan-kemungkinan keturunannya menderita kelainan genetik.

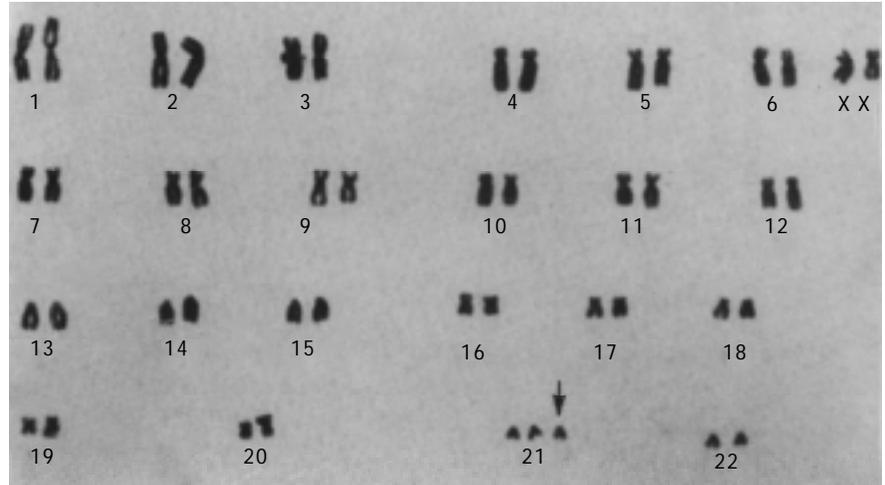
Kata Kunci

- Kariotipe
- Peta silsilah

Gambar 4.32

Peta silsilah (*pedigree*) dibuat untuk mengetahui pewarisan penyakit pada anggota keluarganya.

Selain melalui peta silsilah, cara lain untuk mengetahui apakah sifat yang diwariskan pada manusia disebabkan secara genetis, yaitu meneliti kromosom secara langsung. Proses ini dilakukan dengan pewarnaan kromosom saat metafase (mitosis) memfoto, memotong-motong gambarnya, dan mengatur berdasarkan ukuran dan bentuk. Cara ini membantu mengungkap kelainan kromosom pada manusia, seperti sindrom Down.



Gambar 4.33

Kromosom manusia dengan sindrom Down

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Tugas Anda 4.1

Beberapa sifat gen pada manusia bekerja berdasarkan hukum dominan-resesif sederhana seperti Mendel kemukakan. Sepasang alel akan mengatur satu ciri pada manusia. Salah satunya adalah ciri kemampuan lidah menggulung membentuk huruf U. Gen untuk kemampuan ini bersifat dominan terhadap gen yang tidak mampu melakukan hal tersebut.

Tugas Anda adalah membuat sebuah peta silsilah dua generasi atau lebih mengenai kemampuan lidah menggulung dalam keluarga Anda. Tentunya Anda terlebih dahulu harus mengetahui apakah lidah Anda dapat menggulung atau tidak. Gunakan simbol yang sesuai dengan pembuatan peta silsilah. Kemudian tentukanlah gen-gen yang dimiliki anggota keluarga Anda tersebut. Buatlah dalam kertas berukuran A3 dan berikan hasilnya kepada guru Anda untuk didiskusikan.

Kata Kunci

- Albinisme
- Brakidaktili
- Gangguan Mental
- Penyakit turunan
- Polidaktili

1. Abnormalitas dan Penyakit Turunan

Sifat abnormal adalah sifat yang tidak umum dalam populasi. Anda dapat mengetahui sifat abnormal sebagai ciri yang sangat berbeda. Sifat abnormal secara genetis terkadang menjadi masalah. Penyakit genetis atau turunan merupakan kelainan yang disebabkan oleh gen atau kelompok gen. Penyakit ini dapat diturunkan, bersifat tetap dan tidak menular. Penyakit turunan umumnya bersifat resesif dan individu dengan sifat heterozigot (carrier) sering tidak menyadari bahwa mereka pembawa sifat abnormal. Akhirnya, mereka menghasilkan keturunan yang menderita kelainan.

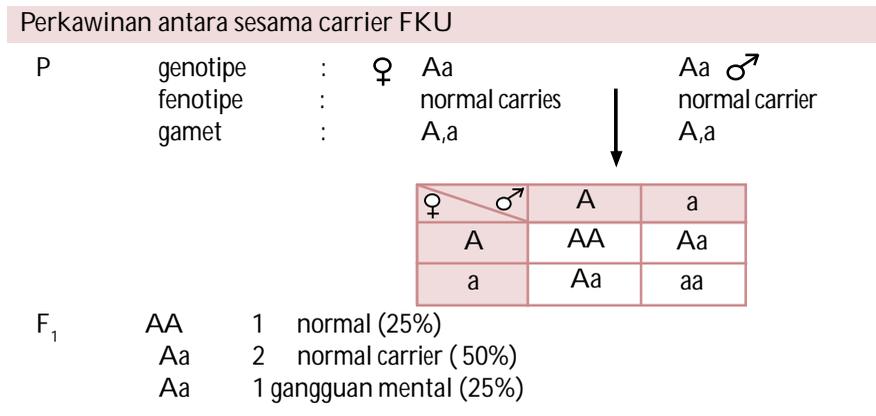
a. Pewarisan Penyakit Hormon Melalui Autosom

Penyakit turunan dapat diwariskan melalui autosom atau kromosom sel tubuh. Penyakit ini di antaranya gangguan mental, albinisme, brakidaktili, dan polidaktili.

1) Gangguan Mental

Beberapa gangguan mental yang sudah diketahui pada manusia di antaranya imbisil, debil, dan idiot. Penyebab gangguan mental ini bermacam-macam, di antaranya metabolisme abnormal fenilalanin yang menyebabkan penyakit yang disebut fenilketonuria (FKU).

Penyakit FKU disebabkan oleh kegagalan tubuh penderita menyintesis enzim yang mengubah fenilalanin menjadi tirosin. Konsentrasi fenilalanin tinggi dalam darah penderita menyebabkan kerusakan pada otak sehingga berakibat terjadinya kelainan mental. Sifat ini dikendalikan oleh gen resesif. Perhatikan diagram persilangan berikut.



2) Albinisme

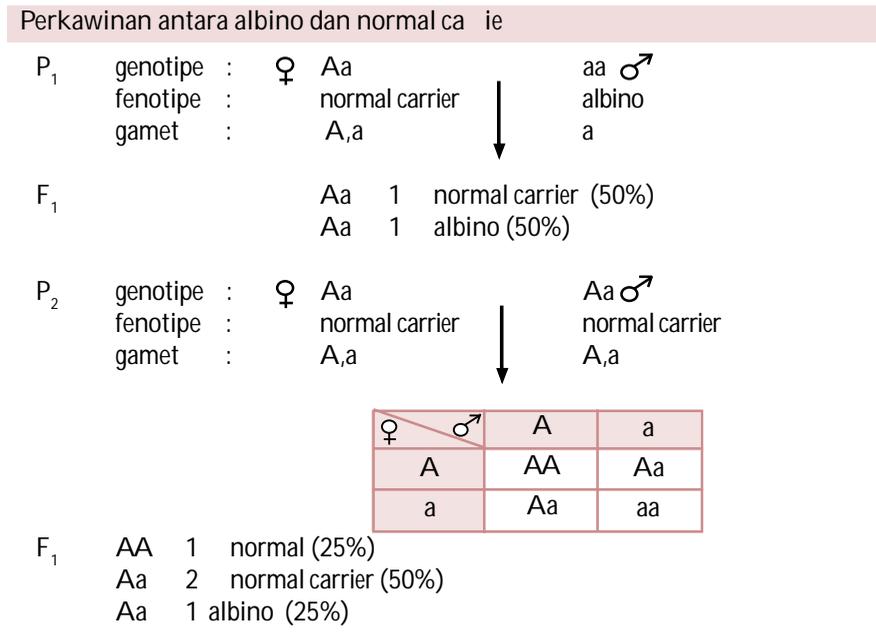
Albinisme adalah kelainan yang disebabkan ketidakmampuan tubuh membentuk pigmen melanin. Keadaan ini menyebabkan penderita albino tidak memiliki pigmen kulit, iris, dan rambut. Kulit dan mata penderita albino sangat sensitif terhadap cahaya dan mereka harus menghindari dari cahaya matahari yang terlalu terang.

Albinisme ini disebabkan oleh alel resesif yang ditemukan pada autosom. Seorang anak albino dapat lahir dari pasangan orang tua yang keduanya normal heterozigot atau dari pasangan normal dan albino.



Sumber: www.humanillnesses.com

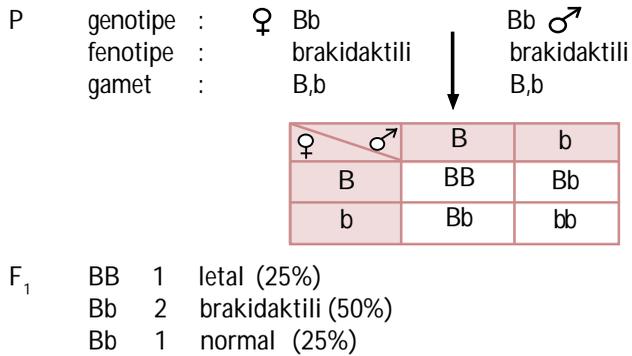
Gambar 4.34
Penderita albino



3) Brakidaktili

Brakidaktili merupakan kelainan pada ruas-ruas jari yang memendek pada manusia. Kelainan ini disebabkan oleh gen dominan (B) yang bersifat letal. Jika gen dalam keadaan homozigot dominan (BB) akan bersifat letal. Dalam keadaan heterozigot (Bb), individu menderita kelainan brakidaktili. Adapun keadaan gen homozigot resesif (bb) individu normal.

Diagram perkawinan sesama penderita brakidaktili



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

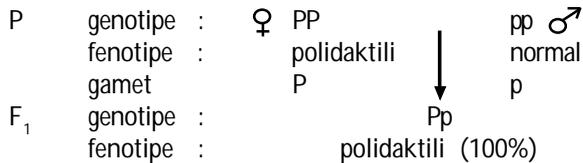
Gambar 4.35

Polidaktili merupakan pewarisan sifat berupa kelebihan jumlah jari tangan atau kaki.

4) Polidaktili

Polidaktili adalah kelainan pada manusia berupa bertambahnya jari tangan atau kaki dari jumlah normal. Kelainan ini disebabkan oleh gen dominan homozigot pada autosom. Jika gen dominan polidaktili dilambangkan P maka individu dengan gen homozigot dominan (PP) dan heterozigot (Pp) akan menderita polidaktili. Adapun individu dengan gen homozigot resesif (pp) bersifat normal.

Diagram perkawinan antara penderita polidaktili dan individu normal



Gen polidaktili memiliki pengaruh yang bervariasi terhadap fenotipe. Terkadang menghasilkan jari tambahan di tangan, kaki, atau keduanya. Polidaktili juga memperlihatkan sifat penetrasi parsial, terkadang gen tersebut tidak memengaruhi apa-apa dan individu dengan gen tersebut tetap memiliki jumlah jari kaki dan tangan yang normal.

b. Pewarisan Penyakit Turunan pada Gonosom

Selain melalui autosom, terdapat beberapa penyakit turunan yang diwariskan melalui gonosom (kromosom seks) sehingga penyakit tersebut terpaut seks. Beberapa penyakit tersebut, antara lain buta warna dan hemofilia.

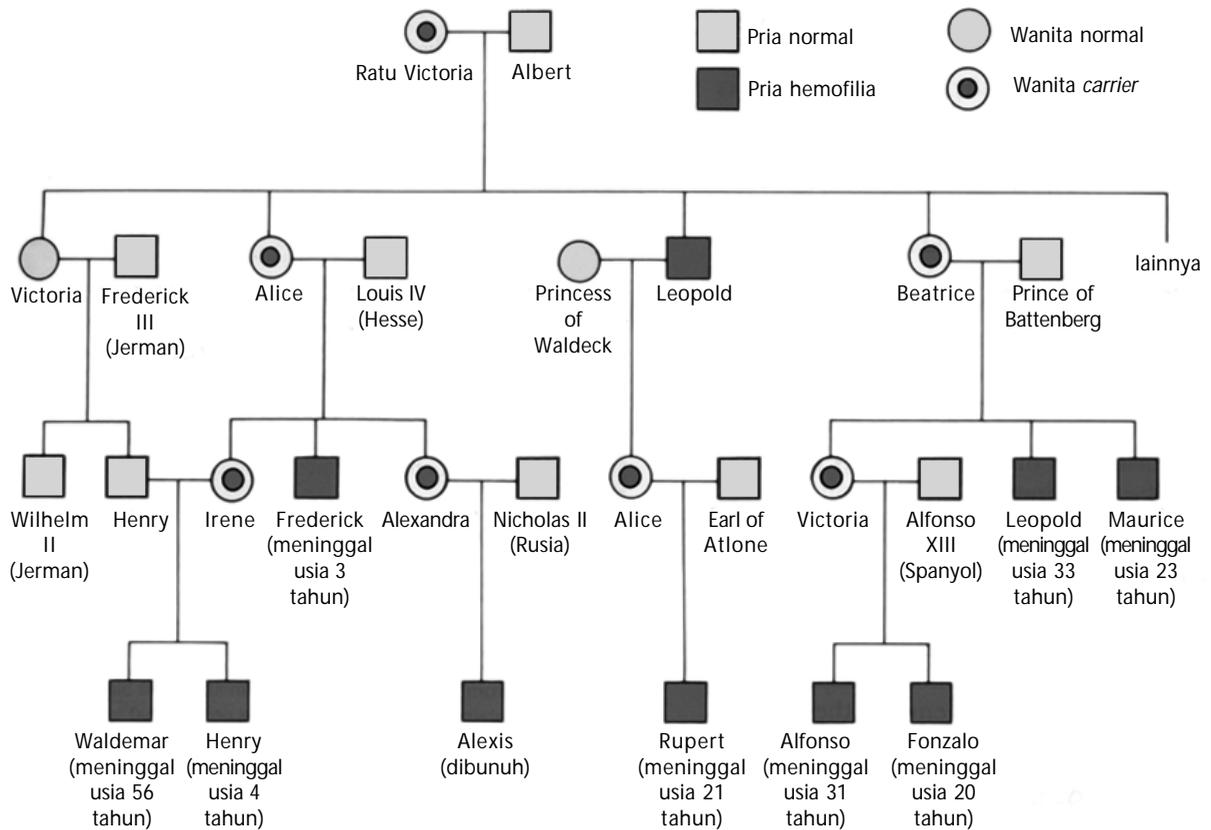
1) Buta warna

Buta warna merupakan penyakit turunan yang menyebabkan penderita tidak dapat membedakan warna-warna tertentu. Terdapat dua jenis buta warna, yakni buta warna parsial dan buta warna total. Pada buta warna parsial, penderita tidak dapat membedakan beberapa warna saja. Contohnya merah-hijau dan biru-hijau. Adapun buta warna total, ia tidak bisa membedakan semua jenis warna.

2) Hemofilia

Kelainan lain yang diwariskan melalui gonosom, di antaranya hemofilia. Kelainan ini menyebabkan tubuh tidak dapat membuat protein yang diperlukan dalam pembekuan darah. Penderita hemofilia dapat kehabisan darah dan meninggal dunia hanya karena luka kecil.

Selama beberapa generasi, kasus hemofilia terjadi pada keluarga kerajaan Inggris. Setelah para ilmuwan meneliti peta silsilah keluarga kerajaan, diketahui bahwa gen hemofilia diturunkan oleh Ratu Victoria yang memiliki genotipe heterozigot (carrier) hemofilia.



Gambar 4.36

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Peta silsilah (*pedigree*) yang mengungkap pewarisan kelainan hemofilia pada keluarga kerajaan Inggris.

Hemofilia dikendalikan oleh gen resesif yang terpaud kromosom X, seperti halnya buta warna. Pada perempuan dengan gen resesif homozigot, gen ini bersifat letal. Mungkin, calon bayi tersebut akan mati dalam kandungan sehingga tidak akan ditemukan wanita hemofilia. Laki-laki penderita hemofilia umumnya tidak hidup hingga dewasa karena sulitnya penanganan hemofilia.

Diagram perkawinan wanita pembawa dan pria normal

P genotipe : ♀ X^hX XY ♂
 fenotipe : carrier normal
 gamet : X^h, X X, Y

| | | |
|-------|--------|--------|
| ♀ \ ♂ | X^h | X |
| X^h | X^hX | X^hY |
| X | XX | XY |

| | | | |
|----------------|------------------|---|----------------------|
| F ₁ | X ⁿ X | 1 | wanita carrier (25%) |
| | X ⁿ Y | 1 | pria hemofilia (25%) |
| | XX | 1 | wanita normal (25%) |
| | XY | 1 | pria normal (25%) |

2. Golongan Darah

Pernahkah Anda memeriksakan golongan darah Anda? Apakah hasilnya? A, B, AB, atau O? Golongan darah merupakan salah satu ciri yang diwariskan pada manusia. Penentuan golongan darah ini berdasarkan ada atau tidaknya reaksi penggumpalan antardarah. Berdasarkan hal tersebut, terdapat beberapa macam penggolongan darah, di antaranya sistem AB, sistem M, dan sistem R.

a. Sistem ABO

Penggolongan darah sistem ABO ditemukan oleh K. Landsteiner sekitar 1900. Ia menemukan bahwa terkadang jika darah seseorang dicampurkan dengan yang lain, terjadi reaksi penggumpalan (aglutinasi). Akan tetapi, pada orang lain hal tersebut terkadang tidak terjadi. Berdasarkan hal inilah terbentuk empat jenis golongan darah, A, B, AB, atau O (nol).

Proses penggumpalan antargolongan darah dipengaruhi oleh kandungan aglutinogen atau antigen (antibody generator) serta aglutinin (antibody) pada darah-darah tersebut. Jika antigen bertemu dengan antibodi lawannya, darah akan menggumpal. Perhatikan tabel berikut.

Tabel 4.5 Fenotipe dan Genotipe Golongan Darah Sistem A B O

| o. | Fenotipe | Genotipe | Antigen pada Eritrosit | Antibodi pada Plasma Darah |
|----|-------------------|---|------------------------|----------------------------|
| 1. | Golongan darah A | I ^A I ^A ; I ^A I ^O | A | anti – B |
| 2. | Golongan darah B | I ^B I ^B ; I ^B I ^O | B | anti – A |
| 3. | Golongan darah AB | I ^A I ^B | A, B | tidak ada |
| 4. | Golongan darah O | I ^O I ^O | tidak ada | anti – A, anti – B |

Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Berdasarkan tabel tersebut, seseorang dengan golongan darah A tidak dapat menerima darah golongan B. Begitu juga sebaliknya. Pada individu dengan golongan AB, secara teori dapat menerima semua golongan darah karena tidak memiliki antibodi. Bagaimana jika seseorang memiliki golongan darah O?

Golongan darah dikendalikan oleh gen I (iso aglutinogen) yang memiliki tiga macam alel, I^A, I^B, dan I^O. Alel I^A mengendalikan pembentukan antigen A dan alel I^B mengendalikan pembentukan antigen B. Adapun alel I^O tidak membentuk antigen. Alel I^O bersifat resesif terhadap alel I^A dan I^B. Alel I^A dan I^B bersifat kodominan, dua gen tersebut terekspresikan dan tidak ada yang dominan. Perhatikan kembali tabel di atas untuk memahami sifat-sifat alel tersebut.

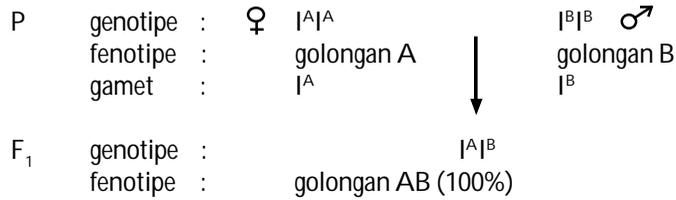
Bagaimanakah golongan darah ABO dapat diwariskan kepada keturunannya? Perhatikan contoh-contoh berikut.

Kata Kunci

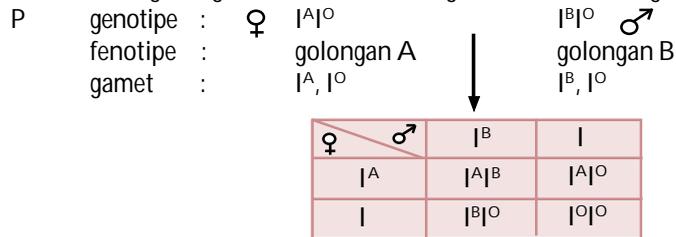
- Aglutinasi
- Aglutinogen
- Aglutinin
- Antibodi
- Antigen
- Kodominan

Diagram pewarisan golongan darah AB

1. Perkawinan golongan darah A homozigot dan B homozigot

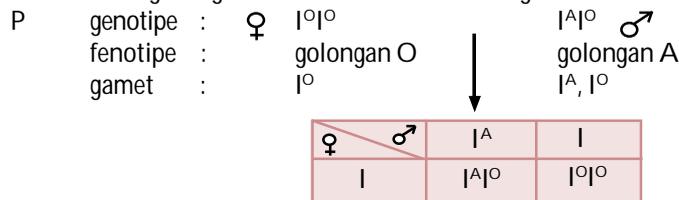


2. Perkawinan golongan darah A heterozigot dan B heterozigot



- F₁ $I^A I^B$ 1 golongan AB (25%)
 $I^A I^O$ 1 golongan A (25%)
 $I^B I^O$ 1 golongan B (25%)
 $I^O I^O$ 1 golongan O (25%)

3. Perkawinan golongan darah dan A heterozigot



- F₁ $I^A I^O$ 1 golongan A (50%)
 $I^O I^O$ 1 golongan O (50%)



Sekilas Biologi

Karl Landsteiner
(1868–1943)



Karl Landsteiner adalah seorang ahli imunologi asal Austria. Ia dan kawan-kawannya menemukan golongan darah sistem ABO manusia pada awal 1900-an, kemudian sistem MN pada 1927. Pada 1940, sistem rhesus ditemukan untuk keamanan maksimum transfusi darah. Landsteiner menerima Nobel untuk fisiologi atau kedokteran pada 1930.

Sumber: *Jendela IPTEK Tubuh Manusia, 1996.*

b. Sistem MN

Pada 1927, K. Landsteiner dan P. Levine menemukan antigen baru yang disebut antigen-M dan antigen-N. Sel darah merah manusia dapat mengandung salah satu atau kedua antigen tersebut sehingga terdapat golongan darah M, MN, dan N.

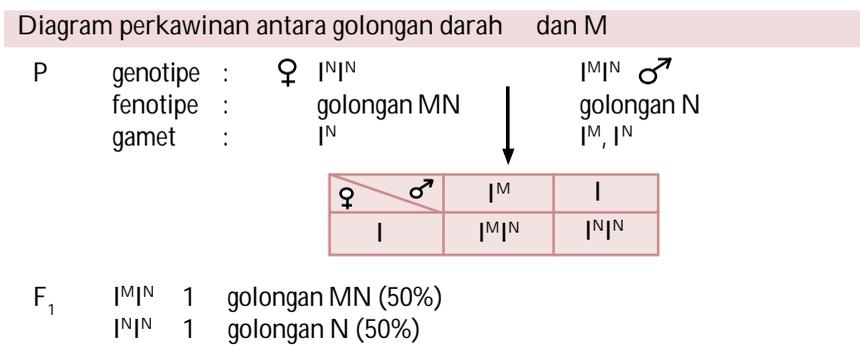
Pada darah manusia, tidak terdapat aglutinin (zat penggumpal) untuk antigen-antigen ini sehingga transfusi darah tidak dipengaruhi sistem golongan darah ini (Suryo, 2001: 262). Namun, jika antigen tersebut disuntikkan ke dalam tubuh kelinci akan terbentuk anti-M atau anti-N dalam darah kelinci yang dapat menggumpalkan darah tersebut. Kemudian, zat anti-M dan anti-N yang dihasilkan darah kelinci, digunakan untuk menentukan golongan darah MN pada manusia dengan melihat reaksi penggumpalan eritrosit. Hal inilah yang menentukan penggolongan darah sistem MN pada manusia. Perhatikan tabel berikut.

Tabel. 4.6 Reaksi Penggumpalan Eritrosit oleh Antiserum Kelinci

| Golongan Darah Eritrosit | Reaksi dengan Antiserum | | Genotipe |
|--------------------------|-------------------------|------|-----------|
| | Anti M | Anti | |
| M | + | - | $I^M I^M$ |
| N | - | + | $I^N I^N$ |
| MN | + | + | $I^M I^N$ |

Keterangan + terjadi penggumpalan eritrosit
 - tidak terjadi penggumpalan eritrosit

Pembentukan antigen M dan N ditentukan oleh alel I^M dan I^N . Alel ini bersifat kodominan sehingga alel I^M tidak dominan terhadap I^N dan sebaliknya. Bagaimana cara golongan darah MN diturunkan? Perhatikan contoh berikut.



c. Sistem Rhesus

Penggolongan darah berdasarkan sistem Rh ditemukan oleh K. Landsteiner dan A. S. Wiener pada 1940. Rh merupakan singkatan dari rhesus, diambil dari nama kera macaca rhesus. Pada kera ini didapati antigen yang memicu penggumpalan darah kera oleh antibodi darah kelinci dan marmot yang disuntikkan. Kelinci dan marmot membentuk antiserum yang kemudian digunakan untuk menguji darah manusia.

Berdasarkan pengujian, darah manusia dibedakan atas Rh⁺ dan Rh⁻. Individu Rh⁺ memiliki antigen rhesus. Adapun individu Rh⁻ tidak memiliki antigen rhesus. Pembentukan antigen Rh ini dikendalikan oleh gen I^{Rh} yang dominan terhadap I^{rh} . Perhatikan tabel berikut.

Tabel 4.7 Fenotipe, Genotipe, dan Gamet pada Sistem Rhesus

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

Perkawinan antara pria dengan Rh⁺ dan wanita dengan Rh⁻ dapat menyebabkan keturunannya menderita penyakit eritroblastosis fetalis. Jika bayi yang dilahirkan memiliki Rh⁻, kemungkinan bayi tersebut terlahir normal. Kelainan terjadi jika janin yang dikandung Rh⁺ yang diwariskan dari orangtua laki-laki.

Jika janin yang dikandung Rh⁺, sedangkan ibu Rh⁻, pada kehamilan pertama bayi tersebut terlahir selamat. Hal ini disebabkan antibodi ibu terhadap antigen Rh⁻ belum banyak diproduksi. Akan tetapi, pada kehamilan kedua, jika janin Rh⁺, janin tersebut akan diserang oleh antibodi ibu (anti-Rh⁺). Akibatnya, jika janin Rh⁺, akan menderita eritroblastosis fetalis. Keadaan ini tidak terjadi jika pria Rh⁻ dan wanita Rh⁺ atau keduanya memiliki golongan Rh yang sama.

Tugas Anda 4.2

Setelah mempelajari bab ini, Anda telah mengetahui beberapa kelainan dan penyakit yang dapat diwariskan kepada keturunannya. Dengan mengetahui pola pewarisan sifat, beberapa kelainan atau penyakit dapat diketahui sebelumnya. Bahkan, beberapa dapat dicegah untuk tidak diwariskan kepada keturunannya. Sekarang, tugas Anda, buatlah sebuah karya tulis bertemakan cara mencegah atau menghindari penyakit yang diwariskan. Carilah sumber karya tulis dari buku, koran, majalah, atau internet.

Latihan Pemahaman Subbab E

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jelaskan kendala dalam pengamatan pewarisan sifat pada manusia. Bagaimanakah ilmuwan mengatasi kendala tersebut?
2. Jika seorang pria albino menikahi wanita normal bagaimanakah keturunannya?
3. Bagaimana kemungkinan keturunan pasangan pria normal dan wanita carrier buta warna?
4. Jika seorang pria bergolongan darah A menikah dengan wanita bergolongan darah O, bagaimanakah golongan darah keturunannya?

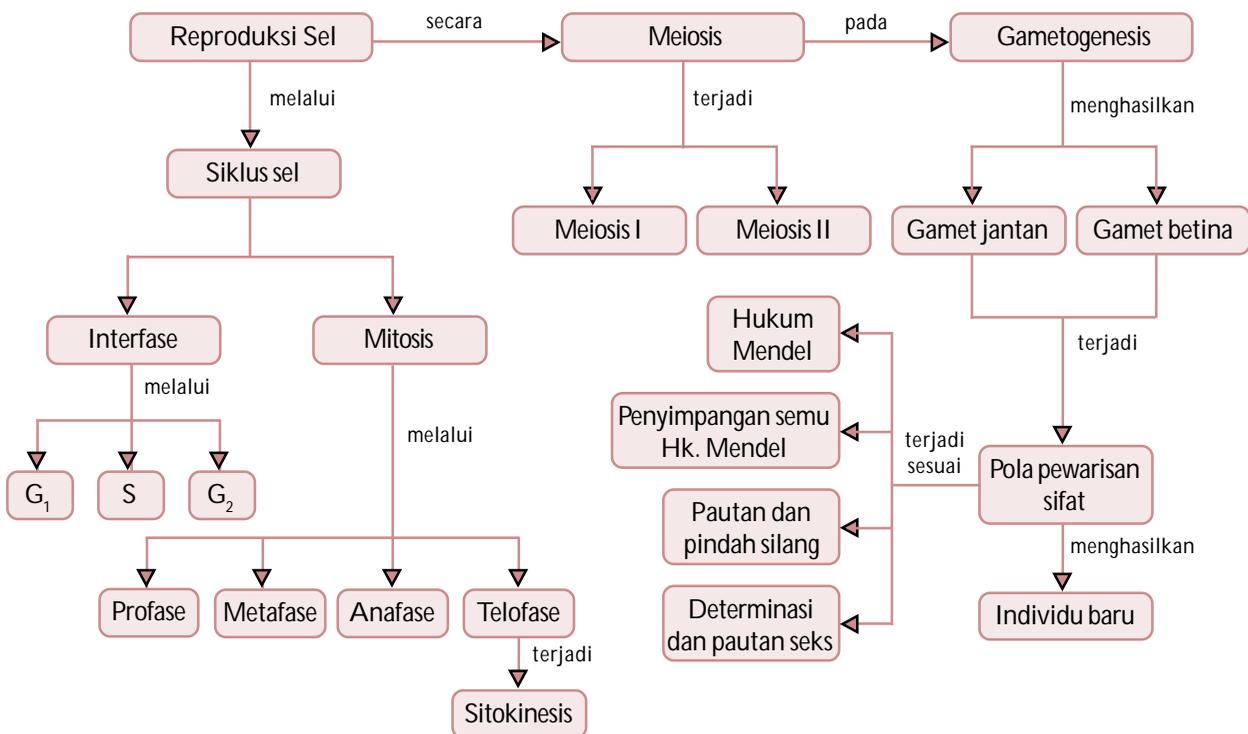
Rangkuman

1. Sel menghasilkan sel baru melalui proses siklus sel. Pada siklus sel terjadi tahap interfase dan tahap pembelahan sel yang terjadi secara mitosis. Pembelahan mitosis dapat dibedakan atas tahap profase, metafase, anafase, dan telofase. Siklus sel dengan pembelahan mitosis ini terjadi pada sel tubuh (autosom) dan makhluk hidup uniseluler.
2. Pembelahan meiosis merupakan pembelahan reduksi kromosom. Pembelahan ini terjadi melalui dua siklus sel yang disebut meiosis I dan meiosis II, Tahap meiosis I terjadi reduksi jumlah kromosom. Adapun meiosis II terjadi pembelahan seperti layaknya mitosis, namun dengan jumlah kromosom haploid. Pembelahan meiosis I dan meiosis II terjadi melalui tahap-tahap seperti mitosis. Pembelahan meiosis terjadi pada pembentukan gamet jantan dan betina pada makhluk hidup multiselular.
3. Gametogenesis adalah pembentukan gamet jantan dan betina. Pada hewan, pembentukan gamet jantan atau sperma disebut spermatogenesis. Adapun pembentukan gamet betina atau ovum disebut juga oogenesis. Pada tumbuhan, pembentukan gamet jantan atau serbuk sari disebut mikrogametogenesis. Adapun pembentukan gamet betina atau sel telur disebut megagametogenesis.
4. Pola pewarisan sifat pertama kali diteliti secara ilmiah oleh Gregor Johann Mendel pada tanaman ercis. Penelitian tersebut menghasilkan Hukum I Mendel dan Hukum II Mendel. Hukum I Mendel mengenai persilangan monohibrid, adanya gen dominan dan resesif, serta setiap pasangan gen terpisah selama meiosis. Hukum II Mendel mengenai persilangan dihibrid dengan ciri beda. Kedua gen untuk setiap ciri akan mengelompok secara bebas.
5. Selain pola yang telah dijelaskan Mendel, para ilmuwan juga menemukan bahwa terdapat pola lain yang tidak sesuai hukum Mendel. Namun, setelah diteliti lebih lanjut ternyata hanya berupa penyimpangan semu saja. Contohnya, epistasis-hipotasis, kriptomeri, polimeri, dan adanya gen komplementer.

- Penelitian lain ternyata mendapatkan pola yang benar-benar berbeda dengan pola pewarisan sifat berdasarkan Mendel. Beberapa sifat tersebut di antaranya adanya pautan dan pindah silang, determinasi, dan pautan seks, serta adanya gen letal.
- Pewarisan sifat dan kelainan genetik pada manusia dapat dipelajari melalui peta silsilah dan pengamatan

kariotipe. Pewarisan sifat pada manusia antara lain dalam hal abnormalitas dan penyakit turunan, serta golongan darah. Abnormalitas pada manusia dapat berupa kelainan mental, albinisme, brakidaktili, polidaktili, buta warna, dan hemofilia. Penurunan golongan darah terjadi pada golongan darah sistem ABO, MN, dan rhesus.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari Reproduksi Sel dan Pewarisan Sifat? Menarik, bukan? Kini Anda telah memahami berbagai pola pewarisan sifat pada makhluk hidup serta hubungannya dengan pembelahan sel. Banyak manfaat yang Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini, misalnya Anda kini memahami proses pewarisan sifat dari kedua orangtua kepada anaknya.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu menjelaskan pembelahan sel dengan pewarisan sifat dan menerapkannya dalam mekanisme pewarisan sifat. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu dalam bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda mengenai materi reproduksi sel dan pewarisan sifat yang belum Anda pahami. Agar pemahaman Anda mengenai materi ini lebih baik, pastikanlah Anda mengerjakan aktivitas, tugas, latihan pemahaman subbab, dan evaluasi kompetensi pada bab ini.

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

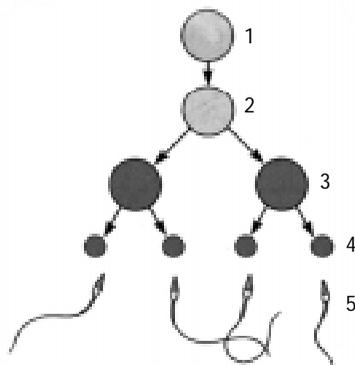
1. Jumlah kromosom sel somatik manusia adalah 46 buah, sedangkan pada gamet berjumlah
 - a. 46 buah
 - b. 23 buah
 - c. 46 pasang
 - d. 23 pasang
 - e. 92 buah
2. Interfase pada pembelahan mitosis memerlukan waktu yang paling lama jika dibandingkan dengan fase-fase lainnya karena
 - a. sel beristirahat dan membentuk RNA
 - b. sel terus menerus melakukan pembelahan organel
 - c. sel istirahat dan membentuk ATP
 - d. sel melakukan persiapan pembelahan
 - e. sel terus menerus membentuk RNA
3. Pada pembelahan mitosis saat profase benang kromatin berubah menjadi
 - a. sentriol
 - b. kromosom
 - c. aster
 - d. benang spindel
 - e. plasmid
4. Mitosis terjadi pada tumbuhan tingkat tinggi, terutama di bagian
 - a. bunga, daun, dan batang
 - b. bunga, benang sari, dan batang
 - c. ujung batang, ujung akar, dan kambium
 - d. ujung batang, daun, dan benang sari
 - e. benang sari, ujung batang, dan kambium
5. Berikut ini ciri-ciri interfase, kecuali
 - a. pertumbuhan sel
 - b. metabolisme
 - c. duplikasi organel
 - d. replikasi DNA
 - e. penggandaan kromosom
6. Ciri-ciri tahap anafase pada pembelahan mitosis adalah
 - a. pembentukan benang-benang spindel
 - b. nukleus dan nukleolus mulai menghilang
 - c. duplikasi DNA
 - d. kromatid ditarik ke kutub berlawanan
 - e. sel aktif melakukan metabolisme
7. Perhatikan gambar berikut.



Gambar tersebut menunjukkan fase

 - a. interfase
 - b. metafase
 - c. anafase
 - d. profase
 - e. telofase
8. Sitokinesis terjadi pada atau setelah fase
 - a. interfase
 - b. metafase
 - c. anafase
 - d. profase
 - e. telofase
9. Jumlah kromosom yang terdapat pada sel yang baru hasil meiosis adalah
 - a. haploid
 - b. diploid
 - c. triploid
 - d. tetraploid
 - e. poliploid
10. Peristiwa pindah silang (crossing over) pada pembelahan meiosis terjadi pada tahap
 - a. profase I
 - b. profase II
 - c. metafase I
 - d. anafase I
 - e. telofase II
11. Pembelahan mitosis dan meiosis dapat dibedakan dari hasil berikut, kecuali
 - a. duplikasi organel
 - b. jumlah set kromosom
 - c. jumlah pembelahan
 - d. tempat pembelahan
 - e. hasil pembelahan

12. Proses spermatogenesis dapat manusia terjadi di
 - a. tubulus seminiferus
 - b. duktus epididimis
 - c. vas deferens
 - d. vas eferens
 - e. skrotum
13. Ovulasi pada seorang wanita merupakan
 - a. pemasukan oogenesis oleh hormon estrogen dan progesteron
 - b. penebalan endometrium
 - c. nidasi embrio pada rahim
 - d. pengeluaran sel telur dari ovarium
 - e. penghambatan kerja hormon
14. Perhatikan gambar berikut



Pembelahan meiosis pertama ditunjukkan pada pembelahan dari

- a. 1 ke 2
 - b. 1 ke 3
 - c. 2 ke 3
 - d. 3 ke 4
 - e. 4 ke 5
15. Gametogenesis berlangsung di bagian bunga betina, yaitu
 - a. bakal buah
 - b. antera
 - c. mikropil
 - d. kandung lembaga
 - e. putik
 16. Pembelahan meiosis I yang terjadi di dalam kepala sari menghasilkan
 - a. satu sel haploid
 - b. dua sel haploid
 - c. tiga sel haploid
 - d. empat sel haploid
 - e. lima sel haploid
 17. Rambut keriting dominan terhadap lurus. Jika hasil persilangan dihasilkan perbandingan rambut keriting dan lurus 1 : 1, maka genotipe parentalnya adalah
 - a. Hh Hh
 - b. Hh hh
 - c. HH Hh
 - d. hh hh
 - e. HH hh

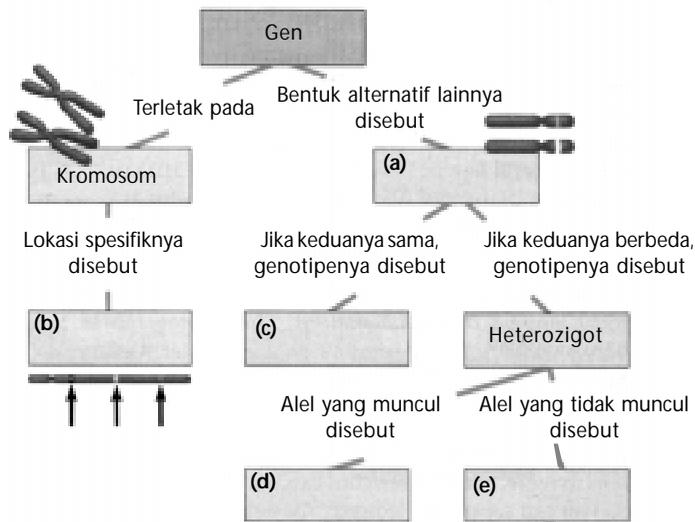
18. Jika pohon tinggi dominan terhadap pohon pendek dan bunga merah dominan terhadap bunga hijau. Persilangan dihibrid antara individu heterozigot sempurna dan individu homozigot resesif menghasilkan keturunan dengan perbandingan fenotipe
 - a. 9 : 3 : 3 : 1
 - b. 2 : 2 : 1 : 2
 - c. 1 : 1 : 1 : 1
 - d. 9 : 7
 - e. 9 : 3 : 4
19. Dari hasil perkawinan dari kedua orang tua yang normal, dihasilkan 2 anak perempuan normal, 1 anak laki-laki normal, dan 1 anak laki-laki butawarna. Dapat dipastikan genotipe parentalnya adalah
 - a. ibu homozigot dominan
 - b. ayah homozigot resesif
 - c. ibu homozigot resesif
 - d. ibu heterozigot
 - e. ayah heterozigot
20. Gandum berkulit hitam (HHkk) diserbukkan dengan gandum berkulit kuning(hhKK) yang menghasilkan 100% gandum berkulit hitam. F₁ dibackcross dengan induk gandum berkulit kuning. Gandum berkulit kuning hasil backcross adalah
 - a. 12,5%
 - b. 25%
 - c. 50%
 - d. 75%
 - e. 10%

B. Soal Uraian

1. Jelaskan secara singkat tahap-tahap dalam mitosis.
2. Jelaskan hubungan pembelahan meiosis dan pewarisan sifat pada manusia.
3. Dari persilangan kacang ercis tinggi dengan pendek dihasilkan generasi F₁ 100% tinggi. Bagaimana perbandingan genotipe dan fenotipe pada F₂ yang dihasilkan?
4. Suatu perbandingan tumbuhan dihasilkan turunan dengan perbandingan fenotipe sebagai berikut:
 - 301 biji bulat panjang
 - 98 biji bulat pendek
 - 299 biji keriput panjang
 - 102 biji keriput pendek
 Carilah genotipe parentalnya.
5. Seorang wanita normal yang ayahnya buta warna menikah dengan laki-laki normal. Berapa persen kemungkinan
 - a. turunan yang buta warna;
 - b. anak laki-lakinya buta warna;
 - c. anak wanitanya buta warna;

C. Soal Tantangan

1. Isikan bagan peta konsep berikut.



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

2. Pada lalat buah (*Drosophila* sp.), sayap lurus dominan terhadap sayap keriting. Jelaskan persilangan yang dapat Anda buat untuk mengetahui apakah seekor lalat sayap lurus heterozigot atau homozigot.

Bab 5



Sumber: Cloning Frontiers of Genetic Engineering, 2000

Drosophila mengalami mutasi sehingga warna matanya berbeda-beda.

Mutasi

Hasil yang harus Anda capai:

memahami penerapan konsep dasar dan prinsip-prinsip hereditas serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

menjelaskan peristiwa mutasi dan implikasinya dalam salingtemas.

Tuhan menciptakan bermacam-macam buah-buahan dan tanaman pangan. Apakah Anda pernah memakan semangka tanpa biji? Apakah pernah mendengar padi unggul Atomita? Ilmuwan sengaja menciptakan semangka dan padi tersebut untuk memenuhi kebutuhan pangan manusia. Bagaimanakah hal itu bisa dilakukan dan dapat berbeda dari varietas aslinya? Mungkinkah karena mutasi? Ya, hal itu bisa terjadi karena mutasi.

Mutasi dibedakan menjadi mutasi kecil (mutasi gen) dan mutasi besar (mutasi kromosom). Mutasi dapat terjadi secara alami atau buatan. Selain dapat menguntungkan, seperti yang telah diungkapkan sebelumnya, mutasi dapat pula menimbulkan kerugian. Semua hal itu dapat dipelajari pada bab ini, Anda diharapkan dapat memahami mutasi serta pengaruhnya bagi kehidupan manusia.

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

Tes Kompetensi Awal

1. Apakah yang Anda ketahui tentang mutasi?
2. Pernahkah Anda memakan semangka tanpa biji? Mengapa hal itu terjadi?
3. Sebutkan dampak mutasi bagi kehidupan.

Kata Kunci

- Asam Amino
- Basa nitrogen
- Delesi
- DNA
- Gen
- Insersi
- Kodon
- Kromosom
- Materi genetik
- Mutagen
- Mutan
- Triplet



Fakta Biologi

Semakin banyak terjadi Pembelahan sel, semakin besar peluang terjadinya mutasi gen. Para ilmuwan berhasil memperlihatkan bahwa gen-gen pada kromosom Y yang dimiliki lelaki (karena berkromosom XY) ternyata bermutasi lebih cepat daripada gen-gen pada kromosom X.

Berdasarkan hal ini dan sejumlah kajian lain, para ilmuwan menduga bahwa laju mutasi genetik keseluruhan dalam sel-sel sperma enam kali lebih tinggi daripada dalam sel telur. Makin tua usia lelaki, makin sering sel-sel induk sperma terbagi maka makin tinggi banyaknya kemungkinan mutasi gen yang terjadi.

Pada usia 13 tahun ketika seorang anak laki-laki biasanya mulai memproduksi sperma, sel-sel kelaminnya itu telah terbagi sekitar 36 kali, dan terbagi sekitar 23 kali setahun sesudahnya. Pada umur 20 tahun sel-sel sudah mengalami replikasi kira-kira 200 kali. Saat 30 tahun, kurang lebih 430 kali. Dan begitu menginjak 45 tahun, kira-kira 770 kali.

Sumber: www.kompas.com

A. Macam-Macam Mutasi

Pada bab sebelumnya, Anda telah mengenal gen, DNA, dan kromosom. Gen-gen dengan untaian DNA-nya, terletak dalam lokus-lokus pada kromosom. Gen-gen pada kromosom diekspresikan melalui proses sintesis protein. Oleh karena itu, akumulasi hasil sintesis protein menghasilkan suatu sifat tertentu dalam sel atau individu tersebut. Melalui proses reproduksi dan mengikuti pola pewarisan sifat, gen-gen tersebut diwariskan kepada keturunannya. Jika gen tersebut mengendalikan warna rambut pirang dan terjadi penggantian satu basa nitrogen, apakah sifat yang dihasilkan akan berubah? Bagaimanakah jika terjadi penggantian 10 basa nitrogen? Apakah hilang atau bahkan terjadi perubahan jumlah kromosom? Bagaimana keturunan yang dihasilkannya?

Perubahan susunan DNA disebut mutasi. Sebenarnya, mutasi sangat jarang terjadi. Mutasi dapat terjadi pada berbagai makhluk hidup, termasuk pada manusia. Mutasi dapat diwariskan kepada keturunannya. Mutasi dapat terjadi pada sembarang gen dan terjadi secara acak. Individu yang mengalami mutasi disebut **mutan**, sedangkan penyebab mutasi disebut **mutagen**.

Perubahan urutan basa DNA dapat menyebabkan perubahan molekul RNA dan molekul protein. Berdasarkan besar dan kecilnya perubahan yang terjadi pada materi genetik, mutasi dapat dibedakan atas mutasi gen dan mutasi kromosom. Apakah perbedaan keduanya?

1. Mutasi Gen

Mutasi gen disebut juga **mutasi titik** (*point mutation*) atau **mutasi kecil**. Mutasi jenis ini disebabkan oleh perubahan susunan atau urutan basa nitrogen. Pada mutasi ini, lokus lain pada kromosom tidak terpengaruh.

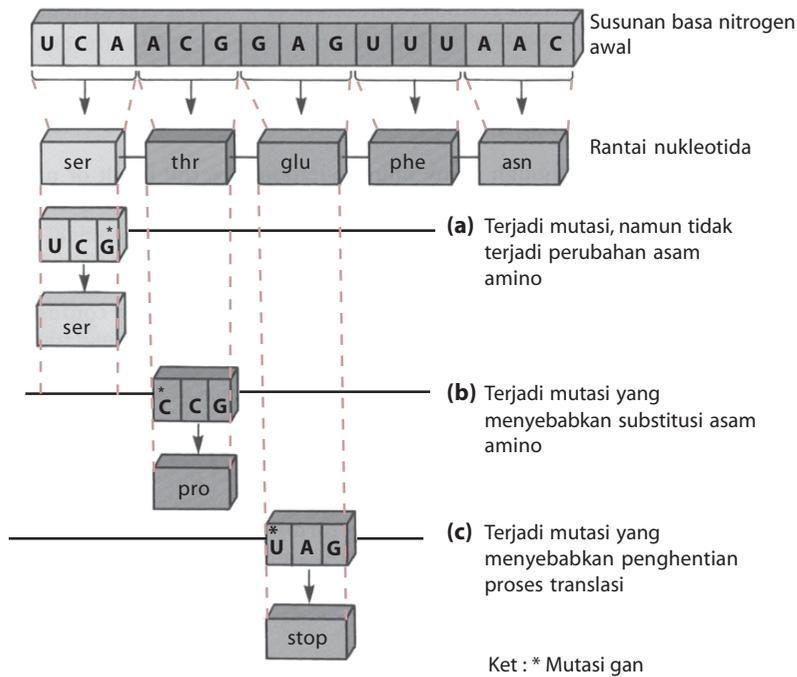
Pengaruh mutasi gen dapat terlihat atau tidak terlihat. Perubahan basa nitrogen dapat berpengaruh terhadap sifat jika terjadi pada tempat yang tepat. Berdasarkan mekanisme perubahannya, mutasi gen dapat dibedakan atas **penggantian basa nitrogen**, **insersi**, dan **delesi**.

a. Penggantian Basa Nitrogen

Penggantian basa nitrogen adalah mutasi gen yang terjadi akibat perubahan satu nukleotida dalam gen. Akibat perubahan satu nukleotida tersebut, pasangan tiga basa (triplet) yang merupakan kode genetik (kodon) akan berubah pula.

Apakah pengaruh dari perubahan satu basa ini? Pada beberapa kasus, mutasi gen akibat penggantian basa ini tidak membawa pengaruh apa-apa. Mengapa? Hal ini terjadi karena pada sintesis protein, satu asam amino dapat dikodekan oleh beberapa kodon. Kodon-kodon yang berbeda,

namun dapat mengodekan satu asam amino yang sama ini disebut **kodon sinonim**. Contohnya, jika satu gen memiliki kodon UCA yang mengodekan asam amino serin mengalami mutasi gen akibat penggantian basa nitrogen menjadi UCG. Pada penggantian basa ini, mutasi gen tidak berpengaruh apa-apa karena kodon UCA dan UCG sama-sama mengodekan asam amino serin (**Gambar 5.1a**).



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Pada kasus lain, penggantian basa nitrogen dapat menyebabkan perubahan rangkaian asam amino yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena perubahan satu basa tersebut menghasilkan kodon yang berbeda dalam mengodekan asam amino. Contohnya, suatu gen dengan urutan basa nitrogen UCA ACG GAG menghasilkan urutan asam amino serin-threonin-glutamin. Adanya penggantian basa nitrogen adenin (A) oleh sitosin (C) menyebabkan perubahan asam amino threonin menjadi prolin. Akibatnya, urutan asam amino yang terbentuk menjadi serin-prolin-glutamat (**Gambar 5.1b**).

Pada contoh lain, perubahan satu basa nitrogen dapat menyebabkan perubahan besar. Misalnya, perubahan basa guanin (G) pada triplet GAG yang mengodekan asam amino glutamat, basa guanin (G) digantikan oleh basa urasil (U) menjadi UAG. Perubahan ini menghasilkan kodon UAG yang merupakan stop kodon, yaitu tanda dihentikannya proses translasi pada sintesis protein. Hal ini menyebabkan berhentinya proses sintesis protein sebelum waktunya (**Gambar 5.1c**).

Perubahan urutan asam amino dan terhentinya proses translasi sintesis protein dapat menyebabkan protein yang dibentuk rusak, tidak aktif, bahkan berbahaya. Banyak kelainan genetik, seperti *sickle-cell anemia*, buta warna, dan hemofilia merupakan hasil dari perubahan beberapa basa pada gen penting.

Logika Biologi

Dalam film-film, mutasi sering diperlihatkan dapat menyebabkan makhluk hidup memiliki kekuatan yang luar biasa. Menurut Anda, dapatkah hal tersebut terjadi?

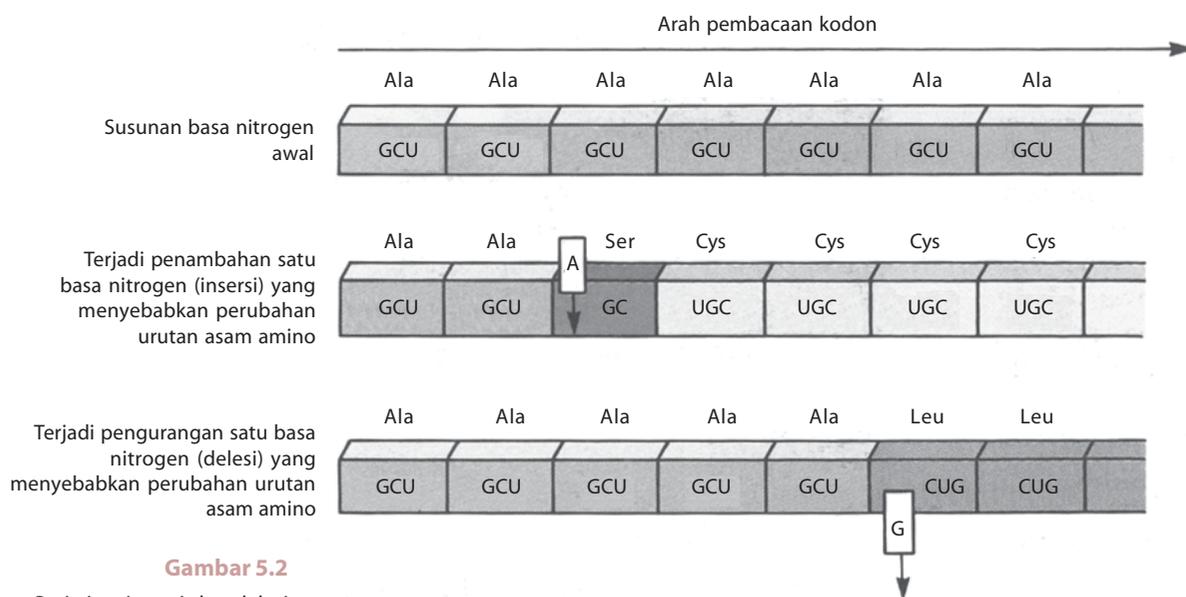
Gambar 5.1

Penggantian basa pada rantai nukleotida. (a) Mutasi gen yang tidak menyebabkan perubahan asam amino, (b) terjadi perubahan asam amino, dan (c) menyebabkan penghentian proses translasi.

b. Delesi dan Insersi Basa Nitrogen

Mutasi gen juga dapat terjadi melalui delesi dan insersi. Delesi adalah peristiwa penghapusan atau pengurangan satu basa nitrogen pada gen. Adapun insersi adalah peristiwa penambahan satu basa nitrogen pada gen.

Peristiwa mutasi ini memiliki pengaruh yang lebih besar dibandingkan mutasi oleh penggantian basa nitrogen. Jika suatu gen memiliki 300 buah urutan basa nitrogen maka akan terbentuk polipeptida yang mengandung 100 urutan asam amino. Apabila satu basa nitrogen disisipkan atau dihilangkan di tengah-tengah urutan basa maka semua urutan basa akan berubah, demikian juga dengan urutan asam aminonya. Perhatikan **Gambar 5.2** berikut.



Gambar 5.2

Peristiwa insersi dan delesi mengubah rangkaian asam amino yang terbentuk

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991



Sekilas Biologi

Kelainan kromosom pada janin bisa diturunkan dari salah satu orang tua yang membawa kelainan kromosom, bisa juga terjadi secara spontan (dengan sendirinya) pada saat proses reproduksi. Usia ibu pada saat hamil juga salah satu faktor penyebab kelainan kromosom. Resiko terjadinya kelainan kromosom pada janin adalah 4 kali lebih besar jika ibu berusia 35 tahun atau lebih.

Sumber: www.eijkman.go.id

Mutasi ini menyebabkan pergeseran “pembacaan” pesan kode genetik. Oleh karena itu, mutasi ini disebut juga mutasi pergeseran kerangka (*frameshift mutation*). Satu kali mutasi ini, menyebabkan perubahan pembacaan setiap kodon dimulai dari titik mutasi. Seringkali mutasi ini menghasilkan protein yang tidak berguna atau rusak.

2. Mutasi Kromosom

Pada pembahasan sebelumnya, Anda telah mempelajari mutasi yang terjadi akibat perubahan satu atau beberapa basa nitrogen. Pada kenyataannya, banyak mutasi yang melibatkan ratusan hingga ribuan basa nitrogen. Mutasi jenis ini merupakan hasil pergerakan kromosom. Mutasi ini disebut **mutasi kromosom**.

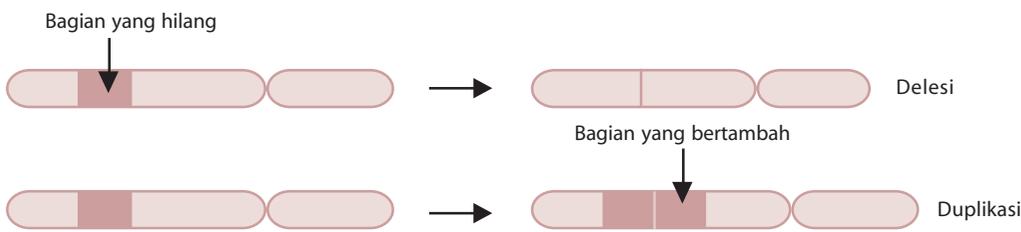
Mutasi kromosom merupakan mutasi besar. Secara garis besar, mutasi kromosom dapat dibedakan atas mutasi akibat perubahan struktur dan jumlah set kromosom.

a. Perubahan Struktur Kromosom

Mutasi kromosom akibat perubahan struktur kromosom melibatkan perubahan banyak gen dalam kromosom. Perubahan ini dapat memicu kelainan pada individu. Perubahan struktur kromosom ini dapat terjadi melalui delesi, duplikasi, inversi, dan translokasi.

1) Delesi dan Duplikasi

Delesi terjadi jika suatu bagian atau segmen dari kromosom hilang. Jika bagian segmen yang hilang tersebut pindah ke kromosom homolognya, disebut duplikasi. Disebut duplikasi karena pada kromosom homolog yang menerima patahan terjadi penggandaan gen-gen. Perhatikan **Gambar 5.3** berikut.



Kata Kunci

- Delesi
- Duplikasi
- Inversi
- Inversi parasentris
- Inversi perisentris
- Kromosom homolog
- Translokasi

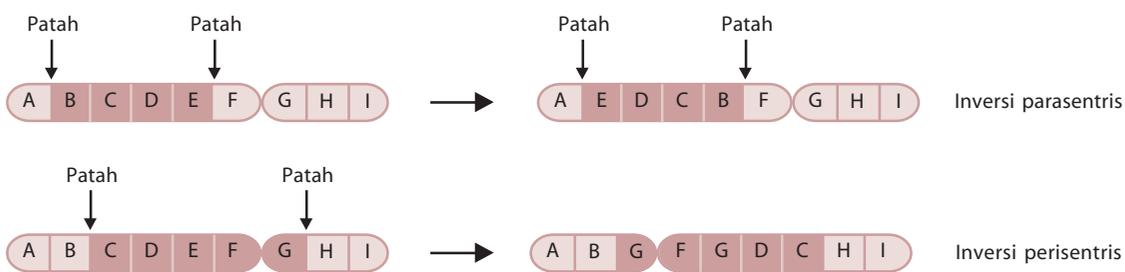
Gambar 5.3
Proses delesi dan duplikasi

Peristiwa delesi dan duplikasi ini dapat menyebabkan perubahan gen hingga menimbulkan kelainan genetik. Hubungan kelainan genetik dan peristiwa delesi kali pertama ditemukan oleh **Jerome Lejeune** pada 1963. Ia menemukan bahwa sindrom *cri du chat* pada manusia disebabkan oleh hilangnya sebagian kromosom nomor 5.

2) Inversi

Kromosom terkadang dapat terputus dalam dua tempat dan patahan tersebut dapat tergabung kembali dalam urutan yang terbalik. Perubahan kromosom ini disebut inversi kromosom.

Berdasarkan letak terjadinya, inversi dapat dibedakan menjadi inversi parasentris dan inversi perisentris. Inversi parasentris terjadi pada satu lengan kromosom. Adapun inversi perisentris terjadi pada dua lengan kromosom. Perhatikan **Gambar 5.4** berikut.

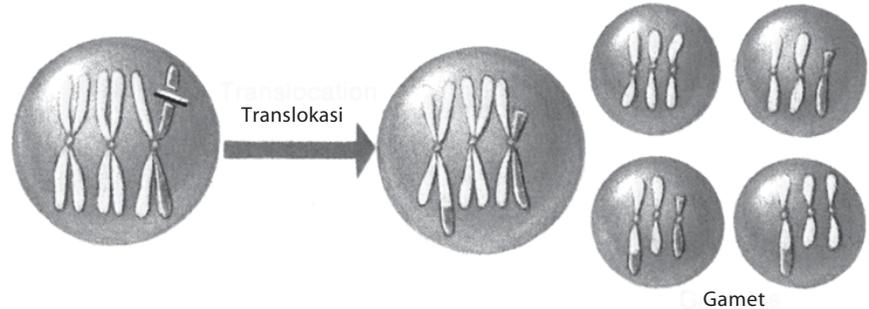


Gambar 5.4
Inversi parasentris dan perisentris yang terjadi pada kromosom.

Inversi pada manusia umumnya tidak berbahaya apabila dibandingkan delesi atau duplikasi, karena pada inversi jumlah gen dalam kromosom tetap dan kondisinya sama.

3) Translokasi

Translokasi terjadi ketika semua atau bagian dari satu kromosom menempel pada kromosom yang bukan homolognya. Translokasi ini membentuk kromosom baru. Jika kromosom terjadi pada saat meiosis, beberapa gamet akan kekurangan gen. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 5.5

Gamet yang dihasilkan sel akibat translokasi selama meiosis

Sumber: Heath Biology, 1985

Seperti halnya inversi, translokasi dapat berbahaya atau tidak berbahaya. Penderita sindrom Down memiliki kromosom nomor 21 hanya satu pertiga bagian kromosom aslinya. Bagian lain menempel pada kromosom lain yang bukan homolognya. Beberapa jenis kanker dan kemandulan juga dapat disebabkan oleh translokasi kromosom.

b. Perubahan Jumlah Kromosom

Secara normal, jumlah set kromosom setiap makhluk hidup selalu tetap. Semua sel tubuh manusia memiliki 46 buah kromosom, jagung memiliki 20 buah, dan kelinci memiliki 44 buah. Kromosom-kromosom tersebut berpasangan dengan kromosom homolognya. Jumlah set kromosom homolog ini disebut **ploid**.

Pada sel tubuh manusia (sel somatis), jumlah kromosomnya diploid ($2n$), sedangkan pada sel-sel gamet jumlah kromosomnya haploid (n). Melalui fertilisasi, sel-sel gamet akan melebur membentuk zigot dengan jumlah kromosom diploid ($2n$).

Perubahan kromosom yang dapat menyebabkan mutasi dapat terjadi melalui dua cara, yakni perubahan jumlah set kromosom dan perubahan jumlah kromosom. Perubahan jumlah set kromosom yang mempunyai tiga, empat, atau lebih jumlah perangkat kromosom haploid yang menjadi ciri khas spesiesnya, disebut poliploid. Adapun perubahan jumlah kromosom dalam satu set, disebut aneuploid.

1) Poliploid

Poliploid adalah keadaan sel yang memiliki jumlah kromosom lebih dari dua set. Saat pembentukan gamet, terkadang nukleus sel tidak melanjutkan pembelahan meiosis II. Jika hal ini terjadi, gamet yang terbentuk bukan gamet haploid, melainkan gamet diploid ($2n$). Gamet-gamet diploid ini akan melakukan fertilisasi dengan gamet haploid (n) pasangannya dan menghasilkan zigot triploid ($3n$). Peristiwa ini juga dapat menghasilkan zigot atau individu poliploid lainnya dengan kromosom tetraploid ($4n$), pentaploid ($5n$, lima set kromosom), dan seterusnya.

Berdasarkan prosesnya, poliploid dapat dibedakan atas autopoliploid dan allopoliploid. **Autopoliploid** adalah proses pembentukan poliploid dengan kromosom yang berasal dari spesies yang sama. Adapun **allopoliploid** adalah kromosom yang terbentuk berasal dari spesies yang berbeda, hasil perkawinan antarspesies.



Sekilas Biologi

Famili rumput-rumputan (Gramineae) meliputi 10.000 spesies, dikelompokkan dalam 600–700 genus. Famili ini sering dipakai dalam mempelajari poliploid.

Secara alami, poliploid sering lebih besar penampakan morfologinya dari spesies diploid, seperti permukaan daun lebih luas, organ bunga lebih besar, batang lebih tebal, dan tanaman lebih tinggi. Populasi poliploid mempunyai kemampuan berkompetisi lebih baik dan daerah penyebarannya luas.

Sumber: www.tumoutou.net

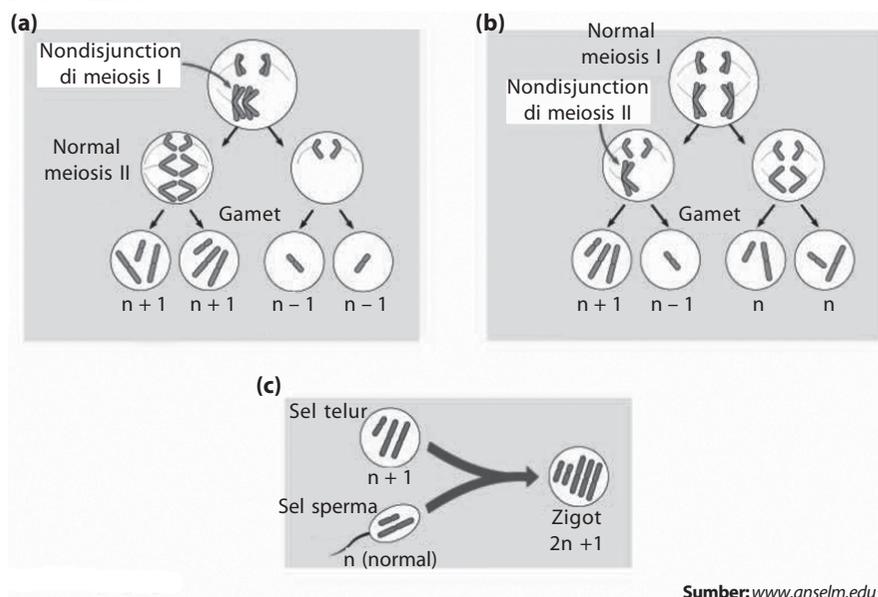
Poliploidi bersifat letal pada manusia dan hewan. Akan tetapi, pada tumbuhan hal tersebut merupakan hal yang umum. Bahkan, beberapa tumbuhan poliploidi lebih besar dan sehat dibandingkan tumbuhan diploidnya. Tanaman gandum dan kentang yang dikembangkan dalam pertanian merupakan tanaman poliploidi.

2) Aneuploidi

Aneuploidi adalah keadaan sel yang tidak euploidi, terjadi perubahan jumlah satu set kromosom. Adapun euploidi adalah keadaan ploidi yang normal. Contohnya, sel manusia memiliki 46 buah kromosom. Perubahan tersebut meliputi pengurangan kromosom atau penambahan. Aneuploidi disebut juga aneusomi.

Terbentuknya Aneuploidi terjadi karena adanya peristiwa gagal berpisah (*nondisjunction*) pada kromosom saat pembentukan spermatogenesis atau oogenesis. Gagal berpisah dapat terjadi pada meiosis I atau II. Secara normal, pada meiosis I pasangan kromosom homolog memisah menghasilkan dua sel haploid. Selanjutnya, pada meiosis II pasangan kromatid memisah pada sel baru. Pada peristiwa gagal berpisah, terdapat pasangan kromosom homolog dan pasangan kromatid yang melekat satu sama lain, tidak berpisah. Akibatnya, terdapat gamet abnormal dengan kromosom berlebih dan kurang.

Jika terjadi fertilisasi antara gamet abnormal dengan gamet lain, zigot yang dihasilkan juga akan abnormal. Hal ini tentunya akan membentuk pengaruh pada individu yang dibentuknya. Jika sel memiliki tambahan satu kromosom disebut trisomi, sedangkan jika kekurangan satu kromosom disebut monosomi. Agar lebih jelas, perhatikan **Gambar 5.6** dan **Tabel 5.1** berikut.



Kata Kunci

- Aneuploidi
- Euploidi
- Ploidi
- Poliploidi
- Autopoliploidi
- Allopoliploidi
- Aneusomi

Gambar 5.6
Peristiwa gagal berpisah saat
(a) meiosis I dan
(b) meiosis II, serta
(c) zigot trisomi.

Tabel 5.1 Jumlah Kromosom Aneuploidi

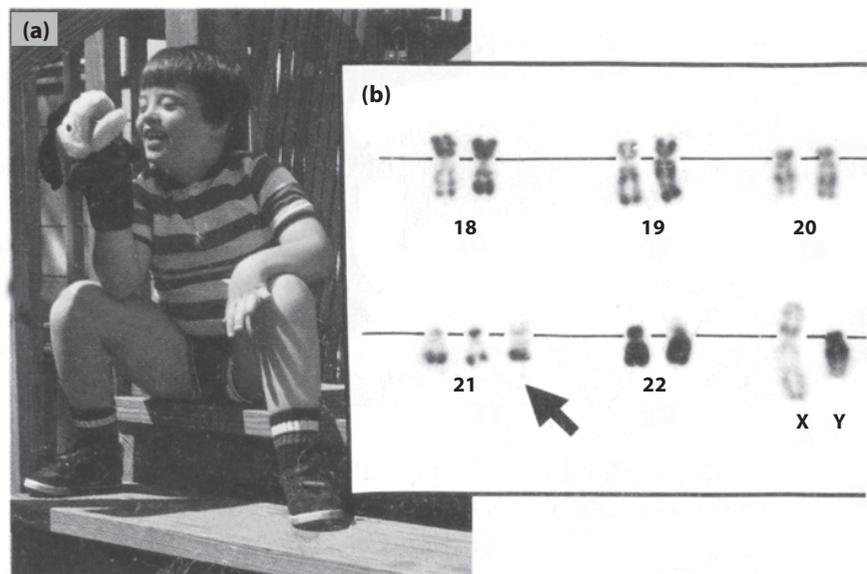
| Istilah | Rumus Kromosom |
|-----------|----------------|
| Nulisomi | $2n - 2$ |
| Monosomi | $2n - 1$ |
| Trisomi | $2n + 1$ |
| Tetrasomi | $2n + 2$ |
| Pentasomi | $2n + 3$ |

Keterangan:
 n = jumlah set kromosom normal (ploidi)

Berdasarkan tabel tersebut, pada manusia dengan jumlah kromosom diploid ($2n$) 46 buah kromosom ($44A + XX$ atau $44A + XY$), jika terjadi mutasi menghasilkan aneuploid trisomi, kromosom individu tersebut akan bertambah satu menjadi 47 kromosom ($2n + 1$). Pada manusia, mutasi akibat aneuploid ini dapat menyebabkan kelainan atau penyakit. Meskipun hal ini membahayakan individu penderita, kelainan tersebut jarang dapat diturunkan, karena umumnya penderita menjadi mandul dan tidak dapat menghasilkan keturunan. Terdapat beberapa kelainan dan penyakit yang disebabkan oleh mutasi kromosom aneuploid, di antaranya sindrom Down, sindrom Edwards, sindrom Patau, sindrom Klinefelter, dan sindrom Turner.

a) Sindrom Down

Sindrom Down disebabkan oleh gagal berpisah kromosom nomor 21 sehingga individu penderita memiliki kromosom tambahan pada kromosom nomor 21. Perhatikan **Gambar 5.7** berikut.



Gambar 5.7
 (a) Penderita sindrom Down, dan
 (b) kariotipe penderita sindrom
 Down pada laki-laki dengan
 penambahan satu kromosom nomor
 21.

Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Terlihat pada gambar bahwa penderita sindrom ini memiliki tiga kromosom nomor 21. Hal ini disebut juga trisomi 21. Pengaruhnya menyebabkan pertumbuhan mental penderita terhambat, berkurangnya ketahanan tubuh terhadap infeksi, dan tingkat kelangsungan hidup yang rendah. Tingkat pertumbuhan mental pada sindrom Down bervariasi pada setiap penderita.

Kasus trisomi 21 dapat terjadi pada sekitar 15 individu setiap 10.000 kelahiran. Pada ibu di atas 35 tahun, kemungkinan terjadinya sindrom Down pada anak yang dilahirkannya lebih tinggi dibandingkan pada ibu dengan umur 20-30 tahun (**Levine & Miller**, 1991: 223). Ibu dengan umur 20-30 tahun memiliki kemungkinan 1 dari 1.000 kelahiran untuk mendapatkan anak dengan sindrom Down. Pada ibu di atas 40 tahun, kemungkinan hanya 1 dari 100 kelahiran. Jadi, pada usia berapakah sebaiknya wanita melahirkan anak?

b) Sindrom Patau

Sindrom lain yang lebih langka daripada sindrom Down adalah sindrom yang disebabkan oleh aneuploidi pada autosom. Sindrom Patau adalah salah satunya. Sindrom ini disebabkan oleh trisomi pada kromosom nomor 13 (**Gambar 5.8**). Sindrom ini ditemukan oleh **K. Patau** pada 1960. Penderita sindrom ini memiliki ciri mata serius, kerusakan otak dan peredaran darah, serta langit-langit mulut yang terbelah. Pada setiap 5.000 kelahiran dapat terjadi satu kasus penderita sindrom Patau. Bayi yang dilahirkan dengan sindrom ini jarang bertahan hidup lebih dari satu tahun.



Sumber: www.ncrtec.org

Kata Kunci

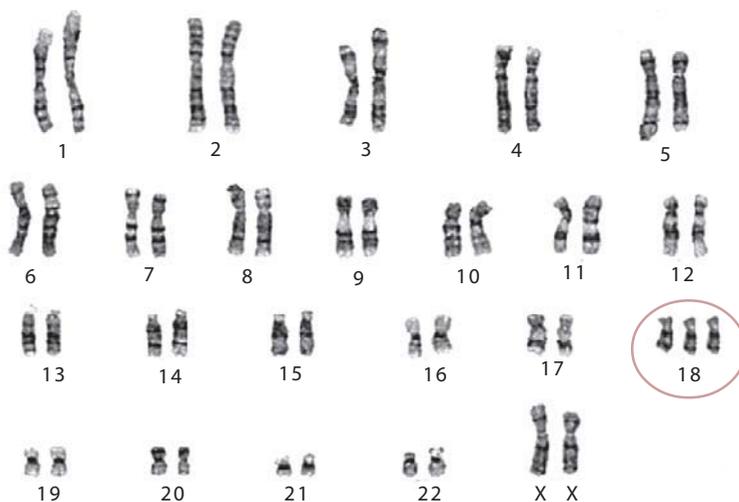
- Trisomi
- Autosom
- Gagal berpisah
- Sindrom Down
- Sindrom Patau
- Sindrom Edwards
- Sindrom Klinefelter
- Sindrom Turner

Gambar 5.8

Trisomi 13 penderita sindrom Patau pada wanita.

c) Sindrom Edwards

Sindrom Edwards kali pertama ditemukan pada 1960 oleh **I.H. Edwards**. Sindrom ini disebabkan oleh trisomi pada kromosom nomor 18 (**Gambar 5.9**). Kemungkinan penderita sindrom ini adalah satu dari setiap 10.000 kelahiran. Sindrom ini mempunyai pengaruh terhadap hampir semua organ tubuh. Seperti halnya pada sindrom Patau, jarang ada bayi dengan sindrom ini bertahan hidup hingga satu tahun.



Sumber: www.ncrtec.org

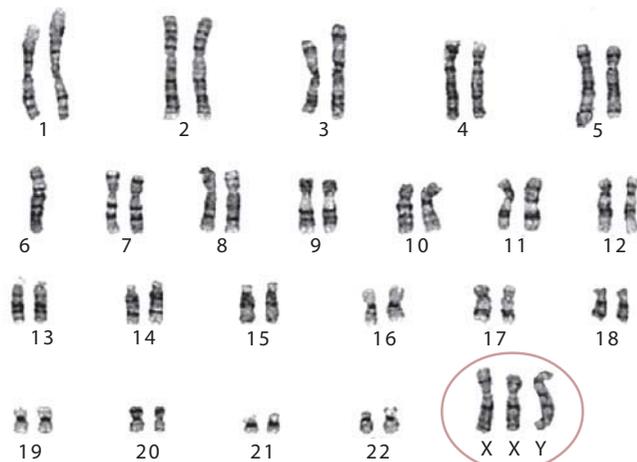
Gambar 5.9

Trisomi 18 penderita sindrom Edward pada wanita.

d) Sindrom Klinefelter

Sindrom Klinefelter kali pertama ditemukan oleh **H.F. Klinefelter** pada 1942. Sindrom ini disebabkan oleh adanya gagal berpisah pada kromosom seks (gonosom) sehingga setelah fertilisasi dihasilkan laki-laki dengan tambahan kromosom X menjadi XXY (**Gambar 5.10**). Diperkirakan kejadian ini terjadi satu dari setiap 2.000 kelahiran.

Individu dengan kromosom XXY adalah pria steril (mandul). Badannya relatif tinggi, namun tidak memperlihatkan perkembangan pria, seperti pundak yang lebar dan pinggul yang kecil layaknya pria pada umumnya. Memasuki masa pubertas, pada sebagian penderita terbentuk kelenjar payudara layaknya wanita. Pria dengan sindrom Klinefelter memiliki pertumbuhan mental yang cenderung lambat. Akan tetapi, hal ini dapat sangat bervariasi pada setiap individu.



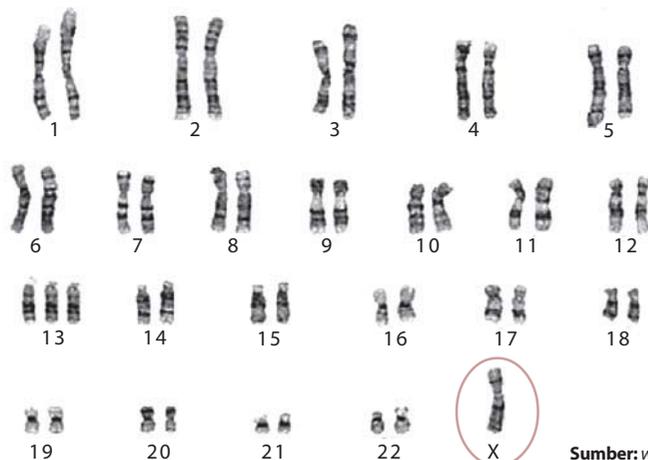
Gambar 5.10

Penambahan kromosom X yang menyebabkan sindrom Klinefelter.

Sumber: www.ncrtec.org

e) Sindrom Turner

Wanita dengan sindrom Turner hanya memiliki satu kromosom seks X (**Gambar 5.11**). Monosomi X ini ditemukan oleh **H.H. Turner** pada 1938. Secara genetis, penderita sindrom ini hanya memiliki kromosom 44A + XO. Meskipun memiliki jenis kelamin wanita, ia tidak memiliki ovarium yang sempurna, steril (mandul), ciri seksualnya tidak berkembang, dan cenderung lebih pendek. Individu dengan sindrom Turner umumnya memiliki tingkat kecerdasan yang normal. Diperkirakan kasus sindrom Turner terjadi satu dari setiap 5.000 kelahiran.



Gambar 5.11

Hilangnya satu gonosom menyebabkan sindrom Turner.

Sumber: www.ncrtec.org

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan mutasi?
2. Jelaskan perbedaan mutasi gen dan mutasi kromosom.
3. Tuliskan ciri-ciri sindrom Down.

B. Penyebab Mutasi

Setelah mengetahui berbagai macam mutasi yang dapat terjadi pada makhluk hidup, menurut Anda, apakah penyebab mutasi tersebut? Mutasi dapat disebabkan oleh banyak hal, antara lain oleh radiasi, iradiasi, dan bahan kimia. Zat atau gen yang menyebabkan mutasi ini disebut **mutagen**. Berdasarkan cara terjadinya mutasi, mutasi dapat dibedakan atas mutasi spontan dan mutasi induksi. Secara mendasar, hasil mutasi spontan dan mutasi induksi tidak terdapat perbedaan. Keduanya tetap dapat menimbulkan variasi genetik.

1. Mutasi Spontan

Mutasi spontan adalah mutasi yang terjadi secara spontan di alam, tanpa campur tangan manusia. Oleh karena itu, mutasi spontan disebut juga mutasi alami. Penyebab mutasi alami bermacam-macam, antara lain disebabkan oleh radiasi sinar kosmis, radiasi radioaktif alam, sinar ultraviolet, dan kesalahan genetika.

Meskipun mutasi dapat menyebabkan kelainan atau penyakit terhadap individu penderitanya, beberapa mutasi dapat juga menjadi sumber adanya variasi dalam populasi. Variasi dalam populasi sangat penting sebagai mekanisme evolusi.

Individu hasil mutasi (mutan) umumnya memiliki sifat resesif, steril (mandul), bahkan bersifat letal. Mutan yang dapat bertahan hidup dan menghasilkan keturunan adalah mutan yang dapat beradaptasi dengan lingkungannya. Jika hal ini terjadi, variasi baru telah terbentuk dalam populasi. Variasi yang membantu individu beradaptasi dengan lingkungan secara baik melalui mekanisme spesiasi dapat membentuk individu baru. Hal ini dipercaya sebagai jawaban banyaknya macam spesies dan variasi di muka bumi. Mutasi, variasi, serta hubungannya dengan evolusi dapat Anda pelajari dalam bab selanjutnya.

2. Mutasi Induksi

Mutasi induksi adalah mutasi hasil induksi dan dibuat secara sengaja oleh manusia. Mutasi ini disebut juga mutasi buatan. Mutasi jenis ini sengaja dilakukan menggunakan mutagen, seperti mutagen fisika dan kimia.

Pelopop mutasi buatan ini diawali oleh penelitian **H.J. Muller** pada 1927. **Muller** meneliti pengaruh radiasi terhadap lalat buah (*Drosophila*). Ia meradiasi lalat buah dengan sinar X radiasi tinggi dan menemukan bahwa radiasi meningkatkan kejadian mutasi. Dari hal tersebut diketahui bahwa radiasi menyebabkan perubahan molekul-molekul gen.

Kata Kunci

- Induksi
- Letal
- Mutagen kimia
- Mutagen fisika
- Spontan
- Steril
- Varietas



Sekilas Biologi

Herman Joseph Muller
(1890-1967)



Herman Joseph Muller adalah seorang ahli genetika yang dilahirkan di New York, Amerika Serikat. Dia meneliti pengaruh sinar-X terhadap mutasi *Drosophila*.

Dia adalah murid Thomas H. Morgan di Universitas Columbia. Pada 1946 dia mendapatkan Penghargaan Nobel di bidang Fisiologi kedokteran.

Sumber: www.biotech.wisc.edu

Bahan mutagen yang sering digunakan dapat dibedakan menjadi dua, yakni **mutagen kimia** dan **mutagen fisika**. Mutagen kimia pada umumnya berasal dari senyawa alkil (agen akil), analog basa, gas metan, asam nitrat, dan kolkisin. Adapun mutagen fisika dapat berupa radiasi ultraviolet, sinar-X, radiasi gamma, radiasi beta, radiasi neutron dan elektron.

Latihan Pemahaman Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan mutagen?
2. Apakah perbedaan mutasi spontan dan mutasi induksi? Jelaskan.
3. Tuliskan paling sedikitnya masing-masing tiga contoh dari mutagen kimia dan mutagen fisika.

C. Dampak Mutasi

Manusia dengan kemajuan teknologinya telah berhasil membuat berbagai produk. Disadari atau tidak, produk-produk tersebut dapat menjadi pemicu mutasi. Berbagai barang, makanan, obat-obatan, dan sinar matahari dapat menjadi faktor penyebab mutasi. Terlebih lagi dengan adanya bom nuklir, limbah radioaktif, dan berbagai bahan pencemar lainnya. Beberapa penyakit kanker diduga kuat disebabkan oleh mutagen-mutagen di lingkungan sekitarnya.

Seperti yang Anda ketahui, tidak semua hasil mutasi merugikan. Mutan yang dapat hidup dan dapat beradaptasi dengan lingkungannya merupakan sumber variasi makhluk hidup. Adakah dampak lain mutasi yang menguntungkan?

1. Mutasi yang Menguntungkan

Manusia menyadari bahwa pada beberapa kasus mutasi, dapat menguntungkan bagi manusia. Oleh karena itu, manusia berusaha mencari cara mendapatkan mutan-mutan dengan sifat yang diinginkan dan mengembangkannya.

Poliploidi pada tanaman merupakan salah satu contoh mutasi yang menguntungkan. Tanaman poliploid dianggap menguntungkan karena memiliki buah besar, tidak berbiji, dan produktivitasnya tinggi. Oleh karena itu, manusia berusaha mengembangkan tanaman poliploid dengan sifat-sifat unggul tersebut. Pada hewan, umumnya mutasi bersifat letal dan membahayakan individu. Akan tetapi, mutasi terhadap hewan masih dapat dimanfaatkan dalam penelitian-penelitian mengenai kanker, untuk mengetahui penyebabnya serta cara pengobatannya.

Beberapa mutagen digunakan manusia untuk menghasilkan mutan-mutan tumbuhan maupun hewan, seperti kolkisin, digitosin, dan sinar radioaktif. Beberapa tanaman mutan dengan sifat unggul juga telah dihasilkan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN). Pemuliaan mutasi di BATAN ini telah berlangsung sejak 1970 dan telah menghasilkan beberapa varietas unggul, seperti pada tabel berikut.

Logika Biologi

Pernahkah Anda mendengar kejadian-kejadian aneh di alam, seperti domba berkaki lima, pohon pisang berjantung lima, atau pohon nangka bertandan dua meter? Jelaskan mengapa hal tersebut dapat terjadi.

Tabel. 5.2 Beberapa Varietas Mutan Tanaman Pangan yang Dihasilkan BATAN

| No. | Nama Varietas | Tahun | No. | Nama Varietas | Tahun |
|-------------|---------------|-------|---------------------|---------------|-------|
| Padi | | | | | |
| 1. | Atomita-1 | 1982 | 11. | Diah suci | 2003 |
| 2. | Atomita-2 | 1983 | 12. | Mira-1 | 2006 |
| 3. | Atomita-3 | 1990 | Kedelai | | |
| 4. | Atomita-4 | 1991 | 13. | Maria | 1987 |
| 5. | Situgintung | 1992 | 14. | Tengger | 1991 |
| 6. | Cilosari | 1996 | 15. | Meratus | 1998 |
| 7. | Merauke | 2001 | 16. | Rajabasa | 2004 |
| 8. | Wayla | 2001 | Kacang hijau | | |
| 9. | Kahayan | 2002 | 17. | Camar | 1991 |
| 10. | Winongo | 2002 | | | |

Sumber: www.batan.go.id

2. Mutasi yang Merugikan

Mutasi yang merugikan telah banyak Anda ketahui. Banyak mutasi yang bersifat letal, menyebabkan kelainan, penyakit, kemandulan, dan lain-lain. Secara umum, mutasi yang merugikan dapat dibedakan atas mutasi yang tidak diwariskan dan diwariskan. Pada mutasi yang tidak diwariskan, kelainan atau penyakit akibat mutasi tersebut hanya terjadi pada satu individu dan tidak diwariskan kepada keturunannya. Hal tersebut dapat terjadi karena individu tersebut mati atau steril (mandul). Jika mutasi tersebut dapat diwariskan maka kelainan atau penyakit hasil mutasi dapat selalu muncul pada populasi dan dapat mengubah gen-gen dalam populasi.

Tugas Anda 5.1

Mutasi selain merugikan, juga dapat memberikan keuntungan bagi kehidupan. Salah satu contohnya adalah semangka tanpa biji yang merupakan tanaman poliploid. Carilah tanaman hasil mutasi lain yang dapat memberikan keuntungan bagi kehidupan selain yang telah disebutkan di atas. Anda dapat mencarinya melalui internet, media cetak, ataupun pada media lainnya.

Latihan Pemahaman Subbab C

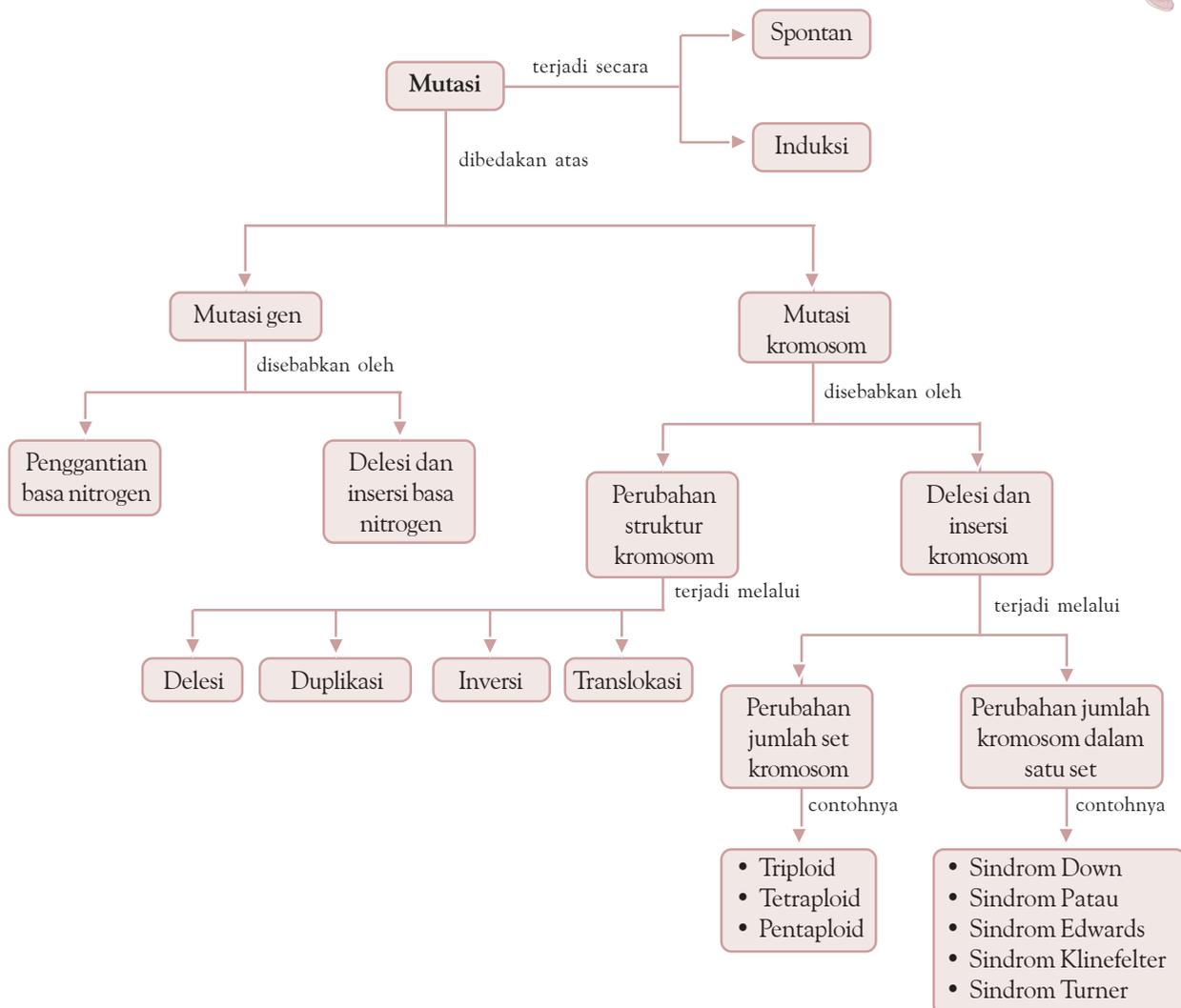
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan tanaman poliploid?
2. Tuliskan salah satu contoh mutasi yang merugikan bagi manusia.

Rangkuman

1. Perubahan DNA disebut mutasi.
2. Individu yang mengalami mutasi disebut mutan, sedangkan penyebab mutasi disebut mutagen.
3. Berdasarkan besar dan kecilnya perubahan pada materi genetik, mutasi dibedakan atas mutasi kecil (gen) dan mutasi besar (kromosom).
4. Mutasi gen disebabkan oleh perubahan nukleotida, delesi, dan insersi basa nitrogen.
5. Mutasi kromosom dibedakan atas mutasi akibat perubahan struktur kromosom dan perubahan jumlah kromosom.
6. Perubahan struktur kromosom dapat terjadi melalui delesi, duplikasi, inversi, dan translokasi.
7. Perubahan kromosom dapat terjadi melalui perubahan jumlah set kromosom dan perubahan jumlah kromosom.
8. Kelainan yang disebabkan oleh perubahan jumlah kromosom (aneuploidi) di antaranya sindrom Down, sindrom Edwards, sindrom Patau, sindrom Klinefelter, dan sindrom Turner.
9. Berdasarkan cara terjadinya, mutasi dapat dibedakan menjadi mutasi spontan dan mutasi induksi.
10. Selain merugikan, mutasi dapat memberikan keuntungan bagi manusia.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi ini? Menarik, bukan? Banyak hal yang bisa Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini. Misalnya, Anda dapat menghindari bahaya mutasi yang merugikan.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu memahami peristiwa mutasi dan dampaknya bagi kehidupan. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam memahami materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah pada guru Anda untuk memecahkan permasalahan berkenaan dengan materi mutasi ini. Agar Anda mampu memahami materi dalam bab ini dengan lebih baik, pastikanlah Anda menguasai materi bab ini dengan belajar lebih giat.

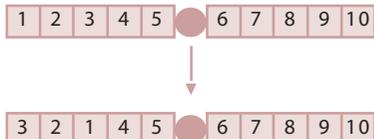
Evaluasi Kompetensi Bab 5

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

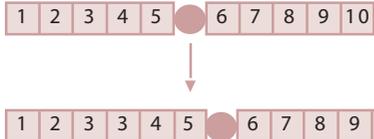
A. Pilihan Ganda

- Mutasi berarti
 - perubahan kromosom dalam gen
 - perubahan gen dalam kromosom fisik makhluk hidup
 - perubahan keturunan makhluk hidup
 - perubahan kromosom dalam DNA
 - perubahan bentuk sel
- Mutasi gen dapat diartikan sebagai
 - perubahan jumlah gen dalam kromosom
 - perubahan jumlah kromosom
 - perubahan letak gen dalam kromosom
 - perubahan susunan atau urutan basa nitrogen
 - perubahan letak nukleotida dalam gen
- Peristiwa mutasi dapat terjadi berupa:
 - bertambahnya lokus/segmen
 - hilangnya basa nitrogen
 - berubahnya urutan basa nitrogen
 - terjadinya peristiwa poliploidi
 - terjadinya peristiwa penyisipan basa nitrogen
 - terjadi pindah silang
 - terjadi gagal berpisah

Dari peristiwa-peristiwa tersebut, yang merupakan peristiwa mutasi kromosom adalah

 - 1, 3, 5, 6
 - 1, 2, 6, 7
 - 1, 4, 6, 7
 - 1, 3, 4, 7
 - 2, 4, 5, 7
- Jika kromosom kehilangan salah satu kromosom dalam lokusnya disebut
 - translokasi
 - inversi
 - duplikasi
 - delesi
 - katensasi
- Berikut ini yang *bukan* merupakan tentang mutasi gen adalah
 - perubahan kodon dalam DNA gen dapat menyebabkan mutasi pada protein
 - perubahan gen tidak selalu terdeteksi karena sifat resesif
 - mutasi gen merupakan sumber penting untuk menghasilkan varian genetik baru
 - mutasi gen adalah perubahan yang terjadi pada susunan basa nitrogen DNA
 - mutasi gen adalah perubahan yang terjadi pada susunan basa nitrogen molekul RNA
- Mutasi gen dan mutasi kromosom dapat juga disebabkan oleh
 - virus dan bakteri
 - jamur ascomycetes dan bakteri patogen
 - virus dan jamur tertentu
 - jamur dan protista tertentu
 - virus dan protista
- Berikut ini merupakan kerusakan kromosom, *kecuali*
 - translokasi
 - nulisomi
 - poliploidi
 - inversi
 - delesi
- Perhatikan gambar kromosom beserta lokus-lokus berikut.

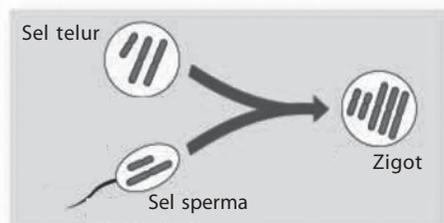
Berdasarkan gambar tersebut, jenis kerusakan kromosom yang terjadi adalah

 - translokasi
 - delesi
 - duplikasi
 - inversi perisentris
 - inversi parasentris
- Perhatikan gambar mutasi berikut ini.

Peristiwa tersebut menunjukkan peristiwa mutasi kromosom

 - translokasi
 - delesi
 - duplikasi
 - inversi perisentris
 - inversi parasentris

10. Mutasi kromosom yang menyebabkan bertambahnya jumlah kromosom $2n$ menjadi $4n$ disebut
- poliploidi
 - aneuploidi
 - duplikasi
 - delesi
 - trisomi
11. Aneuploidi dapat terjadi melalui peristiwa
- delesi
 - duplikasi
 - poliploidi
 - pindah silang
 - gagal berpisah
12. Perhatikan gambar berikut.



- Zigot yang dihasilkan dari peristiwa tersebut memiliki penambahan kromosom yang disebut
- monosomi
 - nulisomi
 - trisomi
 - tetrasomi
 - pentasomi
13. Jumlah kromosom $2n - 2$ disebut aneuploidi jenis
- nulisomi
 - monosomi
 - trisomi
 - pentasomi
 - tetrasomi
14. Penambahan satu kromosom nomor 21 pada manusia menyebabkan
- sindrom Edwards
 - sindrom Klinefelter
 - sindrom Patau
 - sindrom Down
 - sindrom Turner
15. Penyakit atau kelainan genetik adalah
- penyakit yang disebarkan oleh vektor penyakit
 - penyakit menular
 - penyakit keturunan yang bersifat tetap
 - penyakit menular kelamin
 - penyakit tahunan
16. Mutasi yang menyebabkan delesi satu kromosom X atau Y terjadi pada penderita
- sindrom Klinefelter
 - sindrom Cri-du-chat
 - sindrom Patau
 - sindrom Turner
 - sindrom Edwards
17. Contoh mutasi induksi adalah
- pembentukan tanaman mutan akibat sinar ultraviolet alami
 - penggunaan pestisida untuk mendapatkan tanaman tahan hama
 - penggunaan radioaktif dalam mendiagnosis penyakit

- meradiasi benih dengan sinar radioaktif untuk mendapatkan bibit unggul
 - pemanfaatan sinar radioaktif dalam pembentukan vitamin D
18. Berikut ini adalah mutagen-mutagen, *kecuali*
- sinar ultraviolet
 - sinar gamma
 - sinar-x
 - gas metan
 - radiasi neutron
19. Contoh dari mutasi yang menguntungkan adalah
- gen letal
 - tumbuhan steril
 - hewan steril
 - buah tanpa biji
 - kanker
20. Penyebab mutasi alami antara lain
- radiasi sinar x dan radioaktif alam
 - sinar matahari dan radioaktif alam
 - radiasi sinar kosmis dan asam nitrat
 - asam nitrat dan kolkisin
 - radiasi gamma dan radiasi neutron

B. Soal Uraian

- Jelaskan perbedaan mutasi gen dan mutasi kromosom.
- Mengapa mutasi gen suatu saat dapat berpengaruh dan juga tidak?
- Jika mutasi terjadi pada sel-sel reproduksi hewan, mutasi tersebut kemungkinan besar akan diwariskan kepada keturunan. Bagaimanakah pengaruh mutasi terhadap hewan keturunannya? Apakah sifat tersebut diturunkan kepada keturunan selanjutnya?
- Mengapa mutasi dapat menyebabkan variasi?
- Jelaskan keuntungan mutasi bagi manusia.

C. Soal Tantangan

- Diketahui susunan basa nitrogen pada DNA sebagai berikut.



Berdasarkan susunan basa nitrogen tersebut, tentukan rangkaian asam amino yang terbentuk pada ribosom?

- Jika susunan basa nitrogen pada DNA di atas mengalami mutasi insersi (terjadi penambahan basa nitrogen A) seperti berikut.



- Bagaimanakah susunan basa nitrogen pada mRNA?
- Bagaimanakah susunan basa nitrogen pada tRNA?
- Asam amino apakah yang terbentuk?

Untuk menjawab soal tersebut lihat Tabel 3.3.

Proyek Semester 1



Membuat Karya Ilmiah yang Berhubungan dengan Genetika

Genetika merupakan salah satu ilmu yang berkaitan erat dengan kehidupan Anda. Dengan mempelajari genetika, Anda semakin memahami segala sesuatu yang berhubungan dengan penampakan diri serta sifat-sifat yang diturunkan kedua orangtua Anda. Pemahaman yang memadai tentang genetika bahkan dapat membantu Anda menyelesaikan beberapa masalah yang berkaitan dengan pewarisan sifat.

Di kelas XII semester I, Anda akan mempelajari materi genetik, sintesis protein, pola pewarisan sifat, serta mutasi. Untuk memperdalam wawasan Anda mengenai materi tersebut dan implikasinya pada Salingtemas, Anda ditugaskan untuk menyusun sebuah karya tulis ilmiah mengenai gangguan/kelainan/penyakit yang dapat diturunkan dari orang tua kepada anaknya. Tentukan satu jenis gangguan atau kelainan yang akan dipelajari dengan mengamati kasus-kasus genetika yang terdapat di lingkungan Anda. Jika tidak ada, Anda dapat mengunjungi puskesmas atau rumah sakit terdekat untuk mendapatkan informasi kelainan genetik di lingkungan Anda. Gunakanlah berbagai sumber rujukan, seperti buku-buku, majalah, koran, atau internet untuk lebih memahami gangguan atau kelainan yang Anda pelajari.

Buatlah karya tulis sebaik mungkin dengan mengacu pada rambu-rambu penulisan karya tulis yang telah Anda pelajari pada mata pelajaran Bahasa Indonesia. Jika terdapat hal-hal yang sulit Anda pahami, bertanyalah pada guru Anda. Pada akhir semester 1, guru Anda akan mengadakan diskusi kelas untuk membahas karya tulis Anda. Bersiap-siaplah, siapa tahu karya tulis Anda terpilih untuk dipresentasikan di depan teman-teman Anda. Selanjutnya guru Anda akan membimbing dan mengarahkan diskusi tersebut.

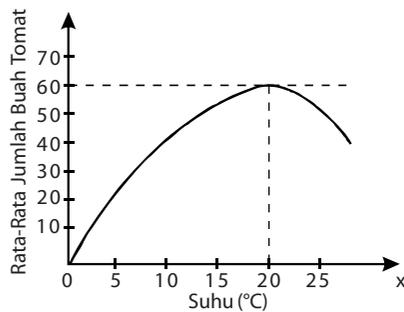
Evaluasi Kompetensi Biologi

Semester 1

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

1. Perhatikan grafik hubungan temperatur dan jumlah buah tomat berikut ini.



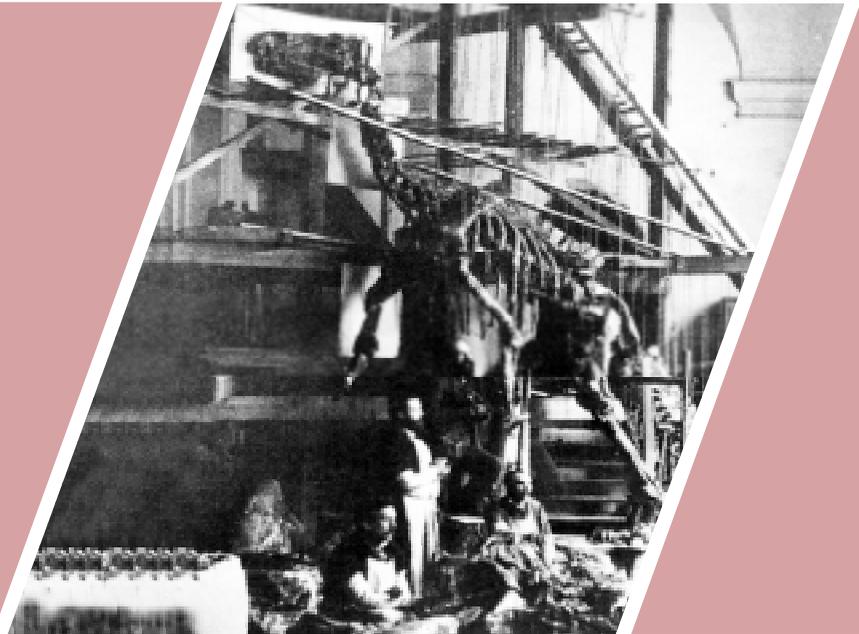
Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa

- jumlah buah tomat tidak dipengaruhi suhu
 - buah tomat mempengaruhi suhu
 - di atas temperatur 20°C rata-rata jumlah buah tomat meningkat
 - di atas temperatur 20°C rata-rata jumlah buah tomat yang dihasilkan menurun
 - suhu 20°C menyebabkan jumlah buah tomat menurun
2. Untuk pertumbuhan dan perkembangan embrio hingga terbentuk daun, sumber makanan kecambah adalah
- tunas embrionik
 - akar embrionik
 - batang embrionik
 - kotiledon
 - calon batang
3. Auksin berpengaruh terhadap pertumbuhan tumbuhan. Auksin memacu perpanjangan sel. berikut ini yang *bukan* pengaruh auksin adalah
- pembengkokan batang
 - pembelahan sel kambium
 - perkembangan bunga dan buah
 - pertumbuhan akar
 - pematangan buah
4. Pertumbuhan tunas ketiak pohon setelah pucuk dipotong, dipengaruhi oleh
- giberelin
 - IAA
 - asam absisat
 - sitokinin
 - gas etilen
5. Selama musim kemarau, daun flamboyan dan mahoni sering menggugurkan daun. Hal ini dilakukan untuk mengurangi proses penguapan. Tumbuhan tetap dapat bertahan hidup. Hal ini dipengaruhi adanya hormon
- sitokinin
 - asam absisat
 - giberelin
 - auksin
 - gas etilen
6. Daun dan batang tumbuhan yang tumbuh di tempat gelap akan berwarna kuning pucat yang disebut
- fitokrom
 - dormansi
 - etiolasi
 - dominansi apikal
 - fotoperiodisme
7. Perhatikan pernyataan berikut ini.
- Peredaran darah
 - Respirasi sel
 - Pewarnaan makanan
 - Fotosintesis
 - Ekskresi
- Dari pernyataan tersebut, proses metabolisme adalah
- 1, 2, dan 3
 - 1, 3, dan 5
 - 2, 3, dan 4
 - 2, 4, dan 5
 - 3, 4, dan 5
8. Glikolisis di dalam sel terjadi pada
- sitoplasma
 - mitokondria
 - ribosom
 - lisosom
 - nukleus
9. Fungsi enzim dalam metabolisme adalah
- mengikat energi
 - katalisator
 - mengikat klorofil
 - mengikat air
 - mengikat CO₂
10. Perhatikan pernyataan berikut.
- memengaruhi zat tertentu
 - ikut bereaksi, tetapi strukturnya kembali seperti semula

- 3) bekerja pada pH dan temperatur tertentu
 4) dihasilkan oleh sel-sel makhluk hidup
- Pernyataan tersebut merupakan ciri khas dari
- lemak
 - protein
 - karbohidrat
 - enzim
 - vitamin
- Pada katabolisme glukosa, oksigen berperan dalam pembentukan
 - H₂O
 - CO₂
 - ATP
 - ADP
 - transfer elektron
 - Reaksi terang pada peristiwa anabolisme karbohidrat menghasilkan
 - ATP, NAD, dan melepaskan O₂
 - ATP, NADH, dan melepaskan O₂
 - ADP, NADH, dan melepaskan CO₂
 - ATP, NADH, dan melepaskan CO₂
 - ADP, NAD, dan melepaskan O₂
 - Di bawah ini merupakan ciri anabolisme dalam tubuh *kecuali*
 - menghasilkan panas
 - membutuhkan energi
 - pembentukan suatu senyawa
 - reaksi enzimatik
 - endoterm
 - Berikut ini yang merupakan sifat gen adalah
 - menempati sentromer dari kromosom
 - berduplikasi pada tahap profase
 - mempunyai berat molekul kecil
 - berperan dalam proses translasi sintesis protein
 - membawa informasi genetik
 - Gula pentosa DNA berbeda dengan RNA karena gula DNA
 - deoksiribosa
 - ribosa
 - glukosa
 - purin
 - pirimidin
 - Replikasi DNA berlangsung dalam
 - ribosom
 - badan golgi
 - nukleus
 - RE
 - vakuola
 - Proses pembentukan RNA yang berlangsung dalam inti sel disebut
 - replikasi
 - transkripsi
 - duplikasi
 - translasi
 - insersi
 - Komplemen DNA dengan urutan basa nitrogen ATG - GCT - ATC adalah
 - ATG - GCT - ATC
 - UAC - CGA - UAG
 - TAC - CGA - TAG
 - TAC - CGA - UAG
 - ATC - GCT - GTA
 - Jika suatu *template* DNA memiliki urutan basa nitrogen AGC - TAA - GGS maka antikodonya adalah
 - AGC - UUA - GGC
 - AGC - TTA - GGC
 - UCG - AAU - CCG
 - TCG - AAT - CCG
 - AGC - UUA - GGC
 - Ciri interfase siklus sel adalah sebagai berikut, *kecuali*
 - kondensasi kromosom
 - metabolisme normal sel
 - sintesis protein
 - pertumbuhan sel
 - penggandaan sel
 - Sitokinesis dalam pembelahan sel terjadi pada tahap
 - interfase
 - profase
 - metafase
 - anafase
 - telofase
 - Duplikasi sentrosom pada pembelahan sel terjadi pada tahap
 - interfase
 - metafase
 - profase
 - anafase
 - telofase
 - Tempat pematangan sperma pada alat reproduksi laki-laki berlangsung di
 - tubulus seminiferus
 - vas deferens
 - duktus epididimis
 - vas deferens
 - lobula testis
 - Dari satu sel oosit primer setelah melakukan oogenesis dihasilkan gamet
 - satu gamet fungsional
 - dua gamet fungsional
 - tiga gamet fungsional
 - empat gamet fungsional
 - lima gamet fungsional
 - Pada tahapan spermatogenesis yang memiliki jumlah kromosom haploid adalah

- a. spermatogonium
 - b. spermatosit primer
 - c. spermatosit sekunder
 - d. spermatid
 - e. spermatozoa
26. Jumlah kariokinesis yang terjadi pada megasporogenesis sebanyak
- a. 1 kali
 - b. 2 kali
 - c. 3 kali
 - d. 4 kali
 - e. 5 kali
27. Perbandingan fenotipe dari persilangan individu bergenotipe AaBb x AABb adalah
- a. 9 : 3 : 3 : 1
 - b. 1 : 2 : 1
 - c. 3 : 1
 - d. 3 : 3 : 1 : 1
 - e. 1 : 1 : 1 : 1
28. Perkawinan antara wanita normal yang mempunyai ayah buta warna dan laki-laki normal mempunyai keturunan buta warna sebesar
- a. 0%
 - b. 25%
 - c. 50%
 - d. 75%
 - e. 100%
29. Terjadinya perubahan gen karena hilangnya basa nitrogen tertentu disebut
- a. delesi
 - b. transisi
 - c. inversi
 - d. insersi
 - e. duplikasi
30. Pernyataan yang *salah* mengenai sindrom Turner adalah
- a. steril
 - b. jenis kelamin wanita
 - c. kariotipe 44A + XO
 - d. trisomi pada gonosom
 - e. ovarium tereduksi
- B. Soal Uraian**
1. Jelaskan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
 2. Jelaskan yang Anda ketahui tentang:
 - a. auksin;
 - b. makronutrien;
 - c. fotoperiodisme;
 - d. fototropisme.
 3. Jelaskan perbedaan antara respirasi aerob dan anaerob.
 4. Peristiwa apa sajakah yang berlangsung dalam reaksi terang fotosintesis?
 5. Tuliskan sifat-sifat gen.
 6. Jelaskan yang dimaksud dengan transkripsi dan translasi.
 7. Apakah peranan pembelahan mitosis bagi makhluk hidup?
 8. Suatu individu bergenotipe AaBbccDdEE (A-D bertautan), tuliskan macam gamet yang dibentuk.
 9. Hasil suatu persilangan dihibrid didapatkan perbandingan fenotipe 3 bulat panjang dan 1 bulat pendek. Tuliskan genotipe parentalnya yang mungkin.
 10. Terdapat susunan gen suatu kromosom, yaitu ABCD yang kemudian berubah menjadi AaDCEq. Berdasarkan proses mutasi, jelaskan mutasi yang terjadi.

Bab 6



Sumber: *Jendela IPTEK: Evolusi*, 1997
Fosil dijadikan petunjuk adanya evolusi.

Teori Asal-Usul Kehidupan dan Evolusi

Hasil yang harus Anda capai:

memahami teori evolusi serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan teori, prinsip, dan mekanisme evolusi Biologi;
- mengomunikasikan hasil studi evolusi Biologi;
- mendeskripsikan kecenderungan baru tentang teori evolusi.

Apa yang Anda bayangkan jika mendengar evolusi? Apakah Anda membayangkan fosil-fosil makhluk hidup yang telah punah? Ataukah Anda membayangkan seekor ikan menjadi reptil, lalu reptil menjadi burung bahkan seekor kera menjadi manusia?

Jika bayangan Anda mengenai evolusi berkaitan dengan fosil maka bayangan Anda benar. Memang teori ini berhubungan dengan fosil-fosil. Akan tetapi, jika Anda membayangkan evolusi sebagai perubahan satu individu menjadi individu lain, bayangan Anda kurang tepat. Evolusi tidak terjadi pada individu, tetapi pada populasi. Evolusi juga terjadi sangat lama, bahkan Anda belum tentu dapat menyaksikan peristiwa evolusi selama Anda hidup. Lalu, bagaimana para ilmuwan dapat menyimpulkan evolusi itu terjadi?

Sebelum Anda mendapat jawaban pertanyaan tersebut, pada bab ini Anda terlebih dahulu akan mempelajari teori asal-usul kehidupan yang dikemukakan oleh para ilmuwan. Setelah itu, Anda akan mempelajari teori evolusi. Dijelaskan pula bukti-bukti dan proses terjadinya evolusi serta perkembangan baru teori evolusi berdasarkan perkembangan Biologi molekular.

- A. Teori Asal-Usul Kehidupan
- B. Teori Evolusi
- C. Bukti Evolusi
- D. Proses Evolusi
- E. Evolusi dan Klasifikasi

Tes Kompetensi Awal

1. Dari manakah Anda berasal?
2. Apakah evolusi itu?

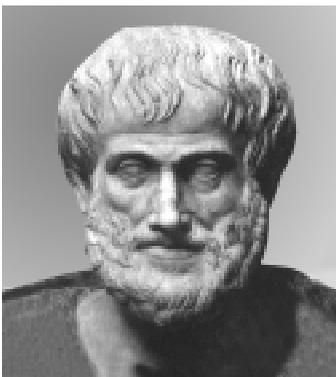
Kata Kunci

- Abiogenesis
- Biogenesis
- *Generatio spontanea*



Sekilas Biologi

Aristoteles
(384–322 SM)



Aristoteles adalah seorang filsuf dan naturalis. Ia merupakan salah seorang yang memandang alam secara ilmiah.

Sumber: *Biology*, 1999



Sekilas Biologi

Akhir tahun 1600, banyak orang percaya mengenai teori *generatio spontanea* pada hewan. Bahkan seorang doktor saat itu, Jan Baptist Van Helmont, membuat resep untuk membuat tikus, yaitu dengan melempar biji-bijian dan kain lusuh ke sudut ruangan.

Sumber: *Heath Biology*, 1985

A. Teori Asal-Usul Kehidupan

Selama ratusan tahun, para ilmuwan telah mengetahui bahwa makhluk hidup yang ada di bumi beraneka ragam. Dalam keanekaragaman tersebut, para ilmuwan menemukan bahwa pada beberapa makhluk hidup ditemukan juga beberapa kesamaan.

Sejak lama, para ilmuwan berusaha menjawab sebuah pertanyaan, bagaimana kehidupan berawal? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, banyak ilmuwan yang mengemukakan berbagai teorinya disertai bukti-bukti yang mendukung teori tersebut. Meskipun demikian, pertanyaan tersebut belum dapat sepenuhnya dijelaskan oleh teori-teori tersebut karena teori-teori tersebut sulit dibuktikan.

Dari banyak teori mengenai asal-usul kehidupan, terdapat dua teori utama yang dapat diterima secara luas, yakni teori evolusi kimia dan teori evolusi biologi. Selain kedua teori tersebut, dijelaskan pula sejarah munculnya teori abiogenesis dan teori biogenesis yang merupakan awal pemikiran manusia mengenai asal-usul kehidupan.

1. Teori Abiogenesis

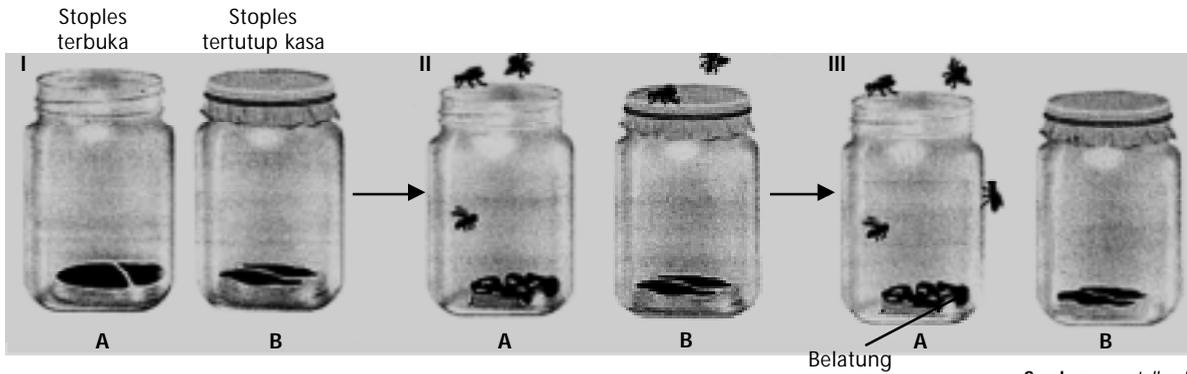
Menurut teori ini, kehidupan terjadi secara spontan dan berasal dari materi tak hidup. Teori ini, beranggapan bahwa kehidupan berawal dari benda mati. Misalnya, tikus berasal dari tumpukan sampah dan belatung berasal dari daging yang membusuk. Teori abiogenesis ini disebut juga teori *generatio spontanea*.

Teori abiogenesis ini pertama kali dikemukakan oleh Aristoteles (384–332 SM). Dengan ditemukannya mikroskop, teori ini semakin didukung. John Needham adalah orang yang mendukung teori ini. Pada pertengahan 1700, ia melakukan percobaan dengan memanaskan kaldu untuk membunuh semua mikroorganisme yang ada. Kemudian, ia menuangkan air kaldu ke dalam tabung reaksi dan menutupnya dengan gabus. Dalam beberapa hari, tabung dipenuhi oleh bakteri. Ia menyimpulkan bahwa bakteri dibentuk dari sisa-sisa mikroorganisme yang mati oleh panas sebelumnya. Dari percobaan tersebut, ia menyimpulkan bahwa teori abiogenesis adalah benar.

2. Teori Biogenesis

Munculnya teori biogenesis merupakan bantahan atas teori abiogenesis. Para pendukung teori ini di antaranya Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani, dan Louis Pasteur. Teori biogenesis menyatakan bahwa kehidupan berasal dari kehidupan sebelumnya. Untuk mendukung pernyataan ini, dilakukan percobaan oleh para pendukung teori biogenesis.

Francesco Redi (1626–1697) melakukan percobaan terhadap sekerat daging dalam stoples (Gambar 6.1). Stoples A diisi dengan sekerat daging dan stoples B diisi dengan sekerat daging yang ditutup oleh kain kasa rapat. Setelah beberapa hari, stoples A banyak dihinggapi lalat dan muncul banyak belatung kecil. Adapun pada stoples B tidak ditemukan belatung pada daging yang membusuk. Hasil ini disimpulkan oleh Redi bahwa diperlukan lalat untuk menghasilkan belatung. Belatung pada daging tersebut berasal dari telur lalat.



Sumber: www.tolland.k12.ct.us

Pada percobaan Lazzaro Spallanzani (1729–1799) digunakan air kaldu seperti percobaan Needham. Spallanzani merebus air kaldu dalam tabung I dan II lebih lama dibandingkan percobaan yang dilakukan Needham, selama satu jam. Hal ini untuk memastikan terbunuhnya semua mikroorganisme dalam kaldu. Setelah dipanaskan, labu I dibiarkan terbuka, sedangkan labu II ditutup dengan cara memanaskan ujung botol. Setelah beberapa hari, labu I dipenuhi oleh bakteri, adapun pada labu II tetap tidak ada pertumbuhan bakteri.

Gambar 6.1

Francesco Redi melakukan percobaan pertama untuk membuktikan teori biogenesis.

| | Kondisi Awal | Kondisi Akhir |
|-------------|-------------------------------|------------------------------|
| Needham | Kaldu dipanaskan sebentar | Terdapat mikroorganisme |
| Spallanzani | Kaldu dipanaskan satu jam | Tidak ada mikroorganisme |

Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 6.2

Percobaan Needham, dan Spallanzani.

Percobaan Spallanzani ini diperbarui oleh percobaan Louis Pasteur menggunakan labu leher angsa. Hal ini dikarenakan kritikan para pendukung teori abiogenesis terhadap percobaan Spallanzani. Mereka menyatakan bahwa percobaan yang dilakukan Spallanzani menghancurkan

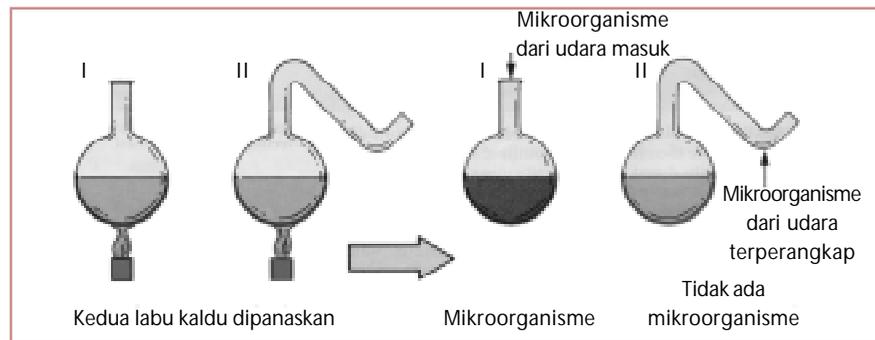
Kata Kunci

- Labu leher angsa
- *Omne vivum ex vivo*
- *Omne ovum ex vivo*
- *Omne ovum ex ovo*

Gambar 6.3

Peralatan yang dilakukan oleh Louis Pasteur

“komponen penyokong kehidupan” dengan tidak adanya udara dan pemanasan berlebih (Mclaren Rotundo, 1985: 30). Oleh karena itu, Pasteur menggunakan labu leher angsa. Perhatikan Gambar 6.3 berikut.



Sumber: Heath Biology, 1985



Sumber: Biology: Exploring Life, 1994

Gambar 6.4

Louis Pasteur, seorang tokoh pendukung teori biogenesis

Percobaan yang dilakukan pada 1861 ini, berhasil menumbangkan teori abiogenesis. Labu leher angsa yang dipanaskan tetap dapat memungkinkan udara masuk ke dalam labu, tetapi tidak ada mikroorganisme yang hidup setelah beberapa hari. Melalui percobaan ini, Louis Pasteur membuktikan bahwa terdapat mikroorganisme di udara, air, dan tanah, yang dapat menyebabkan kontaminasi pada air kaldu. Berdasarkan hasil percobaan, berkembanglah teori biogenesis yang menyatakan bahwa:

- a. *omne vivum ex vivo*, semua makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya;
- b. *omne ovum ex vivo*, semua telur berasal dari makhluk hidup; dan
- c. *omne ovum ex ovo*, semua makhluk hidup dari telur.

Aktivitas Biologi 6.1

Menumbangkan Teori Abiogenesis

Tujuan

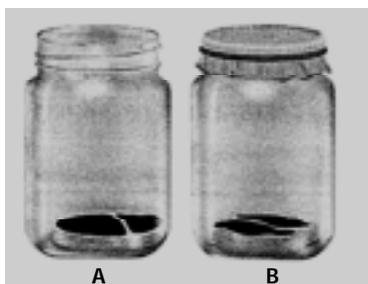
Membuktikan teori biogenesis melalui percobaan yang dilakukan Francesco Redi

Alat dan Bahan

1. Dua buah stoples
2. Dua kerat daging segar
3. Kain kasa dan tali

Langkah Kerja

1. Bersama kelompok Anda, buatlah percobaan seperti yang dilakukan Francesco Redi. Masukkan daging dalam stoples A dan B.
2. Tutup stoples B dengan kain kasa dan ikat dengan tali. Simpan kedua stoples di tempat terbuka. Amati setelah sepuluh hari. Catatlah keadaan stoples dan daging pada stoples A dan B dalam tabel seperti berikut.



| Hari ke- | Keadaan | |
|----------|-----------|-----------|
| | Stoples A | Stoples B |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| ... | | |
| 10 | | |

Pertanyaan

1. Apakah yang terjadi pada stoples I dan II pada akhir pengamatan?
2. Adakah belatung pada daging stoples II? Jika ada, mengapa hal tersebut dapat terjadi?
3. Apakah kesimpulan dari percobaan ini?

3. Teori Evolusi Kimia

Teori ini menyatakan bahwa asal-usul kehidupan diawali oleh terbentuknya senyawa-senyawa organik di atmosfer. Dengan adanya gas-gas, seperti metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O), dan amonia (NH_3) di atmosfer serta bantuan energi dari sinar kosmis dan kilatan halilintar, dapat terbentuk senyawa organik seperti asam amino. Senyawa organik tersebut terkumpul dalam sup primordial (sup purba). Melalui sup purba inilah kemungkinan kehidupan paling sederhana muncul.

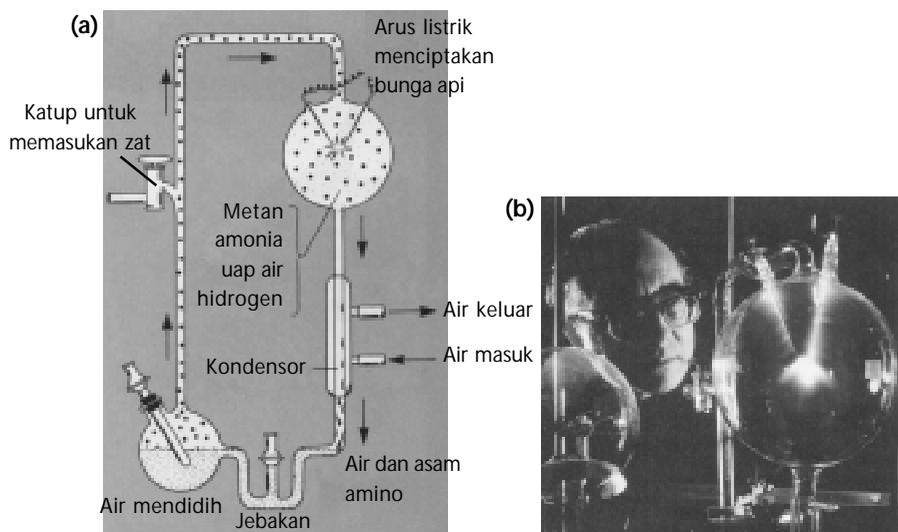


Sumber: Heath Biology, 1985

Gambar 6.5

Gambaran seniman terhadap bumi primitif

Teori evolusi kimia ini diajukan oleh A.I. parin, seorang ahli biokimia Rusia dan .B.S. Haldane, seorang ahli genetika Inggris sekitar 1924. Akan tetapi, teori ini baru dapat dibuktikan oleh Stanley Miller, seorang peneliti Amerika, pada 1953. Melalui percobaannya, Miller membuat sebuah alat yang meniru keadaan awal bumi sebelum kehidupan terbentuk (Gambar 6.6).



Sumber: Heath Biology, 1985; Biology: Concepts and Connections, 2006

Gambar 6.6

(a) Susunan alat yang digunakan oleh Miller. (b) Stanley Miller yang mencoba mengulang kembali penelitiannya.

Alat percobaan Miller tersusun atas tabung kaca yang dilengkapi dengan kran-kran untuk memasukkan bermacam-macam gas, seperti metana (CH_4), uap air (H_2O), hidrogen (H_2), dan amonia (NH_3). Mirip gas-gas yang terdapat di atmosfer bumi awal. Tabung tersebut dilengkapi dengan dua elektroda yang dihubungkan dengan listrik 75.000 volt untuk menghasilkan bunga api listrik sebagai pengganti halilintar.

Kata Kunci

- Evolusi kimia
- Senyawa organik
- Sup primordial

Setelah beberapa hari, air penampungan dari rangkaian tabung kaca Miller berubah warna. Setelah dianalisis, perubahan warna air penampungan karena adanya asam amino dalam air. Seperti Anda ketahui, asam amino merupakan zat organik pembentuk protein. Hal ini membuktikan bahwa zat anorganik (materi tidak hidup) dapat membentuk setidaknya zat organik yang terdapat pada makhluk hidup. Pembentukan asam amino pada sup purba dapat menjadi langkah pertama dalam evolusi yang menghasilkan makhluk hidup.

Banyak penelitian lain yang mirip dilakukan setelah percobaan Miller dengan menggunakan sumber energi lain dan gas-gas yang berbeda. Semua percobaan mencoba membangun kembali keadaan awal bumi yang mungkin terjadi. Percobaan tersebut memperlihatkan bahwa pada keadaan seperti awal bumi, asam amino dapat terbentuk dan bersama-sama membentuk molekul, seperti protein. Diperlukan langkah-langkah yang panjang dan rumit dari pembentukan molekul organik hingga membentuk satu sel makhluk hidup. Hal ini karena, satu sel paling sederhana pun mengandung sepuluh hingga ribuan makromolekul.

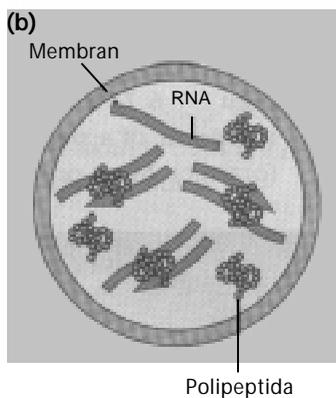
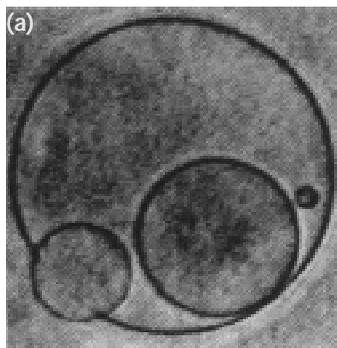
4. Teori Evolusi Biologi dan Asal-Usul Kehidupan

A.I. Oparin dalam bukunya *Asal-usul Kehidupan* (The Origin of Life), mengemukakan bahwa asal-usul kehidupan terjadi di lautan melalui pembentukan senyawa-senyawa organik dari senyawa-senyawa sederhana, seperti H_2O , CO_2 , CH_4 , NH_3 , dan H_2 yang memang berlimpah pada saat itu. Pembentukan senyawa organik ini dibantu oleh energi radiasi benda-benda angkasa yang juga sangat intensif pada saat itu. Senyawa kompleks pertama diduga semacam alkohol dan asam amino yang selama jutaan tahun senyawa-senyawa ini bereaksi membentuk senyawa yang lebih kompleks, seperti asam organik, purin, dan pirimidin. Senyawa-senyawa ini merupakan bahan pembentuk sel.

Senyawa kompleks sederhana saat itu begitu berlimpah, baik di lautan maupun di permukaan bumi sehingga membentuk kompleks yang disebut sup purba atau sup primordial. Setelah terbentuknya sup purba, pembentukan materi genetik dan membran sel merupakan dua langkah penting sebelum adanya kehidupan (Campbell, 2006: 320). Materi genetik pertama dan enzim pertama kemungkinan berupa RNA.

Gen pertama berupa RNA rantai pendek yang dapat bereplikasi sendiri tanpa bantuan protein. Proses replikasi RNA ini dapat terjadi melalui bantuan molekul RNA yang berfungsi sebagai katalis. Para ilmuwan telah menemukan RNA yang disebut ribozim dan dapat berfungsi mirip katalis. Selanjutnya, terjadi kerja sama antarmolekul yang menyebabkan terjadinya translasi primitif dari gen RNA sederhana menjadi polipeptida. Translasi ini tidak menggunakan ribosom atau RNA. Kumpulan molekul tersebut akan terkumpul ke dalam bulatan membran mikroskopis yang terbuat dari fosfolipid. Bentuk kumpulan molekul dalam membran tersebut dikenal dengan protobion (Gambar 6.7).

Adanya kerja sama antarmolekul memberikan kemampuan pada protobion untuk bereplikasi dan melakukan metabolisme primitif. Protobion berkembang menjadi bentuk kompleks yang mengandung DNA dan dapat menggunakan banyak bahan mentah dari lingkungan.



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Gambar 6.7

- (a) Membran membentuk bola-bola yang terbuat dari fosfolipid.
(b) Gambaran sebuah protobion beserta isinya.

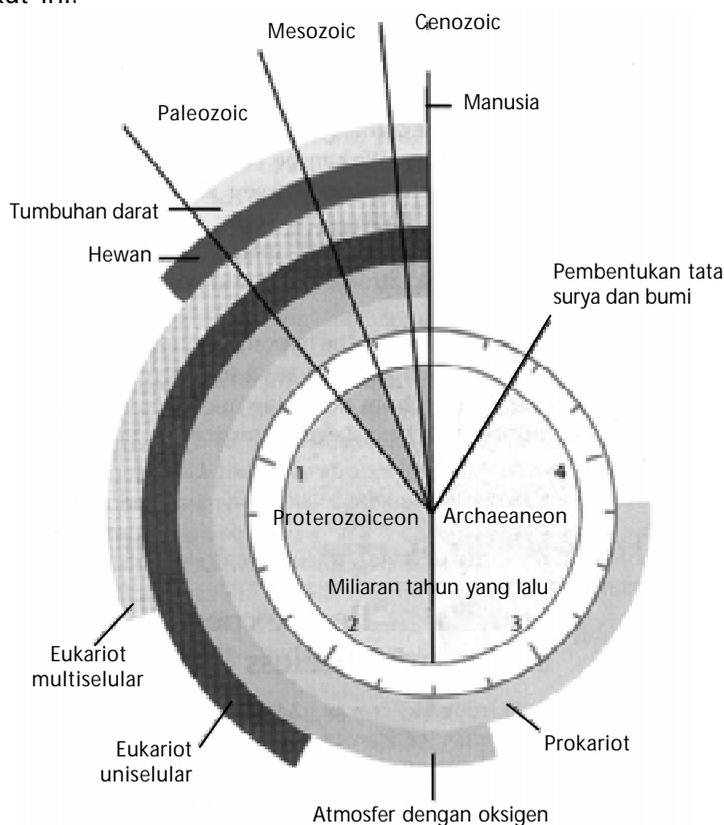


Stromatolit adalah sedimen berbentuk kubah yang terbentuk dari kumpulan kubah yang terbentuk dari kumpulan Cyanobacteria. Fosil stromatolit adalah bukti kehidupan paling awal di bumi. Beberapa stromatolit dari bagian barat Australia diperkirakan telah berusia 3,5 milyar tahun.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

Secara berangsur-angsur protobion digantikan organisme yang dapat membuat molekul yang dibutuhkannya sendiri (autotrof) dengan bantuan cahaya matahari (fotoautotrof) atau molekul berenergi tinggi dari lingkungannya (kemoautotrof). Adanya autotrof memicu munculnya makhluk hidup yang dapat memanfaatkan produk autotrof, misalnya heterotrof, atau merupakan autotrof juga. Autotrof dan heterotrof yang bergantung pada makhluk hidup ini merupakan prokariot pertama.

Prokariot menguasai bumi dari 3,5–2 milyar tahun yang lalu. Selama periode tersebut, prokariot mengubah atmosfer bumi sehingga menyebabkan oksigen muncul 2,7 milyar tahun yang lalu sebagai hasil fotosintesis prokariot. Perhatikan bagan skala waktu geologi pada Gambar 6.8 berikut ini.



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa eukariot terbentuk setelah prokariot. Masih ingatkah Anda perbedaan makhluk hidup prokariot dan eukariot? Eukariot memiliki membran inti. Secara umum, eukariot memiliki struktur sel yang lebih kompleks. Bagaimanakah eukariot terbentuk? Dapatkah eukariot terbentuk dari prokariot?

Terdapat dua teori mengenai pembentukan eukariot dari prokariot, yaitu teori pelekukan membran (membrane infolding) dan teori endosimbiosis. Teori pelekukan membran menjelaskan bahwa semua organel bermembran pada sel eukariot, kecuali mitokondria dan kloroplas, terbentuk dari pelekukan membran ke arah dalam. Pelekukan ini membentuk membran inti dan retikulum endoplasma.

Adapun teori endosimbiosis menjelaskan pembentukan mitokondria dan kloroplas yang berasal dari penggabungan atau simbiosis sel prokariot ke dalam sel prokariot lain yang lebih besar. Endo berarti di dalam, simbiosis

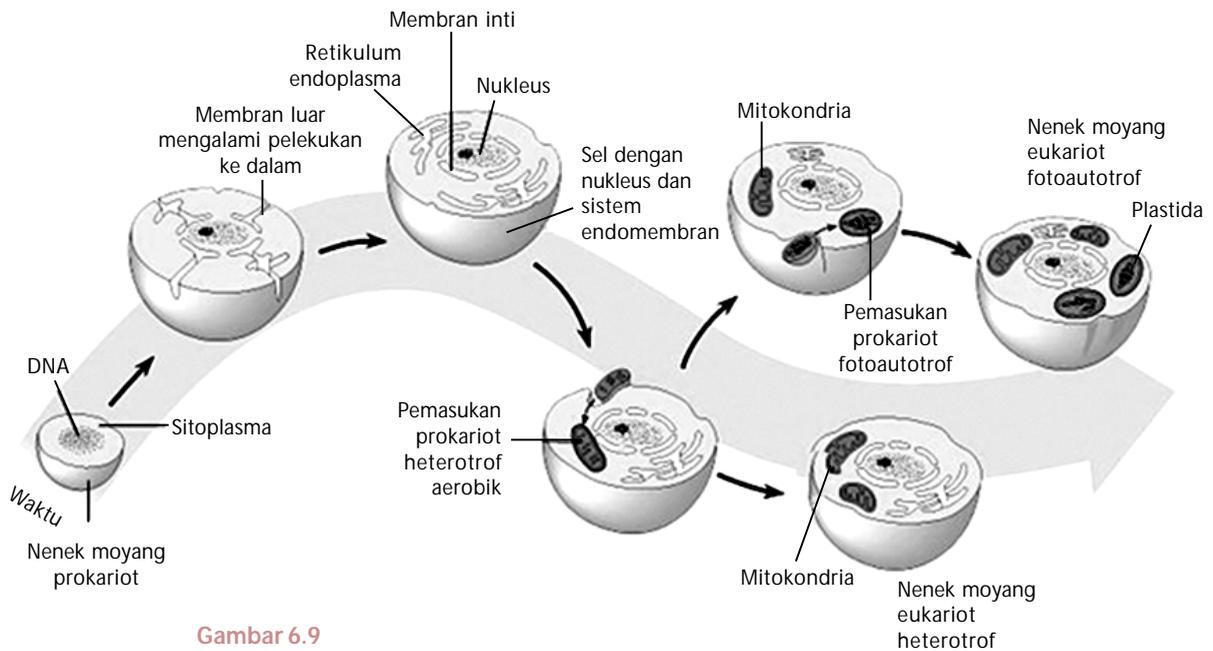
Gambar 6.8

Analogi jam geologi dengan beberapa kejadian penting dalam sejarah bumi.

Kata Kunci

- Ribozim
- Protobion
- Prokariot
- Eukariot
- Pelekukan membran
- Endosimbiosis

berarti hidup bersama. Teori ini dikemukakan oleh Lynn Margulis. Mitokondria diduga berasal dari kelompok Alpha Proteobacteria, sedangkan kloroplas berasal dari Cyanobacteria. Perhatikan Gambar 6. .



Gambar 6.9

Model pembentukan sel eukariot berdasarkan teori pelekukan membran dan endosimbiosis.

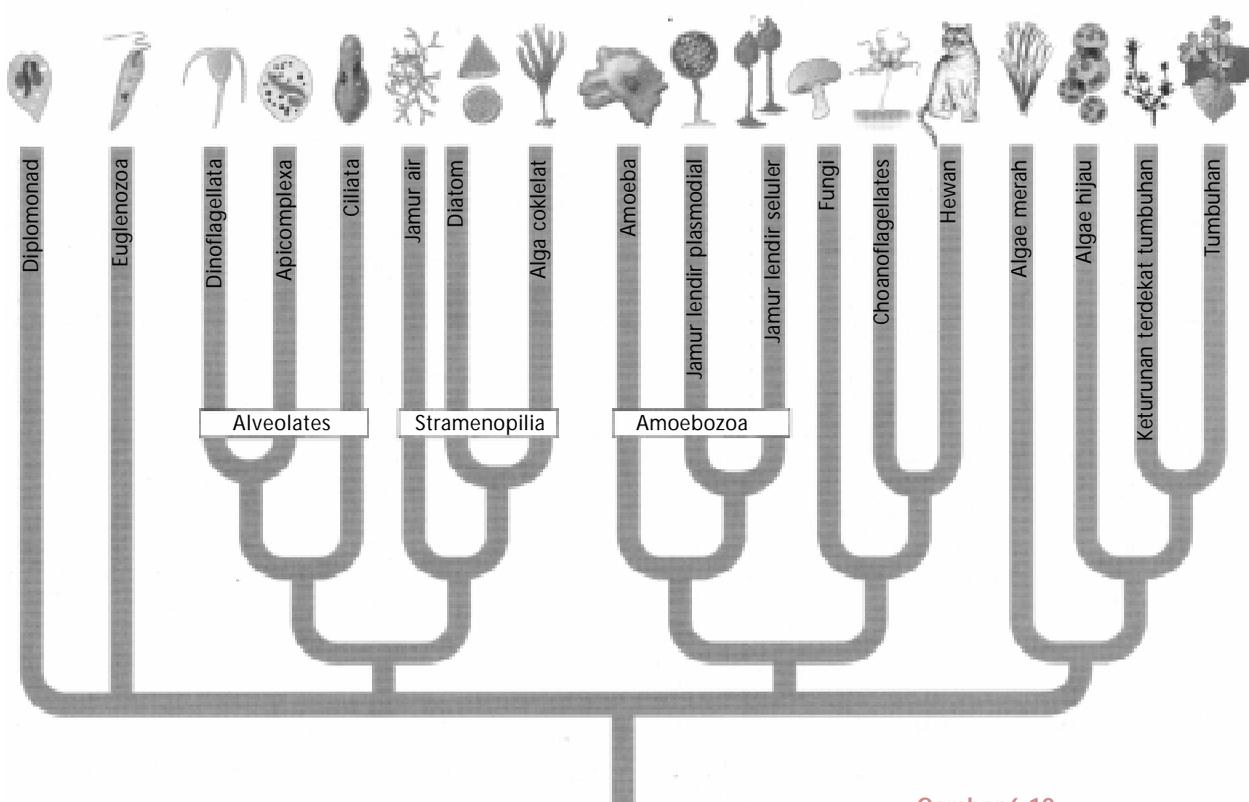
Sumber: www.faculty.ircc.edu

Fosil tertua yang diyakini para ilmuwan sebagai eukariot berasal dari sekitar 2,1 milyar tahun yang lalu. Eukariot ini merupakan nenek moyang Protista uniselular (alga) yang kita kenal sekarang. Bagaimana eukariot uniselular berevolusi hingga terbentuk makhluk hidup multiselular, seperti hewan dan tumbuhan sekarang ini?

Pembentukan makhluk hidup eukariot multiselular terjadi dalam beberapa tahap. Nenek moyang makhluk hidup multiselular diduga berasal dari koloni Protista uniselular. Pada koloni, sel hasil pembelahan dan individunya tetap menempel pada koloni. Selanjutnya, sel-sel dalam koloni terspesialisasi dan saling bergantung satu sama lain. Setiap satu jenis sel semakin terspesialisasi, baik bentuk maupun fungsinya.

Akhirnya, spesialisasi sel-sel mencapai perbedaan antara sel seks (sel gamet) dan sel tubuh (sel somatis). Melalui evolusi milyaran tahun, nenek moyang eukariot membentuk ganggang, jamur, hewan, dan tumbuhan. Sekitar 500 juta tahun lalu, semua kehidupan berada di lautan dan mulai memasuki daratan. Beberapa alga hijau yang hidup di sekitar danau diduga memiliki hubungan dengan tumbuhan darat primitif.

Evolusi lebih lanjut menyebabkan keanekaragaman makhluk hidup di muka bumi. Berikut ini gambaran tentatif evolusi pada eukariot (Gambar 6.1). Apakah yang dimaksud dengan tentatif?



Nenek moyang eukariot

Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Gambar 6.10

Gambaran tentatif evolusi pada eukariot

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jelaskan perbedaan antara teori abiogenesis dan biogenesis.
2. Apakah tujuan dibuatnya labu leher angsa pada percobaan Louise Pasteur?
3. Apakah yang dibuktikan oleh percobaan Stanley Miller?
4. Jelaskan teori-teori yang menjelaskan pembentukan makhluk hidup prokariot menjadi eukariot.

B. Teori Evolusi

Evolusi berasal dari kata evolve yang artinya perubahan. Dengan demikian, evolusi dapat diartikan sebagai perubahan atau perkembangan struktur makhluk hidup menjadi lebih adaptif dalam waktu yang lama. Evolusi ini terjadi secara perlahan dan terjadi pada populasi makhluk hidup.

Perkembangan teori evolusi terjadi pada abad ke-19, ketika banyak ditemukan berbagai fosil makhluk hidup yang telah punah. Sebelumnya, pada awal abad ke-18, banyak ilmuwan yang percaya bahwa spesies tidak mengalami perubahan sehingga penemuan-penemuan fosil makhluk hidup yang telah punah tidak dapat dijelaskan oleh teori-teori pada saat itu. Pada akhir abad ke-18, ilmuwan mengembangkan teori yang menjelaskan perubahan makhluk hidup dari waktu ke waktu.



Sekilas Biologi

Jean Baptise de Lamarck
(1744-1829)

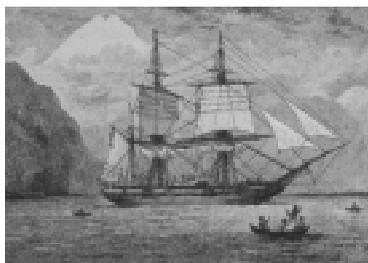


Jean Baptise de Lamarck termasuk orang pertama yang mengajukan teori tentang evolusi. Pendapat Lamarck ini membuat banyak orang berpikir tentang evolusi.

Sumber: Jendela IPTEK: Evolusi, 1996

Kata Kunci

- Adaptasi
- Darwin
- Lamarck
- Seleksi alam
- Teori *use and disuse*



Sumber: *Biology for You*, 2002

Gambar 6.11

HMS Beagle yang membawa Darwin ke berbagai tempat.

1. Teori Evolusi Lamarck

Berdasarkan bukti-bukti fosil yang ada, Jean Baptiste de Lamarck mengemukakan teori evolusi pada 1809, tahun saat Darwin dilahirkan. Lamarck mengungkapkan bahwa makhluk hidup berevolusi sebagai respon terhadap perubahan lingkungannya. Berevolusi, maksudnya makhluk hidup berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Oleh karena itu, Lamarck merupakan orang pertama yang menyatakan bahwa makhluk hidup melakukan evolusi.

Teori evolusi Lamarck menjelaskan dua fakta penting, yaitu sebagai berikut.

- a. Pertama, mengenai penemuan fosil yang memperlihatkan bahwa makhluk hidup di masa lampau berbeda dengan yang hidup saat ini.
- b. Kedua, teorinya menjelaskan mengapa setiap makhluk hidup memiliki adaptasi yang baik terhadap lingkungannya.

Lamarck memperlihatkan bahwa setiap makhluk hidup memiliki adaptasi yang sesuai dengan cara hidupnya. Gajah memiliki belalai yang panjang untuk mengumpulkan makanan; singa memiliki cakar yang kuat dan taring untuk menangkap mangsa; dan rusa memiliki kaki panjang yang lincah untuk menghindari predator.

Lamarck juga mengajukan suatu penjelasan mengenai mekanisme evolusi. Menurut Lamarck, makhluk hidup mengembangkan ciri khusus melalui organ yang digunakan dan tidak digunakan (*use and disuse*). Oleh karena itulah, mekanisme evolusi Lamarck disebut juga teori *use and disuse*. Lamarck mencontohkan bahwa rusa yang sering berlari cepat menghindari serigala akan mengembangkan otot lari yang kuat. Sifat yang dibentuk oleh makhluk hidup selama hidupnya disebut ciri atau sifat yang didapatkan. Lamarck percaya bahwa ciri atau sifat yang didapat tersebut dapat diwariskan. Bagaimanakah menurut pendapat Anda?

2. Teori Evolusi Darwin

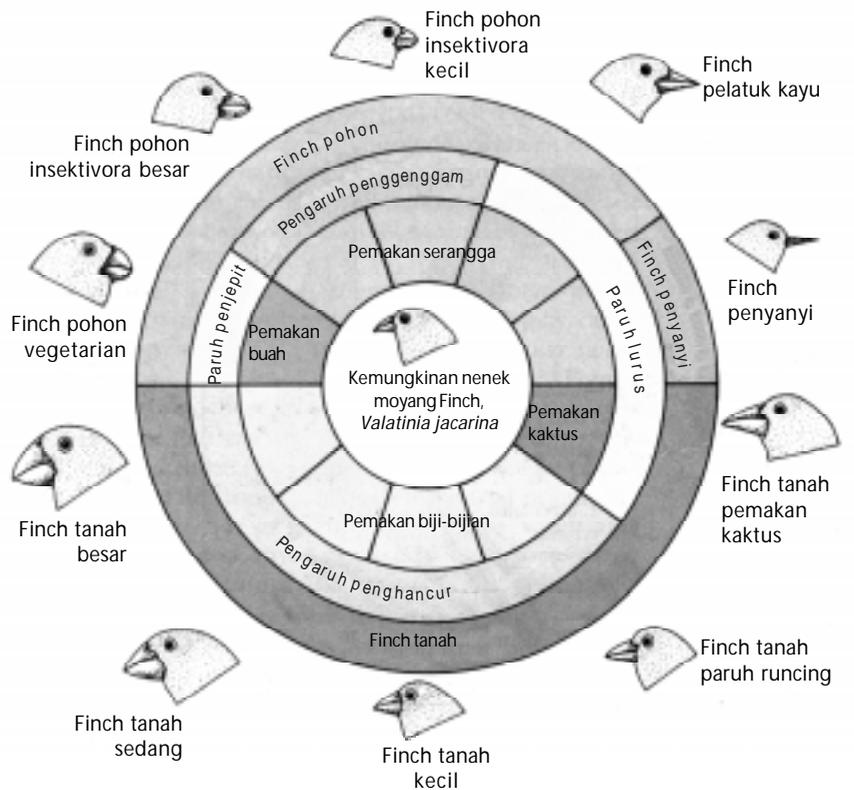
Sekitar 50 tahun setelah Lamarck mengajukan teori evolusinya, Charles Darwin, seorang naturalis asal Inggris, mengajukan teorinya yang mengubah pemikiran banyak ahli biologi.

a. Perjalanan Darwin

Charles Darwin, waktu itu berumur 22 tahun, ikut dalam perjalanan kapal HMS Beagle. Kapal tersebut ditugaskan untuk berlayar ke berbagai tempat dan memetakan pesisir Amerika Selatan.

Selama perjalanan ke berbagai tempat, Darwin menemukan berbagai macam fosil hewan-hewan yang punah. Beberapa di antaranya mirip dengan hewan yang masih ada. Berdasarkan pengalamannya, Darwin menemukan banyak variasi dalam bentuk, habitat, dan distribusi geografis hewan dan tumbuhan.

Perjalanan Darwin akhirnya sampai di kepulauan Galapagos. Di tempat ini, variasi antarhewan dan tumbuhan terlihat lebih jelas. Darwin menemukan kura-kura raksasa dan iguana galapagos yang mirip kadal, tetapi berenang di air dan memakan rumput laut. Darwin memperlihatkan bahwa terdapat variasi pada hewan tertentu berdasarkan bentuk tubuh dan fungsinya dari pulau ke pulau. Hal tersebut terlihat jelas pada populasi burung Finch.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 6.12

Variasi bentuk paruh dan jenis makanan pada burung Finch yang diamati Darwin.

Berdasarkan pengamatannya, Darwin mencatat dua konsep penting.

- 1) Perbedaan antara populasi yang berkerabat, memperlihatkan adaptasi terhadap lingkungan yang berbeda. Dalam biologi, adaptasi berarti semua ciri makhluk hidup secara genetis yang membuat individu atau spesies tersebut dapat bertahan hidup pada lingkungannya.
- 2) Variasi dalam bentuk tubuh dan tingkah laku, terakumulasi dalam kelompok terpisah. Beberapa variasi ini, melalui seleksi alami, menjadi sifat yang teradaptasi.

b. Teori Darwin

Pada tahun 1859 setelah kembali ke Inggris, Darwin mempublikasikan bukunya yang berjudul *The Origin of Species by Means of Natural Selection*. Darwin bukanlah satu-satunya yang mengungkapkan seleksi alam. Seorang naturalis Inggris lainnya, Alfred Russel Wallace, yang mempelajari tumbuhan dan hewan di Brazil dan di Asia Tenggara (Malaysia dan Indonesia) juga memiliki pendapat yang sama.



Sumber: *Essential of Biology*, 1990

Gambar 6.13

(a) Charles Darwin pada usia 31 tahun, dan (b) Alfred Russel Wallace pada usia 42 tahun.



Fakta Biologi

Seleksi alam sebenarnya telah terjadi pada manusia saat fertilisasi. Dari 300–500 juta sperma yang memasuki rahim ibu, hanya satu sperma terkuat yang membuahi telur dan berkembang menjadi individu.



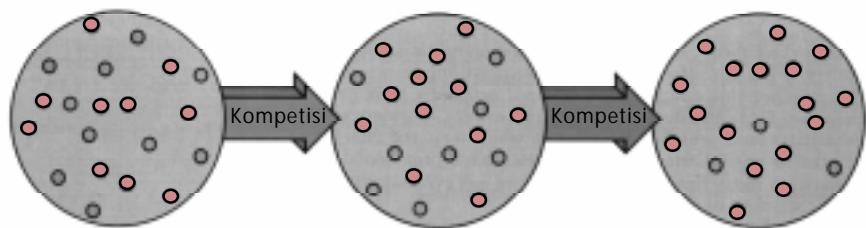
Seperti halnya Lamarck, Darwin menyatakan bahwa makhluk hidup secara perlahan berevolusi sebagai adaptasi terhadap lingkungannya. Namun, Darwin mengajukan mekanisme yang berbeda sebagai penyebab perubahan dalam spesies.

Berbeda dengan Lamarck, Darwin menyadari adanya variasi dalam populasi spesies. Variasi inilah yang dapat diwariskan, bukannya sifat yang didapat seperti yang diajukan Lamarck. Darwin mengamati bagaimana para petani dan peternak melakukan seleksi terhadap hasil penylilangan untuk mendapatkan tanaman atau hewan dengan sifat unggul. Kemudian, tanaman atau hewan unggul inilah yang akhirnya dikembangkan sehingga didapatkan populasi hewan atau tanaman dengan sifat unggul. Darwin kemudian mengajukan suatu hipotesis bahwa cara seleksi yang sama terjadi di alam. Darwin menamai proses ini dengan seleksi alam (*natural selection*).

Seleksi alam merupakan hasil dari interaksi antara populasi dan lingkungannya. Darwin menyadari bahwa di alam banyak makhluk hidup yang menghasilkan keturunan lebih banyak daripada yang dapat bertahan hidup. Contohnya, katak menghasilkan ratusan telur. Akan tetapi, hanya sebagian keturunannya saja yang dapat menghasilkan keturunan pada generasi selanjutnya. Banyak kejadian alam seperti predasi dan bencana alam yang menyebabkan sebagian keturunan tidak dapat bertahan untuk menghasilkan keturunan baru. Darwin menjelaskan proses ini sebagai kompetisi.

Gambar 6.14

Seleksi alam menurut Darwin. Anggota populasi dengan sifat yang sesuai dengan lingkungannya akan bereproduksi secara sukses sehingga akhirnya mendominasi.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Darwin kemudian mengungkapkan bahwa hanya individu yang sesuai dengan lingkungannya saja yang akan bertahan dan menghasilkan keturunan. Proses ini disebut “*survival of the fittest*” (individu yang sesuai bertahan hidup).

Teori seleksi alam yang dikemukakan Darwin dapat disimpulkan sebagai berikut (Mclaren Rotundo, 1985: 210).

- 1) Spesies memiliki kemampuan untuk menghasilkan keturunan yang banyak.
- 2) Sumber daya alam di bumi terbatas. Oleh karena itu, terjadi kompetisi untuk bertahan hidup di antara keturunan pada setiap generasi.
- 3) Terdapat variasi dalam populasi makhluk hidup. Tidak terdapat dua individu yang sama persis. Variasi ini umumnya dapat diwariskan.
- 4) Proses ini berlangsung dari generasi ke generasi. Populasi lambat laun menjadi teradaptasi lebih baik terhadap lingkungannya.

Perlu diperhatikan bahwa variasi dalam populasi terjadi secara acak. Variasi tidak timbul akibat respons terhadap lingkungannya. Seleksi alam “menyeleksi” sifat yang telah ada dalam kolam gen (*gen pool*). Kolam gen atau *lungkang gen* ini merupakan jumlah total seluruh gen dalam populasi pada suatu waktu tertentu.

Pada saat itu, Darwin tidak mengetahui prinsip genetika modern. Kini, para ilmuwan mengetahui bahwa mutasi dapat terjadi pada makhluk hidup. Mutasi sebagai penyebab variasi dapat berguna bagi lingkungan. Jika mutasi yang terjadi berguna, hal tersebut dapat meningkatkan kemungkinan bertahan hidup makhluk tersebut.

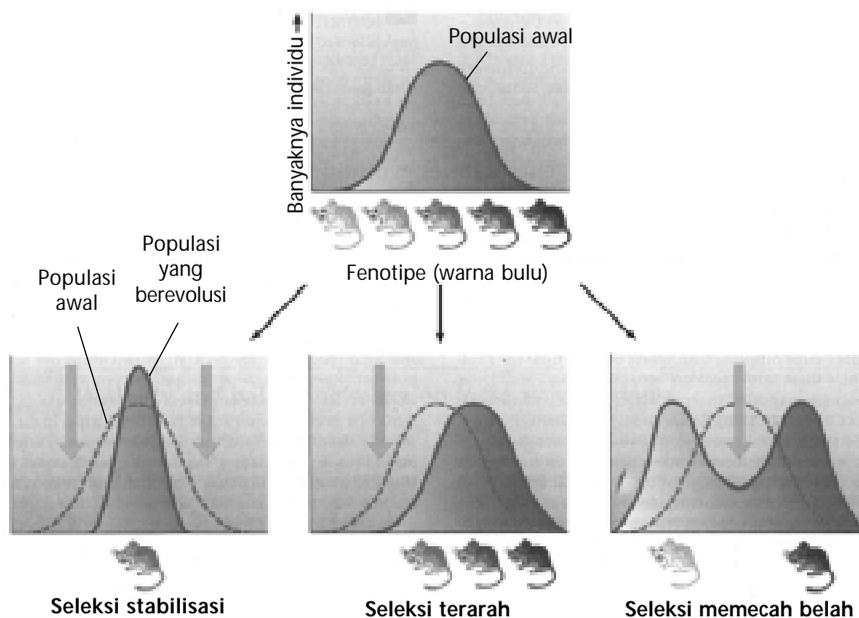
Kata Kunci

- *Gene pool*
- Seleksi memecah belah
- Seleksi
- Seleksi stabilisasi
- Seleksi terarah

c. Seleksi Alam

Darwin menjelaskan bahwa evolusi terjadi melalui seleksi alam. Bagaimana cara seleksi alam menyebabkan evolusi? Kapankah seleksi alam terjadi?

Seleksi alam terjadi pada populasi suatu spesies. Mengapa? Hal ini karena di dalam populasi terdapat bahan mentah evolusi, yaitu variasi genotipe dan fenotipe. Terdapat tiga kemungkinan seleksi alam yang berpengaruh terhadap populasi, yaitu seleksi stabilisasi, seleksi terarah, dan seleksi memecah belah. Perhatikan Gambar 6.15 berikut.



Gambar 6.15
Tiga kemungkinan seleksi alam terhadap populasi tikus.

Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Pada gambar tersebut, seleksi alam dicontohkan terjadi pada populasi tikus dengan variasi warna bulu terang hingga gelap. Grafik paling atas memperlihatkan frekuensi populasi normal tikus.

1) Seleksi Stabilisasi

Seleksi ini menguntungkan varian yang paling umum. Pada Gambar 6.15, seleksi ini menghilangkan tikus dengan warna terang dan gelap. Seleksi ini cenderung mengurangi variasi populasi dan mempersulit terjadinya evolusi dalam populasi. Seleksi ini contohnya terjadi pada berat badan bayi manusia yang baru dilahirkan. Pada bayi, jika berat badan kurang atau lebih dari 3–4 kg, memiliki tingkat mortalitas tinggi.

2) Seleksi Terarah

Pada seleksi ini terjadi tekanan pada salah satu variasi yang tidak umum sehingga menyebabkan pergeseran jumlah populasi. Pada Gambar 6.15, seleksi ini terjadi pada varian tikus warna terang sehingga rentang

populasi bergeser ke varian bulu gelap. Hal ini contohnya terjadi pada serangga yang terkena insektisida. Hanya serangga yang kebal terhadap insektisida saja yang dapat menghasilkan keturunan.

3) Seleksi Memecah Belah

Seleksi ini terjadi ketika kondisi lingkungan bervariasi sehingga populasi terpecah berdasarkan kesukaan varian-varian dalam populasi. Pada populasi tikus di Gambar 6.15, hal tersebut dapat terjadi ketika terdapat dua daerah dengan warna tanah berbeda sehingga menguntungkan dua varian tikus (terang dan gelap) dari predasi pemangsa. Meskipun jarang terjadi, seleksi memecah belah sangat penting karena dapat memicu terbentuknya variasi yang sangat berbeda dalam satu spesies hingga terbentuk spesies baru (spesiasi). Spesiasi akan Anda pelajari lebih dalam pada subbab berikutnya.



Aktivitas Biologi 6.2

Seleksi Alam

Tujuan

Melakukan simulasi seleksi alam

Alat dan Bahan

1. Satu lembar kertas warna hijau
2. Satu lembar kertas warna kuning
3. Satu lembar kertas warna merah

Langkah Kerja

1. Bersama kelompok Anda, buatlah 20 bulatan kecil setiap kertas warna menggunakan pembolong kertas.
2. Taburkan 60 bulatan kertas warna tersebut di rumputan dekat kelas Anda. Mintalah salah seorang teman Anda untuk mengambil bulatan kertas-kertas tersebut dalam jangka waktu satu menit.
3. Catatlah banyaknya bulatan kertas yang terambil berdasarkan warnanya. Catat dalam tabel seperti berikut.

| Warna | Nama Siswa | | | Jumlah | Rata Rata |
|--------|------------|--|--|--------|-----------|
| | | | | | |
| Hijau | | | | | |
| Kuning | | | | | |
| Merah | | | | | |

4. Lakukan hal tersebut pada teman sekelompok yang lain. Buatlah kesimpulan percobaan ini.

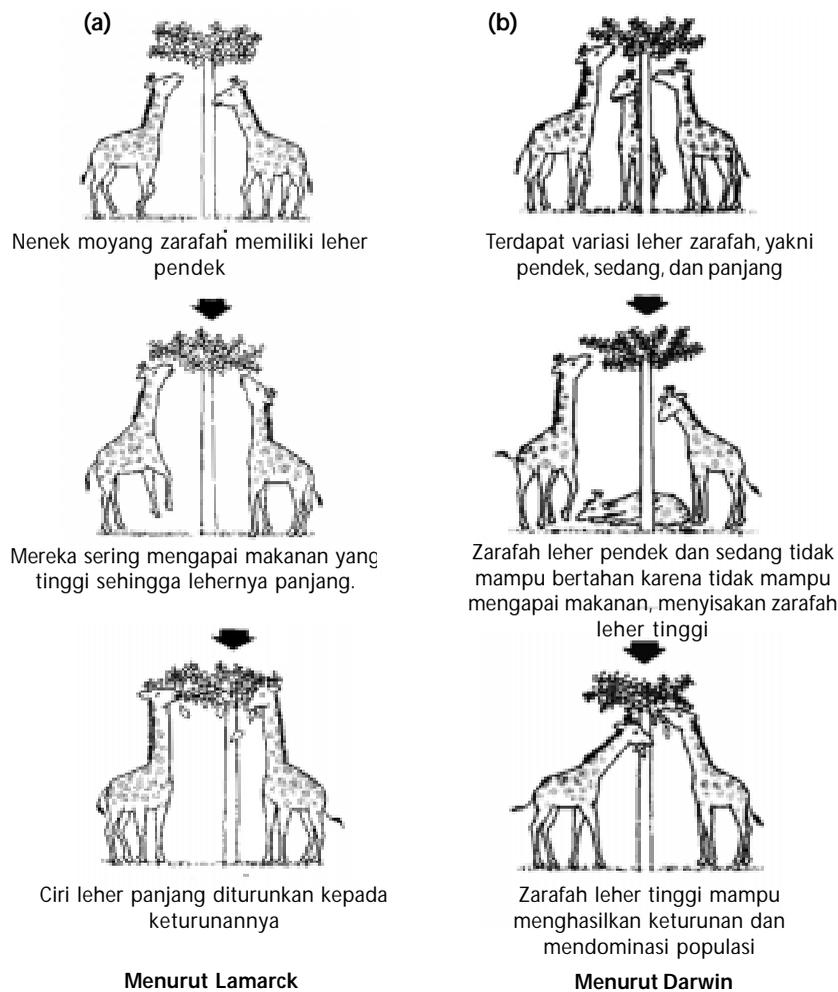
Pertanyaan

1. Warna apakah yang paling banyak terambil? Mengapa?
2. Jika warna kertas diibaratkan variasi populasi burung nuri, burung nuri manakah yang mampu beradaptasi dengan baik?
3. Tipe seleksi apakah yang terjadi pada burung nuri tersebut?

3. Perbandingan Teori Darwin dan Lamarck

Teori Darwin dan teori Lamarck keduanya menyatakan bahwa evolusi spesies terjadi berangsur-angsur dari satu generasi ke generasi selanjutnya. Akan tetapi, penyebab dan mekanisme terjadinya perbedaan tersebut dijelaskan secara berbeda oleh kedua teori tersebut.

Salah satu contoh evolusi yang terkenal adalah mengenai evolusi panjang leher zرافah. Baik Darwin maupun Lamarck, keduanya menjelaskan bahwa panjang leher zرافah merupakan hasil dari evolusi. Lamarck menjelaskan bahwa panjang leher zرافah terjadi karena aktivitas nenek moyang zرافah. Menurut Lamarck, dahulu leher zرافah tidak panjang. Akan tetapi, karena makanannya dedaunan pada pohon yang tinggi, zرافah menggapai-gapai hingga lehernya menjadi panjang. Sifat leher yang panjang ini, kemudian diwariskan kepada keturunannya sehingga akhirnya semua zرافah memiliki leher yang panjang.



Gambar 6.16

(a) Penjelasan Lamarck dan
(b) Darwin terhadap evolusi panjang leher zرافah

Berbeda dengan Lamarck, Darwin menjelaskan bahwa panjang leher zرافah berbeda-beda karena adanya variasi dalam populasi zرافah. Pada populasi zرافah, terdapat sebagian zرافah yang berleher lebih panjang daripada lainnya. Ketika makanan zرافah tinggi, zرافah dengan leher pendek tidak dapat bertahan dan mati. Hal tersebut menyisakan zرافah

dengan leher panjang yang dapat bertahan hidup. Perhatikan kembali Gambar 6.16. Selama beberapa generasi terjadi seleksi yang sama. Akibatnya, zarafah yang berleher panjang akan tetap bertahan hidup dan menghasilkan keturunan zarafah yang berleher panjang, seperti yang Anda lihat kini.

Perbedaan penting antara teori Lamarck dan Darwin terjadi pada penjelasan variasi dalam populasi. Pada penjelasan Lamarck, variasi terjadi sebagai hasil dari perubahan lingkungan. Ketika makanan semakin tinggi, leher zarafah berevolusi semakin panjang. Menurut Darwin, variasi terbentuk dengan sendirinya, bukan sebagai respons terhadap kondisi lingkungan.

Seperti yang telah Anda pelajari pada bab sebelumnya, gen tidak bermutasi sebagai respons terhadap lingkungan dan bagi yang membutuhkannya. Percobaan-percobaan pada genetika modern mendukung teori Darwin dan tidak ada satupun penjelasan yang mendukung penjelasan Lamarck.

Latihan Pemahaman Subbab B

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

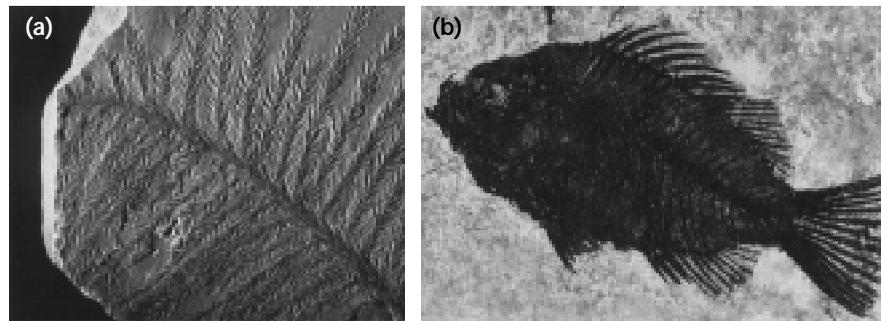
1. Jelaskan teori evolusi menurut Lamarck.
2. Jelaskan teori evolusi menurut Darwin.
3. Apa perbedaan penjelasan evolusi leher zarafah menurut Lamarck dan Darwin?
4. Sebutkan tiga macam seleksi alam yang dapat terjadi pada populasi.

C. Bukti Evolusi

Buku Darwin, *Origin of Species*, mengandung beberapa bukti tidak langsung yang memperlihatkan bahwa evolusi terjadi. Contohnya, Darwin menjelaskan bukti dari catatan fosil untuk memperlihatkan bahwa bentuk kehidupan lain pernah ada di bumi. Oleh karena evolusi terjadi dalam waktu yang sangat lama, sangatlah sulit untuk melihat dan mengamati evolusi secara langsung. Sejak teori Darwin diteruskan, para ahli biologi telah banyak mengumpulkan informasi baru untuk mendukung teori evolusi.

1. Bukti Fosil

Fosil merupakan catatan sejarah kehidupan paling penting. Kata fosil berasal dari bahasa latin, *fodere*, artinya menggali. Oleh karena itu, fosil dapat diartikan sebagai sisa-sisa makhluk hidup yang telah membatu atau terperangkap di dalamnya. Fosil yang ditemukan dapat berupa tulang-tulang dan jejak yang membatu (Gambar 6.17). Ilmu tentang fosil disebut Paleontologi.



Gambar 6.17
Beberapa fosil yang ditemukan.

Sumber: *Botany, 1995; Essentials of Biology, 1990*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak fosil yang berasal dari makhluk hidup yang telah punah. Namun, terdapat juga beberapa fosil dari makhluk hidup yang ternyata masih ada atau mirip dengan yang masih ada sekarang.

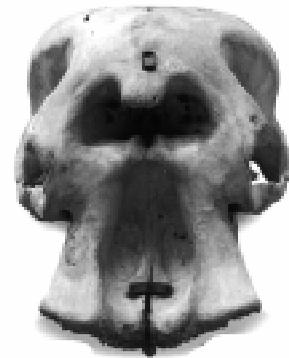
Fosil biasanya ditemukan secara kebetulan dan jarang sekali ditemukan fosil dalam keadaan utuh. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan jarang ditemukannya fosil dalam keadaan utuh, yaitu:

1. pengaruh angin, aliran air, dan bakteri pembusuk;
2. terdapat beberapa organisme atau bagiannya yang tidak dapat membatu;
3. terjadi lipatan batuan bumi akibat gempa bumi, tanah longsor, dan letusan gunung berapi;
4. hewan-hewan pemakan bangkai yang sering membawa bagian tubuh bangkai ke tempat lain.

Salah satu fosil yang ditemukan dalam keadaan lengkap adalah fosil kuda. Fosil kuda ini ditemukan pada hampir semua periode geologi. Perhatikan Gambar 6.18 berikut.

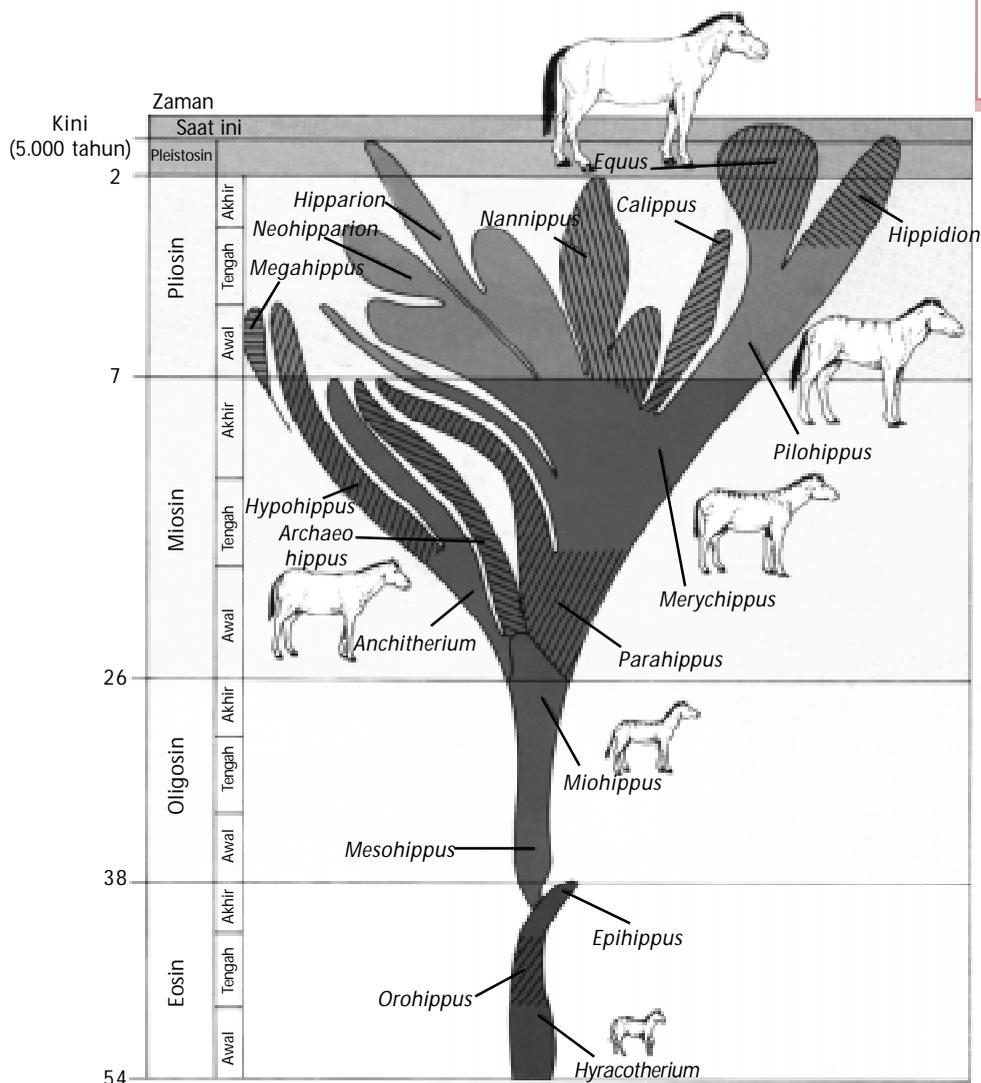


Sekilas Biologi



Ketika banyak tengkorak seperti di atas ditemukan di Mediterania, orang Yunani purba membayangkan manusia raksasa bermata satu. Hal ini menimbulkan legenda siklop bermata satu. Padahal, ini adalah tengkorak gajah.

Sumber: Ilmu IPTEK: Evolusi, 1996

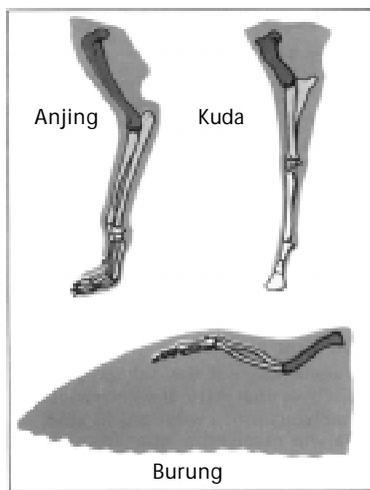


Gambar 6.18

Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

Evolusi kuda berdasarkan penemuan fosil

Dalam Gambar 6.18, terlihat pohon filogenetik dan penampakan kuda berdasarkan gambaran pelukis terhadap fosil yang ditemukan. Pohon filogenetik adalah pohon yang memperlihatkan kekerabatan (filogeni) makhluk hidup. Dari gambar tersebut terlihat bahwa ukuran kuda cenderung membesar dari waktu ke waktu. Berdasarkan pohon filogenetik tersebut juga, banyak cabang dari pohon kekerabatan kuda ini yang akhirnya punah.



Sumber: Heath Biology, 1985

Gambar 6.19

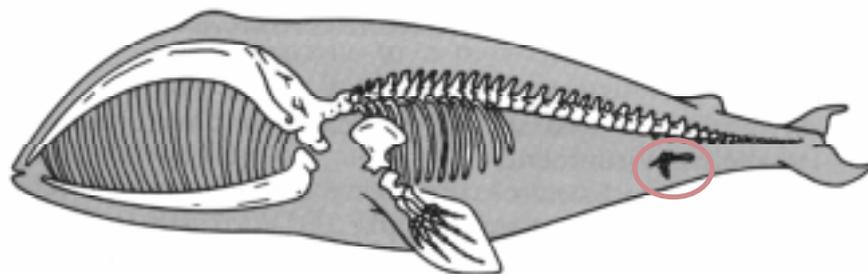
Struktur homolog tungkai depan beberapa hewan.

2. Homologi

Struktur fisik makhluk hidup memberikan petunjuk akan nenek moyangnya. Teori evolusi Darwin menyatakan bahwa satu spesies dapat membentuk spesies yang lain.

Gambar 6.1 memperlihatkan struktur tungkai depan beberapa hewan. Tungkai depan burung memiliki fungsi yang berbeda dibandingkan kuda atau anjing, namun mereka semua memiliki struktur tulang yang mirip. Persamaan struktur ini merupakan petunjuk bahwa hewan-hewan ini memiliki nenek moyang yang sama. Ketika spesies yang berbeda berevolusi, seleksi alam menghasilkan modifikasi yang teradaptasi pada lingkungan yang berbeda. Struktur tubuh dengan fungsi berbeda, tetapi mempunyai bentuk asal yang sama disebut struktur homolog.

Salah satu petunjuk evolusi adalah adanya organ vestigial. Organ vestigial adalah organ kecil atau organ yang tidak lengkap dan tidak memiliki fungsi tertentu. Berdasarkan teori evolusi, organ vestigial adalah organ yang dulunya mempunyai fungsi tertentu. Beberapa contoh organ-organ vestigial, yakni tulang bekas kaki pada ikan paus; usus buntu dan tulang ekor pada manusia.



Sumber: Heath Biology, 1985

Gambar 6.20

Tulang vestigial pada tulang rangka ikan paus.

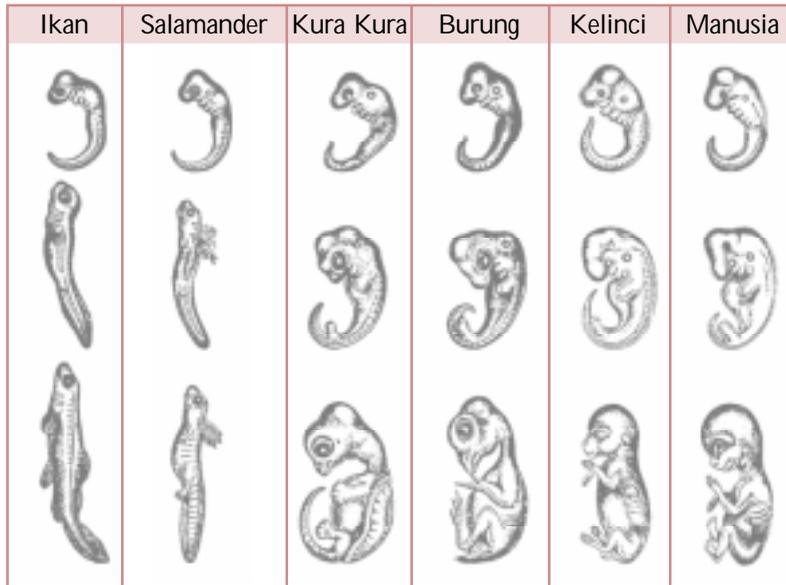
Kata Kunci

- Embriologi
- Filogenetik
- Filogeni
- Fosil
- Organ vestigial
- Struktur homolog

3. Embriologi Perbandingan

Petunjuk evolusi dapat juga ditemukan pada perkembangan beberapa organisme. Perkembangan sel telur yang sudah dibuahi hingga dilahirkan disebut embrio. Adapun ilmu tentang perkembangan organisme ini disebut Embriologi.

Ketika membandingkan perkembangan organisme yang dekat kekerabatannya, terkadang sulit untuk membedakan tahap awal satu spesies dengan spesies lainnya. Perhatikan gambar (Gambar 6.21).



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Gambar 6.21

Perbandingan embrio pada beberapa vertebrata

Awal perkembangan ikan mirip dengan perkembangan embrio hewan lain dan manusia. Meskipun bentuk dewasa setiap organisme tersebut jauh berbeda, kesamaan mereka saat awal perkembangannya merupakan hal yang menguatkan adanya kesamaan nenek moyang hewan-hewan tersebut.

Kesamaan embrio ini sering digunakan sebagai petunjuk adanya evolusi. Jika dua spesies berasal dari nenek moyang yang sama, keduanya mungkin masih memiliki kesamaan dalam perkembangannya.

4. Bukti dari Biokimia dan Genetika

Genetika modern juga memberikan bukti kuat adanya evolusi. Semua makhluk hidup menggunakan kode genetika yang sama dalam menyintesis protein. Kode genetika yang sama menunjukkan bahwa semua makhluk hidup berevolusi dari satu organisme yang menggunakan kode genetika yang sama.

Ahli biokimia, juga telah membandingkan urutan asam amino dari protein yang ditemukan pada organisme yang berbeda. Organisme yang memiliki hubungan kekerabatan yang dekat biasanya memiliki protein dengan urutan asam amino yang sama. Pada organisme yang jauh kekerabatannya, urutan asam amino dari proteinnya memperlihatkan banyak perbedaan.

5. Seleksi Alam yang Teramati

Evolusi terjadi dalam ribuan hingga jutaan tahun. Oleh karena itu, sangatlah sulit untuk mengamati seleksi di alam liar. Akan tetapi, terdapat satu contoh seleksi alam di alam liar yang tercatat sangat baik. Pada kasus ini, melibatkan evolusi warna sayap pada spesies ngengat *Biston betularia* (Gambar 6.22). Ngengat ini umumnya terdapat di desa-desa Inggris.

Pada awal tahun 1850 sebelum terjadi revolusi industri, populasi ngengat sayap putih lebih banyak ditemukan. Jarang sekali ditemukan ngengat warna hitam. Saat itu, jika ngengat putih hinggap pada batang pohon, burung dan predator lain sulit menemukan ngengat tersebut.



Sumber: *Heath Biology*, 1985

Gambar 6.22

Sayap *Biston betularia* yang berwarna putih dan hitam

arna batang yang cerah menyamarkan ngengat putih. Hal ini berbeda dengan ngengat hitam sehingga ngengat hitam mudah ditemukan oleh predator.

Sekitar awal tahun 1900-an, polusi akibat revolusi industri di Inggris membuat batang pohon menghitam. Hal tersebut menyebabkan ngengat warna putih lebih mudah terlihat oleh burung dan predator lainnya. Adapun ngengat warna hitam menjadi lebih mudah berburu dengan warna latar batang pohon. Akibatnya, burung dapat dengan mudah menangkap ngengat warna putih dan memangsanya lebih banyak dibandingkan ngengat hitam. Akhirnya, ngengat hitam dapat bertahan dan melakukan reproduksi. Melalui seleksi alam, frekuensi gen untuk warna hitam meningkat dalam populasi. Prediksikan apa yang terjadi jika polusi di daerah tersebut dapat dikendalikan kembali?

Latihan Pemahaman Subbab C

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Sebutkan bukti-bukti yang dapat menjadi petunjuk adanya evolusi.
2. Mengapa jarang sekali fosil yang ditemukan dalam keadaan utuh?
3. Apakah yang dimaksud dengan organ homolog?
4. Jelaskan evolusi pada ngegat iston betularia di Inggris.



Fakta Biologi

Lebah berevolusi dengan memiliki warna kuning dan hitam sebagai warna peringatan bagi hewan lain. Warna ini memperlihatkan pada predator bahwa lebah berbahaya. Banyak hewan lain yang juga memiliki warna peringatan yang memperlihatkan bahwa mereka berbahaya atau tidak enak dimakan.

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994

D. Proses Evolusi

Dalam 3,5 milyar tahun sejak kehidupan muncul di bumi, evolusi telah menghasilkan variasi makhluk hidup yang sangat beraneka ragam. Jutaan spesies berevolusi, adapun yang lainnya tidak dapat bertahan hidup dan menjadi punah. Dengan mempelajari catatan fosil, para ilmuwan mempelajari pola evolusi.

Menurut Darwin, variasi dalam populasi merupakan "bahan mentah" terjadinya evolusi. Oleh karena mutasi dapat menghasilkan variasi, mutasi juga dianggap sebagai "bahan mentah" evolusi. Melalui seleksi alam, variasi tersebut terseleksi dan menyisakan organisme dengan sifat yang sesuai dengan lingkungannya. Akan tetapi, bagaimanakah evolusi dapat menghasilkan spesies baru, bahkan kingdom yang berbeda?

Sewaktu Darwin mengajukan teorinya, ia tidak mengenal adanya gen, DNA, serta mekanisme mutasi yang dapat menyebabkan adanya variasi. Darwin juga belum mengenal genetika dan biologi molekular. Adakah penjelasan evolusi secara genetika?

1. Spesiasi

Spesiasi adalah proses terbentuknya spesies baru. Menurut pengertiannya, spesies adalah populasi makhluk hidup yang mampu melakukan reproduksi sesamanya dan menghasilkan keturunan yang fertil. Namun, tidak dapat melakukan reproduksi dengan kelompok lainnya. Berdasarkan hal tersebut, terlihat bahwa reproduksi antara satu spesies dengan spesies lain adalah hal yang tidak mungkin, karena terjadi isolasi reproduksi antarspesies. Oleh karena itu, kunci dari spesies adalah adanya isolasi reproduksi. Bagaimana isolasi reproduksi dapat terjadi?

a. Isolasi Reproduksi

Terdapat beberapa cara isolasi reproduksi yang dapat terjadi, yaitu isolasi prazigotik dan isolasi postzigotik. Isolasi prazigotik adalah isolasi yang terjadi sebelum terjadinya fertilisasi. Adapun isolasi postzigotik terjadi setelah terjadi fertilisasi (Hopson & Essells, 1990: 733).

1) Isolasi Prazigotik

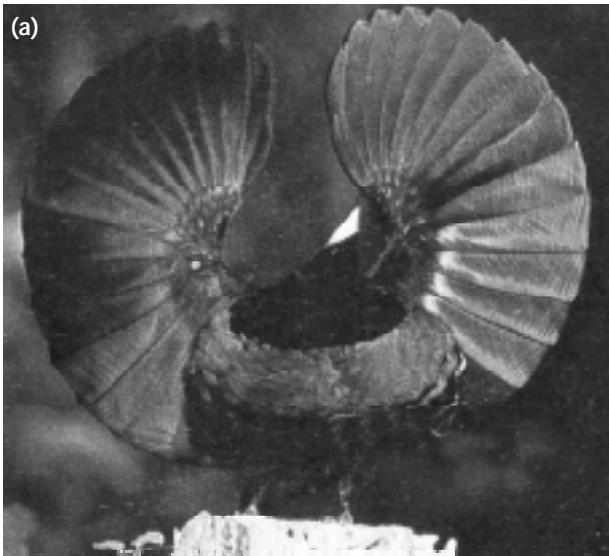
Isolasi prazigotik mencegah terjadinya perkawinan individu. Isolasi ini dapat ditimbulkan sebagai akibat isolasi ekologi, isolasi perilaku, isolasi mekanik, dan isolasi temporal (musim).

a) Isolasi ekologi

Isolasi ini mengakibatkan dua populasi yang terpisah oleh habitat yang berbeda tidak dapat melakukan perkawinan pada daerah geografi yang sama. Masing-masing mengembangkan perbedaan yang besar sehingga tidak dapat dikawinkan lagi. Contohnya, katak pohon yang hidup di atas pohon dan kodok (ufo) yang hidup di kolam atau air tanah. Jika dipertemukan, tidak akan terjadi perkawinan akibat isolasi ekologi yang telah berlangsung lama.

b) Isolasi perilaku

Isolasi perilaku terjadi jika dua populasi yang berkerabat memiliki perbedaan kebiasaan dalam melakukan perkawinan. Dengan adanya perilaku ini, reproduksi hanya dapat terjadi antara populasi yang dapat mengerti perilaku tersebut. Perilaku ini dapat berupa suara, tingkah laku, dan sekresi zat kimia. Isolasi perilaku umumnya terjadi pada burung (Gambar 6.23) dan ikan.



Sumber: *Essentials of Biology*, 1990

c) Isolasi mekanik

Isolasi mekanik adalah isolasi yang menyangkut struktur tubuh dan perbedaan sel kelamin yang membuat tidak terjadinya reproduksi. Contohnya, terjadi pada bintang laut, landak laut, dan hewan Echinodermata lain yang melakukan fertilisasi eksternal. Hewan-hewan tersebut memiliki perbedaan molekul yang dapat mengikat sel telur dan spermannya sehingga menghalangi terjadinya fertilisasi silang antarspesies. Pada hewan yang melakukan fertilisasi internal, perbedaan ukuran alat

Kata Kunci

- Ekologi
- Fertilisasi
- Isolasi
- Mekanik
- Perilaku
- Reproduksi
- Spesiasi
- Spesies
- Temporal

Gambar 6.23

Isolasi perilaku pada (a) burung *Priloris victoriae* jantan dan (b) burung *Frageta minor*.



Sumber: Botany, 1995

Gambar 6.24

Ukuran bunga mempengaruhi jenis polinator.

Kata Kunci

- Hibrid
- Inviabilitas
- Postzigot
- Sterilitas



Sumber: Botany, 1995

Gambar 6.25

Anggrek *Dendrobium crepidalum* ini merupakan salah satu contoh atau hibrid steril.

kelamin jantan dan betina menghalangi terjadinya fertilisasi antarspesies. Pada tumbuhan, ukuran bunga dan polinatornya merupakan contoh isolasi mekanik. Perhatikan Gambar 6.24.

d) Isolasi temporal

Isolasi ini terjadi akibat perbedaan waktu kematangan antara jantan dan betina. Hal ini menyebabkan fertilisasi tidak akan terjadi. Contohnya, terjadi pada spesies *Pinus radiata* dan *Pinus muricata*. Keduanya tidak akan pernah dapat melakukan fertilisasi silang karena kematangan reproduksi *Pinus radiata* terjadi pada awal Februari dan *Pinus muricata* terjadi pada akhir April.

2) Isolasi Postzigot

Isolasi postzigotik mencegah terjadinya perkembangan atau reproduksi individu (hibrid) yang telah dihasilkan. Isolasi ini dapat terjadi melalui inviabilitas hibrid (kematian hibrid), sterilitas hibrid, dan penurunan kualitas hibrid.

a) Inviabilitas dan sterilitas hibrid

Ketika dua individu dari spesies yang berbeda dapat melakukan perkawinan, individu hasil persilangan (hibrid) dapat terbentuk. Namun, biasanya hibrid tersebut mati sebelum dapat melakukan reproduksi (inviabilitas hibrid) atau hibrid yang dihasilkan mandul (sterilitas hibrid). Kedua kondisi ini berfungsi sebagai mekanisme isolasi postzigotik, mencegah aliran gen antarspesies. Hibrid steril dapat dihasilkan dari perkawinan antara kuda dan keledai, itik dan entok, serta banyak contoh lainnya.

b) Penurunan kualitas hibrid

Terkadang generasi pertama dari perkawinan antarspesies dapat menghasilkan hibrid yang sehat dan fertil. Namun, ketika sesama hibrid tersebut dikawinkan sesamanya atau dengan populasi induknya, dihasilkan keturunan yang lemah atau steril. Contohnya, perkawinan antarspesies kapas menghasilkan hibrid fertil. Akan tetapi, keturunan generasi selanjutnya akan mati karena tumbuh menjadi tanaman yang lemah.

b. Mekanisme Spesiasi

Terdapat beberapa penjelasan yang menerangkan bagaimana isolasi reproduksi yang telah dijelaskan sebelumnya dapat terjadi. Mekanisme spesiasi ini menjelaskan beberapa kasus spesiasi yang dapat diamati di alam. Terdapat tiga model mekanisme spesiasi, yakni allopatrik, simpatrik, dan parapatrik, perhatikan Gambar 6.26.

Pada spesiasi allopatrik, populasi terpisahkan secara geografis. Oleh karena dua populasi tersebut terpisahkan, masing-masing mengakumulasi perbedaan genetik. Fenotipe kedua kelompok populasi ini akhirnya akan berubah. Perbedaan ini dapat memicu spesiasi, menyebabkan kedua kelompok tidak dapat melakukan reproduksi. Contohnya, monyet Sulawesi (*acaca brunnescens*) di pulau Muna dan pulau Buton dianggap jenis yang berbeda dari *acaca chreata* di Sulawesi Tenggara karena terpisah secara geografi.

Pada spesiasi simpatrik, spesiasi terjadi pada daerah yang sama. Spesiasi ini merupakan hasil dari spesiasi yang terjadi dalam populasi atau beberapa populasi yang menempati tempat yang sama. Hal ini dapat

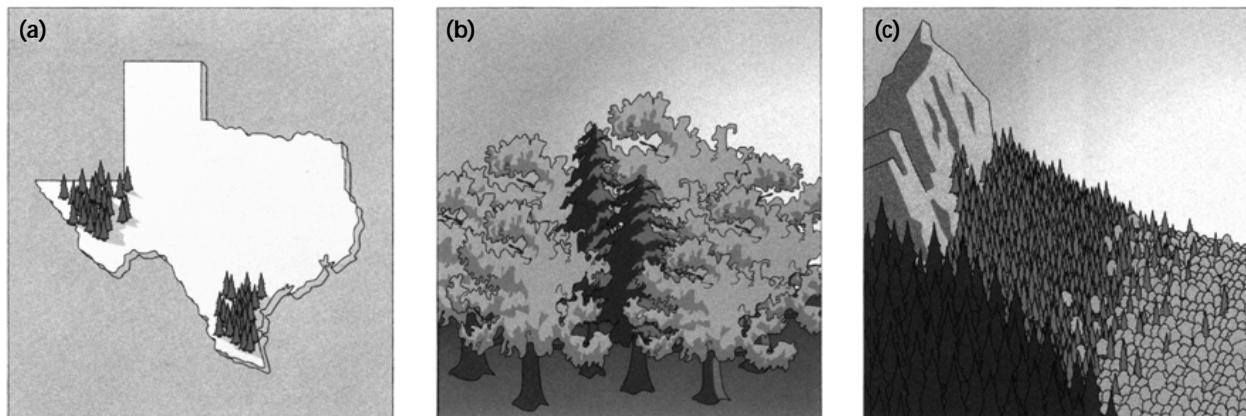
terjadi karena terdapat mekanisme yang menyebabkan suatu kelompok individu terisolasi secara reproduksi dalam lingkungan yang sama. Misalnya, mutasi menyebabkan sedikit perubahan warna, bentuk, atau zat kimia yang menyebabkan polinator tidak tertarik pada bunga tersebut.

Mutasi menyebabkan individu terisolasi secara reproduksi dengan bunga lain di sekelilingnya. Tanaman yang terisolasi tersebut mungkin dapat bertahan hidup melalui polinasi sendiri atau hibridasi dengan populasi terdekat dari spesies yang berbeda. Ketika subpopulasi kecil ini terisolasi, besar kemungkinan terbentuk spesies baru yang secara genetis berbeda dengan spesies asal.

Suatu spesies dapat memiliki penyebaran yang luas. Ketika spesies tersebut menyebar, spesies tersebut menempati berbagai habitat berbeda. Dengan sifat habitat dan pengaruh yang berbeda terhadap spesies, dapat terjadi perbedaan-perbedaan akibat perbedaan habitat tersebut. Seiring waktu, perbedaan tersebut semakin terakumulasi hingga akhirnya terbentuk isolasi reproduksi berdasarkan perbedaan habitat, meskipun kedua spesies bersebelahan. Proses spesiasi yang terjadi di daerah bersebelahan dengan daerah spesies yang kekerabatannya dekat ini disebut spesiasi parapatrik.

Kata Kunci

- Allopatrik
- Parapatrik
- Simpatik



Sumber: Botany, 1995

2. Hukum Hardy-Weinberg

Evolusi secara genetika dapat diartikan sebagai perubahan frekuensi alel gen dalam populasi. Berdasarkan hal ini, kemungkinan evolusi melalui perubahan alel gen dapat diprediksi. Pada 1908, dua orang peneliti, George H. Hardy dan Wilhelm Weinberg, secara terpisah menyadari bahwa meskipun segregasi dan rekombinasi gen selama reproduksi menyebabkan variasi antarketurunan, hal tersebut tidak akan mengubah frekuensi relatif gen. Berdasarkan hal tersebut, mereka merumuskan syarat-syarat kondisi yang menyebabkan frekuensi gen dalam populasi tetap sama.

Syarat-syarat tersebut kini dikenal dengan Hukum Hardy-Weinberg. Menurut hukum ini, frekuensi relatif gen dalam populasi akan tetap sama dari generasi ke generasi, jika:

- populasi berukuran besar;
- tidak terjadi mutasi;
- semua genotipe memiliki peluang yang sama;
- tidak terjadi migrasi pada lungkang gen (gene pool);
- semua perkawinan dalam populasi terjadi secara acak.

Gambar 6.26

Model spesiasi yang dapat terjadi (a) allopatrik, (b) simpatrik, dan (c) parapatrik.

Logika Biologi

Menurut Hukum Hardy-Weinberg salah satu syarat tidak terjadinya evolusi adalah perkawinan secara acak dalam populasi. Jelaskan mengapa jika terjadi perkawinan yang tidak acak dapat menyebabkan evolusi.

Syarat-syarat tersebut dapat juga disebut sebagai syarat evolusi tidak terjadi. Jika syarat ini terpenuhi, evolusi tidak terjadi. Apakah syarat-syarat ini dapat terpenuhi di alam?

Hukum Hardy-Weinberg juga dapat dijadikan dasar untuk menghitung frekuensi genotipe yang berbeda dalam lingkungan gen yang stabil. Misalkan, Anda seorang ahli genetika yang mempelajari sifat warna bunga yang dipengaruhi oleh dua alel A dan a, yang mengikuti aturan dominansi sederhana pada satu lokus. Gen A mengatur warna bunga merah dan gen a mengatur warna bunga putih. Setelah melakukan survei di alam, didapatkan fenotipe bunga putih (aa) hanya 4%, adapun sisanya 96% bunga warna merah bergenotipe AA atau Aa. Berapakah frekuensi genotipe AA dan Aa?

Jika frekuensi alel A = p dan alel a = q maka dapat dikatakan bahwa $p + q = 1$, karena semua tempat pada lokus kromosom akan selalu ditempati oleh alel-alelnya. Pada semua persilangan, alel-alel ini hanya akan menghasilkan tiga kemungkinan genotipe, yakni AA, Aa, dan aa.

F₂ genotipe : ♀ Aa Aa ♂
 gamet : A,a A,a

↓

| ♀ \ ♂ | A | a |
|-------|----------------------------|----------------------|
| A | AA pp p ² | Aa p |
| a | Aa p | aa q ² |

Dihasilkan genotipe AA pp p²
 2Aa 2p 2p
 aa q²

Berdasarkan diagram Punnett tersebut didapatkan kemungkinan frekuensi genotipe yang dihasilkan,

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

Oleh karena jumlah semua genotipe dalam populasi pasti 100%, maka

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

Persamaan ini dikenal dengan persamaan Hardy-Weinberg untuk suatu sifat yang dipengaruhi sepasang alel. Jika hanya 4% populasi yang memiliki genotipe aa maka

$$q^2 = 4\% = 0,04$$

$$\sqrt{0,04}; \text{ maka } q = 0,2$$

karena $p + q = 1$ maka

$$p + 0,2 = 1$$

$$p = 1 - 0,2 = 0,8$$

sehingga untuk mencari frekuensi genotipe AA adalah

$$AA \quad p^2 \quad 0,8^2 \\ 0,64$$

Adapun frekuensi untuk genotipe Aa adalah,

$$2Aa \quad 2p \quad 2 \quad 0,8 \quad 0,2 \\ 0,32$$

Berdasarkan Hukum Hardy- einberg, dalam populasi yang sesuai dengan syarat-syarat hukum ini, didapatkan frekuensi genotipe AA sebesar 0,64 dan Aa sebesar 0,32. Oleh karena itu, dalam populasi bunga tersebut terdapat bunga merah homozigot (AA) sebanyak 64%, bunga merah heterozigot (Aa) sebanyak 32%, dan bunga putih homozigot (aa) sebanyak 4%.

Contoh lain penerapan Hukum Hardy- einberg untuk menghitung frekuensi gen dalam populasi dapat Anda pelajari pada uraian berikut.

Contoh Soal 6.1

1. Diketahui frekuensi orang albino dalam masyarakat adalah 36 orang dari setiap 10.000. Tentukanlah:

- frekuensi gen normal dan gen albino,
- frekuensi serta jumlah orang normal dan normal heterozigot.

awab

p alel normal
alel albino

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

- rang albino (aa) q^2

$$q^2 = \frac{36}{10.000}$$

$$\sqrt{\frac{36}{10.000}} = 0,06$$

Jika $q = 0,06$, maka

$$p + q = 1$$

$$p + 0,06 = 1$$

$$p = 0,94$$

Jadi, frekuensi gen normal p = 0,94, gen albino q = 0,06

- Frekuensi dan jumlah orang normal dan heterozigot

$$\begin{aligned} \text{frekuensi orang normal (AA)} \quad p^2 \\ 0,94^2 \\ 0,8836 \end{aligned}$$

maka jumlah orang normal adalah $0,8836 \times 10.000 = 8.836$ orang

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi orang normal heterozigot (Aa)} \quad 2p \\ 2 \quad 0,94 \quad 0,06 \\ 0,128 \end{aligned}$$

maka jumlah orang normal heterozigot adalah $0,128 \times 10.000 = 1.280$ orang

2. Persentase laki-laki buta warna di kota A sebesar 6%. Carilah persentase wanita carrier dan wanita buta warna.

awab

Jumlah laki-laki buta warna ($X^{cb}Y$) 6% 0,06

Jika gen buta warna X^{cb} , maka gen normal X = P

Laki-laki buta warna memiliki satu gen X^{cb} , sehingga frekuensi $0,06$.
 anita carrier buta warna $X^{cb}X$ $2p$ dan wanita buta warna $X^{cb}X^{cb}$ 2 .
 Oleh karena $0,06$, maka $p + 1$
 $p = 0,94$

anita carrier buta warna:
 $2p = 2 \times 0,94 = 0,06$
 $0,1128$
 $0,1128 \times 100\%$
 $11,28\%$

anita buta warna:
 $2 = 0,06$
 $\sqrt{0,06}$
 $\sim 0,24$
 $0,24 \times 100\%$
 24%

Latihan Pemahaman Subbab D

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah yang dimaksud dengan spesiasi?
2. Bagaimanakah cara terjadinya isolasi reproduksi?
3. Sebuah desa dihuni oleh 10.000 orang penduduk. Sekitar 8% di antaranya adalah laki-laki buta warna. Berapakah jumlah wanita pembawa sifat buta warna yang ada di desa tersebut?
4. Pada suatu populasi manusia terdapat 3 orang albino dari setiap 10.000 orang penduduk. Berapakah frekuensi gen normalnya?

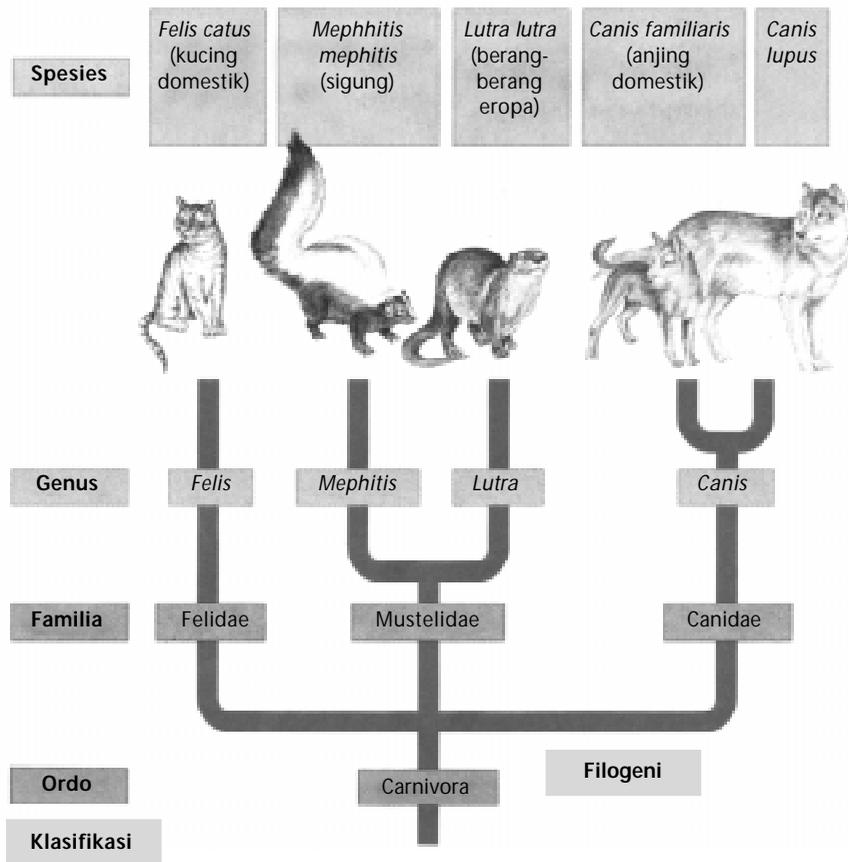
E. Evolusi dan Klasifikasi

Kata Kunci

- Filogeni
- Sistematika

Sejak Darwin mengemukakan teori evolusi dalam buku *Origin of Species* pada 1859, telah banyak penemuan dan kemajuan dalam bidang Biologi. Bagaimana dengan teori evolusi? Adakah kemajuan yang telah dicapai?

Sistematika merupakan suatu pendekatan analisis terhadap keragaman makhluk hidup dan hubungan evolusi antarorganisme. Adapun hubungan evolusi antarkelompok organisme ini dikenal dengan filogeni. Sejak Darwin, sistematika memiliki tujuan selain pengaturan kelompok makhluk hidup secara sederhana, yaitu untuk membuat klasifikasi yang mencerminkan hubungan evolusi antarmakhluk hidup. Oleh karena itu, dibuat suatu sistem klasifikasi yang memperlihatkan hubungan evolusi antarmakhluk hidup. Perhatikan gambar hubungan evolusi dan klasifikasi berikut ini.



Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Klasifikasi tersebut telah beberapa kali mengalami perubahan mulai dari penamaan spesies, pengelompokkan genus, familia, filum, bahkan perubahan tingkat kingdom. Selama beberapa tahun, banyak rancangan yang telah diajukan untuk mengklasifikasikan makhluk hidup ke dalam kingdom. Mulai dari klasifikasi dua kingdom hingga klasifikasi lima kingdom yang diajukan Robert H. Hittaker pada 1969 dan telah Anda pelajari di kelas X.

Para ilmuwan biasanya menggunakan pohon filogenetik untuk menggambarkan hipotesis tentang sejarah evolusi spesies seperti Gambar 6.27. Diagram bercabang ini memperlihatkan hierarki klasifikasi kelompok makhluk hidup ke dalam kelompok yang lebih kecil.

Perlu diingat bahwa pola klasifikasi yang dibuat bukanlah pengelompokkan secara alami, melainkan buatan manusia. Klasifikasi dibuat manusia berdasarkan perbedaan dan persamaan morfologi, fisiologi, cara reproduksi, dan ciri lainnya.

Pada akhir abad ke-20, perkembangan Biologi Molekular mencapai kemajuan yang cukup baik. Para ilmuwan telah dapat membedakan dan membandingkan spesies serta kedekatan secara evolusi melalui pendekatan molekular. Pada tingkat molekular, kedekatan antara dua

Gambar 6.27

Sebuah pohon filogenetik pada Ordo Carnivora. Pohon filogenetik ini memperlihatkan hubungan antara klasifikasi dan filogeni.



Sekilas Biologi

Carl Richard Woese (1928)

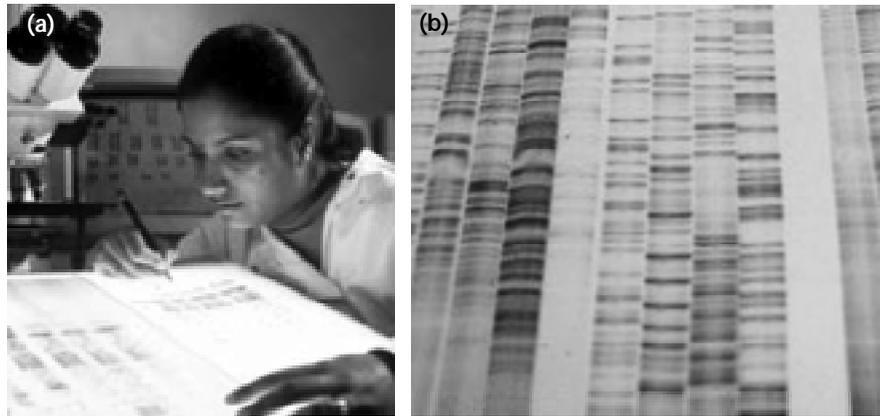


Carl Richard Woese lahir di New York, Amerika pada 1928. Ia adalah seorang ahli Mikrobiologi Amerika yang terkenal mengajukan domain Archae pada tahun 1977 melalui taksonomi filogenetik rRNA 16S. Teknik tersebut kini menjadi teknik standar dalam mencari jejak evolusi suatu spesies. Kini ia merupakan seorang profesor Mikrobiologi di University of Illinois.

Sumber: www.wikipedia.org

spesies sesuai dengan akumulasi perbedaan genom kedua spesies tersebut. Semakin dekat kekerabatan antara dua spesies, semakin mirip urutan DNA yang dimiliki keduanya sehingga biologi molekular dianggap sebagai alat yang tepat untuk sistematika. Oleh karena itu, muncul sistematika molekular yang membandingkan asam nukleat dan molekul lain untuk menduga kekerabatan dan sejarah evolusi.

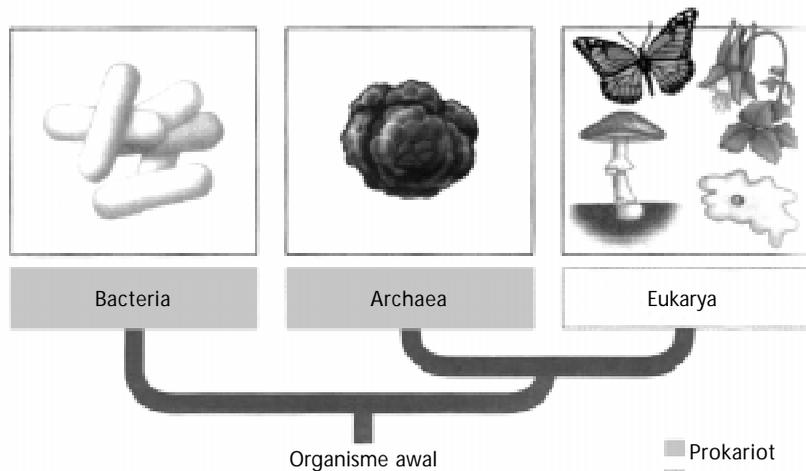
Gambar 6.28
Pengurutan DNA menjadi alat penting dalam sistematika molekular. (a) Seorang Ilmuwan sedang membandingkan hasil pengurutan DNA. (b) Hasil pengurutan DNA.



Sumber: www.cardiff.ac

Sistem klasifikasi lima kingdom merupakan salah satu usaha manusia untuk mengelompokkan keanekaragaman makhluk hidup ke dalam sebuah pola yang baik dan mencerminkan sejarah evolusi. Pada akhir dekade, penelitian molekular menemukan berbagai kejanggalan dalam sistem lima kingdom dan para ilmuwan telah mengajukan berbagai klasifikasi baru, mulai dari klasifikasi 6 kingdom hingga belasan kingdom. Perdebatan terjadi hingga akhirnya dicapai persetujuan bersama bahwa kingdom kehidupan dapat dikelompokkan dalam tiga kelompok klasifikasi yang lebih tinggi, disebut domain (Campbell, 2006: 310).

Klasifikasi tiga domain diajukan oleh Carl Woese pada 1990 yang menekankan pembagian prokariot menjadi dua kelompok yang awalnya disebut Eubacteria dan Archaeobacteria. Bukti molekular dan seluler mengindikasikan bahwa dua keturunan prokariot (Bacteria dan Archaeobacteria) berevolusi secara terpisah pada awal evolusi kehidupan. Bukti molekular juga mengindikasikan Archaeobacteria memiliki kekerabatan lebih dekat dengan eukariot. Akhirnya, terbentuklah tiga domain kehidupan, yaitu Bacteria, Archaea, dan Eukarya (Gambar 6.2).



Gambar 6.29
Klasifikasi tiga domain

Sumber: *Biology: Concepts & Connections*, 2006

Hingga kini, klasifikasi tiga domain sedang dikembangkan bersama-sama oleh para ilmuwan. Para ilmuwan bekerjasama mengidentifikasi setiap spesies melalui metode molekular untuk mengungkap jejak sejarah evolusi kehidupan. Untuk mengetahui sejauh mana perkembangan evolusi dan klasifikasi, kerjakanlah tugas berikut ini.

Tugas Anda 6.1

Bersama kelompok Anda, buatlah karya tulis mengenai klasifikasi tiga domain. Carilah sumber dari koran, majalah, televisi, dan internet. Oleh karena bahasan ini tergolong baru, internet merupakan pilihan terbaik dan Anda akan memahami pentingnya bahasa Inggris yang telah dipelajari pada tugas ini. Jika menggunakan internet, gunakan kata kunci, seperti "three domain of life", "molecular systematic", atau "Carl R. Woese" pada situs mesin pencari. Buatlah karya tulis sebaik mungkin dan serahkan kepada guru Anda. Karya tulis terbaik akan dimuat pada majalah dinding sekolah Anda.

Latihan Pemahaman Subbab E

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah tujuan sistematika?
2. Bukti apa yang menyebabkan munculnya klasifikasi tiga domain?
3. Apakah hubungan evolusi dan klasifikasi?

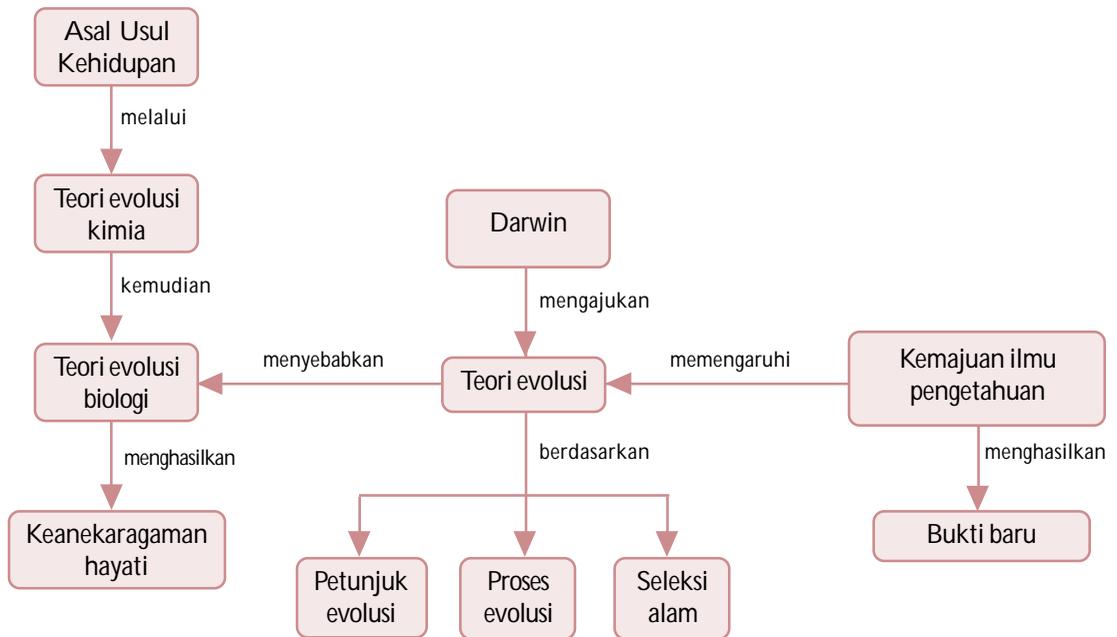
Rangkuman

1. Banyak teori yang berusaha menjelaskan asal-usul kehidupan. Teori abiogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup terjadi secara spontan dan berasal dari materi tak hidup. Teori ini dikemukakan oleh Aristoteles. Menurut teori ini, tikus berasal dari tumpukan sampah dan belatung dari daging yang membusuk. Teori ini disebut juga *generatio spontanea*.
2. Teori biogenesis menyatakan bahwa semua makhluk hidup berasal dari makhluk hidup; semua telur berasal dari makhluk hidup; semua makhluk hidup berasal dari telur. Teori ini didukung oleh Francesco Redi, Lazzaro Spallanzani, dan Louis Pasteur. Beberapa percobaan dilakukan untuk menumbangkan teori abiogenesis ini.
3. Teori evolusi kimia dikemukakan oleh A.I. Oparin dan J.B.S. Haldane. Teori ini menyatakan bahwa asal-usul kehidupan diawali oleh terbentuknya senyawa organik di atmosfer akibat reaksi kimia di atmosfer. Gas-gas seperti metana (CH_4), hidrogen (H_2), uap air (H_2O), dan amonia (NH_3) bereaksi dan menghasilkan asam amino. Teori evolusi kimia ini dibuktikan melalui percobaan Stanley Miller.
4. Teori evolusi biologi diajukan untuk menjelaskan pembentukan makhluk hidup setelah terbentuknya sup primodial. Teori ini menjelaskan bahwa sel sederhana dapat terbentuk dari interaksi antarmolekul. Sel sederhana ini disebut protobion. Kemudian, terbentuk organisme autotrof, fotoautotrof, dan kemoautotrof. Organisme ini diduga berupa organisme prokariot. Kemudian, organisme eukariot terbentuk menurut dua teori, yakni teori pelekukan membran dan endosimbiosis.
5. Teori evolusi menurut Darwin berbeda dengan pandangan teori evolusi menurut Lamarck, terutama dalam mekanisme evolusi yang terjadi. Lamarck menyatakan evolusi merupakan hasil dari pengaruh lingkungan, sedangkan Darwin menyatakan bahwa evolusi terjadi karena adanya seleksi alam.
6. Meskipun evolusi sulit diamati secara langsung, para ahli mengajukan beberapa petunjuk terjadinya evolusi, di antaranya bukti fosil, homolog organ, embriologi perbandingan, bukti biokimia, dan genetika, serta peristiwa seleksi alam yang teramati.
7. Proses evolusi dapat terjadi melalui proses spesiasi. Spesiasi adalah proses terbentuknya spesies baru. spesiasi terjadi melalui mekanisme isolasi reproduksi secara prazigotik maupun poszigotik. Adapun model terjadinya spesiasi dapat terjadi secara allopatrik, simpatrik, dan parapatrik.

8. Hardy dan Weinberg mengajukan syarat-syarat yang menyebabkan evolusi tidak terjadi. Syarat-syarat ini dikenal dengan Hukum Hardy-Weinberg.

9. Bukti molekular mengubah cara pandang ilmuwan terhadap evolusi dan klasifikasi. Berdasarkan bukti molekular, lahirah klasifikasi tiga domain yang dicetuskan oleh Carl R. Woese.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari Teori Asal Usul Kehidupan dan Evolusi ini? Menarik bukan? Banyak hal yang bisa Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini. Anda dapat memahami mengapa makhluk hidup dapat beraneka ragam. Selain itu, Anda dapat memahami proses seleksi alam sebagai mekanisme evolusi. Anda sadar atau tidak, proses seleksi alam hingga kini sedang terjadi. Dapatkah Anda menyebutkan contohnya?

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu memahami evolusi biologi dan kecenderungan baru teori evolusi biologi. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan masalah berkenaan dengan teori asal-usul kehidupan dan evolusi. Agar Anda mampu memahami materi bab ini lebih baik, kerjakanlah latihan subbab, aktivitas, tugas, dan evaluasi kompetensi bab ini.

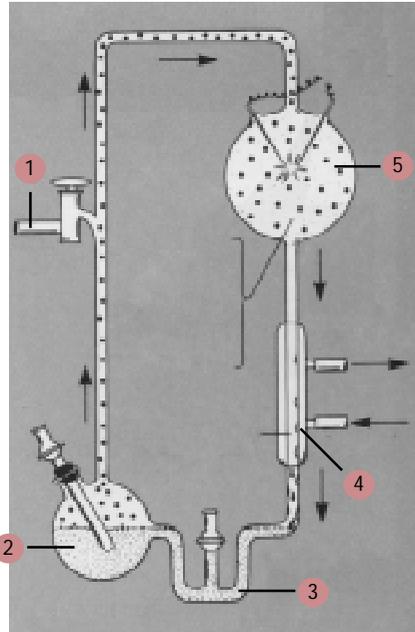
Evaluasi Kompetensi Bab 6

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

- Ilmuwan yang berpendapat bahwa kehidupan terbentuk dari gas-gas yang ada di atmosfer bumi dan membentuk sup purba adalah
 - Charles Darwin
 - A.I. Oparin
 - Alfred Russel Wallace
 - Lamarck
 - Carolus Linneaus
- Berikut ini adalah penganut abiogenesis, yaitu
 - Louis Pasteur
 - Francesco Redi
 - Antonie van Leuwenhoek
 - Lazzaro Spalanzani
 - Harold Urey
- Tokoh yang dapat menumbangkan teori abiogenesis adalah hasil percobaan
 - Louis Pasteur
 - Fransisco Redi
 - Antonie van Leuwenhoek
 - Lazzaro Spallanzani
 - Harold Urey
- Unit penelitian kontrol pada percobaan Louis Pasteur adalah labu
 - tertutup
 - terbuka
 - ditutup dengan kasa
 - disterilkan
 - tidak berisi kaldu
- Menurut para ahli, bentuk kehidupan pertama terjadi di
 - sup primordial
 - daratan
 - atmosfer
 - luar atmosfer
 - perut bumi
- Makhluk hidup pertama, diperkirakan memiliki kemiripan yang sangat tinggi dengan
 - organisme bersel tunggal eukariot
 - organisme bersel tunggal prokariot
 - protista
 - organisme penyebab cacar
 - parasit
- Menurut Urey, zat-zat di atmosfer bereaksi membentuk zat yang penting bagi kehidupan makhluk hidup. Zat yang terbentuk dari reaksi atmosfer adalah asam amino. Reaksi ini terjadi karena adanya energi
 - gerakan antarzat yang cepat sehingga satu sama lain bereaksi
 - radiasi sinar kosmis dan halilintar
 - ATP dan ADP yang merupakan sumber energi berbagai aktivitas hidup
 - energi sinar matahari yang merupakan energi primer
 - energi tinggi yang menghasilkan elektroda elektron listrik bertegangan tinggi

Untuk soal 8, 9, 10, dan 11, perhatikan bagan alat alat percobaan Stanley Miller berikut ini.



- Tempat terjadinya reaksi pembentukan zat organik ditunjukkan oleh nomor
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Bagian alat yang berfungsi sebagai penampung hasil reaksi adalah nomor
 - 5
 - 4
 - 3
 - 2
 - 1
- Tempat dihasilkan uap air ditunjukkan oleh nomor
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
- Bagian alat bernomor 4 berfungsi sebagai
 - penampung hasil reaksi
 - tempat gas-gas dimasukkan
 - alat pendingin agar hasil reaksi mengembun
 - alat mempercepat reaksi
 - pengontrol kecepatan reaksi
- Terbentuknya makhluk hidup eukariot autotrof dan heterotrof disebabkan oleh adanya endosimbiosis yang dikemukakan oleh
 - Lynn Margulis
 - Carl R. Woese
 - A.I. Oparin
 - Harold Urey
 - Stanley Miller

13. Menurut Lamarck, leher zarafah sekarang menjadi panjang karena
 - a. zarafah leher pendek banyak yang mati
 - b. zarafah leher pendek kalah berkelahi
 - c. memang keturunannya
 - d. makanannya tinggi sehingga leher memanjang
 - e. semua salah
14. Charles Darwin mengemukakan teori Evolusi berpijak pada kenyataan-kenyataan berikut, kecuali
 - a. adanya variasi dalam satu keturunan
 - b. adanya organisme yang punah
 - c. adanya kecenderungan populasi bertambah banyak
 - d. adanya perjuangan spesies untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya
 - e. adanya kenyataan bahwa pertumbuhan populasi tidak berjalan terus menerus
15. Buku Darwin yang mengandung pokok-pokok mengenai evolusi adalah
 - a. rigin of ife
 - b. The rigin of Spesies
 - c. volution and enetic
 - d. From Ape to Human
 - e. The Principle of Population
16. Sejak berkembangnya revolusi modern di Inggris, populasi ngengat iston etularia bersayap putih makin menurun. Menurut Darwin, hal ini terjadi karena
 - a. ngengat bersayap cerah berubah menjadi ngengat bersayap gelap
 - b. ngengat bersayap gelap mengalami seleksi alam
 - c. ngengat bersayap cerah tidak adaptif dengan lingkungan sehingga terseleksi
 - d. ngengat bersayap mandul, karena lingkungan kotor
 - e. ngengat bersayap gelap lebih mudah diserang predatornya dibandingkan ngengat bersayap gelap
17. Organ homolog adalah
 - a. organ yang asalnya sama, fungsinya sama
 - b. organ yang asalnya berbeda, fungsinya sama
 - c. organ yang asal dan fungsinya sama
 - d. organ yang asalnya sama, fungsinya berbeda
 - e. tidak ada pernyataan yang benar
18. Bagian yang termasuk organ analog adalah
 - a. sayap burung dan tangan manusia
 - b. tangan manusia dan tangan kera
 - c. sayap burung dan sayap kupu-kupu
 - d. sayap kelelawar dan sayap burung
 - e. kaki depan kuda dan tangan manusia
19. Berikut adalah peristiwa yang tidak mendukung hukum Hardy- einberg
 - a. perkawinan berlangsung secara acak
 - b. tidak ada migrasi
 - c. tidak ada mutasi

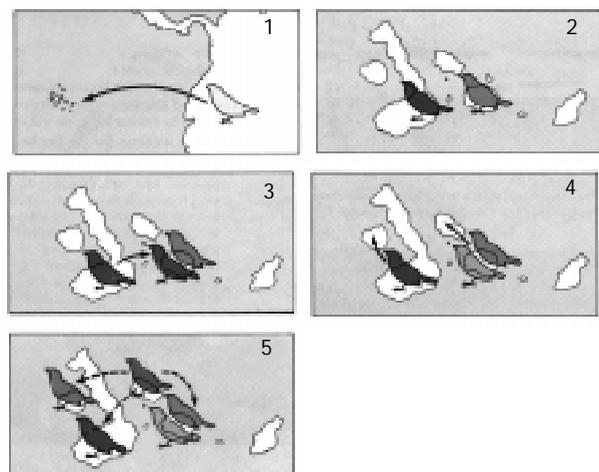
- d. fertilitas setiap spesies tinggi
 - e. terjadi seleksi alam
20. Sebuah desa dihuni oleh 10.000 orang penduduk, 9% di antaranya adalah laki-laki buta warna. Jumlah wanita pembawa sifat buta warna yang ada di desa tersebut adalah
 - a. 89 orang
 - b. 819 orang
 - c. 1.638 orang
 - d. 8.281 orang
 - e. 9.000 orang

B. Soal Uraian

1. Singa memiliki cakar dan taring yang tajam. Jelaskan proses evolusi singa tersebut berdasarkan
 - a. teori Lamarck
 - b. teori Darwin
2. Apakah yang dimaksud berupa sup purba atau sup primordial?
3. Organisme mana yang terlebih dahulu terbentuk, organisme prokariot atau organisme eukariot? Jelaskan jawaban Anda.
4. Diketahui 1.000 penduduk suatu daerah ditemukan 160 penderita albino. Berapakah orang yang normal heterozigot?
5. Jelaskan pengaruh kemajuan ilmu biologi molekular terhadap teori evolusi.

C. Soal Tantangan

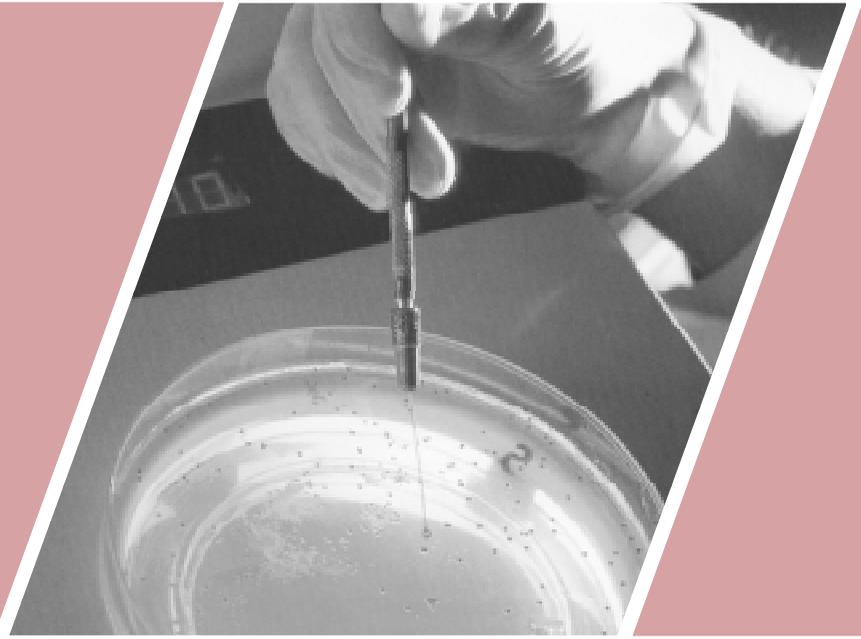
Perhatikan gambar pada penyebaran dan spesiasi yang terjadi pada burung Finch berikut ini.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Jelaskan langkah-langkah spesiasi burung Finch tersebut menggunakan kata kunci kolonisasi, spesiasi allopatrik, dan isolasi reproduksi.

Bab 7



Sumber: *Cloning Frontiers of Genetic Engineering*, 1999

Dewasa ini, rekayasa genetika telah menjadi tulang punggung bioteknologi.

Bioteknologi

Hasil yang harus Anda capai:

memahami prinsip-prinsip dasar bioteknologi serta implikasinya pada salingtemas.

Setelah mempelajari bab ini, Anda harus mampu:

- menjelaskan arti, prinsip dasar, dan jenis-jenis bioteknologi;
- menjelaskan dan menganalisis peran bioteknologi serta implikasi hasil-hasil bioteknologi pada salingtemas.

Apakah Anda pernah mendengar kata kloning? Bagaimanakah dengan tanaman transgenik, apakah Anda mengenalnya? Kloning menjadi topik yang hangat diperbincangkan saat ini, begitupun dengan tanaman transgenik. Terlepas dari kontroversi tentang kloning pada manusia, teknologi ini telah membuka mata kita semua bahwa dengan kemajuan teknologi kita dapat memperoleh produk yang sesuai dengan yang diharapkan.

Kloning dan tanaman transgenik merupakan contoh produk bioteknologi. Bioteknologi tercipta karena dorongan kebutuhan manusia yang semakin meningkat. Berbagai usaha telah dilakukan manusia untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Hal ini tidak hanya terjadi pada bidang pertanian dalam memenuhi kebutuhan pangan saja, tetapi juga dalam bidang-bidang lainnya.

Makhluk hidup apa saja yang berperan dalam bioteknologi? Bagaimanakah penerapannya? Apakah peran dan implikasi hasil-hasil bioteknologi bagi kehidupan? Semua pertanyaan tersebut dapat Anda jawab setelah mempelajari bab ini.

- A. Perkembangan dan Prinsip Dasar Bioteknologi
- B. Bioteknologi Konvensional dan Modern

Tes Kompetensi Awal

1. Menurut Anda, apakah yang dimaksud dengan Bioteknologi?
2. Bagaimanakah hubungan Bioteknologi dengan disiplin ilmu lainnya?
3. Apa yang Anda ketahui mengenai produk Bioteknologi? Sebutkanlah contohnya.

Kata Kunci

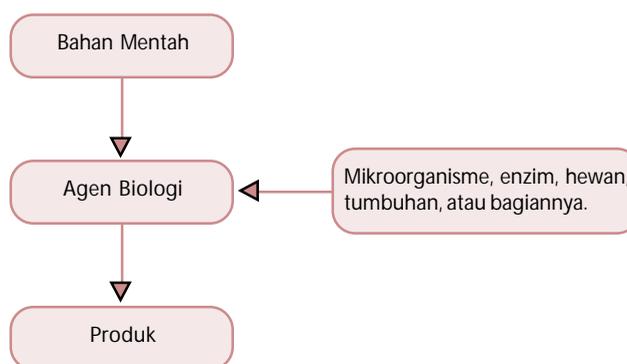
- Agen biologi
- Biokimia
- Genetika
- Mikrobiologi
- Mikroorganisme
- Fermentasi
- Biologi molekuler

A. Perkembangan dan Prinsip Dasar Bioteknologi

Pernahkah Anda mendengar kata bioteknologi? Bioteknologi merupakan suatu usaha terpadu dari berbagai disiplin ilmu untuk mengolah bahan baku dengan memanfaatkan mikroorganisme dan komponen-komponen lainnya untuk menghasilkan barang dan jasa. Disiplin ilmu yang terlibat dalam bioteknologi, di antaranya Kimia, Biokimia, Rekayasa Biokimia, Teknik Kimia, Mikrobiologi, dan tentunya ilmu Biologi.

Pada masa lalu, bioteknologi selalu diartikan sebagai teknologi fermentasi. Namun, seiring dengan perkembangan zaman, bioteknologi semakin berkembang tidak hanya pada mikroorganisme sehingga definisi bioteknologi berubah menjadi lebih luas. Dari sekian banyak definisi bioteknologi, salah satu definisi yang dibuat oleh United Nations Convention on Biological Diversity mencakup semua dan paling luas. Definisi tersebut menyebutkan bahwa bioteknologi adalah semua aplikasi teknologi yang menggunakan sistem biologi, organisme hidup, atau turunannya untuk membuat atau memodifikasi produk atau proses untuk keperluan umum.

Salah satu ciri dari bioteknologi adalah digunakannya agen biologi dalam proses tersebut. Agen biologi tersebut dapat berupa mikroorganisme, hewan, tumbuhan, atau bagian dari makhluk hidup tersebut. Dari penjelasan tersebut secara sederhana dapat dibuat alur bioteknologi seperti Gambar 7.1 berikut.



Gambar 7.1

Alur pembuatan produk dalam bioteknologi.

Bioteknologi secara sederhana telah dikenal manusia sejak ribuan tahun yang lalu. Contohnya, di bidang teknologi pangan adalah pembuatan bir, roti, atau keju. Saat ini, bioteknologi berkembang pesat terutama di negara-negara maju. Kemajuan ini ditandai dengan ditemukannya berbagai teknologi, misalnya rekayasa genetika, kultur jaringan, rekombinasi DNA dan kloning. Berikut ini Tabel 7.1 memperlihatkan perkembangan bioteknologi.

Tabel 7.1 Garis waktu Perkembangan Bioteknologi

| Tahun | Perkembangan Bioteknologi |
|---------|--|
| 8000 SM | Pengumpulan benih untuk ditanam kembali. Bukti bahwa bangsa Babilonia, Mesir, dan Romawi telah melakukan praktik pengembangbiakan selektif (seleksi artifisial) untuk meningkatkan kualitas ternak. |
| 6000 SM | Pembuatan bir, fermentasi anggur, membuat roti dengan bantuan ragi |
| 4000 SM | Bangsa Tionghoa membuat yoghurt dan keju dengan bakteri asam laktat |
| 1500 | Pengumpulan tumbuhan di seluruh dunia |
| 1665 | Penemuan sel oleh Robert Hooke (Inggris) melalui mikroskop |
| 1800 | Nikolai I. Vavilov menciptakan penelitian komprehensif tentang pengembangbiakan hewan |
| 1880 | Mikroorganisme ditemukan |
| 1856 | Gregor Mendel mengawali genetika tumbuhan rekombinan |
| 1865 | Gregor Mendel menemukan hukum-hukum dalam penyampaian sifat induk ke turunannya |
| 1919 | Karl Ereky, insinyur Hongaria, yang pertama kali menggunakan kata bioteknologi |
| 1953 | James D. Watson, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin, dan Francis Crick mengungkap struktur DNA |
| 1970 | Peneliti di AS berhasil menemukan enzim restriksi yang digunakan untuk memotong gen-gen |
| 1975 | Metode produksi antibodi monoklonal dikembangkan oleh Kohler dan Milstein. |
| 1978 | Para peneliti AS berhasil membuat insulin menggunakan bakteri yang terdapat pada usus besar. |
| 1980 | Bioteknologi modern dicirikan oleh teknologi DNA rekombinan. Misalnya, coli digunakan untuk memproduksi insulin dan obat lain, setelah disisipi gen manusia. Sekitar 5% pengidap diabetes alergi terhadap insulin hewan yang sebelumnya tersedia |
| 1992 | FDA menyetujui makanan hasil organisme modifikasi pertama dari Calgene, yaitu tomat <i>flavr savr</i> . |
| 1997 | Ilmuwan Inggris dari Roslin Institute melaporkan domba Dolly hasil kloning dari dua sel domba dewasa. |
| 2000 | Perampungan Human Genome Project secara kasar |
| 2002 | Para ilmuwan berhasil memetakan gen-gen dari tanaman padi |
| 2003 | Lima puluh tahun setelah penjelasan struktur DNA, Human Genome Project selesai (14 April 2003) |

Sumber: www.wikipedia.org; www.indobiogen.or.id

Perkembangan bioteknologi sangat dipengaruhi oleh perkembangan ilmu-ilmu dasar, seperti perkembangan mikrobiologi, genetika, dan biokimia. Mikrobiologi mempunyai peranan sangat penting karena studi awal mengenai manipulasi genetika dilakukan terhadap kelompok mikroorganisme. Penelitian awal terhadap mikroorganisme relatif lebih sederhana dibandingkan kelompok makhluk hidup lainnya. Selain itu, kelompok mikroorganisme mudah ditumbuhkan; pertumbuhannya relatif cepat, mudah dilakukan persilangan, analisis genetika, fisiologi, dan biokimia. Penelitian awal mengenai makhluk hidup transgenik hasil persilangan gen juga dilakukan terhadap mikroorganisme.



Sekilas Biologi

Dalam *Human Genome Project*, ilmuwan mencoba menentukan posisi yang tepat dari masing-masing gen di dalam kromosom manusia. Jika hal ini berhasil dilakukan, ahli genetika mampu menentukan gen penyebab cacat dan menetralsasi atau menggantinya.

Sumber: *Jendela IPTEK: Kehidupan*, 1997

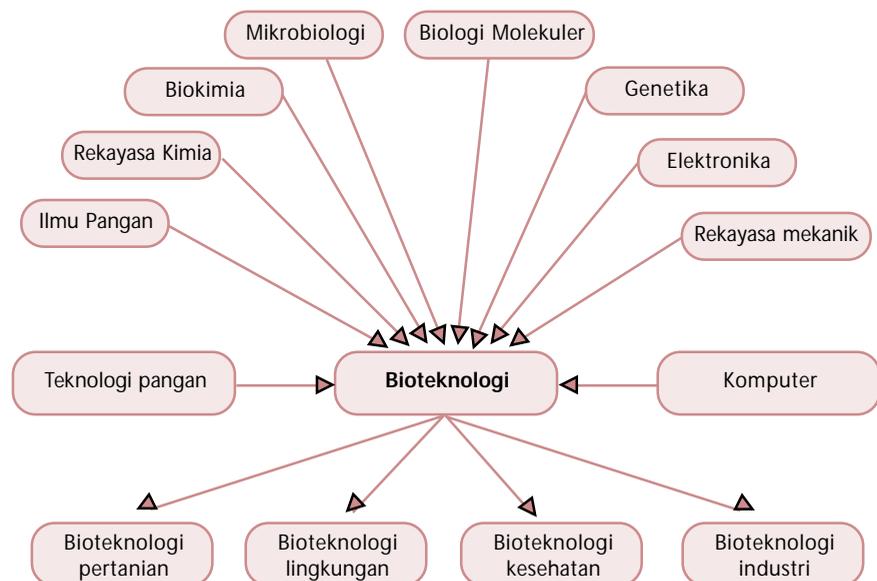
Kata Kunci

- Biokimia
- Biologi molekuler
- Bioteknologi industri
- Bioteknologi kesehatan
- Bioteknologi lingkungan
- Bioteknologi pertanian
- Genetika

Mikrobiologi bukan satu-satunya ilmu dasar yang berperan penting dalam pengembangan bioteknologi. Genetika dan biokimia pun berperan penting dalam pengembangan bioteknologi. Genetika beserta pemahaman mengenai pola perwarisan sifat dan substansi genetik menjadi dasar dalam teknologi rekombinasi DNA, persilangan, dan mutasi. Biokimia memberikan dasar pemahaman mengenai struktur genetik dan makromolekul lain, misalnya enzim.

Pada akhirnya, mikrobiologi, genetika, dan biokimia berkembang secara simultan dan saling memengaruhi sehingga mendorong perkembangan bioteknologi. Ketiga ilmu dasar tersebut selanjutnya mendukung perkembangan biologi molekuler sebagai suatu disiplin ilmu baru yang melandasi pengetahuan mengenai makhluk hidup dilihat dari molekul pembentuknya. Biologi molekuler menjadi ilmu yang mendasari bioteknologi modern.

Ilmu-ilmu dasar dan teknologi yang lain juga mempunyai peranan penting dalam perkembangan bioteknologi. Perkembangan bioteknologi saat ini sudah sedemikian luas sehingga batasan antardisiplin ilmu dan antarteknologi semakin tipis dan sulit dibedakan. Secara ringkas, hubungan antardisiplin ilmu dan teknologi yang turut mengembangkan bioteknologi terangkum dalam Gambar 7.2 berikut.

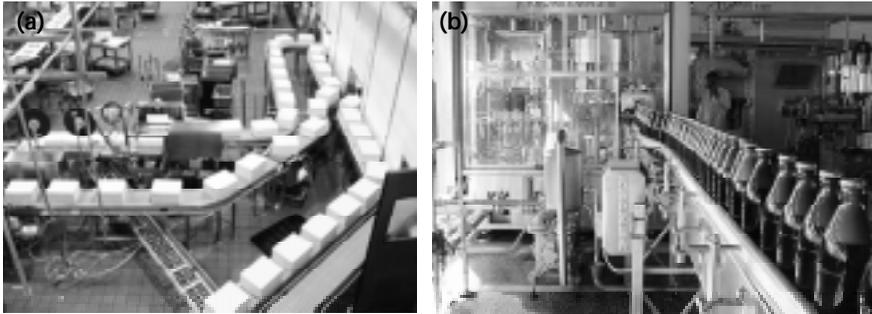


Gambar 7.2

Hubungan antarilmu dan teknologi dalam pengembangan bioteknologi.

Sumber: *Bioteknologi Pangan*, 2006

Beberapa disiplin ilmu dan teknologi yang mendukung bioteknologi menghasilkan cabang-cabang bioteknologi baru, di antaranya, bioteknologi pertanian, bioteknologi lingkungan, bioteknologi kesehatan, dan bioteknologi industri. Pada saat ini, bioteknologi tidak hanya terbatas pada eksperimen di laboratorium, melainkan sudah berkembang menjadi industri besar.



Gambar 7.3

Produksi hasil bioteknologi berskala industri pada pabrik pembuatan (a) keju dan (b) bir.

Sumber: www.roundamerica.com; www.orexca.com

Latihan Pemahaman Subbab A

Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Jelaskan secara singkat perkembangan bioteknologi dari waktu ke waktu.
2. Bagaimanakah kedudukan Ilmu Mikrobiologi, Genetika dan Biokimia terhadap Bioteknologi? Jelaskan.

B. Bioteknologi Konvensional dan Modern

Secara umum, bioteknologi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern. Pada bioteknologi konvensional, penerapan teknik-teknik biologi, biokimia, dan rekayasa genetika masih sangat terbatas. Organisme yang digunakan masih bersifat alamiah. Bahkan, dapat dikatakan bahwa pada teknologi konvensional belum ada rekayasa genetik. Jika pun ada, rekayasa yang dilakukan belum terarah dan belum sepenuhnya dapat dikendalikan. Contohnya, pencarian bibit unggul tanaman melalui radiasi. Teknik mutasi ini menghasilkan mutan-mutan dengan sifat yang berbeda-beda sehingga hasil mutasi tidak dapat sepenuhnya dikendalikan atau diramalkan.

Pada bioteknologi modern, sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan, penerapan teknik-teknik biologi, biokimia, dan rekayasa genetika telah mampu menghasilkan produk secara lebih terarah. Contohnya, melalui teknik rekombinasi gen sekarang para ilmuwan telah dapat menyisipkan gen penghasil hormon insulin manusia ke dalam DNA bakteri sehingga bakteri tersebut dapat menghasilkan hormon insulin. Dari contoh tersebut, terlihat bahwa hasil yang akan dicapai telah dapat diramalkan sebelumnya.

Bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern tidak mudah untuk dibedakan. Meskipun demikian, terdapat beberapa ciri khusus pada keduanya. Ciri khusus ini terutama terletak pada kelebihan dan kekurangan kedua jenis bioteknologi tersebut. Perhatikan Tabel 7.2 berikut.

Kata Kunci

- Rekayasa Genetik
- Mutasi
- Rekomendasi gen
- Bibit unggul
- Radiasi
- Insulin

Tabel. 7.2 Kelebihan dan Kekurangan Penerapan Bioteknologi Konvensional dan Modern

| Bioteknologi Konvensional | | Bioteknologi Modern | |
|---|---|---|--|
| Kelebihan | Kekurangan | Kelebihan | Kekurangan |
| <ul style="list-style-type: none"> • Relatif mudah • Teknologi relatif sederhana • Pengaruh jangka panjang umumnya sudah diketahui karena sistemnya sudah mapan. | <ul style="list-style-type: none"> • Perbaikan sifat genetik tidak terarah • Tidak dapat mengatasi masalah ketidaksesuaian (inkompatibilitas) genetik • Hasil tidak dapat diperkirakan sebelumnya • Memerlukan waktu relatif lama untuk menghasilkan alur baru • Seringkali tidak dapat mengatasi kendala alam dalam sistem budidaya tanaman, misalnya masalah hama. | <ul style="list-style-type: none"> • Perbaikan sifat genetik dilakukan secara terarah. • Dapat mengatasi kendala ketidaksesuaian genetik • Hasil dapat diperhitungkan • Dapat menghasilkan jasad baru dengan sifat baru yang tidak ada pada jasad alami • Dapat memperpendek jangka waktu pengembangan galur jasad tanaman baru • Dapat meningkatkan kualitas dan mengatasi kendala alam dalam sistem budidaya tanaman. | <ul style="list-style-type: none"> • Relatif mahal • Memerlukan kecanggihan teknologi • Pengaruh jangka panjang belum diketahui |

Sumber: *Bioteknologi Pertanian*, 2006

Meskipun bioteknologi konvensional telah berkembang lebih dahulu, tidak berarti bioteknologi konvensional sudah tidak digunakan. Hingga kini, bioteknologi konvensional tersebut masih tetap digunakan sesuai kelebihan yang dimilikinya. Adapun bioteknologi modern hingga kini masih terus berkembang.

1. Bioteknologi Konvensional

Seperti yang telah Anda ketahui bahwa pada bioteknologi konvensional ini tidak ada rekayasa terhadap sifat alami gen biologi yang digunakan. Bioteknologi konvensional ini disebut juga bioteknologi tradisional karena perkembangan bioteknologi ini telah ada sejak ribuan tahun silam. Pada masa itu, manusia belum menyadari bahwa proses yang mereka lakukan merupakan proses bioteknologi.

Bioteknologi konvensional yang dilakukan manusia saat itu umumnya menggunakan proses sederhana dan telah dilakukan secara turun temurun. Perhatikan kembali garis waktu perkembangan bioteknologi pada Tabel 7.1.

Perkembangan bioteknologi konvensional tidak hanya terjadi pada teknologi pengolahan pangan, seperti pembuatan minuman beralkohol (bir, anggur) dan makanan (roti, keju). Akan tetapi, berkembang hingga pada aspek kesehatan, pemuliaan tanaman, dan peternakan. Berikut ini beberapa pemanfaatan bioteknologi konvensional dalam beberapa bidang kehidupan.

a. Pengolahan Bahan Pangan

Mikroorganisme merupakan kelompok makhluk hidup mikroskopis yang dapat dijumpai hampir di semua tempat dan biasanya berasal dari kelompok bakteri atau jamur. Makhluk hidup sederhana ini memiliki

Pada fermentasi alkohol oleh *Saccharomyces cereviceae*, fermentasi berlebih dapat menyebabkan kematian pada *Saccharomyces cereviceae* tersebut. Mengapa hal itu dapat terjadi?

daerah penyebaran yang sangat luas. Salah satu kemampuan mikroorganismenya tersebut adalah dapat menghasilkan enzim yang disekresikan keluar tubuhnya. Enzim tersebut secara alami berfungsi untuk menguraikan substrat atau bahan makanan di sekelilingnya menjadi makanan baginya. Proses ini dikenal dengan fermentasi.

Fermentasi banyak manfaatnya bagi manusia. Proses ini dapat mengubah berbagai bahan mentah menjadi bahan yang berguna bagi manusia. Sejak lama, manusia menggunakan ragi atau khamir (*Saccharomyces cereviceae*) dalam pembuatan minuman beralkohol dan sebagai pengembang roti. Pada kondisi anaerob ragi memfermentasikan gula menjadi alkohol dan CO₂. Selain ragi, banyak agen biologi lain berperan dalam pengolahan bahan pangan. Perhatikan Tabel 7.3 berikut.

Tabel. 7.3 Beberapa Contoh Pemanfaatan Bioteknologi Konvensional

| o. | Kegunaan Hasil | Bahan Mentah | Makhluk Hidup yang Berperan |
|-----|--------------------|----------------------|---|
| 1. | Tempe | Kedelai | <i>hi opus oligosporus</i> <i>hi opus ory ae</i> |
| 2. | Tauco | Kedelai | <i>Aspergillus ory ae</i> |
| 3. | Kecap | Kedelai | <i>Aspergillus ory ae</i> <i>Saccharomyces rou ii</i> |
| 4. | Oncom | Bungkil kedelai | <i>onilia sitophila</i> <i>hi opus oligosporus</i> |
| 5. | Kopi aroma | Kopi | <i>r inia dissolvens</i> <i>Saccharomyces sp.</i> |
| 6. | Sosis | Daging | <i>Pediococcus cereviceae</i> |
| 7. | Tape | Beras ketan singkong | <i>Saccharomyces ovale</i> <i>Saccharomyces elipsoides</i> |
| 8. | Roti, kue | Tepung gandum | <i>Saccharomyces cereviceae</i> <i>Saccharomyces e iguus</i> |
| 9. | Yoghurt | Susu | <i>actobacillus bulgaricus</i> <i>Streptococcus thermophilus</i> |
| 10. | Keju | Susu | <i>Streptococcus sp.</i> <i>euconostoc cryovororum</i> |
| 11. | Saverkraut | Kubis | <i>euconostoc mesenteroides</i> <i>r inia herbicola</i> |
| 12. | Minuman beralkohol | Jus buah | <i>Saccharomyces cereviceae</i> |
| 13. | Nata de coco | Kelapa | <i>Acetobacter ylinum</i> |

Untuk lebih memahami peranan mikroorganismenya dalam pengolahan bahan pangan, lakukanlah aktivitas berikut ini.

Kata Kunci

- Enzim
- Ragi
- Anaerob
- Fermentasi



Aktivitas Biologi 7.1

Pembuatan Tape Singkong

Tujuan

Membuat tape singkong

Bahan

1. Singkong 5 kg
2. Ragi tape

Cara pembuatan

1. Singkong dipotong-potong ukuran sedang.
2. Singkong dikupas, kemudian cuci hingga bersih.
3. Ragi tape yang telah dihaluskan, ditaburkan ke seluruh permukaan singkong.
4. Tutup singkong dengan daun pisang atau plastik yang dilubangi, kemudian tutup dengan kain serbet.
5. Simpan di tempat yang hangat selama 1–2 hari sampai singkong empuk.

Pertanyaan

1. Apakah peranan ragi pada kegiatan tersebut?
2. Mengapa pembungkus plastik harus dilubangi?
3. Bahan-bahan apa saja yang dapat dibuat tape selain singkong dan beras ketan?
4. Kesimpulan apa yang didapat dari kegiatan tersebut?

Logika Biologi

Dalam kultur jaringan, sering terjadi kontaminasi oleh jamur dan bakteri yang tumbuh dalam medium. Syarat apakah yang tidak terpenuhi sehingga terjadi kontaminasi?

Kata Kunci

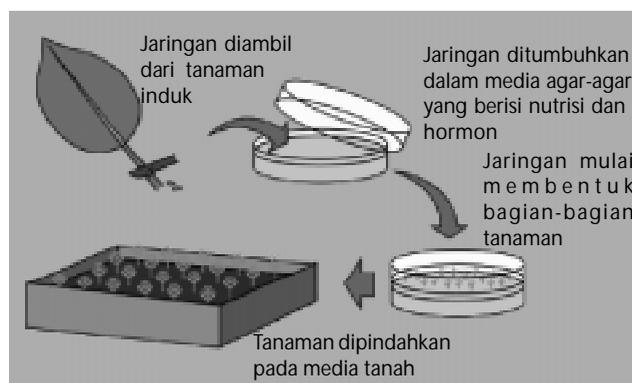
- Kultur jaringan
- Aseptik
- Inseminasi buatan
- Antibiotik
- Vaksin
- Patogen

b. Pertanian

Budidaya pertanian dan peternakan juga tidak lepas dari pengaruh bioteknologi konvensional. Sejak dahulu, manusia terus berupaya untuk mendapatkan berbagai tanaman bibit unggul di bidang pertanian. Bibit unggul tersebut diharapkan mempunyai sifat tahan hama dan dapat meningkatkan kualitas serta kuantitas hasil panen. Oleh karena itu, manusia mulai melakukan berbagai penyilangan varietas tanaman pertanian.

Berbagai cara dilakukan manusia mulai dari penyilangan yang menghasilkan varietas baru, perbanyakan vegetatif, hingga radiasi untuk mendapatkan sifat baru yang dapat dikembangkan. Teknologi pemupukan juga mengalami perubahan. Pemupukan alami dan buatan dari bahan sintesis telah dikembangkan untuk meningkatkan produksi pertanian.

Perbanyakan vegetatif yang dikembangkan untuk meningkatkan produksi pertanian, antara lain setek, cangkok, dan kultur jaringan. Berbeda dengan setek dan cangkok yang dilakukan di lingkungan terbuka, kultur jaringan dilakukan di laboratorium. Kultur jaringan merupakan teknik perbanyakan tanaman dengan cara mengisolasi dan menumbuhkan bagian tanaman atau jaringan tersebut dalam medium buatan secara aseptik (Gambar 7.4).



Gambar 7.4
Teknik kultur jaringan

Sumber: www.bbc.co.uk

c. Peternakan

Penerapan bioteknologi konvensional juga terjadi pada peningkatan produksi di bidang peternakan. Sejak dahulu, manusia telah berusaha mengawinkan hewan-hewan ternak untuk memperoleh bibit unggul. Para peternak menyadari pentingnya bibit unggul untuk meningkatkan produksi daging, telur, dan susu yang berkualitas.

1) Inseminasi Buatan

Salah satu teknik yang dikembangkan adalah inseminasi buatan. Inseminasi buatan adalah suatu cara untuk memasukkan mani (sperma atau semen) dari ternak jantan ke alat kelamin ternak betina. Sebelumnya, semen yang didapat dari ternak jantan dicairkan dan diproses terlebih dahulu. Untuk memasukkan semen ke dalam alat kelamin ternak betina menggunakan metode dan alat khusus yang disebut insemination gun.

Tujuan dilakukannya inseminasi buatan adalah untuk meningkatkan angka kelahiran ternak yang umumnya bergantung musim kawin. Dengan demikian, jarak kelahiran ternak dapat diatur. Selain itu, dengan adanya inseminasi buatan dapat memperbaiki kualitas ternak, mengoptimalkan penggunaan bibit unggul, dan mencegah penularan atau penyebaran penyakit ternak.

2) Fertilisasi In vitro

Kebutuhan manusia akan produk ternak semakin meningkat. Contohnya, kebutuhan masyarakat terhadap daging dan susu sapi. Hal tersebut ditandai oleh pemerintah yang masih mengimpor daging dan susu sapi.

Teknik perbanyak ternak yang unggul mulai dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Selain dengan teknik inseminasi buatan, perbanyak ternak unggul dapat dilakukan dengan fertilisasi *in vitro* (Gambar 7.5).

Pada fertilisasi *in vitro*, embrio dapat dihasilkan di luar uterus induk betina. Sifat dan jumlah embrio dapat diatur. Setelah embrio terbentuk, kemudian embrio tersebut ditanam (diimplantasikan) dalam uterus milik betina dari spesies yang sama untuk membantu mempercepat peningkatan populasi ternak yang unggul. Embrio sebelum diimplantasikan dapat disimpan dalam jangka waktu tertentu pada nitrogen cair bersuhu -196°C .

d. Pengobatan dan Kesehatan

Pada bidang pengobatan dan kesehatan, bioteknologi konvensional telah menghasilkan berbagai macam obat, di antaranya adalah antibiotik dan vaksin. Antibiotik adalah senyawa yang dihasilkan oleh mikroorganisme seperti jamur atau bakteri yang dapat menghambat pertumbuhan hingga mematikan mikroorganisme lainnya. Antibiotik pertama yang ditemukan berasal dari jamur *Penicillium notatum* yang biasa tumbuh pada kulit jeruk yang membusuk. Antibiotik yang dihasilkan *Penicillium* ini disebut penisilin. Sekresi jamur *Penicillium* yang mematikan pertumbuhan bakteri ini ditemukan secara tidak sengaja oleh Alexander Fleming pada 1928.

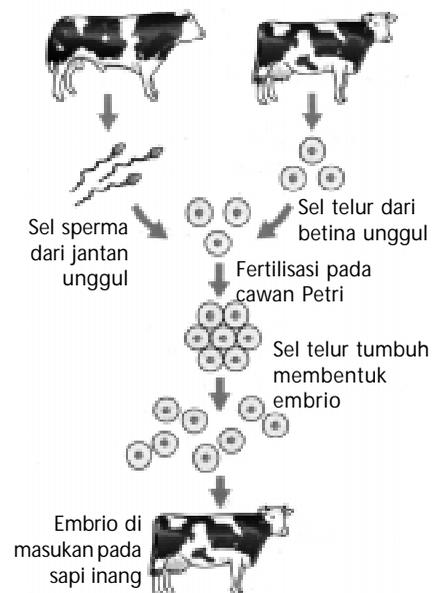


Fakta Biologi

Ovarium merupakan salah satu limbah dari rumah potong hewan yang masih potensial untuk dimanfaatkan. Ovarium mengandung sel telur yang berguna untuk menghasilkan embrio melalui teknik fertilisasi *in vitro*. Embrio yang dihasilkan berguna untuk penelitian dasar dan terapan seperti penelitian penentuan jenis kelamin, pembekuan embrio, atau kloning.

Selain itu embrio yang dihasilkan dapat ditransfer ke ternak resipien untuk membantu mempercepat peningkatan populasi ternak. Keberhasilan dari teknologi fertilisasi *in vitro* dengan memanfaatkan ovarium dari rumah potong hewan bisa mencapai 56%.

Sumber: www.iptek.net.id

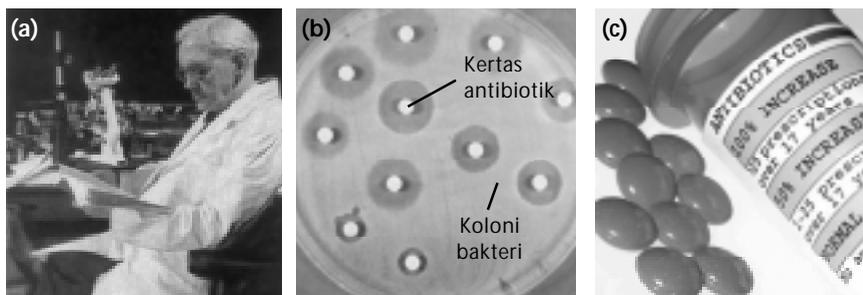


Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 7.5

Proses fertilisasi *in vitro* pada sapi.

Gambar 7.6
 (a) Alexander Flemming dan
 (b) pengaruh antibiotik terhadap
 pertumbuhan bakteri serta (c) obat
 antibiotik.



Sumber: *Biology: Discovering Life*, 1991

Vaksin adalah senyawa atau zat dari kuman yang dilemahkan atau dimatikan racunnya sehingga dapat memicu kekebalan tubuh. Pengaruh vaksin mirip dengan infeksi patogen ketika menyerang tubuh, yakni terjadi respons kekebalan tubuh. Akibatnya, kekebalan tubuh untuk patogen tersebut menjadi aktif. Namun, vaksin tidak membahayakan tubuh karena sudah lemah dan tidak mengandung unsur patogen. Hasilnya, jika kuman yang sama menyerang tubuh, sistem kekebalan tubuh lebih cepat bereaksi dan lebih ampuh.

Vaksin kali pertama digunakan oleh Edward Jenner untuk mengobati penyakit cacar air. Pemberian vaksin ini disebut juga vaksinasi. Melalui vaksinasi, manusia akan dapat kebal terhadap infeksi penyakit polio, difteri, tetanus, rabies, dan banyak penyakit lain tanpa harus terinfeksi sebelumnya oleh penyakit tersebut.

e. Lingkungan

Maraknya kasus pencemaran lingkungan dan menurunnya kesehatan masyarakat sekarang ini, umumnya terjadi karena limbah dan sampah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan kegiatan rumah tangga. Agar kegiatan industri tetap berlangsung dan pencemaran dapat dikurangi, diperlukan teknologi yang dapat mengolah limbah hasil industri tersebut. Teknologi pengolahan limbah merupakan kunci dalam memelihara kesehatan lingkungan.

Berbagai teknik pengolahan limbah telah dicoba dan dikembangkan. Teknik pengolahan limbah, dalam hal ini limbah cair dibagi menjadi tiga metode pengolahan, yaitu:

1. pengolahan secara fisika;
2. pengolahan secara kimia;
3. pengolahan secara biologi.

Pangolahan air limbah dengan metode Biologi lebih efektif dibandingkan dengan metode lainnya. Proses pengolahan limbah dengan metode Biologi adalah metode yang memanfaatkan jasad hidup. Jasad hidup tersebut berfungsi sebagai katalis untuk menguraikan material yang terkandung dalam air limbah dan menjadikannya sebagai tempat berkembang biak.

Salah satu proses pengolahan air limbah yang menggunakan jasad hidup (mikroorganisme) adalah pengolahan dengan cara lumpur aktif. Pengolahan dengan cara ini dapat digunakan untuk mengolah air limbah dari industri pangan, pulp, kertas, tekstil, bahan kimia dan obat-obatan. Akan tetapi, proses ini menimbulkan masalah baru, yakni terjadi kelebihan endapan lumpur dari pertumbuhan mikroorganisme. Sekarang, hal itu dapat diatasi dengan teknologi ozon pada pengolahan air limbah dengan cara metode lumpur aktif tersebut (Gambar 7.7).



Sekilas Biologi

**Edward Jenner
 (1749–1823)**

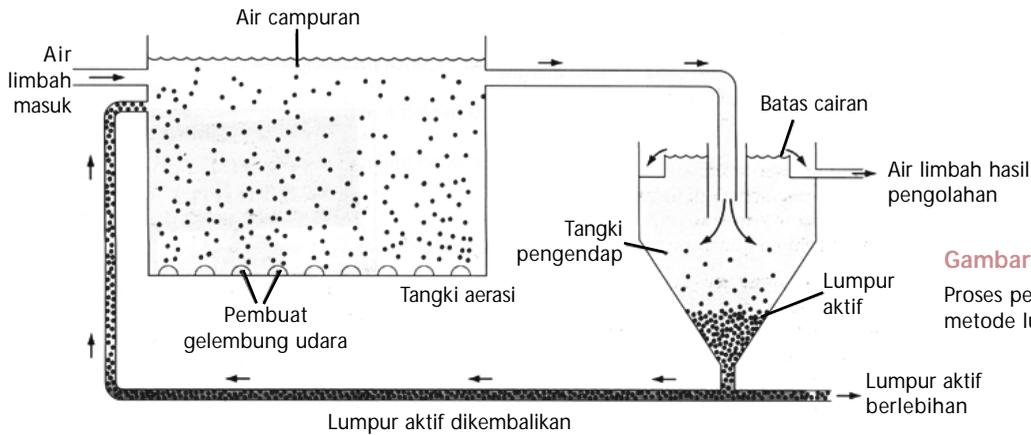


Edward Jenner merupakan seorang dokter. Dia dilahirkan di Berkeley, Inggris. Pada tahun 1796 dia menemukan vaksin cacar. Vaksin tersebut untuk pertama kalinya digunakan pada anaknya dan berhasil membuat anaknya kebal terhadap cacar.

Sumber: www.Albiographies.com

Kata Kunci

- Limbah
- Industri
- Lumpur aktif
- Bioremoval
- Biogas
- Methanogen
- Bakteri



Gambar 7.7
Proses pengolahan limbah dengan metode lumpur aktif.

Sumber: *Biology for You*, 2002

Pada proses Gambar 7.7 di atas mikroba tumbuh dalam lumpur dan akan terjadi proses degradasi. Proses ini berlangsung dalam reaktor dengan pencampuran sempurna dilengkapi dengan daur lumpur dan cairannya. *Sporotrichium sp.* dapat menurunkan karakteristik limbah cair pulp, antara lain meliputi parameter BOD dan warna. Media terbaik bagi jamur *Sporotrichium sp.* agar dapat bekerja efektif dalam menurunkan mendegradasi karakteristik limbah cair industri pulp adalah dengan pengenceran sampai 75% dan penambahan glukosa 75%.

Pengolahan limbah dapat juga dilakukan dengan proses bioremoval. Proses bioremoval adalah suatu proses pengolahan limbah yang melibatkan mikroorganisme dalam mengatasi permasalahan ion logam berat. Bioremoval didefinisikan sebagai terakumulasinya dan terkonsentrasinya polutan dari suatu cairan oleh material biologi. Selanjutnya, material ini dapat dibuang dan ramah terhadap lingkungan. Berikut ini mikroorganisme yang berperan dalam bioremoval dan logam yang diolahnya.

Tabel. 7.4 Mikroorganisme dan Logam yang Diolahnya

| Mikroorganisme | Logam Berat |
|---------------------------------|-------------|
| hi omucor | Cu (II) |
| ucor mucedo | Cu (II) |
| hi opus stolonifer | Cu (II) |
| <i>Aspergillus ory ae</i> | Cu (II) |
| <i>Penicillium chrysogenum</i> | Cu (II) |
| cklonia radiata | Cu (II) |
| Phellinus badius | Cu (II) |
| Pinus radiata | Cu (II) |
| <i>Saccharomyces cereviceae</i> | Cu (II) |
| hlorella vulgaris | Pb (II) |
| cklonia radiata | Pb (II) |
| Phellinus badius | Pb (II) |
| Pinus radiata | Pb (II) |
| <i>Saccharomyces cereviceae</i> | Pb (II) |
| hlorella vulgaris | As (V) |
| hlorella vulgaris | As (III) |
| itrobacter sp | Cd (II) |
| cklonia radiata | Cd (II) |
| Phellinus badius | Cd (II) |
| Pinus radiata | Cd (II) |
| <i>Saccharomyces cereviceae</i> | Cd (II) |

Sumber: www.istecs.org



Sekilas Biologi

Tidak ada yang dapat memprediksi batas waktu penghentian semburan lumpur di Porong, Sidoarjo. Beberapa skenario untuk menghentikan semburan telah dipikirkan. Salah satu alternatif teknik pemulihan kondisi dalam pengelolaan lokasi lumpur adalah pendekatan Biologi yang terpadu dengan pendekatan Fisika dan Kimia. Penanganan secara biologis menggunakan mikroorganisme, dalam hal ini bakteri.

Teknologi ini didasari dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme. Proses dekomposisi menghasilkan karbondioksida, air, biomassa mikroba, dan senyawa yang lebih sederhana atau lebih tidak toksik dibandingkan dengan senyawa asal. Setidaknya ada delapan isolat bakteri yang mampu tumbuh pada media lumpur. Sejauh ini, pengujian karakteristik bakteri itu dikategorikan dalam genus *Bacillus*.

Sumber: www.kompas.com



Andrias Wiji Setio Pamuji



Percobaan membuat reaktor biogas sederhana dari plastik sudah dilakukan oleh Andrias Wiji Setio Pamuji (27) pada tahun 2000. Saat itu ia masih kuliah tingkat III di Jurusan Teknik Kimia Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Bandung (ITB).

Namun, Andrias baru memasarkannya pada 9 April 2005 setelah menyempurnakan percobaan-percobaannya. Reaktor biogas dari plastik ini sebelumnya pernah menang dalam Lomba Kreativitas Mahasiswa tahun 2002 yang diadakan oleh Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional.

Sumber: www.tokohindonesia.com

Tumpukan minyak bumi di laut sekarang ini dapat diatasi dengan memanfaatkan mikroorganisme. Tumpukan minyak tersebut dapat diuraikan oleh bakteri *Pseudomonas*. Bakteri ini dapat menguraikan ikatan hidrokarbon yang membentuk minyak bumi. Gen yang mampu menguraikan minyak bumi terletak pada plasmid bakteri tersebut.

f. Bahan Bakar Alternatif

Teknologi biogas muncul karena didorong oleh naiknya harga minyak dunia. Biogas memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi dengan murah dan tidak mencemari lingkungan. Biogas kali pertama dikembangkan pada 1970 di Denmark. Saat itu, Denmark telah membangun 55 pengolahan biogas. China dan India mulai mengembangkan pengolahan biogas pada 1980-an.

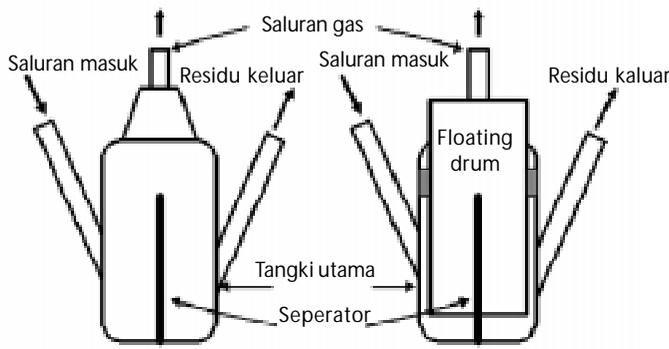
Teknologi biogas pada dasarnya memanfaatkan proses pencernaan yang dilakukan oleh bakteri methanogen yang produknya berupa gas methana (CH_4) dan bakteri asam. Bakteri ini bekerja dalam lingkungan yang tidak ada udara. Bakteri methanogen akan secara alami berada dalam limbah organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Contoh bakteri methanogen, yaitu *ethanobacterium*, *ethanobacillus*, *ethanosarcina*, dan *ethanococcus*.

Tahap lengkap pencernaan material organik oleh bakteri methanogen adalah sebagai berikut (ikipedia, 2005):

- 1) Hidrolisis. Pada tahap ini, molekul organik kompleks diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti karbohidrat (simple sugars), asam amino, dan asam lemak.
- 2) Asidogenesis. Pada tahap ini terjadi proses penguraian yang menghasilkan amonia, karbondioksida, dan hidrogen sulfida.
- 3) Asetagenesis. Pada tahap ini dilakukan proses penguraian produk asidogenesis; menghasilkan hidrogen, karbondioksida, dan asetat.
- 4) Methanogenesis. Ini adalah tahapan terakhir dan sekaligus yang paling menentukan, yakni dilakukan penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya untuk menghasilkan gas methana (CH_4). Hasil lain dari proses ini berupa karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya.

Kegagalan biogas bisa disebabkan tidak seimbangya bakteri methan terhadap bakteri asam. Akibatnya, lingkungan menjadi sangat asam (pH kurang dari 7) yang dapat menghambat kelangsungan hidup bakteri methan. Keasaman substrat media biogas yang dianjurkan berada pada rentang pH 6,5–8. Suhu optimum untuk perkembangbiakan bakteri methan adalah 35°C.

Dilihat dari sisi konstruksinya, pada umumnya reaktor biogas bisa digolongkan dalam dua jenis, yakni *fixed dome* dan *floating drum*. *Fixed dome* mewakili konstruksi reaktor yang memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan di dalam reaktor. Adapun *floating drum* berarti ada bagian pada konstruksi reaktor yang bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian reaktor tersebut juga menjadi tanda telah dimulainya produksi gas di dalam reaktor biogas (Gambar 7.8).



Sumber: www.beritaipetek.com

Gambar 7.8

Semua reaktor biogas untuk kotoran hewan jenis *fixed dome* (kiri) dan *floating drum* (kanan)

Dari Gambar 7.8 dapat dilihat bahwa kedua jenis konstruksi reaktor biogas tersebut tidak jauh berbeda. Keduanya memiliki komponen tangki utama, saluran masuk dan residu keluar, separator (optional), dan saluran gas keluar. Perbedaan yang ada antara keduanya adalah pada bagian pengumpul gasnya (gas collector).

2. Bioteknologi Modern

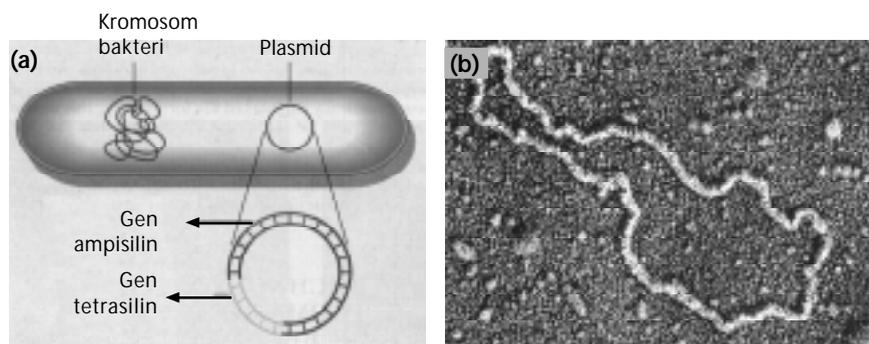
Telah dijelaskan sebelumnya bahwa salah satu ciri dalam bioteknologi modern adalah adanya rekayasa sifat makhluk hidup. Dari hasil rekayasa tersebut, didapatkan berbagai agen biologi dengan sifat yang diinginkan manusia. Agen biologi tersebut akan mengolah bahan mentah menjadi berbagai produk yang diinginkan.

Oleh karena bioteknologi modern dicirikan oleh adanya rekayasa sifat makhluk hidup, bioteknologi modern berkaitan erat dengan rekayasa genetik. Rekayasa genetik adalah perubahan komposisi gen individu melalui percobaan dan upaya lainnya. Gen sebagai pembawa sifat makhluk hidup dapat diidentifikasi, diisolasi, dan disisipkan dalam materi genetik makhluk hidup lain. Individu yang dihasilkan melalui rekayasa genetika disebut makhluk hidup transgenik atau organisme hasil modifikasi genetik (OHMG).

Organisme yang bisa menerima DNA asing dan umum digunakan dalam proses penyisipan gen adalah bakteri. Hal ini dilatarbelakangi oleh beberapa sifat yang dimiliki bakteri. Bakteri memiliki dua jenis materi genetik yaitu kromosom bakteri dan plasmid (Gambar 7.). Plasmid merupakan rantai DNA berbentuk sirkuler yang ditemukan di bakteri. Plasmid terkadang mengandung gen yang membuat bakteri tahan terhadap antibiotik ampisilin dan tetrasilin. Plasmid dapat keluar masuk sel, bahkan dapat masuk ke dalam sel bakteri yang berbeda jenis.

Kata Kunci

- DNA
- Enzim restriksi
- Gen
- Plasmid
- Kromosom
- OHMG

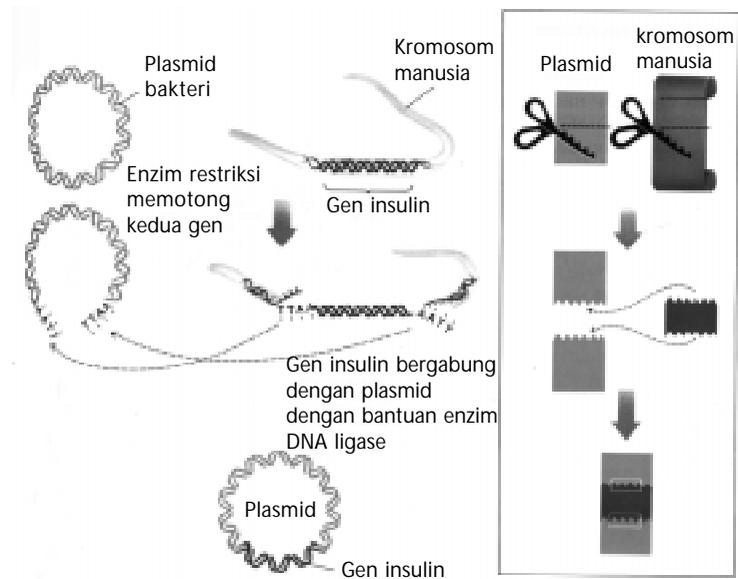


Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

Gambar 7.9

(a) Plasmid pada bakteri yang mengandung gen untuk ampisilin dan tetrasilin. (b) Plasmid bakteri dilihat dengan mikroskop elektron DNA plasmid.

Plasmid dapat diisolasi dari bakteri dan dapat “dipotong” menggunakan enzim restriksi. Dengan cara yang sama, DNA penyusun gen, misalnya gen insulin dapat dipotong dan diisolasi menggunakan enzim restriksi yang sama. Contohnya, enzim restriksi EcoR1 yang memotong urutan basa TTAA, karena gen insulin memiliki rantai DNA dengan ujung urutan basa yang sama, TTAA dan AATT, rantai DNA gen insulin dapat bergabung dengan DNA plasmid melalui bantuan enzim DNA ligase. Perhatikan Gambar 7.1 .



Gambar 7.10

Pemotongan dan penyisipan gen insulin dalam plasmid.

Sumber: *Biology: Exploring Life*, 1994

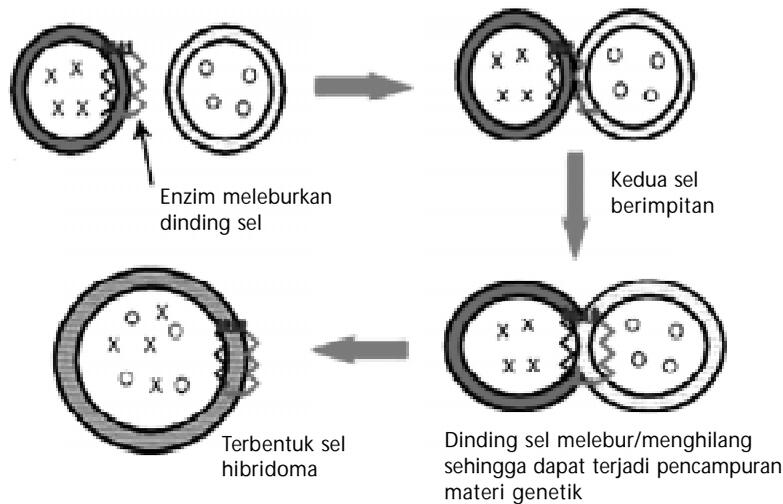
Kata Kunci

- Antibodi monoklonal
- Fusi sel
- hibridoma

Proses penyisipan tersebut menghasilkan bakteri yang mengandung gen pembentukan insulin pada manusia. Bakteri ini nantinya dapat menghasilkan hormon insulin manusia. Molekul DNA rekombinasi ini kali pertama dilakukan pada 1973 oleh Stanley Cohen dari Universitas Stanford dan Herbert Boyer dari Universitas California. Hal ini menandai lahirnya rekayasa genetik modern.

Selain rekayasa genetik, bioteknologi modern juga mencakup fusi sel (penggabungan sel) dari makhluk hidup yang berbeda spesies. Fusi sel adalah teknik yang digunakan untuk menghasilkan sel hibrid (hibridoma). Sel hibrid ini mengandung bahan genetik dari sel-sel yang difusikan.

Prinsip dasar teknik ini yaitu membuka dinding kedua sel, kemudian kedua isi sel dicampurkan (Gambar 7.11). Dinding sel dihilangkan dengan menggunakan enzim tertentu. Untuk menggabungkan isi sel, digunakan virus atau bahan kimia seperti polietilen glikol. Teknik fusi sel dilakukan antara lain untuk mendapatkan hibrid baru penghasil antibiotik, tanaman interspesies, dan antibodi monoklonal.



Sumber: www.myweb.dal.ca

Gambar 7.11

Teknik fusi sel untuk mendapatkan sel dengan sifat campuran.

Dari dua teknik dasar bioteknologi modern tersebut dihasilkan bermacam-macam produk baru. Untuk menghasilkan produk bioteknologi modern, terkadang tetap menggunakan teknik-teknik yang telah dikembangkan dalam bioteknologi konvensional. Pada beberapa hal, bioteknologi konvensional sulit dibedakan dari bioteknologi modern. Berikut ini dijelaskan beberapa contoh bioteknologi modern yang berperan pada beberapa aspek kehidupan.

a. Makanan

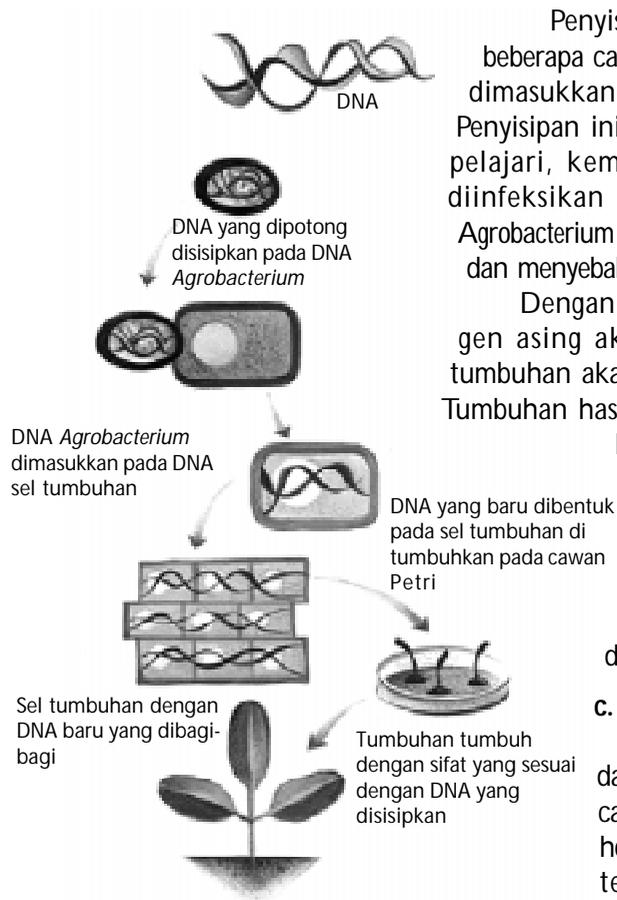
Penerapan bioteknologi pada makanan secara modern, diawali pada 1992. Saat itu sebuah perusahaan Amerika, Calgene, mendapatkan izin untuk memasarkan OHMG yang disebut FlavrSavr. OHMG ini adalah tomat yang dibuat lebih tahan hama dan tidak dapat membusuk.

Secara umum, penerapan bioteknologi modern pada makanan tidak dapat dipisahkan dengan bioteknologi modern pada bidang pertanian. Produk-produk makanan yang dihasilkan dari OHMG, seperti tanaman pertanian, hewan, atau mikroorganisme, disebut makanan hasil modifikasi genetik.

OHMG lebih banyak dilakukan pada tanaman pertanian. Contohnya, jagung tahan lama, kedelai tahan herbisida, kentang tahan virus, padi dengan zat dan vitamin yang ditingkatkan (golden rice), gandum dengan protein yang tinggi bagi ternak, dan banyak hasil pertanian lainnya. Perkembangan selanjutnya dari penerapan bioteknologi modern semakin beraneka ragam. Sekarang, para ilmuwan dapat membuat makanan yang mengandung obat, pisang yang menghasilkan vaksin hepatitis B, ikan yang lebih cepat dewasa, dan tanaman buah yang berbuah lebih cepat.

b. Pertanian

Pada bidang pertanian, telah banyak dilakukan penerapan bioteknologi modern. Para ilmuwan telah berhasil membuat prosedur penyisipan gen pada berbagai tanaman. Prosedur tersebut melibatkan teknik kultur jaringan dan teknik genetika pada bakteri yang telah Anda pelajari.



Sumber: www.uoguelph.ca

Gambar 7.12

Langkah-langkah penyisipan gen pada tumbuhan.

Penyisipan gen ke dalam tumbuhan dapat dilakukan melalui beberapa cara. Salah satunya, sumber DNA gen asing terlebih dahulu dimasukkan ke dalam plasmid bakteri *Agrobacterium tumefaciens*. Penyisipan ini sesuai dengan teknik penyisipan gen yang telah Anda pelajari, kemudian, bakteri *Agrobacterium* rekombinasi tersebut diinfeksi pada jaringan tumbuhan. Bakteri yang digunakan *Agrobacterium tumefaciens* sebab di alam bakteri ini menginfeksi tanaman dan menyebabkan penyakit *cro n gall* (sejenis tumor).

Dengan dimasukkannya gen asing ke dalam plasmid bakteri, gen asing akan memasuki DNA tumbuhan. Dengan demikian, tumbuhan akan memiliki sifat yang sesuai dengan gen asing tersebut. Tumbuhan hasil penyisipan gen disebut juga tanaman transgenik.

Berbagai macam gen telah berhasil disisipkan ke dalam DNA tanaman pertanian. Beberapa di antaranya adalah gen bagi penghasil vitamin, gen untuk penghasil racun bagi serangga, gen bagi pengikatan nitrogen bebas, dan gen untuk bahan herbisida. Gen-gen tersebut dapat menyebabkan tanaman transgenik memiliki sifat gen yang dimasukkan tersebut. Perhatikan Gambar 7.12.

c. Peternakan

Dalam bidang peternakan, bioteknologi modern telah dapat meningkatkan produksi dan kesehatan ternak. Beberapa cara yang dilakukan antara lain dalam pembuatan vaksin dan hormon pertumbuhan bagi hewan ternak. Vaksin dan hormon tersebut disuntikkan pada hewan ternak. Hormon pertumbuhan yang disuntikkan berguna agar ternak mengalami pertumbuhan dan perkembangan yang sangat pesat. Selain itu, waktu panen akan menjadi lebih singkat dibandingkan tanpa menggunakan hormon tersebut.

Berikut ini akan diuraikan hasil bioteknologi pada bidang peternakan, yaitu vaksin, hormon pertumbuhan bagi ternak, kloning reproduksi, dan fertilisasi *in vitro*.

1) vaksin Pencegah Penyakit Ternak

Virus yang menyerang ternak dan paling merugikan adalah virus penyebab penyakit mulut, kuku, dan lidah menjadi berwarna biru. Pada unggas, virus yang menyerang dan merugikan adalah virus penyebab penyakit tetelo (*New Castle Disease NCD*), sedangkan pada anjing, kucing serta karnivora lainnya adalah virus rabies.

Vaksin untuk penyakit mulut dan kuku dibuat dengan cara mengisolasi dan memperbanyak gen yang mengode pembentukan kulit protein virus (VPI). Kemudian, gen ini disisipkan pada plasmid *E. coli*.

Protein yang dihasilkan *E. coli* yang sudah direkayasa akan bekerja sebagai vaksin yang efektif terhadap virus penyakit mulut dan kuku. Cara serupa dilakukan untuk menghasilkan vaksin-vaksin bagi penyakit tetelo, dan lidah biru. Selain vaksin, dipakai juga interferon hewan sebagai senyawa antivirus alamiah.

2) Hormon

Pada akhir dasawarsa ini, penggunaan hormon untuk meningkatkan produksi daging untuk ternak sudah lazim digunakan, terutama pada sapi. Dalam waktu dekat, hormon sejenis juga akan dipergunakan untuk

Kata Kunci

- Transgenik
- Kloning
- *In vitro*
- Interferon
- Embrio
- Uterus
- Inti sel
- Sel telur

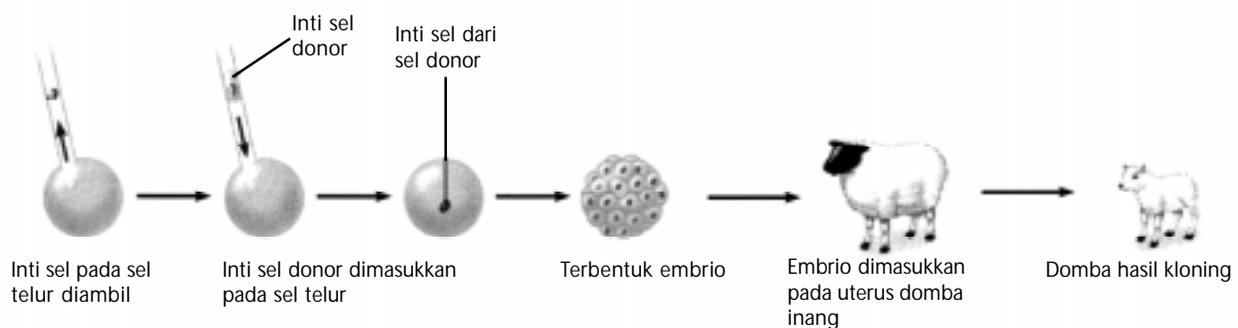
meningkatkan produksi daging domba. Pembuatan hormon pertumbuhan dilakukan dengan cara mengisolasi dan memperbanyak gen pertumbuhan, kemudian disisipkan pada mikroba dan akhirnya dihasilkan hormon-hormon yang dimaksud. Hormon tersebut kemudian disuntikkan pada ternak. Tentu saja usaha ini harus disertai dengan pemberian nutrisi ternak yang seimbang. Penggunaan hormon untuk pertumbuhan ini sudah sering dilakukan.

Para ahli sudah jauh memikirkan untuk membuat hormon yang akan disuntikkan pada domba penghasil wol. Dengan suntik hormon EGF (epidermal growth factor), bulu-bulu domba akan rontok dengan sendirinya, tanpa pisau cukur. EGF adalah suatu hormon yang dapat mengendalikan kecepatan tumbuh rambut. Konsentrasi EGF yang tinggi akan menyebabkan pertumbuhan rambut yang cepat, tetapi helaian rambut akan lebih tipis. Satu dosis EGF tertentu akan membuat rambut sedemikian tipis helaianya sehingga lebih rapi. Beberapa hari kemudian, titik rapuh rambut tersebut akan muncul di permukaan kulit dan tentu saja rambut akan mudah lepas dari kulitnya.

3) Kloning Reproduksi

Contoh lain penerapan bioteknologi modern dalam bidang peternakan adalah kloning. Kloning adalah proses untuk membuat salinan molekuler, elektron atau organisme multiseluler yang identik. Pada kloning reproduksi, hal tersebut dilakukan untuk menghasilkan individu yang sama dengan induknya.

Salah satu proses kloning yang terkenal adalah kloning domba Dolly. Kloning tersebut dilakukan pada 1996 dan Dolly hidup hingga 2003. Kelahiran domba hasil kloning ini mengundang kontroversi dari berbagai pihak. Pada kloning Dolly, ilmuwan mengisolasi inti sel somatis kelenjar mammae domba dan memasukkannya ke dalam sel telur yang telah dihilangkan inti selnya. Sel telur yang mengandung inti sel donor tersebut diberi kejutan listrik atau zat kimia untuk memicu pembelahan sel. Ketika klon embrio mencapai tahap yang sesuai, embrio tersebut dimasukkan dalam uterus domba betina (Gambar 7.13).



Sumber: *Biology Concepts & Connections*, 2006

Gambar 7.13

Proses kloning pada domba

Kloning reproduksi dapat digunakan untuk menghasilkan ternak yang identik dengan induknya, tetapi ilmuwan mengetahui bahwa kloning mempunyai potensi yang lebih berguna. Para ilmuwan berusaha melakukan kloning reproduksi pada hewan-hewan yang telah punah. Beberapa hewan punah telah dicoba dikloning. Pada 2003, seekor banteng jawa berhasil dikloning, kemudian diikuti oleh tiga kucing liar afrika dari embrio yang dibekukan. Hasil ini memberikan harapan bahwa teknik yang sama dapat dilakukan pada hewan ternak lainnya.

Kata Kunci

- Antibodi monoklonal
- Antibodi poliklonal
- Hormon insulin
- Sel tumor

d. Pengobatan dan Kesehatan

Sebelumnya, pada bioteknologi konvensional Anda telah mengenal antibiotik sebagai obat cukup ampuh untuk melawan infeksi bakteri. Penelitian dalam bioteknologi terus dilanjutkan untuk mencari cara pencegahan, diagnosa dan pengobatan pada berbagai kelainan dan penyakit. Terdapat beberapa hasil bioteknologi modern pada bidang pengobatan dan kesehatan, di antaranya hormon dan antibodi monoklonal.

1) Hormon

Pada 1949, penderita arthritis dapat sembuh setelah diobati dengan hormon steroid kortison. Sejak saat itu, jenis steroid ini digunakan untuk mengobati penyakit arthritis, rheumatik, leukemia, anemia hemafotik dan beberapa penyakit lain.

Steroid merupakan senyawa kimia yang sangat kompleks. Pembuatannya secara sintesis memerlukan proses dan biaya yang cukup tinggi. Pada 1952, ditemukan sejenis kapang, yaitu *Aspergillus niger* yang dapat mengubah steroid yang berasal dari hewan atau tumbuhan menjadi kortison. Jenis-jenis dari *Aspergillus*, ternyata dapat mengubah progesteron (steroid yang berasal dari hewan dan manusia) menjadi senyawa kortison.

Penyakit kencing manis (diabetes mellitus) dapat diobati dengan hormon insulin. Insulin hasil bioteknologi saat ini sudah dapat diproduksi. Gen manusia yang mengendalikan pembentukan hormon insulin, disisipkan ke dalam bakteri *E. coli*. Proses ini telah Anda pelajari sebelumnya.

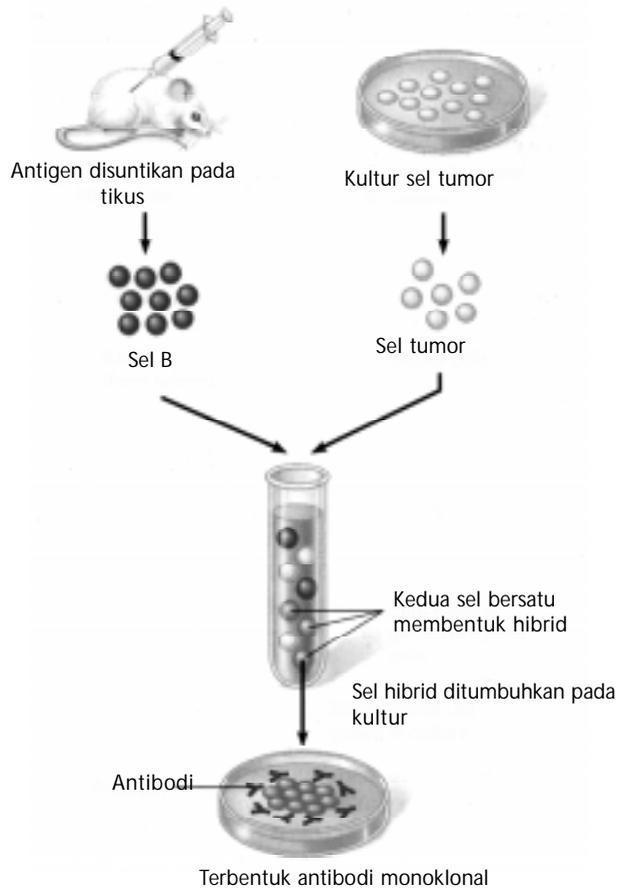
2) Antibodi Monoklonal

Setiap saat tubuh kita dapat terkena serangan virus, bakteri, jamur, dan zat-zat lain dari lingkungan sekitarnya. Zat-zat tersebut dapat membahayakan tubuh. Secara alami, manusia dapat menghasilkan antibodi bagi kuman atau antigen tersebut. Namun, agar sistem kekebalan tubuh aktif, tubuh harus pernah diserang kuman tersebut. Terkadang jika tubuh tidak mampu bertahan, akibatnya akan fatal.

Untuk memicu kekebalan tubuh, dapat dilakukan dengan menyuntikkan vaksin yang mengandung antigen penyakit tersebut. Dengan demikian, dapat terbentuk antibodi pada tubuh yang dapat melawan patogen. Oleh karena kemampuan melawan patogen ini, antibodi monoklonal dikembangkan untuk mengatasi penyakit spesifik.

Cara yang umum digunakan untuk menghasilkan antibodi adalah dengan menyuntikkan sedikit antigen pada tikus atau kelinci. Tubuh kelinci atau tikus akan merespon antigen dengan menghasilkan antibodi yang secara langsung dapat diambil dari darahnya. Akan tetapi, biasanya antigen direspon oleh beberapa macam sel. Antibodi yang dihasilkan adalah antibodi poliklonal, yaitu campuran berbagai antibodi yang dihasilkan oleh berbagai sel.

Sekitar 1970, sebuah teknik dikembangkan untuk menghasilkan antibodi monoklonal. Antibodi yang dihasilkan dari satu sel yang sama dan spesifik terhadap satu antigen. Antibodi monoklonal ini didapat dari kultur sel. Pembuatan antibodi monoklonal adalah melalui fusi sel antara sel B dari hati dan sel penghasil tumor. Sel B hati digunakan karena sel inilah yang menghasilkan antibodi. Adapun sel tumor digunakan karena dapat membelah diri terus-menerus. Perhatikan Gambar 7.14.



Sumber: *Biology: Concepts and Connections*, 2006

Gambar 7.14

Pembuatan antibodi monoklonal

Langkah pertama untuk membuat antibodi monoklonal adalah hewan disuntikkan antigen sel B tersebut. Kemudian, sel B hewan diisolasi dan difusikan dengan sel tumor. Hasilnya adalah sel hibrid yang menghasilkan satu antibodi tertentu dan terus membelah. Antibodi monoklonal juga dapat digunakan untuk keperluan diagnosa dan diharapkan dapat menyembuhkan kanker.

Tugas Anda 7.1

Umumnya Anda hanya mengetahui berbagai contoh bioteknologi yang berguna bagi kehidupan. Adakah hasil bioteknologi yang memiliki dampak negatif bagi kehidupan? Tugas Anda sekarang adalah membuat karya tulis yang berhubungan dengan hasil bioteknologi yang berdampak negatif bagi kehidupan. Buatlah karya tulis sebaik mungkin. Carilah sumber dari buku, majalah, koran, atau internet.

Latihan Pemahaman Subbab B

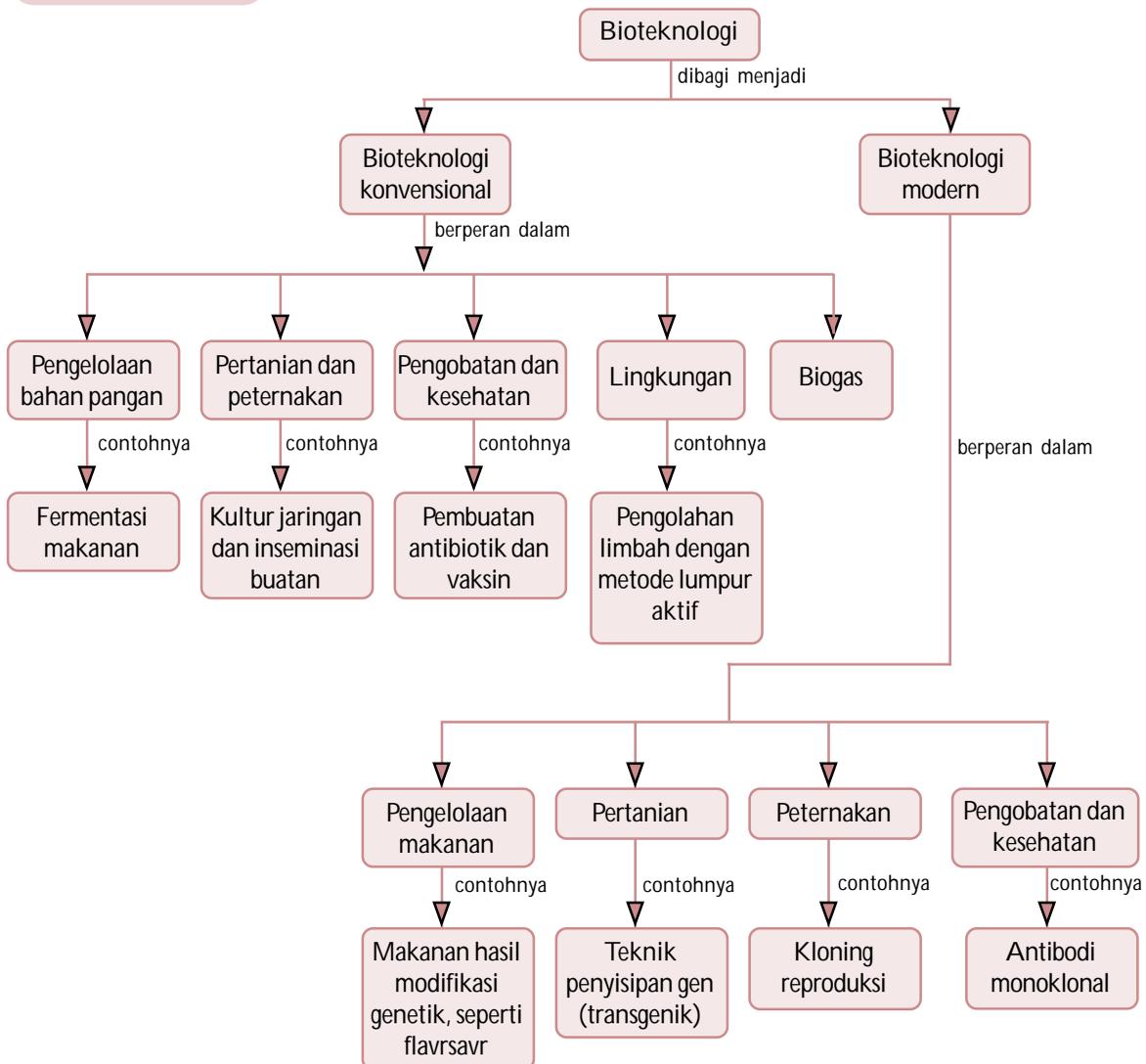
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

1. Apakah bioteknologi konvensional dan bioteknologi modern memiliki perbedaan?
2. Bagaimanakah prinsip dasar pembuatan antibodi monoklonal? Jelaskan.
3. Tuliskan paling sedikit 5 produk bioteknologi konvensional beserta mikroorganisme yang berperan didalamnya?

Rangkuman

1. Bioteknologi merupakan suatu usaha terpadu dari berbagai disiplin ilmu untuk mengolah bahan baku dengan memanfaatkan agen biologi dan komponen-komponen lainnya untuk menghasilkan barang dan jasa.
2. Perkembangan bioteknologi sangat dipengaruhi oleh perkembangan ilmu-ilmu dasar seperti perkembangan mikrobiologi, genetika, dan biokimia.
3. Beberapa disiplin ilmu dan teknologi yang mendukung bioteknologi menghasilkan cabang-cabang bioteknologi baru. Di antaranya bioteknologi pertanian, bioteknologi lingkungan, bioteknologi kesehatan, dan bioteknologi industri.
4. Bioteknologi konvensional atau bioteknologi tradisional tidak ada rekayasa terhadap sifat alami gen biologi yang digunakan
5. Salah satu ciri dalam bioteknologi modern adalah adanya rekayasa sifat makhluk hidup.
6. Contoh bioteknologi tradisional di antaranya adalah proses fermentasi dalam pembuatan makanan, pembuatan antibiotik dan vaksin, teknik pengolahan limbah, dan biogas.
7. Teknik penyisipan gen, hibridoma, kloning reproduksi, dan pembuatan antibodi monoklonal merupakan contoh dari bioteknologi modern.

Peta Konsep



Refleksi

Bagaimana pendapat Anda setelah mempelajari materi Bioteknologi ini? Menarik, bukan? Banyak hal yang bisa Anda dapatkan setelah mempelajari bab ini. Misalnya, Anda dapat memanfaatkan mikroorganisme untuk menghasilkan produk bioteknologi yang baru.

Tujuan Anda mempelajari bab ini adalah agar Anda mampu memahami arti dan jenis-jenis bioteknologi, serta mengetahui peran dan implikasi hasil-hasil bioteknologi. Apakah Anda dapat mencapai tujuan tersebut?

Apabila Anda mengalami kesulitan dalam mempelajari materi tertentu pada bab ini, diskusikanlah bersama teman-teman Anda. Kemudian, bertanyalah kepada guru Anda untuk memecahkan masalah berkaitan dengan bioteknologi. Agar Anda mampu memahami materi ini dengan lebih baik, pastikanlah Anda menguasai bab ini dengan belajar lebih giat.

Evaluasi Kompetensi Bab 7

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

- Alasan penggunaan mikroorganisme dalam bioteknologi adalah sebagai berikut, kecuali
 - tidak membutuhkan keahlian khusus
 - mudah dibiakkan
 - sifat dapat dimodifikasi
 - tidak bergantung iklim dan cuaca
 - memproses bahan baku cepat
- Kegiatan berikut merupakan proses bioteknologi, kecuali
 - memanfaatkan potensi makhluk hidup terutama mikroorganisme
 - melibatkan berbagai bidang ilmu dan proses rekayasa genetika
 - selalu menggunakan teknik DNA rekombinasi
 - dapat berupa proses fermentasi
 - pembentukan individu transgenik
- Vektor yang digunakan dalam proses rekayasa genetika (DNA rekombinasi) adalah
 - kloroplas
 - nukleus
 - plasmid
 - mitokondria
 - DNA
- Dalam proses rekayasa genetika, perangkat yang digunakan untuk memotong DNA adalah
 - gunting mikro
 - pisau mikro
 - sinar laser
 - mikrotom
 - enzim
- Mekanisme kerja enzim restriksi dalam rekayasa genetika adalah memotong
 - antara basa nitrogen yang satu dengan yang lain
 - basa nitrogen dengan gula pentosa DNA
 - molekul asam nukleat di daerah tertentu
 - basa dengan basa komplemennya
 - ikatan gula dengan basa nitrogen
- Dalam bioteknologi, mikroorganisme dimanfaatkan sebagai penghasil dan pengubah bahan makanan. Mikroorganisme yang berperan dalam pembuatan yoghurt adalah
 - Streptococcus thermophilus*
 - Candida species sp.*
 - Lactobacillus sp.*
 - Penicillium sp.*
 - Aspergillus oryzae*
- Berikut ini produk bioteknologi yang dibuat melalui proses bioteknologi
 - tempe
 - susu
 - terigu
 - gula
 - kopi
- Hibridoma adalah hasil penggabungan dua sel somatis yang salah satunya bertujuan untuk menghasilkan
 - antibodi monoklonal
 - antibodi poliklonal
 - antibiotik
 - vaksin
 - interferon
- Untuk memacu pembelahan sel, proses pembuatan antibodi monoklonal menggunakan
 - sel tumor
 - sel leukosit
 - sel otot
 - sel embrio
 - sel kelamin
- Untuk menjamin hasil kultur yang baik, jaringan yang banyak digunakan sebagai eksplan pada kultur jaringan adalah
 - kolenkim
 - korteks
 - empulur
 - parenkim
 - meristem
- Dalam bioteknologi telah dikembangkan suatu teknik reproduksi hewan dengan cara menggabungkan inti sel somatis dengan sel telur yang telah dihilangkan intinya, yaitu
 - kloning
 - kultur jaringan
 - hibridoma
 - fusi sel
 - rekayasa genetika
- Pada proses pembuatan nata de coco, mikroorganisme yang cocok digunakan adalah

Proyek Semester 2



Membuat Karya Ilmiah Mengenai Evolusi

Pada awal semester 2 dikelas XII ini, Anda akan mempelajari materi evolusi. Teori yang dicetuskan oleh Charles Robert Darwin pada pertengahan abad ke-19 ini menjadi bahan perbincangan hingga saat ini. Sebenarnya pemikiran mengenai evolusi makhluk hidup telah ada sebelum Darwin menjelaskan teori evolusinya. Salah satunya adalah Jean Baptiste de Lamarck. Meskipun mekanisme evolusi yang diajukan Lamarck dan Darwin berbeda, keduanya meyakini bahwa fosil merupakan petunjuk terjadinya evolusi.

Untuk menambah wawasan Anda mengenai teori evolusi dan petunjuknya, Anda ditugaskan untuk melakukan pengamatan fosil-fosil makhluk hidup di museum-museum terdekat di kota Anda. Jika Anda berdomisili disekitar Bandung (Jawa Barat), Anda dapat mengunjungi Museum Geologi Bandung. Jika Anda berdomisili di sekitar Sangiran (Jawa Tengah), Anda dapat mengunjungi Museum Sangiran. Akan tetapi, jika Anda berdomisili jauh dari lokasi museum dan tidak dapat mengamati fosil-fosil secara langsung, Anda dapat membuat sebuah karya tulis mengenai evolusi. Anda dapat menggunakan berbagai sumber, seperti buku teks, majalah, koran, internet, dan sumber lainnya.

Laporan hasil pengamatan dan karya tulis dibuat sesuai dengan kaidah penulisan yang baik. Lengkapi laporan atau karya tulis Anda dengan analisis serta kesimpulan. Laporan dan karya tulis Anda tersebut akan dipresentasikan dan di diskusikan di akhir semester 2 ini. Oleh karena itu, buatlah laporan sebaik mungkin dan jika Anda menemui kesulitan mintalah bantuan pada guru Anda. Guru Anda akan memberikan penilaian terhadap laporan dan karya tulis serta presentasi yang Anda lakukan. Hasil karya tulis terbaik dapat ditempelkan pada majalah dinding sekolah atau juga dikirimkan ke media cetak lokal.

Evaluasi Kompetensi Biologi

Semester 2

Kerjakanlah di dalam buku latihan Anda.

A. Pilihan Ganda

1. *mnie vivum e vivo* dikemukakan oleh
 - a. Aristoteles
 - b. Fransisco Redi
 - c. Lazzaro Splanzani
 - d. Louis Pasteur
 - e. Stanley Miller
2. Ilmuwan yang menumbangkan teori abiogenesis dan terkenal dengan percobaan labu leher angsa adalah
 - a. Fransisco Redi
 - b. Jhon Needham
 - c. Antonie van Leuwnhoek
 - d. Lazzaro Spalanzani
 - e. Louis Pasteur
3. Sumber karbon yang digunakan dalam percobaan Stanley Miller adalah
 - a. H_2
 - b. NH_3
 - c. CH_4
 - d. CO
 - e. $C_6H_{12}O_6$
4. Mikroorganisme yang digunakan dalam percobaan para ahli untuk menghasilkan insulin melalui rekayasa genetika adalah
 - a. *alantidium coli*
 - b. *schierichia coli*
 - c. *Saccharomyces cereviceae*
 - d. *hlorella*
 - e. *Spirulina*
5. Organ-organ yang digunakan terus akan mengalami perkembangan dan diwariskan kepada keturunannya. Teori evolusi ini dikemukakan oleh
 - a. Darwin
 - b. Lamarck
 - c. Mendell
 - d. allace
 - e. eissman
6. Setelah revolusi industri, populasi ngengat iston betularia berwarna cerah menurun drastis. Hal tersebut disebabkan oleh
 - a. mengalami keracunan
 - b. berubah dari cerah menjadi gelap
 - c. mudah dimangsa predator
 - d. berevolusi menjadi gelap
 - e. terusir akibat kebisingan pabrik
7. Berikut ini pokok pikiran tentang evolusi yang dikemukakan Charles Darwin, kecuali
 - a. populasi cenderung bertambah banyak
 - b. tidak ada individu yang sama, meskipun dalam satu spesies
 - c. untuk bertambah banyak diperlukan makanan dan ruang yang cukup
 - d. evolusi terjadi melalui seleksi alami
 - e. pertumbuhan populasi terbatas
8. Organ rudimenter sisa berikut merupakan bukti evolusi, kecuali
 - a. sisa rambut pada dada
 - b. tulang ekor
 - c. umbai cacing
 - d. tulang telinga yang dapat digerakkan
 - e. kesamaan anggota gerak depan pada hewan vertebrata
9. Hasil pengamatan menunjukkan embrio hewan vertebrata adalah sama pada tahap
 - a. zigot–morula
 - b. zigot–blastula
 - c. zigot–grastula
 - d. zigot–janin
 - e. zigot–embrio
10. Menurut Darwin, penyebab terjadinya evolusi adalah
 - a. perbedaan makanan
 - b. mutasi
 - c. rekombinasi gen
 - d. rekayasa genetika
 - e. seleksi alami
11. Proses pembentukan spesies baru karena terbentuknya tanaman poliploidi adalah
 - a. spesiasi allopatrik
 - b. spesiasi simpatrik
 - c. isolasi reproduksi
 - d. isolasi gamet
 - e. variasi individu
12. Hal-hal berikut yang tidak menyebabkan terjadinya spesies baru adalah
 - a. mutasi
 - b. rekombinasi gen
 - c. autogami
 - d. domestikasi
 - e. isolasi geografi

13. Bahan dasar yang menyebabkan terjadinya evolusi menurut Darwin adalah
- variasi dalam populasi
 - variasi individu
 - seleksi alami
 - rekayasa genetika
 - isolasi reproduksi
14. Isolasi reproduksi yang disebabkan habitan dari populasi makhluk hidup berbeda disebut isolasi
- gamet
 - musim
 - ekologi
 - tingkah laku
 - geografi
15. Pada pohon pinus, sulit terjadi pembuahan karena waktu pematangan gamet (sel kelamin) yang berbeda. Isolasi reproduksi tersebut dikategorikan ke dalam isolasi
- mekanik
 - musim
 - habitat
 - tingkah laku
 - gamet
16. Peristiwa pembudidayaan makhluk hidup liar disebut
- spesiasi alopatrik
 - spesiasi simpatrik
 - isolasi geografi
 - isolasi habitat
 - domestikasi
17. Hasil pengamatan terhadap evolusi kuda menunjukkan bahwa kuda dahulu memiliki tubuh sebesar kucing, yaitu
- uus
 - Pliohippus
 - Hyracotherium
 - erychippus
 - iohippus
18. Frekuensi gen dalam suatu populasi dipertahankan oleh
- viabilitas gen beda
 - populasi kecil
 - perkawinan acak
 - mutasi
 - migrasi
19. Jika pada suatu daerah terdapat laki-laki buta warna 3% berarti frekuensi gen normal di daerah tersebut adalah
- 0,2
 - 0,5
 - 0,7
 - 0,93
 - 0,97
20. Jika diketahui jumlah populasi wanita buta warna 9%, persentase jumlah laki-laki normal adalah
- 9%
 - 21%
 - 48%
 - 58%
 - 70%
21. Vektor pada rekayasa genetika adalah
- plasmid
 - DNA
 - mesosom
 - mitokondria
 - ribosom
22. Berikut ini produk hasil bioteknologi konvensional, kecuali
- antibiotik
 - hormon insulin
 - tanaman padi mutan
 - yoghurt
 - keju
23. Sel-sel hibridoma hasil fusi sel limfosit dengan sel tumor dapat memproduksi
- antibodi poliklonal
 - antibodi monoklonal
 - hormon
 - enzim
 - antibiotik
24. Untuk memproduksi antibiotik diperlukan mikroorganisme, di antaranya
- Penicillium notatum
 - Penicillium camemberty
 - Sacharomyces cereviceae
 - Aspergillus ory ae
 - Aspergillus niger
25. Dalam bioteknologi, teknologi yang menggabungkan antar sel somatis dengan sel telur yang dihilangkan intinya adalah
- hibridoma
 - rekayasa genetika
 - teknologi plasmid
 - fusi sel
 - kloning

B. Soal Uraian

- Apakah perbedaan dan persamaan percobaan yang dilakukan Lazzaro Spallanzani dan Louis Pasteur?
- Jelaskan teori pembentukan mikroorganisme eukariot fotoautotrof dan heterotrof.
- Tuliskan minimal 5 bukti evolusi yang Anda ketahui.
- Mengapa jarang ditemukan fosil dalam keadaan utuh?
- Apakah yang dimaksud dengan homolog dan organ vestigial?
- Apakah perbedaan isolasi postzigot dan prazigot?
- Apakah yang dimaksud dengan bioteknologi?
- Jelaskan beberapa fungsi mikroorganismes dalam bioteknologi.
- Apakah yang dimaksud fusi sel? Apakah tujuannya? Jelaskan proses fusi sel secara singkat.
- Jelaskan secara singkat proses pembudidayaan hewan ternak menggunakan teknik kloning.

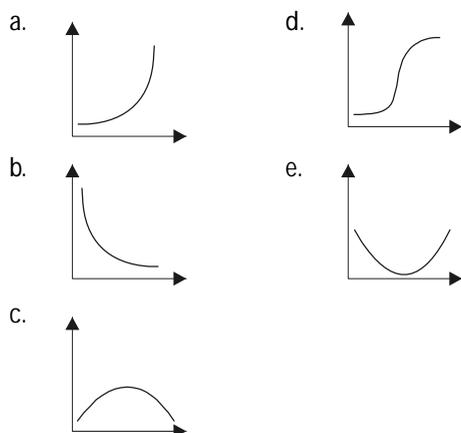
Evaluasi Kompetensi Biologi

Akhir Tahun

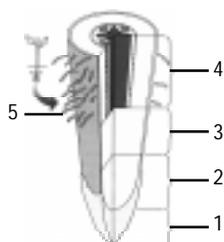
Kerjakanlah di dalam buku latihan.

A. Pilihan Ganda

1. Pertumbuhan tumbuhan dipengaruhi oleh suhu. Grafik yang menunjukkan hubungan antara suhu dan kecepatan pertumbuhan tumbuhan adalah



2. Suatu tanaman akan tumbuh membelok menuju arah datangnya cahaya apabila disinari dari satu sisi saja. Hal tersebut terjadi karena
- auksin terbentuk ketika cahaya datang dari satu sisi
 - produksi auksin terhambat ketika cahaya datang dari satu sisi
 - giberelin terbentuk sehingga merangsang pembelahan sel
 - auksin ditransportasikan ke tempat yang terang sehingga arah tumbuhnya membelok ke arah datangnya cahaya
 - auksin ditransportasikan ke tempat yang teduh sehingga arah tumbuhnya membelok ke arah datangnya cahaya
3. Kerja sama antara sitokinin, giberelin, dan auksin akan menyebabkan
- menghambat pertumbuhan bunga
 - meningkatkan proses pematangan buah
 - merangsang pembelahan sel dan pemanjangan sel
 - merangsang pembentukan bunga
 - mempercepat proses penebaran daun
4. Perhatikan gambar berikut ini.



Daerah yang ditandai oleh sel-sel yang sedang aktif memanjang ditunjukkan oleh

- 2
- 4
- 5
- 1
- 3

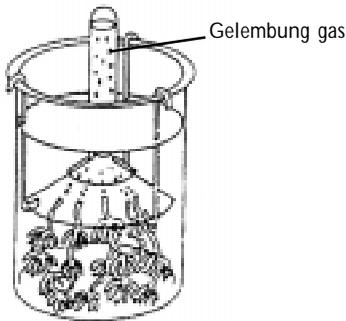
5. Perhatikan tabel berikut ini.

| Hari ke | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Panjang kecambah | 0,6 | 1,2 | 2,7 | 3,9 | 4,5 | 5,1 |

Tabel tersebut menunjukkan pertambahan panjang kecambah selama 6 hari percobaan. Pertambahan panjang tertinggi terjadi pada hari ke

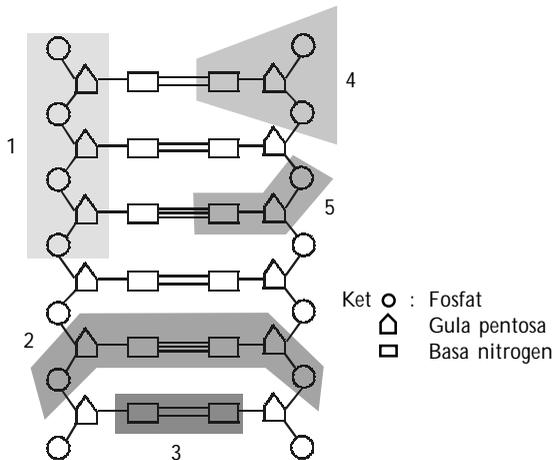
- 2
 - 3
 - 4
 - 5
 - 6
6. Jika kecambah tersebut ditempatkan di tempat yang teduh, pertambahan panjang akan berlangsung cepat. Peristiwa tersebut dinamakan
- epikotil
 - dormansi
 - partenokarpik
 - klorosis
 - etiologi
7. Pada respirasi aerob, oksigen berperan pada proses
- glikolisis
 - dekarboksilasi oksidatif
 - siklus Krebs
 - transfer elektron
 - siklus Calvin Benson
8. Reaksi yang terjadi di dalam tubuh memerlukan enzim. Berikut ini yang bukan ciri-ciri enzim adalah
- enzim akan bekerja optimal pada suhu tinggi
 - enzim dapat mempercepat reaksi kimia
 - enzim bekerja dengan selektif
 - aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH, suhu, dan inhibitor
 - kinerja enzim akan terganggu jika ada inhibitor
9. Tempat berlangsungnya dan jumlah ATP yang dihasilkan pada tahapan glikolisis adalah
- mitokondria, 2ATP
 - sitoplasma, 2ATP
 - sitoplasma, 4ATP
 - mitokondria, 34ATP
 - sitoplasma, 36ATP

10. Molekul yang berperan sebagai akseptor terakhir dalam transfer elektron adalah
- sitokrom
 - oksigen
 - FAD
 - NAD
 - koenzom A
11. Perhatikan gambar berikut ini.



Gambar tersebut merupakan percobaan Ingenhousz yang membuktikan proses fotosintesis. Gelembung gas yang tampak pada gambar sebagai hasil dari percobaan adalah

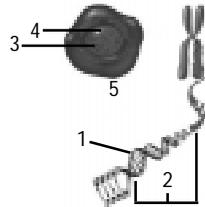
- hidrogen
 - karbon dioksida
 - karbon monoksida
 - nitrogen
 - oksigen
12. Pada fotosintesis reaksi pengikatan CO₂ berlangsung di dalam
- stomata
 - kloroplas
 - sitoplasma
 - klorofil
 - mitokondria
13. Perhatikan rantai DNA berikut ini.



Satu nukleotida adalah

- 5
 - 4
 - 3
 - 2
 - 1
14. Pernyataan yang benar mengenai inversi adalah
- hilangnya sebagian gen pada kromosom
 - pertukaran gen dari suatu kromosom lain yang tidak homolog

- perubahan susunan gen pada kromosom karena kromosom terpilih dari suatu kromosom yang homolog
 - penambahan gen pada kromosom yang homolog
 - kestabilan arah pembelahan pada sentromer
15. Perhatikan gambar berikut ini.



Berdasarkan gambar tersebut, kromosom ditunjukkan oleh nomor

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5
16. Berikut ini merupakan rumus kromosom somatis pada laki-laki
- 44AA + XY
 - 22A + X
 - 22AA + XY
 - 22A + Y
 - 23AA + XY

17. Tahapan sintesis protein
- mRNA bergabung dengan ribosom
 - mRNA dibentuk dalam inti oleh DNA
 - mRNA ke luar inti menuju ribosom dalam sitoplasma
 - terbentuk rantai polipeptida yang dikehendaki
 - tRNA membawa asam amino menuju mRNA di ribosom

Urutan sintesis protein yang benar adalah

- 2 - 1 - 3 - 5 - 4
- 2 - 3 - 5 - 1 - 4
- 2 - 3 - 1 - 5 - 4
- 3 - 1 - 2 - 5 - 4
- 4 - 2 - 3 - 1 - 5

18. Berikut ini adalah tabel asam amino dengan kode genetiknya.

| Asam Amino | Kode Genetik |
|------------|--------------------|
| Alanin | GCA, GCG, GCC, GCU |
| Glisin | GGC, GGU |
| Lisin | AAA, AAG |
| Metionin | AUG |
| Tirosin | UAC, UAU |

Rantai polipeptida yang terbentuk dari susunan basa nitrogen



adalah

- a. lisin – glisin – metionin – tirosin – alanin
 b. glisin – lisin – metionin – tirosin – alanin
 c. lisin – glisin – tirosin – metionin – alanin
 d. lisin – glisin – metioni – alanin – tirosin
 e. lisin – glisin – tirosin – alanin – metionin
19. Kromosom homolog yang terpisah akan tertarik menuju kutub yang berlawanan tanpa ada pemisahan dari sentromer, terjadi pada tahap
 a. anafase II
 b. metafase I
 c. profase I
 d. metafase II
 e. anafase I
20. Berikut ini yang merupakan ciri-ciri dari meiosis adalah
 a. terjadi pindah silang
 b. jumlah kromosom anak sama dengan jumlah kromosom induknya
 c. terjadi pada sel somatis
 d. terjadi dalam satu fase pembelahan
 e. profase waktunya singkat
21. Belalang jantan bersayap panjang badan hitam (PpHh) kawin dengan belalang betina bersayap pendek badan abu (pphh). Antara gen P dan H maupun p dan h mengalami pautan dan mengalami pindah silang dalam pembentukan gamet. Dari hasil perkawinan dihasilkan fenotipe sebagai berikut; panjang, hitam : panjang, abu, pendek, abu : pendek hitam dengan hasil 470 : 311 : 227 : 325. Berdasarkan kasus tersebut, nilai pindah silang yang terjadi sebesar
 a. 40,4%
 b. 59,6%
 c. 4,04%
 d. 0,58%
 e. 5,96%
22. Persilangan ayam walnut (RrPp) dengan ayam berpial pea (rrPp), akan diperoleh keturunan walnut: ros: pea: bila dengan perbandingan
 a. 3 : 3 : 1 : 1
 b. 3 : 1 : 3 : 1
 c. 3 : 1 : 1 : 3
 d. 1 : 3 : 3 : 1
 e. 1 : 3 : 1 : 3
23. Seorang pria mengandung gen terpaut seks dalam kromosom X-nya, sifat itu akan diwariskan kepada
 a. 100% anak pria
 b. 50% anak pria
 c. 25% anak pria
 d. 100% anak wanita
 e. 50% anak wanita
24. Berikut ini yang merupakan penyakit menurun yang terpaut kromosom seks adalah
 a. polidaktili
 b. thalassemia
 c. hemofilia
 d. albino
 e. PTC
25. Berikut ini yang bukan pernyataan tentang mutasi gen adalah
 a. mutasi gen merupakan sumber penting untuk menghasilkan varian genetik baru
 b. mutasi gen terjadi karena perubahan susunan basa nitrogen molekul DNA
 c. mutasi gen adalah perubahan yang terjadi pada kromosom
 d. mutasi gen dapat diturunkan pada keturunannya
 e. mutasi gen terjadi karena adanya substitusi gen
26. Perhatikan gambar berikut ini.
-
- Gambar tersebut menunjukkan kariotipe wanita penderita
 a. sindrom Down
 b. sindrom Turner
 c. sindrom Klinefelter
 d. sindrom Edwards
 e. sindrom Patau
27. Berdasarkan penyebabnya, mutasi dapat dibedakan menjadi mutasi alami dan mutasi buatan yang dilakukan oleh manusia sendiri. Berikut merupakan contoh mutasi akibat tindakan manusia, yaitu
 a. penemuan varietas baru sebagai bibit unggul
 b. terjadinya mekanisme evolusi
 c. penggunaan bahan kimia dalam ilmu pengetahuan
 d. kanker kulit akibat sinar ultraviolet
 e. pengembangan bibit lokal untuk menghindari kepunahan
28. Berikut ini merupakan peristiwa yang menyebabkan mutasi gen adalah
 a. insersi
 b. delesi
 c. duplikasi
 d. inversi
 e. translokasi

29. Hubungan teori evolusi kimia dengan asal usul kehidupan adalah
- kehidupan planet bumi datang dari mana saja
 - reaksi halilintar dengan bahan dasar atmosfer purba membentuk senyawa mikromolekul
 - kehidupan diciptakan oleh zat supranatural
 - benda hidup berasal dari benda tak hidup
 - senyawa organik terbentuk di lautan menjadi sup purba tempat kehidupan
30. Louis Pasteur mengembangkan teori generatio spontanea dengan memuaskannya karena percobaannya yang menggunakan
- kaldu ayam
 - botol berbentuk leher angsa
 - potongan daging
 - tabung ditutup kain kasa
 - tabung ditutup rapat
31. "Jika seekor zرافah memanjangkan lehernya untuk memakan makanan, leher itu akan memanjang dan ciri ini akan diwarisi oleh keturunannya". Hipotesis ini dikemukakan oleh
- Charles Darwin
 - allace
 - Charles Layle
 - Lamarck
 - eissman
32. Berikut ini adalah alat-alat gerak pada hewan dan manusia
- sayap burung,
 - sirip ikan,
 - tangan manusia,
 - kaki belakang kuda, dan
 - sayap serangga.
- Berdasarkan data tersebut, yang merupakan homolog alat-alat gerak adalah nomor
- 1 dan 5
 - 4 dan 5
 - 3 dan 4
 - 2 dan 5
 - 1 dan 3
33. Berikut ini yang bukan merupakan petunjuk adanya evolusi adalah
- embriologi, perbandingan berbagai hewan
 - data fosil dari berbagai lapisan batuan
 - domestikasi dengan perkawinan silang
 - anatomi perbandingan yang bersifat analog
 - anatomi perbandingan yang bersifat homolog
34. Ditemukan darah orang yang bergolongan darah A 4% dan golongan darah O 9%. Perbandingan jumlah orang yang memiliki golongan darah B dan AB adalah
- 11 : 4
 - 4 : 11
 - 1 : 4
 - 2 : 3
 - 4 : 1

35. Berikut ini yang tidak menyebabkan munculnya spesies baru adalah
- domestikasi
 - isolasi
 - seleksi
 - mutasi
 - variasi

36. Hubungan yang tepat antara mikroorganisme dan peranannya dengan bioteknologi adalah

| | Mikroorganisme | peranannya |
|----|--------------------------|--------------------------|
| a. | Rhizopus oryzae | pembuatan oncom |
| b. | Saccharomyces cereviceae | pembuatan roti atau tape |
| c. | Monila sitophyla | pembuatan kecap |
| d. | Lactobacillus bulgaricus | pembuatan nata de coco |
| e. | Auricularia auricula | pembuatan tempe |

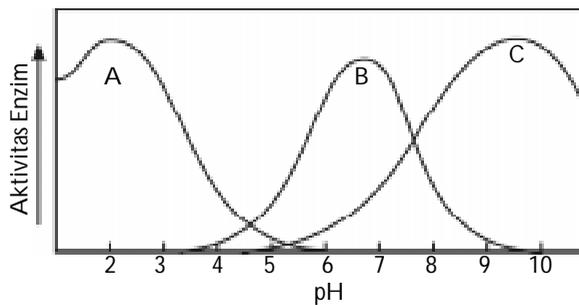
37. Untuk menghasilkan bibit unggul pada hewan dapat dilakukan dengan cara
- kultur jaringan
 - inseminasi buatan
 - seleksi dan kultur jaringan
 - hibridisasi dan mutasi buatan
 - seleksi dan mutasi buatan
38. Manfaat kultur jaringan adalah untuk memperoleh
- tanaman jenis baru yang tahan lama
 - individu baru yang cepat berkembang biak
 - hasil yang bervariasi dari tanaman induknya
 - individu baru dalam jumlah besar dan tahan lama
 - bibit dalam waktu yang singkat dan mempunyai sifat-sifat yang sama dengan induknya
39. Antibodi dalam jumlah banyak dapat diperoleh dengan cara
- kultur jaringan
 - teknologi plasmid
 - teknologi hibridoma
 - rekayasa genetika
 - kloning
40. Untuk menghasilkan produk antibiotika, dapat dilakukan dengan bantuan mikroorganisme
- Penicillium sp.
 - Streptococcus sp.
 - Pseudomonas sp.
 - Thyobacillus ferrooxidans
 - Acetobacter xylinum

B. Soal Uraian

1. Tuliskan faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pada tumbuhan.
2. Perhatikan tabel hasil percobaan perkecambah kacang merah berikut ini.

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Hari ke | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Panjang kecambah (cm) | 0,9 | 2,1 | 3,4 | 4,8 | 5,7 | 6,5 | 7,2 |

- a. Pada hari ke berapakah terjadi pertumbuhan kecambah tertinggi?
 - b. Pada hari ke berapakah terjadi pertumbuhan kecambah terendah?
 - c. Ubahlah tabel di atas ke dalam bentuk grafik.
3. Perhatikan gambar berikut ini.



Aktivitas enzim dipengaruhi oleh pH. Jelaskan aktivitas enzim A, B, dan C dari gambar tersebut.

4. Respirasi dan fermentasi merupakan contoh dari katabolisme. Respirasi terjadi melalui beberapa tahap. Berapakah jumlah ATP yang dihasilkan dari tiap tahap respirasi?
5. DNA dan RNA merupakan materi genetik yang diperlukan dalam sintesis protein. Tuliskan perbedaan antara DNA dan RNA.

6. Bagaimanakah hubungan antara DNA, gen, dan kromosom? Jelaskan.
7. Gandum hitam (H) epistasis terhadap gandum kuning (K). Apabila gen H dan K tidak muncul, gandum memperlihatkan fenotipe putih. Jika gandum hitam (HHkk) disilangkan dengan gandum kuning (hhKK) kemudian F_1 -nya disilangkan dengan sesamanya, berapakah perbandingan fenotipe yang dihasilkan?
8. Disilangkan sapi jantan tahan penyakit dan gemuk heterozigot dengan sapi betina yang homozigot resesif untuk kedua sifat tersebut. Pada F_1 diperoleh keturunan:
 - tahan penyakit, gemuk 4 ekor
 - tidak tahan penyakit, kurus 3 ekor
 - tahan penyakit, kurus 1 ekor
 - tidak tahan penyakit, gemuk 2 ekor
 Berdasarkan data tersebut,
 - a. buatlah skema persilangannya.
 - b. berapa persen kombinasi parental?
 - c. berapa persen rekombinasinya?
 - d. apakah terjadi pindah silang?
9. Lamarck dan Charles Darwin adalah tokoh evolusi. Mereka mengemukakan teori evolusi, namun masih berbeda pendapat. Rumuskan perbedaan pendapat antara teori Lamarck dan teori Charles Darwin.
10. Kloning merupakan salah satu bentuk kultur in vitro. Jelaskan prinsip dasar dari proses kloning.

Apendiks 1



Kunci Jawaban

Tes Kompetensi Subbab

Bab 1 Pertumbuhan dan Perkembangan pada Tumbuhan

Tes Kompetensi Subbab A

1. Pertumbuhan yang menyebabkan tumbuhan dapat memanjang.

Tes Kompetensi Subbab B

1. Makronutrien : karbon, hidrogen, oksigen, fosfor, potasium, nitrogen, sulfur, kalsium dan magnesium
Mikronutrien : zat besi, klor, tembaga, mangan, seng, boron, dan molybdenum
3. Auksin, giberelin, sitokinin, asam absisat, dan gas etilen.

Evaluasi Kompetensi Bab 1

A. Pilihan Ganda

1. c 11. b
3. d 13. d
5. a 15. b
7. a 17. d
9. d 19. e

B. Soal Uraian

1. Perkembangan bersifat reversibel, karena perkembangan dapat kembali seperti semula. Contohnya jika bagian tumbuhan patah, sel-sel dewasa bagian tersebut dapat kembali aktif membelah layaknya sel muda.
3. Pertumbuhan adalah penambahan besar atau jumlah sel-sel yang bersifat irreversible.
5. Hipotesis : pertumbuhan dan perkembangan biji kacang merah pada pot A lebih baik daripada pot B.

Langkah kerja:

- a. Menyediakan dua buah pot. Memasukan medium humus pada pot A dan tanah pada pot B.
- b. Menanam biji kacang tanah sama banyak pada pot A dan pot B. Kemudian, menyimpan kedua pot pada tempat yang sama untuk diamati.

Bab 2 Metabolisme

Tes Kompetensi Subbab A

1. Fungsi ATP sebagai molekul berenergi tinggi bagi seluruh reaksi metabolisme yang terjadi di dalam sel.
3. Teori cara kerja enzim yakni teori *lock and key* dan teori *induced fit*. Teori *lock and key* menyatakan bahwa kerja enzim diibaratkan kunci dan anak kunci. substrat

memasuki enzim seperti anak kunci memasuki kunci gembok. Substrat, kemudian di ubah menjadi produk dan dilepaskan. Adapun teori *induced fit* menjelaskan bahwa enzim menyesuaikan bentuk dengan substrat dan membuat enzim-substrat lebih reaktif.

Tes Kompetensi Subbab B

1. Respirasi sel melalui tiga tahap, yaitu glikolisis, siklus Krebs, dan transfer elektron. Pada glikolisis, glukosa diubah menjadi 2 molekul asam piruvat. Asam piruvat diubah menjadi asetil KoA dan selanjutnya masuk ke siklus Krebs. Dari tahap glikolisis dan siklus Krebs didapatkan 10 NADH, 2FADH₂, dan 4 ATP. Selanjutnya NADH dan FADH₂ memasuki rantai transfer elektron sehingga menghasilkan 34.
3. Jumlah ATP total yang dihasilkan oleh respirasi sel satu molekul glukosa adalah 38 ATP.

Tes Kompetensi Subbab C

1. Fotosintesis menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi, sedangkan kemosintesis menggunakan reaksi kimia anorganik sebagai sumber energi.
3. Karena reaksi tersebut tidak bergantung cahaya matahari.

Tes Kompetensi Subbab D

1. Protein menghasilkan energi sebesar 4 kkal setiap gramnya, sedangkan lemak menghasilkan 9 kkal.

Evaluasi Kompetensi Bab 2

A. Pilihan Ganda

1. c 11. a
3. a 13. b
5. d 15. a
7. e 17. e
9. b 19. d

B. Soal Uraian

1. Enzim berfungsi sebagai biokatalisator, menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Terdapat dua teori yang menjelaskan cara kerja enzim, yaitu teori *lock and key* dan teori *induced fit*. Berdasarkan teori *lock and key*, kerja enzim mirip mekanisme kunci dan anak kunci. Substrat memasuki enzim, kemudian substrat diubah menjadi produk dan dilepaskan. Berdasarkan teori *induced fit*, enzim melakukan penyesuaian bentuk

untuk berikatan dengan substrat. Hal tersebut meningkatkan kecocokan dan mendorong kompleks enzim-substrat lebih reaktif. Molekul enzim kembali ke bentuk semula setelah produk dihasilkan.

- Respirasi aerob terjadi melalui tahap glikolisis, siklus Krebs, dan transport elektron. Pada tahap glikolisis, molekul glukosa diubah menjadi asam piruvat. Kemudian asam piruvat diubah menjadi asatil KoA dan memasuki siklus Krebs. NADH dan FADH₂ dari tahap glikolisis dan siklus Krebs memasuki tahap transport elektron untuk dihasilkan molekul ATP. Dari seluruh reaksi respirasi aerob dihasilkan 38 ATP.
- Selain karbohidrat, molekul protein dan lemak juga dapat digunakan sebagai sumber energi. Jika tubuh kelebihan salah satu molekul, seperti kelebihan karbohidrat, molekul berlebih tersebut dapat dibentuk menjadi protein atau lemak.

Bab 3 Materi Genetik dan Sintesis Protein Tes Kompetensi Subbab A

- Gen adalah unit hereditas terkecil.
- Autosom adalah kromosom tubuh.
Gonosom adalah kromosom seks.

Tes Kompetensi Subbab B

- Kodon adalah kode genetik pada mRNA.
Antikodon adalah kode genetik pada tRNA.
- Transkripsi adalah proses pencetakan DNA ke dalam mRNA.
Translasi adalah proses penerjemahan kode mRNA oleh tRNA ke dalam urutan asam amino.

Evaluasi Kompetensi Bab 3

A. Pilihan Ganda

- c 11. e
- a 13. c
- d 15. b
- b 17. b
- c 19. a

B. Soal Uraian

- Gen adalah unit hereditas yang mengendalikan sifat makhluk hidup. Gen terletak dalam lokus-lokus dalam kromosom. Karena kromosom tersusun atas lillian DNA maka gen pun tersusun atas DNA. Gen tersusun atas rantai DNA dengan urutan basa nitrogen tertentu.

3. Perbedaan RNA dan DNA

| Pembeda | DNA | RNA |
|---------------|---|--|
| Letak | Di dalam nukleus, plastida, mitokondria | dalam nukleus, sitoplasma, matriks, plastida, ribosom |
| Bentuk rantai | <i>double helix</i> | tunggal, ganda tak berpilin |
| Kadar Fungsi | tetap pengendali faktor keturunan dan sintesis RNA | tidak tetap berperan dalam aktivitas sintesis protein |
| Basa nitrogen | purin (adenin dan guanin) pirimidin (timin dan sitosin) | purin (adenin dan guanin) pirimidin (urasil dan sitosin) |
| Gula | deoksiribosa, | ribosa |

- Sintesis protein terjadi melalui tahap transkripsi dan translasi. Pada tahap transkripsi, DNA pada pita sense dicetak kedalam mRNA. Kemudian, mRNA hasil transkripsi tersebut masuk ke dalam sitoplasma untuk melakukan proses translasi dengan bantuan ribosom. Pita mRNA dengan urutan basa nitrogen dalam urutan triplet akan dikodekan menjadi urutan asam amino. Asam amino ini dibawa oleh tRNA sesuai pesanan kodon mRNA.

Bab 4 Reproduksi Sel dan Pewarisan Sifat Tes Kompetensi Subbab A

- Siklus sel adalah proses persiapan dan pembelahan sel sehingga menghasilkan sel baru.
- Pembelahan mitosis terjadi jika sel telah cukup besar dan telah mampu membelah.

Tes Kompetensi Subbab B

- Karena makhluk hidup menghasilkan gamet dan melakukan fertilisasi. Oleh karena itu, jumlah kromosom sel gamet harus haploid.
- Pada pembentukan sel gamet seperti sel telur dan sel sperma.

Tes Kompetensi Subbab C

- Pembentukan sel gamet secara meiosis
- Fungsi mikrosporogenesis, yaitu untuk mereduksi jumlah kromosom dan menghasilkan banyak sel. Adapun fungsi mikrogametogenesis, yaitu sebagai fase pematangan mikrogamet menjadi gamet fungsional.

Tes Kompetensi Subbab D

1. Percobaan Mendel menghasilkan Hukum I Mendel dan Hukum II Mendel. Hukum I tentang persilangan monohibrid dan dominasi gen terhadap gen pasangannya. Adapun hukum II tentang persilangan dihibrid.
3. Penyimpangan semua hukum Mendel merupakan peristiwa-peristiwa pola pewarisan sifat yang merupakan modifikasi hukum Mendel. Umumnya peristiwa tersebut disebabkan oleh interaksi antargen terhadap satu sifat atau ciri.
5. Bunga merah, tinggi, daun besar = 3
Bunga hijau, tinggi, daun kecil = 1

Tes Kompetensi Subbab E

1. Pada manusia pengamatannya memerlukan waktu yang lama, keturunan yang dihasilkan sedikit, tidak dapat dilakukan *test cross*, dan sulit mengetahui ciri yang diwariskan atau pengaruh lingkungan. Para ilmuwan mengatasi kendala tersebut dengan membuat peta silsilah keluarga atau pemeriksaan kariotipe.
3. Kemungkinan anak perempuan normal karier adalah 50% dan buta normal 50%. Adapun anak laki-laki 50% buta warna dan 50% normal.

Evaluasi Kompetensi Bab 4

A. Pilihan Ganda

1. b 11. a
3. b 13. d
5. e 15. d
7. b 17. b
9. a 19. d

B. Soal Uraian

1. Tahap-tahap dalam mitosis dapat dibedakan menjadi profase, metafase, anafase, dan telofase. Pada profase benang kromatin terkondensasi membentuk kromosom dan membran ini melebur. Pada metafase kromosom sejajar bidang pembelahan. Selanjutnya, melalui anafase kedua kromatid terpisah menuju kutub-kutub sel. Pada telofase terjadi pembentukan membran inti dan diikuti sitokinesis.
3. Misal, T = tinggi dan t = pendek, karena hasil F₁ semua tinggi maka genotipe parental adalah TT dan tt. Hasil persilangan F₁ (Tt) menghasilkan F₂
 - Rasio genotipe = TT : tt = 1 : 2 : 1
 - Rasio fenotipe = tinggi : pendek = 3 : 1
5. Genotipe parental : X^{cb}X × XY maka turunannya:
 - X^{cb}X - X^{cb}Y
 - X X - X Y
 - a. Turunan yang buta warna = $\frac{1}{4} \times 100\% = 25\%$
 - b. Anak laki-laki buta warna = $\frac{1}{2} \times 100\% = 50\%$
 - c. Anak wanita buta warna = 0%

Bab 5 Keseimbangan Kimia

Tes Kompetensi Subbab A

1. Perubahan susunan DNA yang dapat diwariskan.
3. Pertumbuhan mental terhambat, ketahanan tubuh berkurang, dan tingkat kelangsungan hidup rendah.

Tes Kompetensi Subbab B

1. Mutagen adalah penyebab mutasi
3. Mutagen kimia : senyawa alkil, gas metan, kolkisin
Mutagen fisika : radiasi ultraviolet, radiasi gamma, sinar-x.

Tes Kompetensi Subbab C

1. Tanaman poliploid adalah tanaman yang memiliki kromosom lebih dari dua set kromosom. Biasanya tanaman poliploid bersifat menguntungkan.

Evaluasi Kompetensi Bab 5

A. Pilihan Ganda

1. b 11. e
3. c 13. a
5. d 15. c
7. b 17. d
9. c 19. d

B. Soal Uraian

1. Pada mutasi gen, perubahan yang terjadi hanya berupa perubahan satu basa nitrogen saja. Adapun pada mutasi kromosom, perubahan terjadi pada kromosom dan melibatkan banyak gen didalamnya.
3. Jika mutasi yang terjadi hanya mutasi titik yang tidak berarti, pengaruh mutasi tidak akan terlihat. Jika mutasi yang terjadi mutasi titik yang berarti atau mutasi kromosom, akan menyebabkan perubahan pada fenotipe keturunannya. Mutasi tersebut akan menyebabkan keturunan berubah sifat fenotipe, kelainan, fertil, bahkan letal. Pada hewan, umumnya mutasi yang berarti dan mutasi kromosom menyebabkan individu fertil hingga letal sehingga sulit untuk diwariskan kepada keturunan selanjutnya.
5. Mutasi terutama yang terjadi pada tumbuhan dapat menguntungkan manusia. Misalnya tanaman poliploid yang umumnya tumbuh lebih baik dibandingkan tanaman diploidnya.

Evaluasi Kompetensi Biologi Semester 1

A. Pilihan Ganda

1. d 11. a 21. e
3. e 13. a 23. a
5. b 15. a 25. c
7. c 17. b 27. c
9. b 19. c 29. a

B. Soal Uraian

1. Terdapat dua faktor yang memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan, yakni faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal berasal dari tumbuhan sendiri, seperti hormon. Adapun faktor eksternal dapat berupa faktor-faktor abiotik seperti suhu, cahaya, kelembapan, dan nutrisi.
3. Respirasi aerob adalah respirasi yang memerlukan oksigen dalam reaksinya, sedangkan respirasi anaerob tidak memerlukan oksigen.
5. Sifat-sifat gen
 - Dapat diwariskan
 - Memengaruhi fenotipe individu
 - Dapat menggandakan diri
 - Diwariskan dengan pola tertentu
7. Pembelahan mitosis pada organisme uniseluler sebagai cara reproduksi. Adapun pada organisme multiseluler sebagai cara untuk tumbuh dan berkembang serta untuk mengganti sel-sel yang rusak.
9. Genotipe parental yang mungkin = BBPp × BBPp, BBPp × BbPp, dan BBPp × bbPp

Bab 6 Teori Asal-Usul Kehidupan dan Evolusi

Tes Kompetensi Subbab A

1. Teori abiogenesis menyatakan bahwa kehidupan berasal dari benda mati, sedangkan teori biogenesis menyatakan bahwa makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.
3. Stanley Miller membuktikan bahwa zat organik dapat terbentuk dari zat anorganik.

Tes Kompetensi Subbab B

1. Menurut Lamarck, evolusi terjadi sebagai hasil pengaruh lingkungan yang dapat diturunkan. Ia mencontohkan bahwa rusa yang sering berlari cepat menghindari serigala akan mengembangkan otot lari yang kuat. Sifat ini kemudian akan diturunkan kepada keturunannya.
3. Lamarck menjelaskan bahwa leher zرافah yang panjang disebabkan kebiasaan makan zرافah sambil memanjangkan lehernya untuk menggapai makanan yang tinggi. Adapun Darwin menjelaskan bahwa terdapat variasi leher zرافah dan zرافah dengan leher panjang yang dapat bertahan hidup karena mampu menggapai makanan tinggi.

Tes Kompetensi Subbab C

1. Adanya fosil makhluk hidup yang telah punah, homologi organ, organ vestigial, perbandingan embrio, bukti biokimia dan genetika, serta seleksi alam yang teramati.
3. Organ homolog adalah organ dengan struktur asal sama, namun berbeda fungsinya.

Tes Kompetensi Subbab D

1. Spesiasi adalah proses pembentukan spesies. Hal tersebut dapat terjadi melalui isolasi reproduksi.
3. Jumlah wanita pembawa buta warna 1.472 orang

Tes Kompetensi Subbab E

1. Tujuan sistematika yakni untuk membuat pengelompokan makhluk hidup dan membuat klasifikasi yang mencerminkan evolusi antar organisme.
3. Klasifikasi mencerminkan evolusi makhluk hidup.

Evaluasi Kompetensi Bab 6

A. Pilihan Ganda

1. b 11. c
3. a 13. d
5. a 15. b
7. b 17. d
9. c 19. e

B. Soal Uraian

1. a. Menurut Lamarck, cakar dan taring singa yang tajam terbentuk karena singa sering menggunakan cakar dan taringnya untuk mengoyak mangsanya.
b. Menurut Darwin, terdapat singa dengan cakar dan taring yang tajam. Singa dengan cakar dan taring tumpul tidak mampu bertahan dan jumlah populasinya semakin sedikit karena sulit memangsa dan mendapatkan makanan. Hal ini menyisakan singa dengan cakar dan taring tajam yang lebih mampu memangsa dan mendapat makanan. Sehingga kini tersisa singa dengan cakar dan taring tajam.
3. Organisme prokariot lebih dahulu terbentuk, kemudian melalui mekanisme pelekukan membran dan endosimbiosis terbentuklah organisme eukariot.
5. Pengaruh biologi molekuler, memberikan petunjuk-petunjuk baru bagi teori evolusi.

Bab 7 Bioteknologi

Tes Kompetensi Subbab A

1. Bioteknologi secara sederhana telah dikenal manusia sejak ribuan tahun yang lalu. Seiring dengan berkembangnya ilmu Mikrobiologi, Genetika, dan Biokimia, perkembangan bioteknologi semakin meningkat.

Tes Kompetensi Subbab B

1. Pada bioteknologi konvensional organisme yang digunakan masih bersifat alamiah, belum ada rekayasa genetika. Bioteknologi modern dapat dikatakan merupakan kebalikannya, tapi disokong oleh bioteknologi konvensional.

3. • Tempe → *Rhizopus oligosporus*
- Tauro *Aspergillus oryzae*
- Nata de Coco *Acetobacter xylinum*
- Roti *Saccharomyces cereviceae*
- Yoghurt *Lactobacillus bulgaricus*

Evaluasi Kompetensi Bab 7

A. Pilihan Ganda

1. a 11. a
3. c 13. a
5. c 15. b
7. a 17. e
9. a 19. d

B. Soal Uraian

1. Bioteknologi adalah semua aplikasi teknologi yang menggunakan sistem biologi, organisme hidup, atau devivatnya untuk membuat atau memodifikasi produk atau proses.
3. Contoh bioteknologi dalam kehidupan sehari-hari, antara lain tempe, yoghurt, semangka tanpa biji, antibiotik, dan roti.
5. Bioteknologi memiliki dampak positif dalam kehidupan antara lain dapat meningkatkan gizi masyarakat, meningkatkan produksi ternak, sumber makanan baru, hingga alternatif bahan bakar baru. Adapun dampak negatif dari bioteknologi, yakni dapat mengubah lungkang gen, hama resisten, penyakit baru, dan bertentangan dengan norma dalam masyarakat.

Evaluasi Kompetensi Biologi Semester 2

A. Pilihan Ganda

1. d 11. b 21. a
3. c 13. a 23. b
5. b 15. b 25. e
7. a 17. c
9. e 19. e

B. Soal Uraian

1. Perbedaan dalam percobaan Spallanzani dan Pasteur, yakni dalam percobaan Spallanzani dilakukan pemanasan berlebih dan labu yang digunakan ditutup dengan cara memanaskan ujung labu. Adapun pada percobaan Pasteur, labu yang digunakan berupa labu leher angsa yang tidak tertutup dan pemanasan dilakukan secara biasa.
Persamaan kedua percobaan, yakni keduanya menggunakan air kaldu dan labu yang dipanaskan, serta hasil percobaan mereka tidak terkontaminasi bakteri.
3. Bukti evolusi, antara lain ditemukannya fosil makhluk hidup yang telah punah; kesamaan embrio organisme; homologi struktur tubuh; adanya organ vestigial; kesamaan biokimia dan fisiologi.

5. Organ homologi adalah organ dengan struktur yang sama, namun memiliki fungsi yang berbeda. Misalnya, sayap burung dan tangan manusia. Adapun organ vestigial adalah organ sisa yang tidak memiliki fungsi lagi. Contohnya, usus buntu pada manusia.
7. Bioteknologi adalah semua aplikasi teknologi yang menggunakan sistem biologi, organisme hidup, atau devivatnya untuk membuat atau memodifikasi produk atau proses.
9. Fusi sel adalah proses penggabungan materi genetik dari dua sel yang berbeda jenis. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan sifat kombinasi dari kedua sel. Proses fusi sel dimulai dengan peleburan membran sel, kemudian kedua inti sel dengan bantuan virus atau enzim dapat bergabung menjadi satu sel.

Evaluasi Kompetensi Biologi Akhir Tahun

A. Pilihan Ganda

1. c 21. a
3. e 23. d
5. b 25. c
7. d 27. a
9. b 29. b
11. e 31. d
13. a 33. c
15. d 35. e
17. d 37. d
19. e 39. c

B. Soal Uraian

1. Faktor internal - hormon dan enzim
faktor eksternal - makanan, cahaya, suhu, air, pH, oksigen
 3. Aktivitas enzim A akan optimal pada pH rendah/asam
Aktivitas enzim B akan optimal pada pH normal/netral
Aktivitas enzim C akan optimal pada pH tinggi/basa
 5.

| | | |
|----------------|--------------|------------|
| Pembeda | DNA | RNA |
| rantai | ganda | tunggal |
| gula pentosa | deoksiribosa | ribosa |
| basa pirimidin | Timin (T) | Urasil (U) |
 7. Rasio Fenotipe =
Hitam : Kuning : Putih
12 : 3 : 1
 8. Lamarck :
 - apabila terjadi perubahan lingkungan, makhluk hidup akan menyesuaikan diri baik fisiologi maupun morfologinya (adaptasi).
 - Organ yang sering digunakan akan berkembang biak
 - Sifat yang didapat akan diturunkan kepada keturunannya
- Charles Darwin :**
- Evolusi terjadi karena seleksi alam
 - Variasi yang terjadi merupakan suatu variasi karakteristik yang muncul pada penampakan fenotipe organisme tersebut.

Apendiks 2



Sistem Metrik

| Ukuran | Satuan dan Singkatan | Persamaan Metrik | Konversi dari Metrik ke Satuan Inggris | Konversi dari Inggris ke Satuan Metrik |
|-----------------------|--|--|--|--|
| Panjang | 1 kilometer (km) | = 1.000 (10 ³) meter | 1 km = 0,62 <i>mile</i> | 1 <i>mile</i> = 1,61 km |
| | 1 meter (m) | = 100 (10 ²) sentimeter = 1.000 milimeter | 1 m = 1,09 <i>yard</i> 1 m = 3,28 <i>feet</i> 1 m = 39,37 <i>inches</i> | 1 <i>yard</i> = 0,914 m 1 <i>foot</i> = 0,305 m |
| | 1 sentimeter (cm) | = 0,01 (10 ⁻²) meter | 1 cm = 0,394 <i>inch</i> | 1 <i>foot</i> = 30,5 cm 1 <i>inch</i> = 2,54 cm |
| | 1 milimeter (mm) | = 0,001 (10 ⁻³) meter | 1 mm = 0,039 <i>inch</i> | |
| | 1 mikrometer (μm) (dahulunya mikron, μ) | = 10 ⁻⁶ meter, (10 ⁻³ mm) | | |
| | 1 nanometer (nm) (dahulunya milimikron, mμ) | = 10 ⁻⁹ meter (10 ⁻³ μm) | | |
| | 1 angstrom (Å) | = 10 ⁻¹⁰ meter (10 ⁻⁴ μm) | | |
| Lebar | 1 hektar (ha) | = 10.000 meter persegi | 1 ha = 2,47 <i>acres</i> | 1 <i>acre</i> = 0,0405 ha |
| | 1 meter persegi (m ²) | = 10.000 sentimeter persegi | 1 m ² = 1,196 <i>square yards</i> 1 m ² = 10,764 <i>square foot</i> | 1 <i>square yard</i> = 0,8361 m ² 1 <i>square foot</i> = 0,0929 m ² |
| | 1 sentimeter persegi (cm ²) | = 100 milimeter persegi | 1 cm ² = 0,155 <i>square inch</i> | 1 <i>square inch</i> = 6,4516 cm ² |
| Massa | 1 ton (t) | = 1.000 kilogram | | |
| | 1 kilogram (kg) | = 1.000 gram | 1 kg = 2,205 <i>pounds</i> | 1 <i>pound</i> = 0,4536 kg |
| | 1 gram (g) | = 1.000 miligram | 1 g = 0,0353 <i>ounce</i> | 1 <i>ounce</i> = 28,35 g |
| | 1 miligram (mg) | = 10 ⁻³ gram | | |
| | 1 mikrogram (μg) | = 10 ⁻⁶ gram | | |
| Volume (padat) | 1 meter kubik (m ³) | = 1.000.000 sentimeter kubik | 1 m ³ = 1,308 <i>cubic yards</i> 1 m ³ = 35,315 <i>cubic feet</i> | 1 <i>cubic yards</i> = 0,7646 m ³ 1 <i>cubic feet</i> = 0,0283 m ³ |
| | 1 sentimeter kubik (cm ³ atau cc) | = 10 ⁻⁶ meter kubik | 1 cm ³ = 0,061 <i>cubic inch</i> | 1 <i>cubic inch</i> = 16.387 cm ³ |
| | 1 milimeter kubik (mm ³) | = 10 ⁻⁹ meter kubik (10 ⁻³ sentimeter kubik) | | |
| Volume (cair dan gas) | 1 kiloliter (kl atau kL) | = 1.000 liter | 1 kL = 264,17 <i>gallons</i> | 1 <i>gallon</i> = 3,785 L |
| | 1 liter (L) | = 1.000 mililiter | 1 L = 0,264 <i>gallons</i> | |
| | 1 mililiter (mL) | = 10 ⁻³ liter = 1 sentimeter kubik | | |
| | 1 mikroliter (μl atau μL) | = 10 ⁻⁶ liter (10 ⁻³ mililiter) | | |
| Waktu | 1 detik (s) | = 1/60 menit | | |
| | 1 milidetik (ms) | = 10 ⁻³ detik | | |
| Suhu | derajat celsius (°C) | | | |

Sumber: Chemistry: The Central Science, 2000

Apendiks 3



Kata Dasar Bahasa Latin dan Yunani

| Kata Dasar | Arti | Contoh |
|------------|----------------------|----------------|
| anti | lawan/berlawanan | antibodi |
| arthro | sendi | arthropoda |
| auto | sendiri/oleh sendiri | autotrof |
| bio | hidup | biologi |
| carn | daging | karnivora |
| chloro | hijau | kloroplas |
| cyano | biru | Cyanobacteria |
| cyt | sel | leukosit |
| derm | kulit | epidermis |
| di | dua/dua kali | disakarida |
| ecto | luar/bagian luar | ektoderm |
| endo | bagian dalam | endoderm |
| epi | luar, menyelimuti | epidermis |
| exo | luar | eksoskeleton |
| gastro | perut | gastropoda |
| gen | penyebab sesuatu | antigen |
| genesis | pembentukan/formasi | morfogenesis |
| haemo | darah | haemoglobin |
| herb | tumbuhan/tanaman | herbivora |
| hetero | berbeda | heterozigot |
| homeo | sama/mirip | homeostatis |
| homo | sama, identik | homolog |
| karyo | sel | kariotipe |
| macro | besar | makromolekul |
| meso | di tengah | mesoderm |
| micro | kecil | mikroorganisme |
| mono | satu | monosakarida |
| morpho | bentuk | morfogenesis |
| myco | jamur | mikologi |
| omni | semua | omnivor |
| peri | dekat, sekitar | periderm |
| photo | cahaya | fotosintesis |
| phyll | selembar daun | mesofil |
| phyto | tumbuhan | fitokrom |
| plasm | bahan hidup | sitoplasma |
| pod | kaki | arthropoda |
| poly | banyak | polisakarida |
| troph | sesuatu yang memakan | autotrof |
| vor | untuk makan | karnivor |
| zoo | hewan | zoologi |

Sumber: *Concise Encyclopedia Nature*, 1994



Skala Waktu Geologi

| Era | Periode | Zaman | Miliar Tahun yang Lalu | Kejadian Geologi dan Biologi Utama |
|-------------|---------------|-------------|------------------------|--|
| Cenozoic | Quaternary | Masa kini | 0,01– | 1,65 miliar tahun yang lalu. Terjadi glasiasi. Manusia modern muncul. 65–1,65 miliar tahun yang lalu. Pergeseran benua. Perubahan iklim dunia; tanah luas muncul. Pemencaran tumbuhan bunga, serangga, burung, mamalia. Asal mula manusia terbentuk. 65 miliar tahun yang lalu. Asteroid menabrak bumi? Kepunahan dinosaurus dan banyak organisme laut. 135–65 miliar tahun yang lalu. Pemecahan pangea terus terjadi. Pemencaran besar invertebrata laut, ikan, serangga, dinosaurus. Asal mula pembentukan angiospermae. 181–135 miliar tahun yang lalu. Pemecahan pangea dimulai. Komunitas laut yang kaya. Pemencaran dinosaurus. 205 miliar tahun yang lalu. Asteroid menabrak bumi? Punahnya banyak organisme laut dan beberapa organisme darat; dinosaurus dan mamalia bertahan hidup. 240–205 miliar tahun yang lalu. Bangkitnya dan pemencaran invertebrata laut, ikan, dinosaurus. Dominasi gymnospermae di darat. Asal mula mamalia. 240 miliar tahun yang lalu. Kepunahan besar. Hampir semua spesies di laut dan daratan punah. 280–240 miliar tahun yang lalu. Pangea, laut dunia terbentuk. Pemencaran utama reptil dan gymnospermae. 360–280 miliar tahun yang lalu. Glasiasi terjadi lagi. Pemencaran besar serangga, amphibia. Tumbuhan berspora mendominasi; hadirnya gymnospermae. Asal mula reptil. 370 miliar tahun yang lalu. Kepunahan besar terhadap invertebrata laut, kebanyakan ikan. 435–360 miliar tahun yang lalu. Laurasia terbentuk, Gondwana bergerak ke utara. Tanah berawa luas, tumbuhan berpembuluh awal. Pemencaran ikan berlanjut. Asal mula Amphibia. 435 miliar tahun yang lalu. Glasiasi ketika Gondwana bergerak ke kutub selatan. Banyak organisme laut punah. 500–435 miliar tahun yang lalu. Gondwana bergerak ke kutub selatan. Pemencaran besar invertebrata laut, ikan awal. 550–500 miliar tahun yang lalu. Massa daratan tersebar sekitar khatulistiwa. Komunitas laut sederhana. Asal mula hewan dengan tubuh keras. 700–550 miliar tahun yang lalu. Benua besar Laurentia terpecah; glasiasi meluas. 2500–570 miliar tahun yang lalu. Oksigen hadir di atmosfer. Asal mula metabolisme aerob. Asal mula protista, alga, jamur, hewan. 3800–2500 miliar tahun yang lalu. Asal mula bakteri fotosintesis. 4600–3800 miliar tahun yang lalu. Pembentukan lapisan kerak bumi, atmosfer awal, lautan. Evolusi kimia menuju asal mula kehidupan (bakteri anaerob). 4600 miliar tahun yang lalu. Asal mula bumi. |
| | | Pleistocene | 1,65 | |
| | Tertiary | Pliocene | 5 | |
| | | Miocene | 25 | |
| | | Oligocene | 38 | |
| | | Eocene | 54 | |
| Mesozoic | Cretaceous | Akhir | 65 | |
| | | Awal | 100 | |
| | Jurassic | 138 | | |
| | Triassic | 205 | | |
| Paleozoic | Permian | | 240 | |
| | | | 290 | |
| | Carboniferous | 360 | | |
| | Devonian | 410 | | |
| | Silurian | 435 | | |
| | Ordovician | 505 | | |
| Cambrian | | 550 | | |
| | | 2.500 | | |
| Proterozoic | | | | |
| Archean | | | | |

Sumber: *Biology: Unity & Diversity of Life*, 1995

Apendiks 5



Karir di Bidang Biologi

Pernahkah Anda berpikir apa yang akan Anda lakukan setelah lulus sekolah? Pernahkah Anda berpikir untuk meniti karir dibidang yang berhubungan dengan Biologi?

Biologi dengan berbagai cabang ilmunya memberikan banyak peluang karir atau pekerjaan bagi Anda. Biologi sebagai ilmu hayati berkaitan erat dengan berbagai bidang pekerjaan yang berguna bagi masyarakat luas. Oleh karena itu, jika Anda menginginkan pekerjaan yang berguna bagi masyarakat luas dan memiliki banyak peluang diberbagai bidang pekerjaan, mempelajari Biologi merupakan pilihan yang tepat.

Namun, ketertarikan Anda mempelajari Biologi diharapkan bukan hanya ingin mendapat banyak peluang pekerjaan yang bisa Anda dapatkan, tetapi lebih karena Anda menyukai Biologi. Berikut ini beberapa jenis pekerjaan yang menggunakan pengetahuan dibidang Biologi.

- Ahli kehutanan
- Ahli Biologi air tawar
- Ahli Genetika
- Ahli Hortikultura (budi daya tanaman)
- Jurnalis sains
- Dosen sains
- Guru sains
- Manager di industri berbasis Biologi
- Ahli Biologi Laut



Dokter gigi



Dokter hewan



Ahli Biokimia



Ahli Ekologi



Ilmuwan tanah

- Ahli Agrikultur
- Dokter hewan
- Ahli bakteri
- Ahli Biokimia
- Ahli Bioteknologi
- Ahli Botani
- Ahli konservasi
- Dokter gigi
- Dokter umum
- Ahli Ekologi
- Ahli lingkungan
- Petugas kesehatan lingkungan
- Ahli pertanian
- Pengelola pertanian
- Peternak ikan
- Ahli gizi
- Ahli forensik

- Ahli laboratorium medis
- Ahli Mikrobiologi
- Perawat
- Dokter mata
- Bidan
- Apoteker
- Psikolog
- Ahli pengontrol polusi
- Peneliti Biologi
- Ilmuwan tanah
- Ahli bedah
- Ilmuwan penanganan limbah
- Ahli Zoologi
- Editor Biologi

Sumber: *Biology for You*, 2002

Senarai

A

Abiogenesis teori yang menyatakan makhluk hidup berasal dari benda mati

Agen Biologi suatu yang digunakan dalam bioteknologi dapat berupa mikroorganism, hewan, tumbuhan, atau bagian dari makhluk hidup tersebut

Aglutinasi penggumpalan, bergabungnya antibodi dengan antigen dari benda asing. Sehingga membentuk kompleks yang menggumpal

Aglutinin antibodi yang terbentuk dalam plasma darah

Aglutinogen antigen pada membran eritosit

Alel bentuk alternatif gen tunggal

Anabolisme metabolisme yang membangun suatu zat yang lebih kompleks dengan menggunakan energi

Antibiotik senyawa yang dihasilkan oleh mikroba (bakteri, kapang, dan jamur) untuk membunuh mikroba lain yang ada disekitarnya. Senyawa ini diekstrak dari mikroba untuk obat terhadap infeksi mikroba

Antibodi monoklonal antibodi yang dihasilkan dari satu sel yang sama dan spesifik terhadap satu antigen, didapat melalui fusi sel

Antisense pita DNA yang tidak ditranskripsikan.

ATP senyawa basa adenin dengan gula pentosa yang memiliki tiga gugus fosfat. Merupakan senyawa berenergi tinggi yang digunakan sebagai sumber energi pada berbagai proses pada makhluk hidup

Autosom kromosom biasa, tidak berperan dalam penentuan jenis kelamin

Autotrof organism, sejenis tanaman, yang mampu memproduksi makanannya sendiri dari bahan-bahan anorganik dan energi lingkungannya

B

Biogas gas hasil penguraian bahan organik, seperti. Sampah, gambut, dan tinja ternak. Umumnya berupa metan (CH_4)

Biogenesis. teori yang menyatakan makhluk hidup berasal dari makhluk hidup sebelumnya.

Biokatalis zat organik yang mempercepat berlangsungnya reaksi biokimia

Bioremoval teknik pengelolaan limbah yang menggunakan mikroorganism untuk mengatasi permasalahan limbah logam berat

D

Dediferensiasi perubahan sel-sel menjadi kembali bersifat sel muda dan dapat membelah serta berdiferensiasi. Umumnya pada sel tumbuhan

Denaturasi rusaknya molekul protein/DNA akibat pemanasan berlebih atau penambahan asam berlebih

Diferensiasi satu tahap pertumbuhan embrio dimana sel muda berkembang menjadi sel yang khusus untuk suatu jaringan (sel epitel, sel saraf, sel otot, dan lain-lain)

DNA asam deoksiribonukleat, senyawa organik yang bertanggung jawab atas pewarisan sifat atau hereditas dan sintesis protein. Terdiri dari polimer nukleotida, satu nukleotida tersusun atas 3 komponen: gugus fosfat, gula (deoksi ribosa), dan basa organik (purin, pirimidin)

DNA rekombinan DNA yang terbentuk melalui penggabungan gen dari sumber yang berbeda

Duplikasi proses penggandaan, umumnya ditujukan kepada gen (DNA) atau suatu fragmen DNA pada suatu lengan kromosom, yang karena gangguan pada saat meiosis menjadi rangkap dua

E

Enzim protein yang aktif bertindak sebagai biokatalisator dalam tubuh makhluk hidup

Epigeal perkecambahan biji yang daun-daun bijinya (kotiledon) muncul di atas tanah, misalnya tomat

Etiolasi tumbuhan yang daunnya tidak membuka, dan semua bagian tubuh tidak berklorofil sehingga berwarna kuning pucat. Ini terjadi apabila tumbuhan sama sekali tidak memperoleh sinar matahari

Evolusi proses perubahan makhluk seiring perubahan waktu untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap lingkungan melalui mutasi, seleksi alam, dan pewarisan sifat

F

Fenotipe bentuk organisme yang dapat diamati merefleksikan pengaruh genetik dan lingkungan.

Fermentasi proses perombakan molekul organik menjadi zat yang lebih sederhana dengan bantuan jamur

Fotoautotrof organisme autotrof yang dibantu energi matahari

Fotosintesis proses pembentukan karbohidrat dari karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) pada kloroplas dengan bantuan cahaya matahari

G

Gamet sel haploid (sperma dan ovum) yang bersatu pada fertilisasi membentuk zigot

Gen dominan gen yang mengekspresikan dirinya dalam fenotipe ketika dipasangkan dengan gen dominan lainnya maupun gen resesif

Gen resesif gen yang terekspresikan pada fenotipe ketika berpasangan dengan gen resesif lainnya tetapi tidak dengan gen dominan

Gen unit hereditas yang tersusun atas DNA

Genotipe susunan gen yang dimiliki individu

Gonosom kromosom yang berperan dalam penentuan jenis kelamin

H

Heterozigot zigot dengan dua alel yang berbeda untuk ciri tertentu

Hibrididoma sel hibrid yang menghasilkan antibodi monoklonal. Merupakan hasil gabungan antara sel tumor dengan limfosit

Hipogeal (tentang kotiledon) tetap di bawah tanah ketika benih berkecambah, misalnya ercis, kacang.

Homozigot zigot dengan alel yang identik untuk ciri tertentu

I

Imbibisi proses penyerapan cairan

Inseminasi teknik buatan untuk memasukan sperma dari ternak jantan ke ternak betina untuk meningkatkan produksi ternak

Isolasi postzigot isolasi yang mencegah terjadinya perkembangan atau reproduksi individu yang telah dihasilkan

Isolasi prazigot isolasi mencegah terjadinya perkawinan individu akibat isolasi ekologi, perilaku, mekanik, dan temporal

K

Katabolisme metabolisme yang sifatnya mengurai suatu bahan menjadi molekul sederhana untuk menghasilkan energi

Kemoautotrof organisme autotrof yang dibantu molekul berenergi tinggi sebagai sumber energinya

Kemosintesis proses pembentukan molekul organik berenergi melalui reaksi kimia organik

Kodominan alel yang tidak seluruhnya dapat menutupi ekspresi alel resesif

Kodon urutan basa mRNA yang mengode (menyandi) urutan basa asam amino dalam sintesis protein

Kromatid dua untai kromosom yang terhubung pada sentromer sebelum dan sesudah pembelahan inti

Kromatin kompleks protein dan DNA yang terdapat pada inti sel eukariot

Kultur jaringan teknik memperbanyak tanaman dengan cara mengisolasi dan menumbuhkan bagian tanaman atau jaringan tersebut dalam medium buatan secara aseptik

L

Lumpur aktif proses pengolahan air limbah menggunakan jasad hidup (mikroorganisme)

M

Megagametogenesis proses pematangan sel megaspora

Meiosis pembelahan sel pada sel induk germinatif. Sel induk gamet membelah dan menghasilkan sel-sel gamet dengan jumlah kromosom setengah sel induk

Meristem sel yang dapat bermitosis terus-menerus pada batang tumbuhan dikotil terletak pada lapisan korteks dan silinder pusat

Metabolisme perubahan molekul suatu zat dalam sel dari bentuk sederhana ke bentuk kompleks atau sebaliknya

Mikroorganisme organisme berukuran mikro yang dapat diamati menggunakan mikroskop

Mitosis pembelahan pada sel induk germinatif dan somatis. Pembelahan ini tidak menyebabkan perubahan jumlah kromosom

mRNA RNA yang berfungsi sebagai pola cetakan pembentukan polipeptida disebut juga kodon karena merupakan hasil transkripsi DNA di dalam inti sel

Mutagen suatu zat yang mampu menyebabkan mutasi, seperti radiasi dan bahan kimia tertentu

Mutan organisme hasil mutasi

Mutasi gen mutasi yang disebabkan oleh perubahan susunan atau urutan basa nitrogen suatu gen

Mutasi pertukaran struktur gen suatu organisme yang dapat diwariskan

O

Oogenesis pembentukan sel telur (ovum) dari oogonium, mulai dari roliferasi, meiosis, hingga pematangan

P

Pembelahan biner proses pembelahan pada sel prokariot. Pada pembelahan ini satu sel prokariot akan membelah menghasilkan 2 sel baru yang identik dengan sel induk

Perkembangan perubahan berangsur dan berurut suatu makhluk atau bagian tubuhnya dari bentuk sederhana dan muda hingga menjadi bentuk kompleks, sempurna, dan dewasa

Pertumbuhan proses bertambah banyaknya dan bertambah besarnya sel-sel yang menyusun suatu bagian organ sehingga massa organ tersebut bertambah

Plasmid cincin DNA kecil dalam sitoplasma pada bakteri, dapat bereplikasi semiautonom dari bakteri induk

R

Replikasi proses penggandaan DNA yang menghasilkan DNA baru yang identik

Respirasi sel reaksi oksidasi molekul berenergi tinggi untuk melepaskan energinya

RNA polimer ribonukleotida berbentuk pita tunggal atau pita ganda tidak berpilin

S

Sel gamet sel kelamin

Sel somatis sel tubuh

Seleksi alam proses seleksi organisme secara alami. Dari berbagai variasi organisme yang ada hanya organisme yang paling cocok dengan alam yang dapat bertahan dan menghasilkan organisme baru

Sense pita DNA yang menjadi cetakan mRNA (ditranskripsikan)

Sinapsis sepasang kromosom homolog pada tahap awal proses meiosis

Sitokinesis proses pembelahan sitoplasma sel pada pembelahan mitosis

Spermatogenesis pembentukan spermatozoa dari spermatogonia

Spesiasi pembentukan spesies

Sup primodial senyawa kompleks sederhana yang berlimpah baik di darat maupun lautan pada zaman purba

T

Tentatif belum pasti, masih dapat berubah

Transgenik individu yang mendapat pindahan gen dari donor, dan gen itu berekspresi padanya

tRNA RNA yang berfungsi sebagai penerjemah kodon dari mRNA sehingga disebut juga antikodon

Indeks (Subjek dan Pengarang)



A

aglutinin 111, 112
aglutinogen 111
akar embrionik 136
akar serabut 4, 5
akar tunggang 4, 5
akrosentrik 53, 54, 65
albinisme 106, 115
alel 53, 65, 85, 88, 89, 90, 91, 93, 95, 98, 102, 103, 106, 107, 111, 113, 161, 162, 163
alloploid 124
anabolisme 23, 30, 36, 44, 46, 47, 49, 137
anafase 74, 76, 77, 78, 79, 80, 114, 116, 137, 198
aneuploidi 124, 127, 132, 134
aneusomi 125
antibiotik 29, 179, 183, 184, 188, 190, 191, 192, 195, 199
antibodi monoklonal 173, 184, 188, 189, 191, 192, 195
antigen 188, 189
Apoenzim 26
asam absisat 136
auksin 8, 9, 10, 11, 17, 18, 20, 21, 22, 136, 138, 196

B

Bateson, W. 96
biokatalisator 25, 26, 29, 50
Biologi 2, 7, 10, 24, 26, 30, 32, 39, 40, 42, 54, 59, 60, 85, 92, 105, 109, 123, 125, 129, 140, 141, 145, 148, 155, 165, 181
bivalen 77, 76
Boveri, Theodor 53, 91
Boysen-Jensen, Peter 9
brakidaktili 106, 108, 115

C

Campbell 86, 144, 166

D

Darwin, Charles 9, 93, 148, 149, 169, 170, 194, 199, 200
dediferensiasi 2, 3

dekarboksilasi oksidatif 196
delesi 198
diabetes mellitus 188
diferensiasi 2, 5, 6, 9, 10
diploid 53, 54
dispersif 58, 65, 67
DNA 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 68
dominan 3, 85, 87, 88, 89, 93, 95, 96, 98, 103, 104, 106, 108, 111, 113, 114, 117, 118
duplikasi 57, 70, 71, 73, 76, 80, 116, 123, 132, 133, 134, 137, 138, 198

E

Ehle, Nelson 95
elongasi 61, 63, 65
enzim 3, 13, 15, 17, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 42, 44, 45, 49, 50, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 68, 97, 107, 144
epigeal 3, 4
epistasis 93, 94, 95, 114
 dominan 93
 resesif 93
etanol 34, 35
etilen 8, 9, 12, 18, 21, 22, 136
etiologi 15, 20

F

felogen 18, 21
fenotipe 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 104, 107, 108, 109, 112, 117, 151, 162
fermentasi 24, 34, 35, 36, 47, 49, 50
filogeni 156, 164, 165
Fischer, Emil 26
floem 7, 11, 13, 18
 primer 6, 7
 sekunder 6, 7
fotolisis 40, 50
fotosistem I 40, 41
fotosistem II 40, 41

G

gamet 80, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 104, 107, 108, 109, 110, 112, 114, 116, 146, 162
gangguan mental 106, 107
gen letal 104, 115
 dominan 104
 resesif 104
generatio spontanea 140, 141, 167
genom 173
genotipe 92, 95, 96
glikolisis 30, 31, 33, 34, 35, 36, 37, 46, 49, 50, 196
golongan darah 111, 112, 113, 115, 199
gonosom 55, 59, 65, 101, 108, 110, 128, 138
gugus prostetik 26, 49
Guttman 53

H

Haldane, J. B. S. 143, 167
haploid 55, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 102, 114, 116, 117, 124, 125, 137
hemofilia 108, 110, 111, 115, 121, 198
heterozigot 87, 88, 89, 91, 92, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 117, 118, 200
hibridisasi 192, 199
hidroponik 14, 15
hipogeal 3, 4
hipokotil 3, 4
hipostasis 92, 93
histon 72
homozigot 88, 89, 94, 98, 104, 108, 110, 112, 117, 118, 163, 200
Hopson & Wessells 159
hormon 8, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 49, 106, 117, 136, 175, 178, 184, 186, 188, 195
Hukum I Mendel 86, 87
Hukum II Mendel 89, 90

I

imbibisi 3
in vitro 186, 187, 200
individu poliploidi 124
inhibitor 12, 26, 28, 29, 49, 50, 196
inisiasi 63, 65
inversi 123, 124, 132, 133, 138, 197, 198
inversi parasentris 123, 133
inviabilitas hibrid 160
isolasi ekologi 159

isolasi mekanik 159, 160
isolasi perilaku 159
isolasi postzigotik 159, 160
isolasi prazigotik 159
isolasi reproduksi 158, 159, 160, 161, 165, 167, 170, 194, 195
isolasi temporal 159

K

kambium 6, 7, 18, 21, 116, 136
kambium gabus 6, 7, 18
karbohidrat 182
kariokinesis 138
Kashland, Daniel 26
katabolisme 48
 karbohidrat 23, 30, 49
katenasi 133
kemoautotrof 44, 45, 50, 145, 167
kemosintesis 36, 45, 49, 50
kiasma 77, 99
kinetokor 73, 77, 79
kloroplas 37, 38, 39, 42, 49, 50
kodominan 111, 113
kodon 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 133
koenzim 15, 26, 31, 32
kofaktor 15, 26, 42, 44
koleoptil 3, 9, 18
komplementer 96
konservatif 58, 65, 67
kriptomeri 92, 96, 114
kromatid 53, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 116, 125
kromomer 65
Kromosom 52, 54, 65, 80
 homolog 53, 65, 76, 77, 92, 99, 123, 124, 125
kultur jaringan 11, 14, 15, 172, 178, 179, 185, 191, 199
Kurosawa, Ewiti 11

L

Lamarck, J.B.S 148, 149, 150, 153, 154, 155, 167, 169, 170, 194, 199, 200
Lejeune, Jerome 123
lemak 23, 24, 30, 33, 36, 45, 46, 47, 49, 50, 137, 182
lentisel 7
Levine & Miller 82, 126
lock and key 26, 49
lokus 65, 120, 133, 162

M

makronutrien 13, 21
Margulis, Lynn 146, 169
Mclaren & Rotundo 142, 150
meiosis 52, 53, 69, 73, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 88, 91, 92, 97, 99, 100, 104, 114, 116, 117, 124, 125, 198
Mendel 52, 55, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 100, 104, 105, 106, 114, 115, 173
meristem 2, 3, 5, 6, 9, 12, 15, 20, 21, 191
metafase 52, 74, 77, 79, 92, 106, 114, 116, 137, 198
metasentrik 54, 65
mikronutrien 13
mikrosporogenesis 83, 85
Miller, Carlos 11
Miller, Stanley 143, 147, 167, 169, 194
mitosis 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 84, 106, 114, 116, 117, 138
monohibrid 114
Morgan 101, 102, 103, 129
mutagen 120, 129, 130, 131, 132, 134
fisika 129, 130, 131
kimia 129, 130, 131
mutasi 101, 119, 120, 121, 122, 124, 126, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 138
gen 119, 120, 121, 129, 133, 134, 198
kromosom 119, 120, 122, 126, 129, 133, 134

N

Nondisjunction 125
nukleotida 56, 57, 65, 67, 68, 120, 121, 132, 133, 197

O

oogenesis 81, 82, 84, 85, 114, 117, 125, 137
Oparin, A.I. 143, 144, 147, 169
organ homolog 159

P

parental 80, 86, 200
partenogenesis 102
Pasteur, Louis 140, 141, 142, 167, 169, 194, 195, 199

Patau 126, 127, 132, 134, 198
pautan 97, 98, 99, 100, 101, 102, 115, 198
pedigree 105, 110
pembelahan 80
pembelahan biner 71
pembelahan reduksi 76, 81, 114
perkembangan 1, 2, 3, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 22, 84, 128, 136, 138, 139, 147, 156, 157, 160, 165, 167, 172, 173, 174, 175, 176, 186, 191, 194, 200
pertumbuhan 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 72, 116, 126, 128, 136, 138, 141, 170, 179, 180, 186, 192, 194, 196, 200
primer 3, 4, 5, 6, 7, 9, 18, 20
sekunder 18
pindah silang 97, 99, 115, 116, 133, 134, 198, 200
polidaktili 106, 108, 115, 198
polimeri 92
poliploidi 133, 134
profase 73, 76, 77, 82, 198
protein 15, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 33, 36, 38, 40, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 110, 120, 121, 122, 133, 137, 144, 157, 185, 186, 197, 200
histon 72

R

radikula 3, 4, 7
reaksi 15, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 50, 137, 138, 140, 167, 169, 196, 197, 199
Redi, Francesco 140, 141, 142, 167, 169
rekayasa genetika 175, 183, 184
rekayasa genetika 171, 172, 183, 191, 192, 194, 195, 199
rekombinasi gen 161, 194
replikasi 72, 73, 76, 77, 78, 79, 121, 137
resesif 87, 88, 129, 133
respirasi 136, 138
respirasi aerob 138
Richard, Carl Woese 165
RNA 72, 120, 133, 137
Russel, Alfred Wallace 149, 169

S

seleksi alam 149, 150, 151, 153, 155, 156, 157, 158, 167, 168, 170
seleksi memecah belah 151, 152
seleksi stabilisasi 151
seleksi terarah 151
sentromer 73, 74, 77, 79, 80, 137
Siklus Krebs 44, 48
sinapsis 76, 80
sindrom 123, 124, 126, 127, 128, 129, 132, 134, 138
 Down 124, 126, 127, 129, 132, 134
 Edwards 126, 132, 134
 Klinefelter 126, 128, 132, 134
 Patau 126, 127, 132, 134
 Turner 126, 128, 132, 134, 138
sitokinin 8, 11, 18, 22, 136
Spallanzani, Lazzaro 140, 141, 167, 169, 195
spermatogenesis 125, 137
spesiasi 152, 160, 161, 165, 167, 170, 194, 195
 allopatrik 160, 170
 simpatrik 160, 194, 195
 parapatrik 161
Starr & Taggart 93
sterilitas hibrid 160
submetasentrik 53, 54, 65
sup primodial 144, 167
Suryo 93, 112
Sutton, Walter 91

T

telofase 74, 76, 78, 79, 80, 114, 116, 137
telosentrik 53, 54, 65
temperatur 15, 18, 136, 137
 optimum 182

teori abiogenesis 140, 141, 142, 147, 167, 169, 194
teori biogenesis 140, 141, 142
terminasi 61, 65, 67
test cross 88, 89, 105
tetraploid 124
transisi 31, 33, 138
transkripsi 57, 58, 59, 60, 61, 65, 72, 137, 138
translasi 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 121, 137, 138, 144
translokasi 123, 124, 132, 133
triplet 61, 62
triploid 124
tumbuhan berhari panjang 16
tumbuhan berhari pendek 16, 21
tunas embrionik 136

U

Urey, Harold 169

V

van, Johannes Overbeek 11

W

Wallace 149, 169, 194, 199
Weinberg 161, 162, 163, 168, 170
Went, Frits 10, 11

X

xilem 7, 11, 13, 18
 primer 6, 7
 sekunder 6, 7

Daftar Pustaka



- Binney, R. 1995. *The Plants World*. New York: World Book.
- Brum, G.D., Larry McKane, and Gerry Karp L.K. 1989. *Biology: Exploring Life*. New York: John Willey & Sons.
- Burnei, David. 1994. *Concise Encyclopedia Nature*. London: Dorling Kindersley.
- Burnie, D. 1997. *Jendela Iptek: Kehidupan*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Campbell, N.A., et al. 2006. *Biology Concepts & Connections*. California: The Benjamin/Cummings: Publishing.
- Campbell, N.A. 1998. *Biology*. California: The Benjamin/Cummings Publishing.
- Corbeil, Jean Claude dan Ariane Archambault. 2004. *Kamus Visual*. PT. Buana Ilmu Populer.
- Eroschenko, Victor P. 2003. *Atlas Histologi*. Jakarta: Penerbit Buku Kedokteran EGC.
- Gutman, B. S. 1999. *Biology*. New York: McGraw–Hill.
- Hendaryono, Daisy P. Sriyanti dan Ari Wijaya. 1994. *Teknik Kultur Jaringan*. Yogyakarta: Kanisius
- Hopson, J. L. and Norman K. Wessells. 1990. *Essentials of Biology*. New York: McGraw-Hill.
- Jefferies, David. 2000. *Cloning Frontiers of Genetics Engineering*. Leicester: Silverdall.
- Keeton, Willlian T. 1986. *Biological Science*. New York: W. W. Norton & Company, Inc
- Kusnadi, Kemal Adyana. 1995. *Dasar-Dasar Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia*. Bandung: Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Bandung.
- Levine, Joseph. S. and Kenneth R. Miller. 1991. *Biology: Discovering Life*. Massachusetts: D.C. Heath.
- Mader, Sylvia S. 1995. *Biologi: Evolusi, Kepelbagaian, dan Persekitaran*. Selangor: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- McLaren, James E. and Lissa Rotundo. 1985. *Heath Biology*. Massachusetts: D.C. Heath and Company.
- Moore, Randy, et al. 1995. *Botany*. Indianapolis: Brown Publisher.
- Parker, Steve. 2004. *Science Library: Human Body*. Bardfield: Miles Kelly Publishing Limited.
- Peacock, Graham and Terry Hudson. 1993. *The Super Science Book of Our Body*. New York: Wayland Publisher Ltd
- Riley, Pat. 2004. *Science Library: Plants*. Bardfield: Miles Kelly Publishing Limited.
- Simpkins, J. dan J.I. Williams. 2002. *Biologi Sel, Mamalia, dan Tumbuhan Berbunga*. Selangor: Polygraphic Press.
- Suryo, Ir. 2001. *Genetika Strata 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press..
- Starr, Cecie and Ralph Taggart. 1990. *Biology: The Unity and Diversity of Life*. Edisi ke-7. California: Wadsworth.
- Tim World Book. 1994. *Young Scientist: The Human Machine*. Chicago: World Books, Inc.
- Walker, Richard. 1996. *Human Anatomy*. London: Dorling Kindersley Limited.
- Walker, Richard. 2002. *Human Body*. London: Dorling Kindersley Limited.
- Williams, Gareth. 2002. *Biology for You*. Cheltenham: Nelson Thornes.
- Yatim, Wildan. 1999. *Kamus Biologi*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

Sumber lain:

[www. Albiographies.com](http://www.Albiographies.com), diakses November 2006

www.anselm.edu, diakses November 2006

www.batan.go.id, diakses September 2006

[www. iptek.net.id](http://www.iptek.net.id), diakses November 2006

www.allbiographies.com, diakses November 2006

www.bbc.co.uk, diakses Oktober 2006

www.beritaiptek.com, diakses November 2006

www.biodidac.bio.uottawa.ca, diakses November 2006

www.biotech.wisc.edu, diakses September 2006

www.cardiff.ac, diakses November 2006

www.dbhs.wvusd.k12.ca, diakses November 2006

www.digilib.bi.itb.ac.id

www.eijkman.go.id, diakses November 2006
www.faculty.ircc.edu, diakses September 2006
www.humanillnesses.com, diakses November 2006
www.indobic.or.id, diakses November 2006
www.indobiogen.or.id, diakses September 2006
www.iptek.net.id, diakses November 2006
www.kompas.com, diakses November 2006
www.lakes.chebucto.org, diakses November 2006
www.library.thinkquest.org, diakses November 2006
www.lipi.go.id, diakses September 2006
www.miguelpalma.cl.tripod.com, diakses November 2006
www.myweb.dal.ca, diakses November 2006
www.ncrtec.org, diakses November 2006

www.nmdb.com, diakses November 2006
www.orexca.com, diakses November 2006
www.publications.nigms.nih.gov.com, diakses November 2006
www.republika.co.id, diakses 15 Juni 2004
www.roundamerica.com, diakses September 2006
www.tempo.co.id, diakses November 2006
www.tokohindonesia.com, diakses November 2006
www.tolland.k12.ct.us, diakses November 2006
www.tparents.org, diakses November 2006
www.tumoutou.net, diakses September 2006
www.ul.ie.com, diakses November 2006
www.uoguelph.ca, diakses November 2006
www.wikipedia.org, diakses September – November 2006

ISBN : 978-979-068-827-8 (No. jil lengkap)
ISBN : 978-979-068-830-8

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: Rp14.468,-